

# ارزیابی و پهنه‌بندی امتداد ریزش‌ها در کوه‌های طاق علی واقع در شمال شرق شهر کرمان

زهرا حسینی\*: کارشناس مؤسسه مطالعات و آموزش مدیریت بحران کرمان؛ Email:Hosseini\_2477@yahoo.com

احمد عباس نژاد: دانشیار بخش زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

اکبر علوی: رئیس مؤسسه مطالعات و آموزش مدیریت بحران کرمان.

سمیه السادات حسینی: کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان.

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

## چکیده

در قسمت کوهستانی مشرف به شمال شرق شهر کرمان با کاربری مسکونی - تفریحی، تحت تأثیر تکتونیزه‌ی شدید، شاهد پرتگاه‌های گسلی و خطر ریزش سنگ در منطقه هستیم. در زمان ریزش، مشکل اصلی برای عناصر در معرض خطر، محل رسیدن قطعات سنگی است. بنابراین در نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت باید حساسیت مناطق نسبت به رسیدن قطعات را مد نظر گرفت و با بررسی و ارزیابی مسیر طی شده (Run-out) توسط ریزش‌ها پهنه‌های با حساسیت زیاد، متوسط و کم تعیین گردد. بنابراین در ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد ریزش شناسایی شد و سپس با دو روش ارزیابی چند معیاره‌ی مکانی (AHP) و روش آماری دو متغیره نسبت فراوانی، میزان اهمیت هرکدام از عوامل در منطقه تعیین و نقشه‌ی پهنه‌بندی ریزش‌ها به‌منزله‌ی غالب‌ترین نوع حرکت دامنه‌ای تهیه شد. بیشترین فراوانی ریزش‌های منطقه در دامنه‌های گسلی، جهت‌های شمال غرب و غرب و شیب‌های ۱۵-۳۰ درجه دیده شدند. نقشه‌ی حاصل از روش آماری دربرگیرنده‌ی اکثریت پهنه‌های ریزشی و همچنین دربرگیرنده‌ی مناطقی است که مسیر عبور ریزش‌ها بوده‌اند، اما به دلیل دستکاری دامنه‌های منطقه برای تعیین آخرین محل رسیدن قطعات ریزشی، این نقشه نتوانست اطلاعات کامل را در اختیار بگذارد، بنابراین برای تکمیل نقشه‌ی حساسیت منطقه از رابطه‌های تجربی زاویه‌ی رسیدن (Reach Angle) و زاویه‌ی سایه (Shadow Angle)، برای تخمین بیشترین فاصله‌ای که قطعات ریزشی ممکن است طی کنند استفاده گردید. در نقشه‌ی نهایی، جاده‌های تفریحی حاشیه‌ی دامنه در معرض خطر متوسط و مسیرهای کوهنوردی در معرض خطر زیاد شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی حساسیت ریزش‌ها، مدل تجربی زاویه‌ی رسیدن، مدل تجربی زاویه‌ی سایه

## Assessment and Zonation of Run-out Direction of Rock Falls in Tagh-Ali Mountains Located in the Northeastern of Kerman City

Zahra Hosseini<sup>1\*</sup>, Ahmad Abbasnejad<sup>2</sup>, Akbar Alavi<sup>3</sup>, Somayehossadat Hosseini<sup>4</sup>

### Abstract

Mountainous regions in the northeastern of Kerman with recreational-residential land use, face severe tectonic activities causing emersion of numerous faulty cliffs, leading to rock fall hazard. When rock fall happens, the main threat posed against exposed elements at risk is to what distance rock pieces will travel, therefore the susceptibility zoning must take into account the region susceptibility to this factor and then through evaluating the run-out of the falls, the zones should be classified into high, medium and low sensitivity. This study tries to prepare susceptibility map as stated earlier. The first step is to identify factors that causes rock fall events, then the importance of each factor in the region has to be determined by using AHP and bivariate statistical method, and finally zoning map of rock falls will be prepared as the most common type of hillside movements. The highest frequency of rock falls in the region have been seen on the faulty slopes, in the N-W and West directions and on 15-30 degrees slopes. The map created by bivariate statistical method contained most rock fall areas and also where rock falls had travels on them, however, due to the manipulation of the region, it is impossible to determine the last place that falling pieces had reached before; so the map does not provide full information. Thus for completing susceptibility map, empirical models such as Reach Angle and Shadow Angle approaches were used to estimate the maximum run-out distance that falling pieces may travel. Based on the final map, recreational roads are at average risk and climbing routes are at high risk.

**Keywords:** Rock fall susceptibility zoning, Reach Angle model, Shadow Angle model

- 1 M.Sc in Environmental Geology, Kerman Studying and Training crisis Management Center; Email:Hosseini\_2477@yahoo.com
- 2 Associate Professor, Shahid Bahonar University of Kerman.
- 3 Kerman Studying and Training crisis Management Center, B.S in Mine.
- 4 M.sc in pedology, Valicars University of Rafsanjan.

۱۹

شماره یازدهم

بهار و تابستان  
۱۳۹۶

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدل‌های تجربی اطلاعات ارزشمند و مناسبی را می‌توانند برایمان فراهم کنند.

تفاوت‌های متعددی برای پهنه‌بندی حساسیت و تهیه‌ی نقشه بین ریزش‌ها و انواع دیگر زمین‌لغزش‌ها وجود دارد، در پهنه‌بندی ریزش‌ها: ۱. مسیر طی شده (Run-out) به دلیل اندازه‌ی قطعه سنگ متفاوت است؛ ۲ اثر به جا مانده از حرکت قطعه سنگ به‌ویژه انواع قدیمی آن‌ها قابل تشخیص نیست؛ ۳. در مقیاس‌های معمول نقشه‌ها [متوسط]، قطعات ریزشی قابل ترسیم نیستند [۹].

به طور کلی زمین‌لغزش‌ها به نسبت سایر بلایای طبیعی، پدیده‌هایی مدیریت‌پذیر به حساب می‌آیند [۱۰]. هدف این تحقیق شناسایی و ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای به منظور آگاهی به مسئولان برای انجام اقدامات در راستای کاهش خطر است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

کوه‌های طاق علی متشکل از توالی سنگ‌های آهکی متعلق به کرتاسه بالایی است. در این منطقه اختلاف ارتفاع از ۱۸۸۶۰ متر تا ۲۳۹۰ متر از سطح دریا و طول منطقه حدود ۵ کیلومتر، واقع در شمال شرق شهر کرمان است. شیب‌های شمال غرب و غرب مشرف به جنگل تفریحی قائم، شیب‌های جنوب، جنوب غرب و غرب به سمت محله‌های سرباز و شاهزاده محمد و شیب‌های شمال و شمال شرق رو به سمت شهرک صفا بوده که از گسترش این شهرک جلوگیری به عمل آمده است. متوسط شیب دامنه‌های پیرامون جنگل، محله‌ها و شهرک به ترتیب ۴۹/۲۴، ۲۹/۶ و ۱۲ درجه است. در گذشته‌های دور از دل کوه چشمه‌ای جاری بود که هم‌اکنون جریان قطره‌ای آن را در فصول پرباران می‌توان دید و البته این چشمه‌ی کارستی است؛ همچنین متوسط بارندگی سالانه ۱۴۷ میلی‌متر در شهر کرمان است.

در منطقه‌ی کوهستانی شهر قبرستان قدیمی و دواتر باستانی تخت دریا قلی بیگ و گنبد جلیبه وجود دارد که با گسترش شهر و شرایط مناسب آب و هوایی، تمایل و گرایش مردم به حضور در این مکان افزایش یافته و به دنبال آن مسئولان شهرداری برای تغییر کاربری آن به مکانی تفریحی از گسترش قبرستان جلوگیری و اقدام به افزایش امکانات رفاهی مانند ساخت پیست کارتینگ و موتورسواری کرده‌اند. همچنین در منطقه علاوه بر اینکه قسمتی از بافت قدیمی شهر مانند محله‌ی شاهزاده محمد و سرباز بر روی شیب دامنه‌ی تپه‌ها قرار دارد، تأسیسات مخابرات و همچنین دیوارهای مخروبه‌ی قلعه‌های بزرگ قدیمی و تاریخی اردشیر و دختر نیز مشرف به این مناطق مسکونی هستند، لذا این مناطق، در معرض خطر ناپایداری دامنه‌ای و سقوط آوار ناشی از زلزله هستند (تصویر ۱).

سه چهره‌ی عمده‌ی جابه‌جایی در منطقه چنین است: ۱. نوع لغزشی که مواد آن شامل قطعه سنگ‌های به جای مانده از ریزش‌های قبل بر روی سطوح واریزه‌ای و لغزش گوه‌ای در منطقه در اثر عملکرد سیستم درزه‌ای است؛ ۲. انواع ریزش شامل ریزش

انواع زمین‌لغزش‌ها معمول‌ترین خطر زمین‌شناسی در تپه‌ها و کوهستان‌ها هستند. زمین‌لغزش‌ها حاصل عملکرد عوامل مؤثری هستند که شرایط پایداری دامنه و میزان تأثیر عامل محرک را پایش می‌کنند و در ایران بیشتر زمین‌لغزش‌های قدیمی بزرگ، محصول رویداد زلزله‌اند. یک نمونه‌ی مثال‌زدنی از درجه‌ی خطرناکی این‌گونه حرکات دامنه‌ای در ایران، زمین‌لغزش فتلک ناشی از زلزله‌ی رودبار - منجیل است که حدود ۱۵۰ تن از اهالی منطقه را زیر خاک مدفون کرد [۱] و بعد از این حادثه مطالعه‌ی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله مورد توجه جدی صاحب‌نظران در حیطه‌های علم و مدیریت قرار گرفت. تأثیر دیگر وقوع زمین‌لغزش‌های القایی، تشدید انواع کمک‌های امدادی و به دنبال آن هزینه‌های بازسازی است که در زلزله‌ی زرنند - کرمان سال ۱۳۸۳ زمین‌لغزش‌های ناشی از آن، در ابتدای ورود نیروهای امدادی و مردم، مانع کار شدند [۲]. علاوه بر این، به نظر می‌رسد فعالیت زمین‌لغزش‌ها، به دلیل گرم شدن زمین و فعالیت‌های انسان‌زاد در حال افزایش است [۳].

کرمان یکی از لرزه‌خیزترین استان‌های ایران با زمین‌شناسی متنوع است [۴]. دشت کرمان یک چاله‌ی زمین‌ساختی از نوع فروزمین فشاری است [۵] و به لحاظ زمین‌شناسی به ایران مرکزی تعلق دارد. پلاهای کرمان دارای رشته‌کوه‌هایی با راستای شمال غرب - جنوب شرق و شمالی - جنوبی بوده که با گسل‌های معکوس و امتداد لغز راست‌گرد مرزبندی شده است و این مجموعه ارتفاعات با عرض ۵۰ کیلومتر واقع در ضلع جنوب شرق کرمان، آن را از دشت لوت جدا می‌کند [۶].

وجود قسمتی از هسته‌ی قدیمی شهر کرمان در دامنه‌ها و گسترش مجموعه تفریحی جنگل قائم در دامنه‌ی کوه طاق علی، توجه پژوهشگران را به اهمیت بررسی خطر حرکات دامنه‌ای در این منطقه جلب کرده است. غالب‌ترین نوع زمین‌لغزش در منطقه از نوع ریزش و اکثریت دامنه‌های رو به شهر با توجه به تکتونیزه بودن منطقه، از نوع گسلی هستند. نتایج بررسی زمین‌لغزش‌های القایی زلزله در چهل زلزله‌ی تاریخی جهان نشان می‌دهد که فراوان‌ترین زمین‌لغزش‌های القایی لرزه‌ای از نوع ریزش است [۷] همچنین ریزش‌های کوچک ( $< 100 m^3$ ) غالب‌ترین فرایند در هر پرتگاه هستند. ریزش‌ها فرایندی معمول در مناطق کوهستانی است که وقوع مداوم آن‌ها دامنه‌های تالوسی و تجمعی از قطعه سنگ‌ها در پای دامنه‌های صخره‌ای را می‌سازند. یک ریزش می‌تواند شامل جابه‌جایی یک تا چندین قطعه سنگ باشد و ممکن است با جدا شدن یک بلوک شروع و در طی مسیر بلوک خرد شود و قسمت اعظم انرژی جنبشی مورد نیاز برای قطعات سنگی جدا شده از پرتگاه در اولین برخوردها به تالوس از بین رود [۸]. ضروری‌ترین مرحله در تحلیل خطر ریزش، تعیین محدوده‌ی در معرض خطر در پایین دست ارتفاعات منطقه است. گرچه اندازه‌ی قطعات سنگی جدا شده متفاوت است، ولی برای پیش‌بینی مسافت طی شده ریزش‌های کوچک در مقیاس متوسط (۱:۵۰۰۰۰-۱:۲۵۰۰۰)،



تصویر ۱: منطقه‌ی مسکونی مجاور دامنه‌ها



تصویر ۲: گسل جبلیه در منطقه

آزاد و واژگونی، و ۳. نوع جریان سنگ خشک. بررسی روندهای بنیادی ساختاری در منطقه‌ی غربی لوت و شمال کرمان نمایانگر تلاقی روندهای شمالی - جنوبی (گسل نایبند، گسل گوک، گسل سروستان و گسل‌های شرقی و غربی سبزواران) ناحیه‌ی غربی لوت با روندهای شمال غرب - جنوب شرق به موازات روند عمومی زاگرس (گسل کوهبنان، گسل دریوان، قطعه‌ی جنوب شرقی گسل لکرکوه، گسل حاجیان و گسل رفسنجان) در ناحیه‌ی کرمان است [۱۱]. در منطقه‌ی کوهستانی شهر کرمان فعالیت گسل‌ها و رانندگی‌های منطقه‌ی الگوی کوه و دره را طی زمان‌های مختلف به وجود آورده است. با توجه به نقشه‌ی موقعیت و جهت‌یافتگی روندهای ساختاری منطقه‌ی کرمان و مطالب ذکر شده، ما شاهد روند شمال غرب - جنوب شرق (گسل جبلیه‌ی امتدادلغز با مؤلفه‌ی معکوس) در ارتفاعات شهر کرمان هستیم و بررسی‌ها در مقیاس محلی روند دیگری در راستای شمال شرق - جنوب غرب که در منطقه حضور پررنگ دارد نیز نشان می‌دهد که زارع (۱۳۷۹) هم به وجود این روند در خطواره‌های شمال استان کرمان اشاره کرده است. روند شمال شرق - جنوب غرب در برخورد به راستای اصلی منطقه جمع‌گرا شده و ساختار دم‌اسبی که از نظر میزان خطر زلزله بسیار خطرناک است را ساخته است. ساختار دیگری که به احتمال زیاد در منطقه وجود دارد یک ناودیس است که با بالاراندگی‌های گسلی قطع گردیده است (تصویر ۲). ارزیابی خطر لرزه‌ای با روش‌های تحلیلی (فعالیت گسل‌های واقع در فاصله‌ی ۲۰۰ کیلومتری شهر)، و احتمالاتی از احتمال بیش از ۵۰ درصدی وقوع زلزله تقریباً ۷ ریشتر طی هر ۱۰ سال در شعاعی بیش از ۲۰۰ کیلومتر اطراف شهر، سخن می‌راند [۱۲].

### پهنه‌بندی

از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ دانشمندان زیادی طی تلاش‌های فراوان به تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش، با به نقشه در آوردن پراکنندگی مکانی زمین‌لغزش‌ها در GIS پرداخته‌اند و تلاش آن‌ها اثبات کرد که این‌گونه نقشه‌ها برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌سازان

کارآمد است [۱۳، ۱۴]. نقشه‌ی پهنه‌بندی، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه‌ی خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند و برای بررسی خطر انواع زمین‌لغزش دو نوع نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی خطر زمین‌لغزش تهیه می‌شود.

نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش به‌طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شوند و هدف تحلیل‌های حساسیت، انجام شیوه‌ای آینده‌گرانه برای تعیین پایداری مناطق بدون زمین‌لغزش بر پایه‌ی اطلاعات آماری یا شبیه‌سازی فیزیکی است. در مطالعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها اغلب نقشه‌های حساسیت و خطر همسان در نظر گرفته می‌شوند و این مطلب در مقالات چاپی محققان ایرانی به‌وفور یافت می‌شود، درحالی‌که تفاوت‌های مهمی بین این دو مفهوم وجود دارد. مفهوم خطر دربرگیرنده، ارزیابی احتمال (برای مثال احتمال تجاوز در برابر دوره‌ی برگشت) و شدت حرکات دامنه‌ای از لحاظ اندازه، سرعت و امکان هشدار است. این در حالی است که نقشه‌ی حساسیت، حاوی اطلاعاتی در مورد منشأ زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌های تجمع آن‌ها است [۱۵]. نقشه‌ی حساسیت برای تحلیل حرکات دامنه‌ای که در یک دوره‌ی زمانی اتفاق افتاده، کارایی دارد، ولی برای تحلیل‌های احتمالی برای پیش‌بینی زمان

رخداد حوادث مختلف ناکارآمد است [۹]. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های شامل زمین‌لغزش‌هایی می‌شود که یا منشأ آن‌ها در منطقه قرار دارد و یا اینکه به داخل منطقه حرکت کرده‌اند [۱۶].

تفاوت بین آنالیزهای حساسیت و خطر زمین‌لغزش شامل احتمال زمانی، احتمال مکانی و اندازه‌ی زمین‌لغزش است که در نقشه‌های خطر به آن‌ها پرداخته می‌شود. در این مطالعه ابتدا اقدام به شناسایی عوامل مؤثر در بروز ریزش شده و سپس با دو روش ابتکاری و اطلاعات محور سعی گردید تا با تعیین میزان اهمیت هرکدام از عوامل در منطقه، نقشه‌ی حساسیت ریزش‌ها به منزله‌ی غالب‌ترین نوع حرکت دامنه‌ای در کوه‌های طاق علی تهیه شود.

### پهنه‌بندی حساسیت ریزش‌های سنگی

#### • روش ابتکاری و دانش‌محور ارزیابی چند معیاره

در این روش‌ها نظر کارشناس نقش اصلی را بازی می‌کند که دلیل بر نام‌گذاری آن‌ها به روش‌های دانش‌محور است. طی سالیان گذشته کارشناسان درجه‌ی اهمیت نسبی عوامل متنوع و مؤثر را با نقشه‌برداری حرکات توده‌ای و محیط ژئومورفولوژیکی آن‌ها در مناطق مختلف بررسی و شناسایی کرده‌اند. لذا می‌توان با بهره‌گیری از این دانش، نقشه‌ی پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای را به‌طور غیرمستقیم از ترکیب نقشه‌ی عوامل مؤثر در مناطق دیگر ساخت. این روش کیفی به‌طور گسترده‌ای در پهنه‌بندی ناپایداری شیب در تمام مقیاس‌های بزرگ، متوسط و منطقه‌ای استفاده می‌شود. اشکال این روش دقیق نبودن وزن عوامل است [۱۵، ۱۶] لذا باید این روش با دانش وسیع از منطقه‌ی مورد مطالعه و توسط کارشناس حرفه‌ای انجام پذیرد. امروزه برای بهره‌برداری از دانش کارشناسی روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود و روش ارزیابی چندمعیاره‌ی AHP یکی از معمول‌ترین این روش‌ها در سنجش معیارهای کیفی و توصیفی برای کاربردهای کمی و تصمیم‌گیری است [۱۸].

در این مرحله پرسشنامه‌ی AHP عوامل مؤثر بر ریزش‌ها در منطقه تهیه و توسط کارشناسان خبره در این زمینه میزان اهمیت عوامل و کلاس‌های مربوط امتیازدهی گردید و بعد از میانگین‌گیری هندسی، وزن عوامل مشخص و نقشه‌ی نهایی ترسیم شد. یک جزء اصلی از ارزیابی حساسیت ریزش‌ها بررسی اثربخشی نقشه‌ی حساسیت ریزش تولید شده است. از داده‌های ریزش‌های اتفاق افتاده در منطقه برای تعیین اعتبار نتایج روش ابتکاری استفاده شد و دو قانون تصمیم‌گیری برای ارزیابی کیفیت نقشه در نظر گرفته شده که عبارتند از:

۱. اکثریت ریزش‌ها باید در مناطق با کلاس حساسیت بالا قرار گیرند.

۲. این کلاس‌های با حساسیت بالا بهتر است مناطق با مساحت کم را در بر گیرند.

برای اعتبارسنجی از شاخص نسبی تراکم (R) (رابطه‌ی ۱) استفاده گردیده است.

[۱۳]:

$$R = \left( \frac{\sum Ni}{Nt} \right) \times 100 \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

Ni: مجموع پیکسل‌های ریزشی در سطح پهنه‌ی خطر؛  
Nt: مجموع پیکسل‌های سطح پهنه‌ی خطر

### عوامل مؤثر بر ریزش‌های منطقه

#### ژئومورفولوژی

ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی ناپایداری دامنه برای شناسایی طبیعت و ریزش‌های گذشته، راهنمایی برای تشخیص رفتار زمین هستند. در منطقه‌ی مورد مطالعه پارامترهای شیب، ارتفاع، جهت شیب و انواع دامنه‌ها به کار گرفته شدند (تصویر ۵).

#### - شیب و ارتفاع دامنه

بر اثر افزایش شیب و ارتفاع، نیروهای رانشی افزایش می‌یابند. در منطقه سه عامل تغییر ارتفاع و شیب شامل فرسایش لایه‌ی سست زیری، گسل‌ها و ریزش دامنه‌های سنگی است. ریزش‌ها اغلب در شیب‌های تند اتفاق می‌افتند، زیرا همواره با افزایش شیب دامنه، تنش برشی و به تبع آن پتانسیل ناپایداری شیب افزایش می‌یابد [۲۰، ۲۱] (تصویر ۵).

#### - جهت شیب

جهت شیب از جمله عوامل ذاتی است که به‌طور غیرمستقیم منعکس‌کننده‌ی تأثیر لایه‌هایی مانند پوشش گیاهی، رطوبت و غیره است. میزان اهمیت این عامل را می‌توان در بررسی‌های محققان مشاهده کرد. این عامل مطمئناً در پیدایش انواع ریزش‌ها در منطقه نقش داشته است، بدین صورت که دامنه‌های رو به سایه شامل دامنه‌های غربی و شمال غربی با حفظ رطوبت بیشتر، بالاترین درصد ریزش‌ها را دارند [۱۹، ۲۰، ۲۲]. همچنین اغلب اشکال انحلالی موجود در ارتفاعات منطقه در این جهت‌های جغرافیایی منطقه شکل گرفته‌اند (تصویر ۵).

#### - انواع دامنه‌ها

دامنه‌های منطقه سه نوع هستند که عبارتند از پرتگاه‌های گسلی (تصویر ۳)، دامنه‌های فرسایشی که در آن‌ها جهت شیب دامنه با شیب لایه‌بندی برخلاف یکدیگرند و دامنه‌های لایه‌ای که در آن‌ها شیب لایه‌ها با شیب دامنه هم جهت هستند. دامنه‌های منطقه از جنبه‌ی نوع مواد سازنده سنگی و واریزه‌ای است که دامنه‌های واریزه‌ای با ضخامت کم در حد چند متر بر روی بستری سنگی قرار گرفته و با وجود قطعات سنگی بزرگ بر روی این سطوح میزان ناپایداری این دامنه‌ها دوچندان شده است، البته قسمت ضخیم دامنه‌های واریزه‌ای جنگل‌کاری شده و دارای شیب ملایم است (تصویر ۵).

#### ناپوستگی‌های ساختاری

هدف از انتخاب این عامل بررسی تأثیر گسل و درزه در خردشدگی لایه‌های زمین‌شناسی است و جهت دستیابی به این منظور عامل تراکم نتیجه‌ی منطقی‌تری از فاصله تا گسل ارائه می‌نماید [۲۳].

#### - تراکم گسل و درزه





تصویر ۳: دامنه‌ی سطح گسلی در منطقه



تصویر ۴: درزه‌های منطقه

دامنه برای ایجاد راه تفریحی آسفالته بریده شده و فرار گرفتن پشت به خورشید باعث افزایش رطوبت خاک در این دامنه‌ها گشته است (تصویر ۵).

#### • روش اطلاعات محور آماری دو متغیره

با استفاده از روش‌های آماری می‌توان عوامل مؤثر بر وقوع و فراوانی ریزش‌ها را شناسایی کرده و به این ترتیب پیش‌بینی‌های کمی برای مناطق خالی از ریزش ولی با شرایط مشابه گذشته انجام داد، روش‌های آماری برای مقیاس متوسط ۱:۲۵۰۰۰-۱:۵۰۰۰۰ مناسب‌اند [۱۶]. برای منطقه روش آماری نسبت فراوانی به کار گرفته شده است و ۶ عامل مؤثر به کار رفته، مشابه روش آنالیز چندمعیاره‌ی مکانی، برگرفته از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، با نقشه‌ی پراکندگی ریزش‌ها ترکیب گردید و مقادیر وزنی بر اساس تراکم ریزش‌ها برای هر کلاس هر عامل محاسبه شد. در انتها برای اعتبارسنجی نقشه‌ی حاصله از شاخص نسبی تراکم (R)، از ریزش‌هایی که در محاسبات روش نسبت فراوانی در نظر گرفته نشدند، استفاده گردید.

در روش نسبت فراوانی مقادیر بر پایه‌ی آنالیز همبستگی بین ریزش‌های موجود و عوامل تأثیرگذار بر ریزش‌ها محاسبه می‌شوند

با توجه به تأثیر اندک عوامل فرسایشی، سطوح گسلی تازه است، بنابراین سیستم گسلی منطقه جوان است و همان‌طور که ذکر شد دارای دو روند شمال غرب - جنوب شرق و شمال شرق - جنوب غرب بوده و به علت تراکم زیاد گسل در منطقه و نتیجه‌ی عملکرد زمانی مختلف آن‌ها، دسته‌های درزه‌ای اغلب یکدیگر را قطع کرده و شبکه‌های نامنظم ایجاد کرده‌اند (تصویر ۴) و علاوه بر آن‌ها لایه‌بندی چینه‌شناسی نیز در ناپایداری دامنه‌ها تأثیر گذاشته است و لایه‌های دارای ضخامت کم در تلفیق با پهنه‌های گسلی، شبکه‌ای از شکستگی‌ها را در نواحی از منطقه به وجود آورده‌اند (تصویر ۵). همچنین از پدیده‌های تکتونیک قابل مشاهده در منطقه، ریزش گوه‌ای ناشی از تلاقی دو دسته ناپیوستگی است. در ارتفاعات مجاور تخت دریا قلی بیگ شاهد تلاقی سیستم‌های گسلی با راستای NE و NW هستیم، به طوری که می‌توان شواهد پایین افتادن قطعه‌ای در سطوح مسطح ارتفاعات (مسا) را دید.

#### دخالت‌های انسان

#### دستکاری دامنه

ساخت جاده به منزله‌ی یک عارضه‌ی خطی تأثیرگذار سبب افزایش وقوع انواع زمین‌لغزش می‌شود [۲۲]. در محدوده‌ای از دامنه‌ی سطح گسلی منطقه، طی فعالیت‌های انسانی قسمتی از

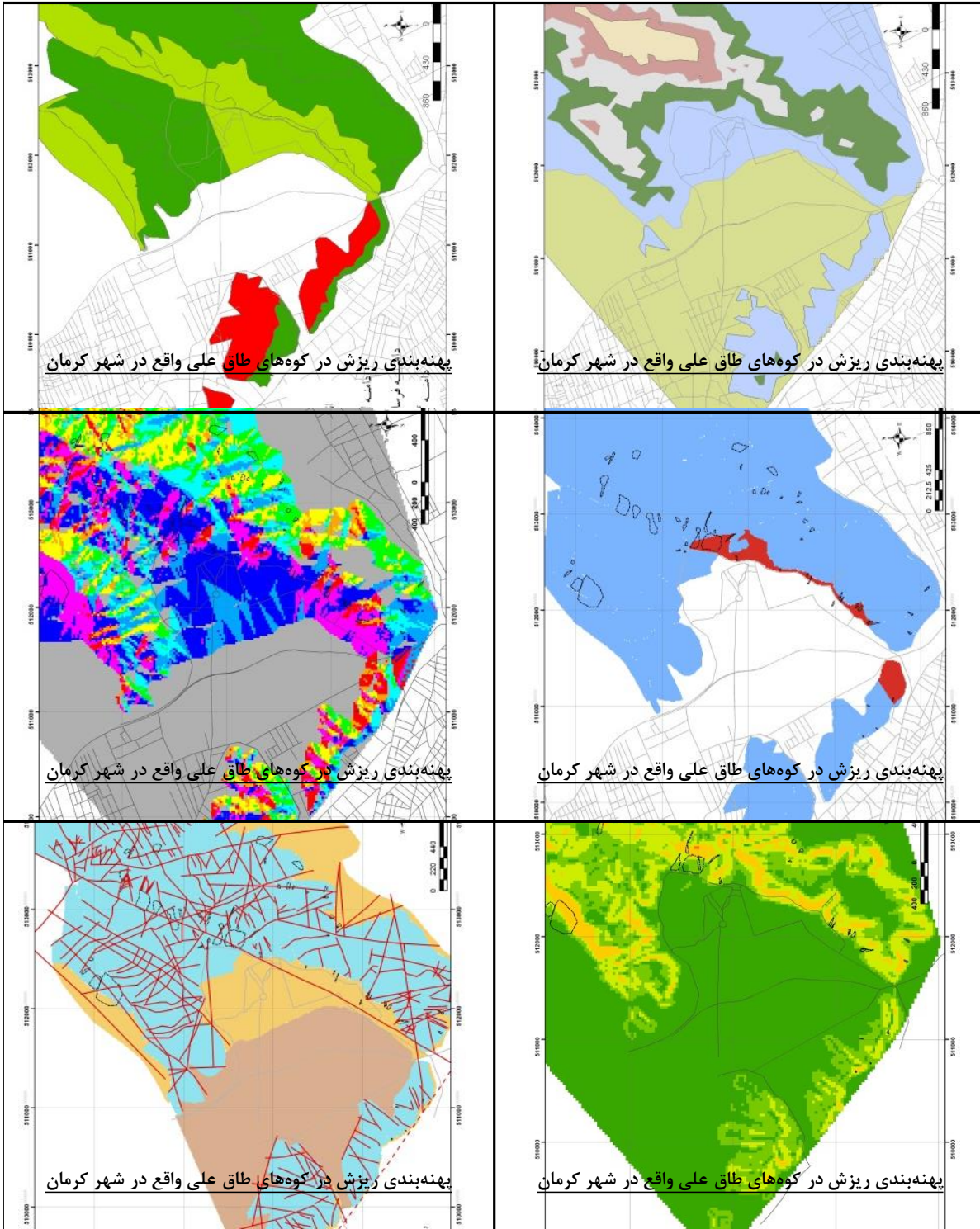
(رابطه‌ی ۲)، [۲۴]. روش نسبت فراوانی، نسبت احتمال شرطی نیز نامیده می‌شود.  
 رابطه‌ی ۲:  

$$Fr = \% \text{ } \text{ } A \% \text{ } \text{ } B$$

A: پیکسل‌های ریزشی؛ B: پیکسل‌های غیرریزشی

### نقشه‌ی مسیر طی شده (Run-out Map)

انواع روش‌هایی که از مجموعه اطلاعات زمین‌لغزه‌های موجود، برای پهنه‌بندی استفاده می‌کنند در واقع شاخص‌هایی را ایجاد می‌کنند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مربوط به قابلیت حرکت زمین‌لغزه‌ها هستند [۲۵]. لذا این روش‌ها منتج به ساخت نقشه‌های مسیر طی شده‌ی مواد در منطقه می‌شوند.



تصویر ۵: نقشه‌ی عوامل مؤثر بر ریزش‌ها در منطقه



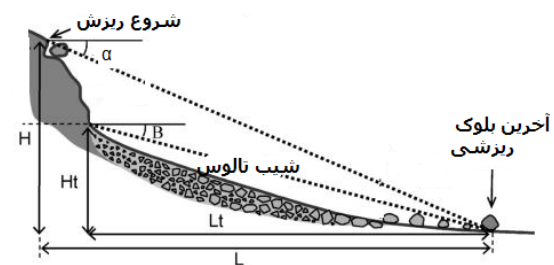
نقشه‌ی حاصل از روش آماری دربرگیرنده‌ی اکثریت پهنه‌های ریزشی منطقه است. اما با ورود شهر به دامنه‌های کوه طاق علی، طبیعت دامنه‌ها به هم ریخته و لذا نقشه‌ی حاصل از روش آماری نسبت فراوانی، در منطقه برای نشان دادن وسعت واقعی میزان حساسیت منطقه، نسبت به خطر، کامل نیست. از این رو برای پیش‌بینی مسافت طی شده توسط ریزش‌ها از مدل‌های طراحی شده استفاده گردید که این مدل‌های جهانی بر پایه‌ی مطالعات و مشاهدات میدانی و ایجاد همبستگی بین پارامترهای ریزش، مسیر و مسافت طی شده‌ی مواد ریزشی ایجاد گردیده‌اند.

### مدل‌های تجربی برای تخمین مسافت طی شده‌ی مواد ریزشی

به طور معمول در مناطق مختلف می‌توان با استفاده از روش ژئومورفولوژی، مرز پایینی این مسافت را با ترسیم خطی که دورترین قطعات ریزشی از ریزش‌های گذشته را به هم وصل می‌کند، ترسیم کرد [۲۶] در صورت به هم ریختگی در منطقه می‌توان این مسافت را برای پیش‌بینی‌های آتی با استفاده از مدل‌های جهانی موجود تخمین زد. یکی از انواع مدل‌ها، مدل تجربی است که بر پایه‌ی تحلیل آماری داده‌های مورد نیاز در منطقه است. مدل‌های تجربی بر اساس فرضیات ساده‌شده‌ی ریزش‌ها در سناریوهای مختلف بوده و بنابراین دارای خطاهایی است که برای منطقه‌ای بزرگ در یک مقیاس متوسط قابل قبول است. مزیت اصلی مدل تجربی، سادگی و قابلیت اجرا با GIS برای ترسیم وسعت گسیختگی بالقوه‌ی دامنه، برای پهنه‌بندی حساسیت ریزش‌ها است [۲۷، ۲۸].

در این مطالعه از دو مدل تجربی متداول جهانی برای تخمین مسافت طی شده‌ی ریزش‌ها بر پایه‌ی روش‌های هندسی «زاویه‌ی رسیدن» [۲۹] و «زاویه‌ی سایه» [۸] استفاده گردید (تصویر ۶). روش زاویه‌ی رسیدن برای اولین بار توسط هیم<sup>۲</sup> (۱۹۳۲) معرفی شد و عبارت است از زاویه‌ی اتصال دهنده‌ی خطی که تاج<sup>۳</sup> ریزش را به دورترین مواد (ریزشی) جابه‌جا شده، متصل می‌کند. یکی از مزایای این روش دوری از خطاهای ناشی از شرایط ناهمگن (در سنگ شناسی، مورفولوژی دامنه، ارتفاع سقوط و غیره) در منطقه است. البته واقعیت در طبیعت پیچیده‌تر است از آنچه که در این روش در نظر گرفته می‌شود.

پیش‌بینی مسافت طی شده با استفاده از مفهوم زاویه‌ی رسیدن، نیازمند شناسایی و به نقشه در آوردن شیب‌های سنگی



تصویر ۶: زاویه‌ی رسیدن؛  $\beta$ : زاویه‌ی سایه [۲۶]

مستعد گسیختن است، لذا منابع تأمین‌کننده‌ی ریزش‌ها، پرتگاه‌ها و تراکم شبکه‌ی درزه‌ای و گسلی در نظر گرفته شده است. در ادامه برای تخمین زاویه‌ی رسیدن ( $\alpha$ )، با توجه به غیرقابل پیش‌بینی بودن حجم مواد ریزشی دامنه‌ها در منطقه، از فرمول دماس (۱۹۹۴) استفاده گردید. دماس زاویه‌ی رسیدن را از زاویه‌ی ( $\phi$ ) که از امتداد خط اتصال دهنده‌ی منشأ ریزش تا پاشنه تالوس تخمین زده می‌شود، در سه دسته اختلاف ارتفاع سقوط ( $H$ ) محاسبه کرده است [۲۹].

رابطه‌ی ۳:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,909 & -8\phi < H < 200\text{m} \\ \alpha &= 0.875\phi - 3.7 & 200 < H < 300\text{m} \\ \alpha &= 0.842\phi - 0.7 & H > 300\text{m} \end{aligned}$$

روش دیگر زاویه‌ی سایه است. به محدودی پشت پاشنه یک تالوس که تخته سنگ‌ها تا آنجا پرتاب شده یا غلتیدند، سایه‌ی ریزش<sup>۴</sup> می‌گویند. این زاویه با اتصال خطی بین نوک تالوس به دورترین بلوک ریزشی در تالوس به دست می‌آید. زاویه‌ی سایه به ارتفاع تالوس ( $H_t$ ) بستگی دارد و با رابطه‌ی ۴ قابل اندازه‌گیری است [۸].

رابطه‌ی ۴:

$$\beta = 0/562 H_t + 13/7^\circ$$

از نتایج محاسبات، زوایای سایه‌ی ۲۷ تا ۴۰ درجه به عنوان مرز دربرگیرنده‌ی منابع تأمین‌کننده‌ی مواد ریزشی شناسایی شدند. بعد از محاسبه‌ی زوایای رسیدن و سایه برای تخمین مسافت طی شده از تانژانت این زوایا که محصول نسبت ارتفاع سقوط<sup>۵</sup> به مسافت طی شده ( $H/L$  and  $H_t/L_t$ ) است، استفاده گردید.

### بحث و نتایج

فرایندهای موجود در دامنه‌های کوه‌های طاق علی اغلب شامل تالوس‌ها (در پای پرتگاه‌های بلند واقع در نوک دامنه‌ها)، لغزش‌های سنگی کوچک با مسیر طی شده‌ی کوتاه (با توجه به شکل متوازی‌الاضلاع و حجم کم قطعه‌سنگ‌ها) و ریزش‌های سنگی با مسیرهای طی شده‌ی چندصد متری است که ریزش نوع آخر خطرناک‌ترین و فراوان‌ترین فرایند در منطقه است و حجم قطعه‌سنگ‌های ریزشی در منطقه از کمتر از ۱ متر مکعب تا حدود ۷ متر مکعب است. لذا با در نظر گرفتن حداکثر جابه‌جایی، به شبیه‌سازی مرز رسیدن این ریزش‌ها پرداخته‌ایم.

از دو روش برای پهنه‌بندی در منطقه استفاده گردید. در روش ارزیابی چندمعیاره، شاخص نسبی تراکم ریزش ( $R$ )، (تصویر ۷) دارای روند صعودی نیست، در واقع باید با کاهش وسعت پهنه‌های با حساسیت بالاتر و افزایش درصد ریزش‌ها یک روند صعودی شکل گیرد، ولی تراکم پایین ریزش‌ها در پهنه‌ی خطر بسیار زیاد در منطقه، با توجه به ویژگی تک‌توزیه‌ی منطقه، پرتگاه‌های گسلی و همچنین ارزیابی عوامل مؤثر نشان دهنده‌ی این است که این پهنه دربرگیرنده‌ی منشأ ریزش‌ها بوده و تجمع ریزش‌ها در این قسمت کمتر است.

نقشه‌ی حاصل از روش آماری دربرگیرنده‌ی اکثریت پهنه‌های ریزشی منطقه است و نتایج به دست آمده از وزن‌دهی عوامل

جدول ۱: وزن دهی عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌ها با روش AHP

عامل	کلاس	AHP	نسبت فراوانی	عامل	کلاس	AHP	نسبت فراوانی
انواع دامنه	گسلی	۰.۴۰۷	۳.۰۵	دستکاری	بیش از ۴۰	۰.۱۸۸	۰.۵۷
	لایه‌ای	۰.۴۲۷	۰.۰۱		دستکاری شده	۰.۸۸	۸.۲۳
	فرسایشی	۰.۳۶	۰.۳۶		بدون دستکاری	۰.۱۲	۰.۸۱
گسل	۱	۰.۲۱۰	۰.۲۵	جهت شیب	شمال	۰.۲۸۲	۰.۷۰
	۲	۰.۲۳۳	۰.۴۸		شمال شرق	۰.۱۲۸	۰.۱۳
	۳	۰.۲۶۳	۱.۱۳		شمال غرب	۰.۱۶۱	۳.۷۵
	۴	۰.۲۹۴	۲.۰۷		غرب	۰.۱۹۳	۱.۵۴
	۱۵-۰	۰.۱۴۶	۰.۷۱		شرق	۰.۰۸۸	۰.۱۱
	۳۰-۱۵	۰.۱۵۴	۲.۹۴		جنوب شرق	۰.۰۵۷	۰.۷۱
	۴۵-۳۰	۰.۱۵۳	۰.۵۱		جنوب غرب	۰.۰۴۹	۰.۲۹
ارتفاع	۶۰-۴۵	۰.۱۷۱	۱.۲۰	جنوب	۰.۰۴۳	۰.۳۲	
	۷۵-۶۰	۰.۱۸۷	۰.۴۰				
	۹۰-۷۵	۰.۱۹۰	۱.۰۲				
		۰.۱۴۲	۰				
		۰.۱۳۹	۱.۰۸				

مسافت را تخمین بزنند به بررسی دقیق‌تر منطقه برای یافتن خط ژئومورفولوژیکی اقدام گردید. برای ارزیابی دقت پیش‌بینی مرزهای رسیدن می‌توان از خط ژئومورفولوژیکی ریزش‌ها که خطی است، شامل دورترین قطعات ریزشی در پاشنه تالوس، استفاده کرد و اگر شرایط تأثیرگذار بر مسیر حرکت ریزش‌ها (مانند اندازه‌ی ریزش، حجم ریزش، زبری شیب و پوشش جنگلی) ثابت فرض شود این خط را می‌تواند به عنوان مرز بیشترین مسافت‌هایی که ریزش‌های آینده طی می‌کنند، به کار برد [۲۶]. طی بازدیدها در کل منطقه فقط چند قطعه سنگ فرسایش یافته، که می‌توانند دلیلی بر عدم دخالت انسان در جابه‌جایی آن‌ها باشند، یافت گردید که از آن‌ها برای ارزیابی نتایج حاصل از زوایای رسیدن استفاده شد. با بررسی نتایج حاصل، مسافت تخمینی ناشی از زاویه‌ی رسیدن ۴۰ درجه، انطباق خوبی با فاصله‌ی قطعات فرسایشی داشت و بدین جهت از این زاویه در کل منطقه استفاده گردید (تصویر ۸). در نهایت خط بیشترین مسیر طی شده (MRL) در منطقه با توجه به یکنواخت بودن دامنه‌ها و منشأ ریزش‌ها ترسیم گردید. با توجه به این مطلب که تمامی نقاط مابین منشأ ریزش‌ها و MRL با درجات احتمالی مختلف نسبت به ریزش‌ها حساس‌اند، به‌طوری‌که نقاط مرتفع‌تر بیشتر در معرض برخورد قطعات سنگی‌اند، پهنه‌های بعدی مشخص گردیدند (تصویر ۹):

۱. محدوده‌ی منشأ ریزش‌ها: این پهنه به‌منزله‌ی پهنه‌ی با حساسیت زیاد معرفی می‌شود و پیشنهاد می‌گردد که مورد استفاده قرار نگیرد. این پهنه با شیب بیش از ۴۵ درجه قابل شناسایی است و دربرگیرنده‌ی منبع ریزش‌ها است و علاوه بر خطر برخورد سنگ، ناپایدار است [۹].
۲. پهنه‌ی بین حد پایین محدوده‌ی منشأ و MRL: این پهنه حساس به رسیدن قطعات سنگی و همچنین جهش آن‌ها در

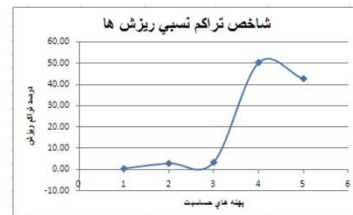
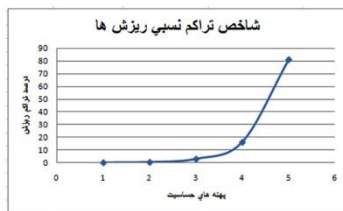
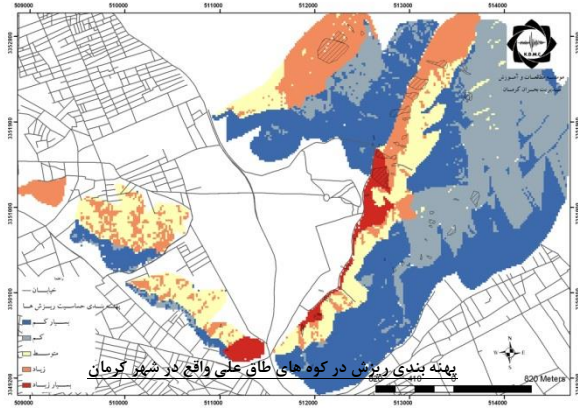
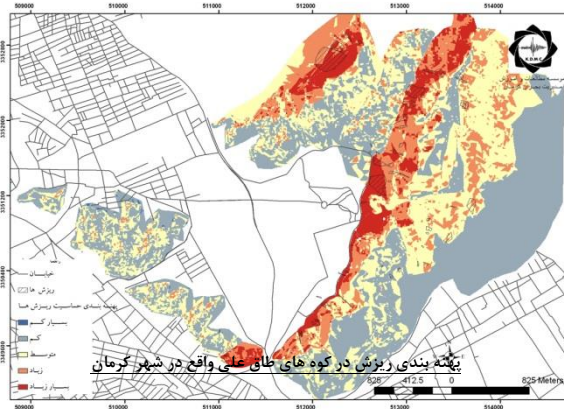
(جدول ۱، تصویر ۷) برخی از مباحث تئوریک اثرات عوامل را نقض می‌کنند، این نقشه اطلاعات مسیرهای ریزش را نیز در بر گرفته است. بیشترین فراوانی ریزش‌های منطقه به ترتیب در جهت‌های شمال غرب و غرب دیده می‌شوند. شیب‌های ۱۵-۳۰ درجه، حساس‌ترین شیب‌ها در منطقه بوده‌اند و بعد از آن شیب‌های ۴۵-۶۰ و سپس ۷۵-۹۰ شاهد ریزش‌های بیشتری هستند.

### بررسی دقت مرزهای پیش‌بینی شده‌ی رسیدن ریزش‌ها

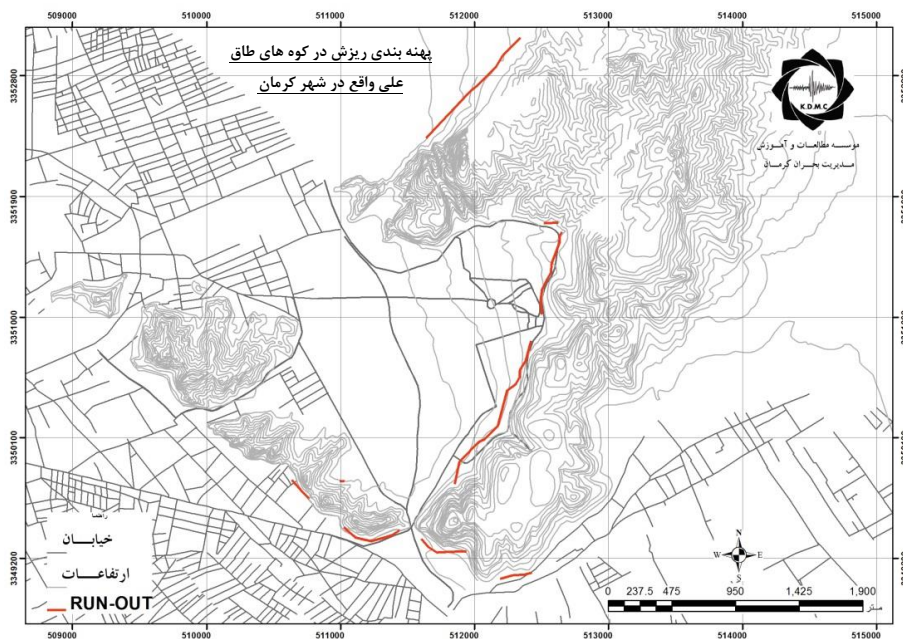
تالوس‌های منطقه اغلب نابالغ بوده و البته یافتن منبع ریزش‌ها و سنگ‌های ریزشی مختص آن‌ها، کار بسیار مشکلی است و همچنین در برخی مناطق با پهنه‌ای از قطعات ریزشی مواجهیم. دورترین قطعات ریزشی با توجه به ساخته شدن جاده‌ی تفریحی که منجر به بریدن تالوس‌ها و پاکسازی شده، به راحتی قابل شناسایی نیستند، لذا جاده‌ی تفریحی به‌منزله‌ی دورترین نقطه‌ی تالوس برای تخمین مسافت طی شده در نظر گرفته شد.

بعد از شبیه‌سازی، مقایسه‌ی دو نقشه‌ی حاصل از مدل‌های زاویه‌ی رسیدن و زاویه‌ی سایه نشان می‌دهد که مسافت‌های پیش‌بینی شده با استفاده از زاویه‌ی رسیدن نسبت به نتایج زاویه‌ی سایه، طولانی‌تر هستند. مرزهای رسیدن حاصل از زاویه‌ی سایه اغلب در انتهای آخرین قطعه سنگی که در روی زمین مشاهده شده است قرار می‌گیرند و در برخی موارد مسافتی کمتر از مسافت طی شده توسط قطعه سنگ‌ها را نشان می‌دهد که این می‌تواند حاکی از دخالت عوامل دیگری مانند زلزله و یا بارندگی‌های شدید در شکل‌گیری این تالوس‌ها در منطقه باشد. در نتیجه مدل زاویه‌ی رسیدن برای پیش‌بینی در منطقه مناسب‌تر است. در مرحله‌ی بعد برای انتخاب زاویه‌ای که واقعی‌ترین





تصویر ۷: نقشه‌ی پهنه‌بندی با روش ارزیابی چندمعیاره‌ی مکانی (سمت راست)، نقشه‌ی پهنه‌بندی با روش نسبت فراوانی (سمت چپ)



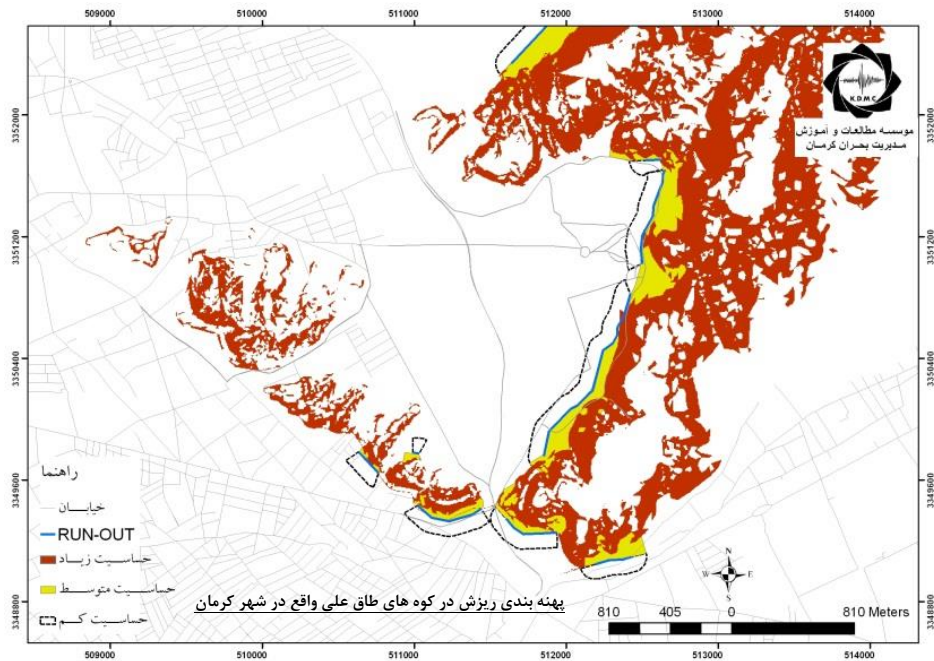
تصویر ۸: نقشه‌ی Run-Out

در بازدیدهای منطقه می‌توان قطعه سنگ‌های معلق در برخی ارتفاعات را مشاهده کرد که به علت اختلاف ارتفاع زیاد سقوط این قطعات بسیار مخرب و ویرانگر خواهد بود و لذا باید با تمهیداتی مانند بتن‌ریزی گامی در راستای کاهش خطر برداشت، راهبردهای برنامه‌ریزی و مدیریت به نوع سانحه بستگی دارد. در هر شرایطی، بهترین راهبرد همانا اجتناب یا به عبارتی شناخت مناطقی است که سانحه‌خیزند و نپرداختن به ساخت و ساز در آن محل‌ها است. گزینه‌ی دیگر، جابه‌جایی یعنی انتقال ساخت و ساز به خارج از منطقه‌ی سانحه‌خیز است. با این حال، معمول‌ترین راهبرد، گونه‌ای تخفیف یا کاهش تأثیرات زیان بار سانحه به وسیله‌ی

بخش‌های مرتفع‌تر است و با درجه حساسیت متوسط در نظر گرفته می‌شود. باید این محدوده با حصارهای تثبیت پرتگاه و حصارهای دولا و یا گودال‌های ذخیره سنگ ایمن شود [۹].

۳. پهنه‌ی ایمن: بعد از MRL بافر ۱۰۰ متری ایجاد می‌گردد. در این پهنه کاربری‌ها با داشتن حصار معمولی احداث می‌شوند. این پهنه به نام پهنه‌ی با درجه‌ی حساسیت کم به کار گرفته می‌شود.

۴. پهنه‌ی بدون حساسیت: بدون هیچ کار حفاظتی قابل استفاده است.



تصویر ۹: نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت ریزش‌ها در کوه‌های طاق علی

در مرحله‌ی بعد برای انتخاب زاویه‌ای که واقعی‌ترین مسافت را تخمین بزند به بررسی دقیق‌تر منطقه برای یافتن خط ژئومورفولوژیکی اقدام گردید. طی بازدیدها در کل منطقه فقط چند قطعه سنگ فرسایش یافته که می‌توانند دلیلی بر عدم دخالت انسان در جابه‌جایی آن‌ها باشند، یافت گردید که از آن‌ها برای ارزیابی نتایج حاصل از زوایای رسیدن استفاده شد، با بررسی نتایج حاصل، مسافت تخمینی ناشی از زاویه‌ی رسیدن ۴۰ درجه، انطباق خوبی با فاصله‌ی قطعات فرسایشی داشت و بدین جهت از این زاویه در کل منطقه استفاده گردید و در نقشه‌ی پهنه‌بندی نهایی، جاده‌های تفریحی حاشیه‌ی دامنه در معرض خطر متوسط و مسیرهای کوهنوردی واقع در محدوده‌ی منشأ ریزش‌ها، در معرض خطر زیاد شناسایی شدند.

#### پی‌نوشت

1. Run-out distance
2. Heim
3. crown
4. Rock fall Shadow
5. Vertical Drop
6. Predicted Reach Boundaries
7. Reach Boundaries

#### منابع

۱. حائری، س. م.؛ حاجی علیلو، م. (۱۳۸۴). ریزش پهنه‌بندی لرزه‌ای و تهیه‌ی طیف طراحی برای شهرهای بزرگ (شهر تبریز). تهران، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی).
۲. مرادی، م.؛ مافی، م. (۱۳۸۵). بررسی پراکنندگی زمین لغزش‌های شهرستان زرنند پس از زلزله ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوتیه، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
3. Van Asch Th.W.J., Malet J.-P., van Beek L.P.H., Techniques D., (2007). Advances, Problems and Issues in

روش‌های مهندسی است که این راهبرد برای شرایط کوه‌های طاق علی و تپه‌های قلعه دختر کاربردی‌تر است و می‌توان با تثبیت دامنه‌ها، از منطقه استفاده‌ی بهینه برد.

#### نتیجه‌گیری

گسترش شهر در پای دامنه‌های کوه طاق علی ما را بر آن داشت تا به بررسی بارزترین خطر در این دامنه‌ها یعنی ریزش بپردازیم. در این بررسی آمار و وسعت ریزش‌های گذشته در روش‌های آماری دومتغیره و AHP به کار گرفته شدند و مناطق مستعد و پراکنده در منطقه شناسایی گردید. عوامل مؤثر بر ریزش‌ها در منطقه توسط کارشناسان خبره در سه مبحث ژئومورفولوژی، ناپیوستگی ساختمانی و دخالت‌های انسانی بررسی شدند که شامل شیب و ارتفاع دامنه، جهت شیب، انواع دامنه، تراکم درزه و گسل و دستکاری دامنه است.

طبق نتایج به دست آمده بیشترین فراوانی ریزش‌های منطقه در دامنه‌های گسلی، جهت‌های شمال غرب و غرب و شیب‌های ۱۵-۳۰ درجه دیده شدند.

آنچه که مد نظر محققان این مطالعه بوده است، شناسایی و تخمین دورترین فاصله‌ای است که قطعات ریزشی طی خواهند کرد که نقشه‌ی حاصل از روش آماری در برگیرنده‌ی اکثریت پهنه‌های ریزشی و همچنین دربرگیرنده‌ی مناطقی است که مسیر عبور ریزش‌ها بوده‌اند، اما دورترین قطعات ریزشی با توجه به ساخته شدن جاده‌ی تفریحی که منجر به بریدن تالوس‌ها و پاکسازی شده، به راحتی قابل شناسایی نیستند، لذا این نقشه نتوانست اطلاعات کامل را در اختیار بگذارد، پس برای تکمیل نقشه‌ی حساسیت منطقه از رابطه‌ی تجربی زاویه‌ی رسیدن (Reach Angle) برای تخمین بیشترین فاصله‌ای که قطعات ریزشی ممکن است طی کنند استفاده گردید.



16. Van Westen C.J., Alkema D., Damen M.C.J., Kerle N., Kingma N.C., (2011). *Multi-hazard risk assessment Distance Education Course Guide book*, United Nations University – ITC School on Disaster Geoinformation Management (UNU-ITC DGIM).
17. AGSO (2001). *Natural hazards and risk they pose to South-East Queensland*. AGSO-Geoscience Australia, 389 P.
18. Moradi M., Bazayr M. H., Mohammadi Z. (2012). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6715-6723.
۱۹. اجل لونیان ر، میرصانعی ر، فاتحی ل. (۱۳۹۲). شناخت و تحلیل کاربردی زمین لغزش.
۲۰. رهنماد، ج؛ یادگارزائی م. ح؛ کنگی، ع. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه اسکال آباد خاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه‌ی زمین لغزش کاربردی*، سال ۶، شماره ۴، ۲۵۷-۲۷۷.
21. Intarawichian N., Dasananda S. (2010). *Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping in Lowwer Mae Chaem Watershed*, Northern Thailand, Suranaree J. Sci. Technol. 17(3), 277-292.
۲۲. حیاتی ا؛ مجنونیان ب؛ عبدی ا؛ دسترنج ع؛ نظری سامانی. ع. ا. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به منظور استفاده‌ی کاربردی در طراحی شبکه‌ی جاده‌ی جنگلی. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۵، شماره ۱، ۱۹-۳۲.
۲۳. رجیبی ع. م؛ مهدوی فر، م. ر؛ خامه چیان م. (۱۳۹۱). کاربرد مدل نسبت فراوانی در پیش بینی لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل. *فصلنامه‌ی زمین شناسی ایران*، سال ششم، شماره ۲۱، ۳-۱۳.
24. Bui D. T., Pradhan B., Lofman O., Revhaug I., Dick O. B., (2012). *Landslide Susceptibility Assessment at Hoa Binh Province of Vietnam Using Frequency Ratio Model*. Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology Advances in Biomedical Engineering, Vol.6.
25. Hunger O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (2005). *Landslide Risk Management*, Taylor & Francis Groupe, London, ISBN 04 1538 043 X.
26. Copons R., Vilaplana J. M., Linares R. (2009). Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Sol'a d'Andorra la Vella, Central Pyrenees). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol 9, 2107-2118.
27. Michael-Leiba, M., Baynes, F., Scott, G., Granger, K. (2003). Regional landslide risk to the Cairns community. *Natural Hazards*, Volume 30, Number 2, October 2003, pp. 233-249(17).
28. Ayala, F.J., Cubillo, S., Álvarez, A., Domínguez, M.J., Laín, L., Laín, R. & Ortíz, G. (2003). Large Scale Rockfall Reach Susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) Performed with GIS and Dynamic Analysis at 1:5,000. *Natural Hazards*, vol. 30, pp 325-340.
29. Domaas, U. (1994). *Geometrical Methods of Calculating Rockfall Range*, Norwegian Geotechnical Institute, Report 585910-1, 21 pp.
- Numerical Modelling of Landslide Hazard, Amitrano. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 178(2), 6-35.
4. Hassanzadeh. R., Zorica Nedovic-Budic., Alavi Razi. A., Norouzzadeh. M., Hodhodkian. H., (2013). Interactive approach for GIS-based earthquake scenario development and resource estimation (Karmania hazard model). *Computers & Geosciences*, 51, 324-338.
۵. حسن زاده، ر؛ عباس نژاد، ا؛ علوی ا؛ شریفی تشنیزی، ا. (۱۳۹۰). تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تاکید بر کاربرد GIS در ریزپهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. *مجله‌ی علوم زمین*، سال ۲۱، شماره ۱، ۲۳-۳۰ (۲۳).
6. Berberian M., Jackson J. A., Fielding E., Parsons B. E., Priestley K., Qorashi M., Talebian M., Walker R., Wright T. J., Baker C. (2001). The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw 6.6) in Kerman province, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophys. J. Int.*, vol. 146, 371-398.
7. Keefer. D. K, (2002). Investigating Landslides Caused Earthquakes – A Historical Review. *Surveys in Geophysics*, 23, 473-510.
8. Evans. S. G., Hunger. O. (1993). The Assessment of Rock fall Hazard at the base of Talus Slopes. *Geological Survey of Canada Contribution 42290*, 620-636.
9. Ayala-Carcedo F. J., Cubillo-Nielsen S., Alvarez A., Domínguez M. J., Laín L., Laín R., Ortiz G., (2003). Large Scale Rock fall Reach Susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) performed with GIS and Dynamic Analysis at 1:5,000. *Natural Hazards November 2003*, Vol 30, Issue 3, pp 325-340.
10. Crozier, M. (1999). *Landslide, Applied Geography*, Principles and Practice, Elsevier, pp83-94.
۱۱. زارع، مهدی، (۱۳۷۹). بررسی تلاقی‌های ساختاری در راستای سیستم‌های گسله گوک-کوهبنان و زمین لرزه‌های ۱۳۵۶-۱۳۷۷ ناحیه زرد-گلباف-سیرج (کرمان)، پژوهشنامه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۱۲. مرکز مطالعات و مدیریت بحران شهرداری کرمان (۱۳۸۵). گزارش تدوین سناریوی زلزله شهر کرمان فاز دوم: گزارش ارزیابی خطر زمین لرزه، مرکز مطالعات و مدیریت بحران شهرداری کرمان.
13. Sujatha E. R., Rajamanickam G. V., Kumaravel P., (2012). Landslide susceptibility analysis using Probabilistic Certainty Factor Approach: A case study on Tevankarai stream watershed, India. *J. Earth Syst. Sci*, 121, No. 5, pp. 1337-1350.
14. Pourghasemi, H.R. Moradi, M. Mohammadi, B. Pradhan, R. Mostafazadeh, A. Goli Jirandeh H.R. (2012). *Landslide Hazard Assessment Using Remote Sensing Data, GIS and Weights-of-evidence Model (South of Golestan Province, Iran)*, Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology Advances in Biomedical Engineering, Vol.6, 30-36.
15. Dahl M.-P. J., Mortensen L. E., Veihe A., Jensen N. H., 2010, A Simple Qualitative Approach for Mapping Regional Landslide Susceptibility in the Fareo Islands, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 159-170.