

## ارزیابی خطر ریزش سنگ در شهرک ظفر کرمانشاه با استفاده از تکنیک مخروط افت

### فرنکیس آریامنش

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

### افسانه شیخی

مالزی UTM دانش‌آموخته دکتری سنجش از دور از دانشگاه

### امجد ملکی\*

دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳

### چکیده

ناپایداری دامنه‌ها و ریزش‌های سنگی، همواره از خطرات اصلی در مناطق کوهستانی بوده و خطرات جانی و اقتصادی فراوانی در پی داشته است. ریزش به فروریختن سریع حجم بزرگی از سنگ و خاک به سمت پایین دامنه اطلاق می‌شود. به منظور ارزیابی خطر سنگ‌ریزش در مناطق کوهستانی روش‌های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از روش محاسبه مخروط افت و کار میدانی جهت شناسایی مناطق در معرض ریسک استفاده شده است. در این روش متناسب با ابعاد هندسی و شیب دامنه، نحوه حرکت سنگ‌ریزش و میزان گسترش و پراکندگی آن‌ها در طول دامنه و در نهایت تأثیری که روی مسیر راه می‌گذارد، مورد آزمون قرار گرفته است. با استفاده از داده‌های رقومی و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای Conefall، Arc gis مناطق مستعد سنگ‌ریزش در منطقه شناسایی شدند. خطر سنگ‌ریزش برای شیب دامنه‌ها و برای دو زاویه بحرانی محاسبه شده و نتایج به صورت نقشه پهنه‌های پرخطر سنگ‌ریزش ارائه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که خطر سنگ‌ریزش رابطه مستقیمی با شیب دامنه‌های سنگی و شرایط توپوگرافی آن دارد. بر این اساس محدوده کل ریزش برابر با ۲۴۶۷۳۵۷ مترمربع و ۵۲۰۶۸۶ مترمربع از ساخت و سازهای مناطق مسکونی در معرض مخاطرات ناشی از ریزش سنگ قرار دارند.

واژگان کلیدی: مخروط افت، کرمانشاه، ریزش، ArcGis.

### مقدمه

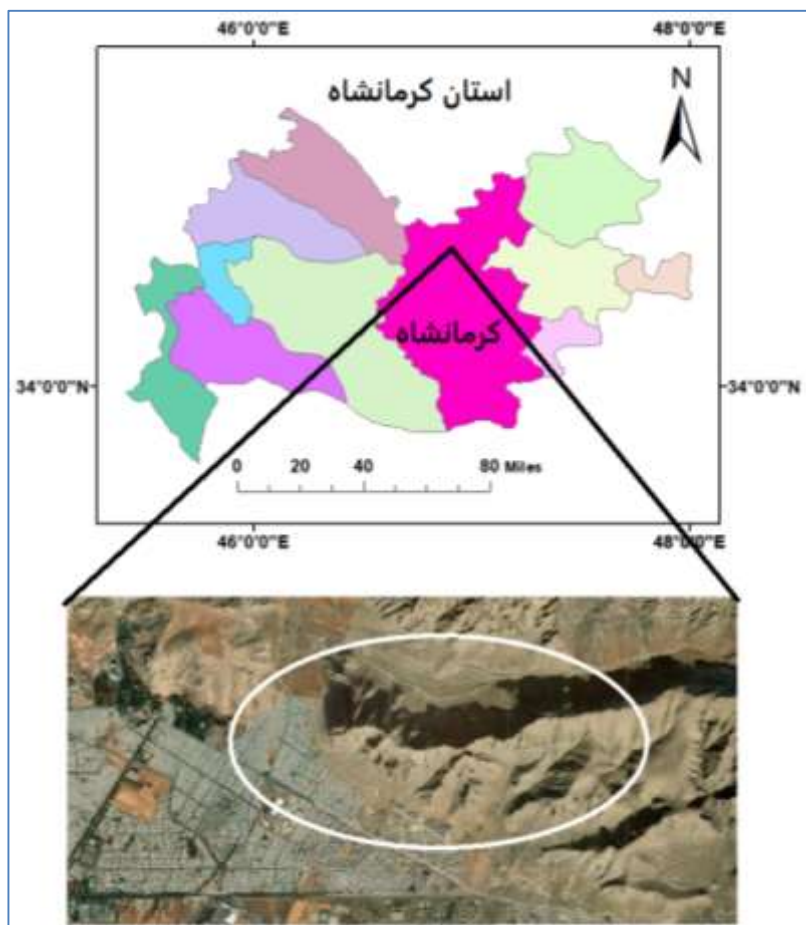
فعالیت‌های انسان به دلیل زیر بری دامنه‌ها موجب افزایش فرایندهای دامنه‌ای نظیر ریزش و لغزش می‌شوند. این در حالی است که برهم خوردن تعادل دامنه‌ها به دلیل فعالیت‌هایی مانند حفاری و یا عملیات انفجاری برای خرد کردن سنگ‌ها می‌تواند مواد دامنه‌ها را ناپایدار سازد (مختاری، ۱۳۸۴، نوفال، ۲۰۲۲). به طور کلی هر فعالیتی مانند، معدن‌کاوی، شهرسازی و جاده‌سازی که موجب تغییر در شیب دامنه‌ها گردد می‌تواند موجب از سرگیری فرایندهای ژئومورفولوژیک گردد و منطقه مورد نظر را برای ساکنین و رهگذران پر خطر و محیط را به صورت تازه‌ای برای ساکنین مخاطره آمیز نماید. کوهستان‌های مناطق نیمه‌خشک

با دامنه‌های سنگی که در معرض یخبندان و ذوب یخ هستند از مکان‌های مستعد سنگ‌ریزش می‌باشند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸؛ مورینو و همکاران، ۲۰۲۱) و موجب خسارت فراوان می‌شود، جاده‌ها را مسدود کرده، آبادی‌ها و مزارع را در زیر خود مدفون می‌سازد. خطر سنگ‌ریزش در مناطق کوهستانی، همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده است و در این زمینه مطالعات زیادی انجام شده که در این مورد می‌توان به مطالعات (ویسکوز و همکاران، ۱۹۹۸؛ ژایو و همکاران ۲۰۲۱؛ پارونوزی، ۲۰۰۹) در دره یومیست ایالات متحده و همچنین می‌توان به پژوهش‌های (باترسون و همکاران، ۲۰۰۶) در ارزیابی خطرات زمین‌شناسی مرتبط با سنگ‌ریزش در کانادا اشاره کرد. در یک پژوهش دیگر، محقق به شناخت حالت‌های اصلی حرکت (ریزش سنگ) شامل: سقوط، جهش و غلتیدن و همچنین تقسیم مدل‌ها شامل: سه گروه تجربی، فرایندی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته است. در پژوهشی که در کشور چک انجام شده است، خطر زلزله و ریزش در دامنه‌های جنگلی نزدیک یک روستا با بررسی اندازه تخته سنگ‌ها و ترکیب و زاویه شیب جنگل و ابزار Rockfor.net جهت مدیریت این بحران انجام شده است (کلایمز، ۲۰۱۱). در یونان پژوهشی درباره خطر ریزش در جاده‌های غربی یک منطقه با استفاده از چندین روش انجام و نتایج پژوهش به صورت رتبه‌بندی و احتمال ریزش‌ها در دوره‌های مختلف ۱۰ تا ۳۰۰ ساله صورت گرفت (اندرباناپولویس و همکاران، ۲۰۱۳). در منطقه سیسیل ایتالیا نیز خطر ریزش سنگ برای قلعه تاریخی ساراسن با استفاده از روش‌های تجربی و کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفته است (مینو و همکاران، ۲۰۱۸). در مقاله‌ای دیگر حرکت دامنه‌ای ریزش با استفاده از مدل‌سازی سه بعدی طراحی و مناطق به صورت نقطه‌ای، خطی و حوزه‌ای بر اساس خطرات ریزش طبقه‌بندی شده‌اند (کراستا و همکارش، ۲۰۰۳). همچنین در ترکیه، قلعه کاستمونی (قستمونی) که از مکان‌های تاریخی و توریستی این کشور است در معرض خطر ریزش است (توپال، ۲۰۱۲). در بررسی دیگری در جاده‌ای در شبه جزیره سورتو در ناپل ایتالیا با استفاده از روش تجربی و مدل‌سازی رایانه‌ای دو بعدی و سه بعدی انجام داده‌اند و پهنه‌های خطر را مشخص نمودند (پالما و همکاران، ۲۰۱۱). یک مدل‌سازی نیز بر اساس مدل احتمالاتی عدم قطعیت و روش‌های نمونه‌گیری تصادفی برای بررسی ریزش‌ها انجام گرفته است (لی، ۲۰۰۴). در ایران نیز پژوهش‌های در این زمینه انجام شده که از آن جمله موارد زیر را می‌توان برشمرد: در یک بررسی که در غرب دریاچه ارومیه انجام شده علل ریزش‌ها را شیب تند حاصل از گسل‌ها و کاو بودن رودها ذکر کرده‌اند و اقدامات به موقع و آگاهی از این حرکات را راه‌حل کاهش خطرات سنگ‌ریزش دانسته‌اند (شفیع‌زاده مقدم، ۲۰۱۹) در پژوهشی دیگر که در غرب کشور، در مورد مسیر ارتباطی ایلام-کرمانشاه (جاده حمیل - شباب) احداث شده در سال ۸۸-۸۱ برای کوتاه شدن راه ارتباطی دو استان صورت گرفته است و مسیری که از زمان احداث آن شاهد حوادثی از قبیل ریزش بوده‌ایم، مناطق مستعد خطر ریزش در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۹۴). در مطالعه ناپایداری‌های دامنه‌ای مسیر ارتباطی پاوه - نودشه، عوامل انسانی مسبب ناپایداری این دامنه‌ها را در تغییر کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی، تغییر در هندسه شیب دامنه‌ها و زیر بری دامنه‌ها و احداث راه‌های ارتباطی روی این دامنه‌ها، ذکر می‌کنند و در میان عوامل طبیعی، شیب و سست بودن جنس سنگ‌ها را مهم‌ترین عوامل در این زمینه بیان می‌نمایند (کال خواجه، ۲۰۲۱) بر اساس مطالعه و پژوهشی که محقق در منطقه انجام داده است در چند سال اخیر که احداث سد دریاان شروع شده است و راه‌های ارتباطی گسترش یافته‌اند، میزان وقوع ریزش از دامنه‌هایی که در اطراف سد هستند افزایش یافته است (اسفندیاری دوآباد،

(۱۳۹۱). این مطالعه بر اساس روش مخروطی بنا شده و می‌تواند یکی از روش‌های مناسب برای پیش‌بینی اولیه مناطق مستعد سنگ‌ریزش باشد. این نظریه توسط (ایوان، ۱۹۹۳) پیشنهاد شده و بر پایه این نظریه، حرکت بلوک سنگ از محل در طول دامنه به سمت افق پایین‌تر در فضای یک مخروط صورت می‌گیرد. نوک مخروط محل ایستای سنگ، پیش از حرکت و قاعده مخروط، فضای قابل دسترس برای بلوک سنگ متحرک در قسمت پایین دامنه است. شکل ۴، مخروط حرکت برای یک سنگ‌ریزش را نشان می‌دهند. زاویه‌ای که سطح مخروط با سطح افق در جهت شیب توپوگرافی می‌سازد زاویه بحرانی (φ) یا زاویه مخروط افت نامیده می‌شود. هرچه زاویه بحرانی بزرگ‌تر باشد، ابعاد مخروط افت گسترش کمتر و حرکت بلوک سنگ به صورت متمرکز بوده و متعاقباً خطر سنگ‌ریزش بیشتر خواهد بود. در مقابل با کاهش زاویه بحرانی، ابعاد مخروط افت و پراکندگی حرکت بلوک سنگ وسیع‌تر می‌شود. سرعت حرکت بلوک سنگ نیز عامل مؤثر دیگری در حرکت سنگ‌ریزش که تابعی از ارتفاع دامنه است. ارتفاع دامنه فاصله بین دو تراز رقومی یک دامنه است. سرعت حرکت بلوک سنگ میزان انرژی ذخیره‌ای (پتانسیل) و جنبشی را در کنترل خود دارد. در این پژوهش، برای محاسبه نحوه حرکت و بررسی میزان خطرپذیری سنگ‌ریزش، از نرم‌افزار CONEFALL تهیه‌شده توسط جابویدف (جابایدوف، ۲۰۰۳) و همچنین نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

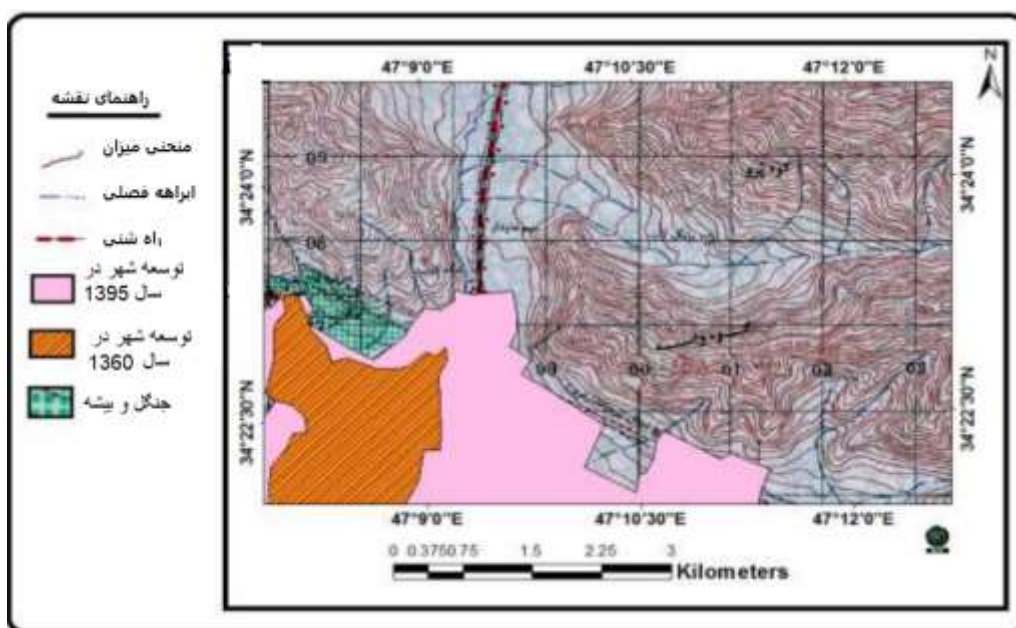
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شهرک ظفر) جزء ناهمواری‌های زاگرس شکسته و در شمال شهر کرمانشاه واقع شده است، این منطقه در محدوده عرض شمالی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه و طول شرقی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). منطقه یاد شده از دامنه‌های مشرف به شهر کرمانشاه است که نقاط مرتفع صخره‌ای با ارتفاعات ۲۰۷۰ متر تا مناطق کم شیب با ارتفاع ۱۴۰۰ متر را شامل می‌گردد. ارتفاعات مشرف به منطقه، کوه واسه نام دارد (شکل ۲). دامنه‌های کوه واسه (شهرک ظفر) به دلیل قرار گرفتن در امتداد گسل و با توجه به اینکه بر اساس پژوهش (شیرزادی و همکاران، ۱۳۸۹) ۸۶ درصد از ریزش‌ها در فاصله ۰-۴۵۰ متری از گسل اتفاق می‌افتد، تخریب مکانیکی شدید به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر منطقه، جاری شدن سیل از ارتفاعات کوه واسه در فصل بارانی، مخاطرات ناشی از زلزله آبان ماه ۹۶ و به دنبال آن حدود ۵۴۰۰ پس‌لرزه ثبت شده در طی یک سال بعد از زلزله و آزاد شدن تنش‌ها در منطقه زاگرس، همچنین احداث منازل و راه‌ها به موازات دامنه‌های این منطقه با مخاطرات جدی ناشی از سقوط سنگ با ابعاد بزرگ و کوچک روبرو است. پوشش گیاهی ضعیف دامنه به علت شیب زیاد و شست‌وشوی خاک، جنوبی بودن جهت دامنه‌ها و کمبود رطوبت نیز از عواملی است که حرکات دامنه‌ای را تشدید کرده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

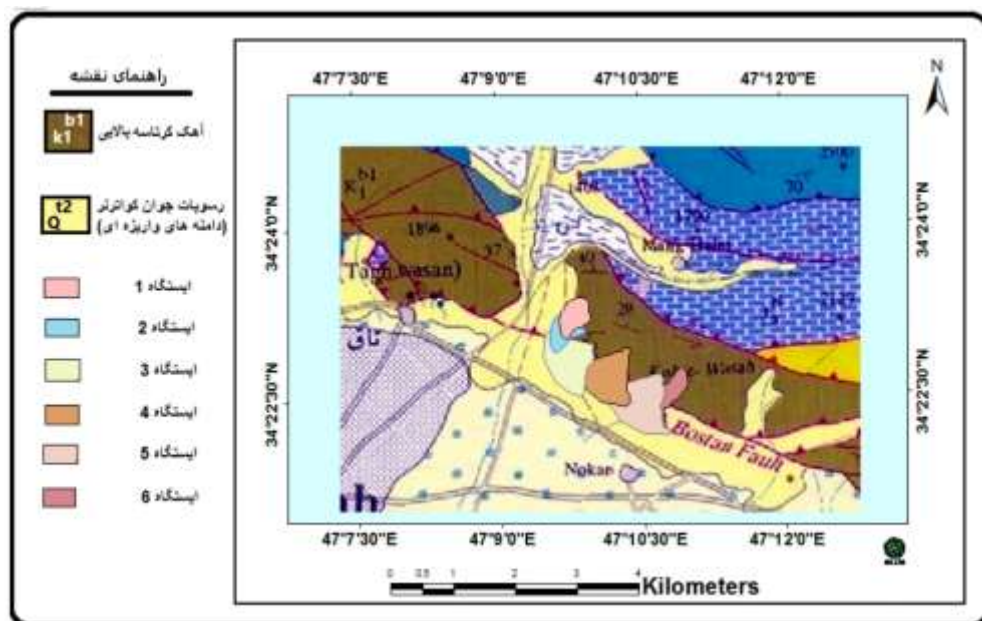


مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: موقعیت، کوه واسه و مناطق مسکونی در مهر و مومهای ۱۳۶۰ و ۱۳۹۵ و بر روی نقشه توپوگرافی

### رابطه زمین‌شناسی و اقلیم و رابطه آن با ریزش در منطقه مورد مطالعه

دوام سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی، فیزیکی، سایش، تر و خشک شدن، به مقدار زیادی به پارامترهای ذاتی سنگ از جمله ترکیب کانی‌شناسی بستگی دارد. سنگ‌ها به دلیل دارا بودن کانی‌های تشکیل دهنده متفاوت، دوام متفاوتی در برابر این عوامل از خود نشان می‌دهند، (نیکو دل، ۱۳۸۹، حائری و همکاران، ۲۰۲۰) سنگ آهک و رسوبات جوان کواترنر به صورت دو نوار به موازات هم در دامنه منطقه مورد مطالعه گسترش دارند، سنگ آهک غالباً از مقادیر مختلف کانی سیلیس به شکل چرت یا فیلد و نیز مقادیر مختلفی رس، سیلت و ماسه تشکیل شده است. این سنگ‌ها در اثنای ذوب یخ و برف و اختلاف دمای روزانه و سالانه و شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و همچنین وجود درز و شکاف‌های موجود در سنگ‌ها تخریب شدند و موجبات حرکت سنگ و حرکات دامنه مکانیکی از جمله ریزش و سقوط قطعات ریز و درشت سنگ را به مناطق پایین‌تر فراهم می‌آورد (آدامز و همکاران، ۲۰۱۷). در شکل ۳ نواحی ریزش در نقشه زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه مشخص شده است که نقاط ریزش و محل جدا شدن قطعات سنگ از دیواره از جنس آهک و محدوده ریزش‌ها بر روی دامنه‌ای از رسوبات جوان باد بزنی است، بررسی ارتباط جنس زمین بر پراکنش ریزش سنگ‌ها نشان داده که سنگ آهک مارن و کرتاسه بیشترین حساسیت را نسبت به ریزش دارند.



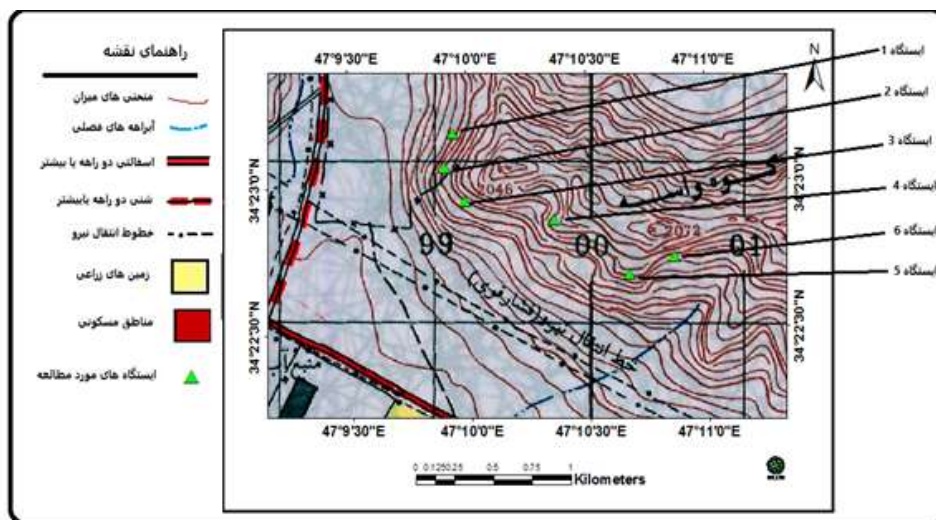
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نمایش محدوده ریزش‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی و خطوط گسل

### داده‌ها و روش‌ها

وقتی دامنه در یک منطقه کوهستانی در معرض ناپایداری (ریزش) قرار داشته باشد، بهره‌برداری ساکنین از زمین‌های آن منطقه همواره با مخاطره همراه خواهد بود؛ زیرا با وقوع یک زمین‌لرزه به دنبال یک بارندگی سنگین (گرینود و همکاران، ۲۰۲۱) و یا در اثر تسطیح دامنه و غیره ممکن است حجم زیادی از مواد به صورت توده‌ای (لغزش) در امتداد شیب جابجا گردد؛ بنابراین

به منظور مدیریت صحیح تصمیم‌گیری در این‌گونه مناطق، قدم نخست، تهیه نقشه‌هایی است که پهنه‌های ناپایدار و احتمال وقوع لغزش در آن نشان داده شده باشد به این منظور و برای شناسایی مکان‌های ریزشی و ارزش‌گذاری هر مکان از نظر میزان خطر در این پژوهش، طی یک عملیات میدانی تعداد ۶ ایستگاه که دارای خطر ریزش سنگ بوده‌اند شناسایی شد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: موقعیت ایستگاه‌ها جهت برداشت داده‌ها

### مراحل کار در هر ایستگاه

انتخاب نقاط ریزش از طریق مشاهدات میدانی و تصاویر گوگل ارث صورت گرفته است، در این مرحله ابتدا مناطق ریزش با عنوان نقاط منبع (Source) از طریق مشاهده و تطبیق با نقشه توپوگرافی مشخص و سپس با استفاده از دستگاه GPS اقدام به برداشت میدانی گردید. نهایتاً هر کدام از نقاط برداشت شده به‌عنوان یک ایستگاه در نظر گرفته شد محدودۀ ریزش‌ها تقریبی مشخص شده است تا پهنه‌بندی نهایی خروجی از نرم‌افزار Cone fall نمایان این محدودۀ قرار گیرد (شکل ۴). ایستگاه ۱ در غربی‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه قرار دارد، پس از انتخاب نقطه ریزش (Source) با دستگاه GPS و تطبیق آن با گوگل ارث و نقشه توپوگرافی، نقطه برداشت شده به نرم‌افزار Arc Gis وارد شد، در این قسمت تمام نقاط در قالب یک shap file مرتب گردیدند، همچنین محدودۀ تقریبی ریزش که با مشاهدات میدانی و تطبیق با تصاویر کنونی و عکس‌های هوایی مربوط به مهر و موم‌های قبل برداشت شده‌اند نیز در قالب یک shap file به نرم‌افزار Arc Gis وارد شد. در مرحله بعد نقطه ریزش مربوط به ایستگاه ۱ به نقطه تقریبی ریزش همان ایستگاه وصل شد و سپس پروفایل آن رسم گردید زاویه مخروط افت به دست آمده جهت پهنه‌بندی دقیق، در نرم‌افزار conefall استفاده خواهد شد. ایستگاه ۲ در شرق ایستگاه ۱ واقع شده است و ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نیز به ترتیب به سمت شرق انتخاب شده‌اند و پروفایل آن‌ها همانند ایستگاه ۱ تهیه گردید (شکل ۴). بعد از رسم پروفایل در نرم‌افزار ArcGis درون‌یابی نقاط ریزش و محدودۀ ریزش انجام شد، روش کریجینگ روش مورد



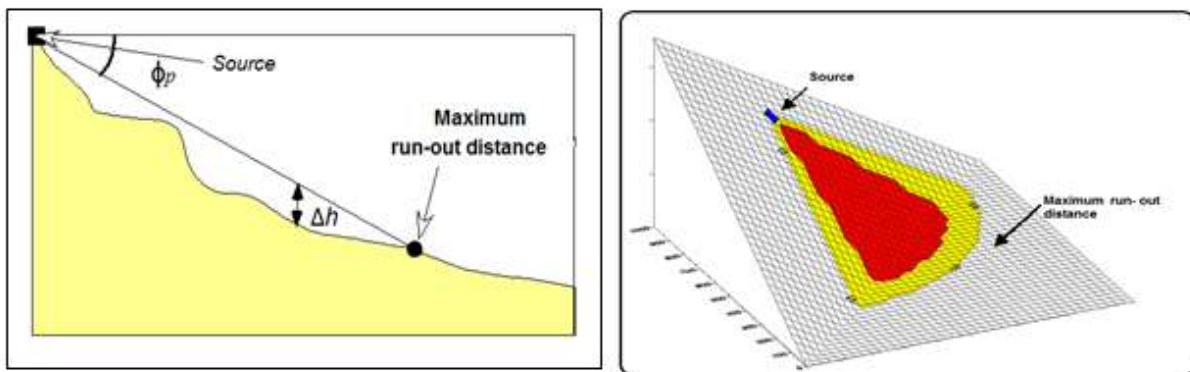
استفاده برای این کار است که برای درون‌یابی نقاط از Dem 10 متر در این مطالعه استفاده شده است. در ذیل نقاط (Source) و محدوده ریزش‌ها که با استفاده از روش کریجینگ به دست آمده، آورده شده‌اند.

### نظریه مخروط افت

نرم‌افزار Confall بر پایه داده‌های DTM (Digital Terrain Model) برنامه‌ریزی شده است. با به‌کارگیری این نرم‌افزار می‌توان بیشترین فاصله جابه‌جایی یک بلوک سنگ از محل جدایی خود در طول دامنه را تعیین کرد. زاویه مخروط افت که با  $(\phi)$  در شکل ۵ نشان داده شده است. علاوه بر برداشت مکان‌های ریزشی ویژگی‌ها و خصوصیات منطقه مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه شیب، نقشه زمین‌شناسی، تصاویر گوگل ارث، مدل رقومی ارتفاع (DEM) مورد بررسی قرار گرفت. با به‌کارگیری این نرم‌افزار می‌توان بیشترین فاصله جابه‌جایی یک بلوک سنگ از محل جدایی خود در طول دامنه را تعیین کرد. زاویه مخروط افت که با  $(\phi)$  در شکل ۵ نشان داده شده است. زاویه‌ای که بین سطح افق و خط مسیر حرکت از نقطه جدایی تا نقطه ایستایی شکل می‌گیرد. این زاویه که با  $(\phi)$  بازه‌ای تقریباً ۲۷ تا ۳۲ درجه دارد. ولی از نظر جابایدف (۲۰۰۳) در مناطق کوهستانی ممکن است این زاویه تا ۴۵ درجه نیز باشد. اختلاف ارتفاع بین مخروط و سطح توپوگرافی  $\Delta H$  در هر نقطه از مسیر حرکت (به‌طور مثال نقطه X) طبق فرمول زیر با نیروی گرانش و سرعت حرکت مرتبط است.

$$\Delta H = V^2 / 2g$$

به این ترتیب  $g$  نیروی گرانش زمین و  $V$  سرعت حرکت قطعات سنگ در نقطه X است. برای شناسایی اولیه و سریع مناطق دارای پتانسیل خطر سنگ‌ریزش شیب‌های ۴۰ یا ۴۵ درجه و مناطق پرتگاهی در نقشه‌های برداری توپوگرافی به‌عنوان مخازن سنگ‌ریزشی در نظر گرفته می‌شوند (جابایدف، ۲۰۰۳). با استفاده از داده‌های رقومی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه شیب منطقه در بازه‌هایی با تقسیم‌بندی پنج‌درجه‌ای تهیه شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و تغییرات شدید ریخت‌شناسی، زاویه شیب مخروط افت برای دو حالت ۴۰ و ۴۵ درجه در نظر گرفته شد. زاویه‌های در نظر گرفته شده زاویه شیب میانگین دامنه‌های منطقه است که در آن‌ها پدیده سنگ‌ریزش رخ داده است. بر این مبنا محاسبه مخروط افت برای دو زاویه ۴۰ و ۴۵ درجه به‌وسیله نرم‌افزار CONEFALL و با کمک نرم‌افزار Arc GIS صورت گرفت.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: طرح شماتیک دو بعدی مخروط افت (سمت چپ) و زاویه مخروط افت (سمت راست)

## بحث و یافته‌ها

این پژوهش با استفاده از روش توصیفی - تحلیلی و با بهره‌گیری از مطالعات اسنادی - کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده است. انطباق محدوده مطالعاتی بر خطوط گسل و قرار گرفتن اکثریت زلزله‌ها بر روی خطوط گسل (یاگباسان و همکاران، ۲۰۲۱)، حضور درز و شکاف در مجاورت ایستگاه‌های مطالعاتی (شکل ۶)، پوشش گیاهی ضعیف، تخریب مکانیکی شدید به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر منطقه، جاری شدن سیل از ارتفاعات کوه واسه در فصل بارانی همچنین احداث منازل و راه‌ها به موازات دامنه‌های این منطقه با مخاطرات جدی ناشی از سقوط سنگ با ابعاد بزرگ و کوچک روبرو است. در پژوهش حاضر ۶ ایستگاه در دامنه‌های شمال شرق کرمانشاه جهت بررسی ریزش سنگ انتخاب شد. پس از اتمام برداشت‌ها و انجام محاسبات و به‌کارگیری مدل مخروط افت در نرم‌افزار Conefall وضعیت محدوده ریزش و نواحی مسکونی متأثر از خطر ریزش مستحصل از برونداد مدل همپوشانی مشخص و پهنه‌بندی گردید (شکل ۷، ۸، ۹) و مناطق در معرض خطر با خط قرمز در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



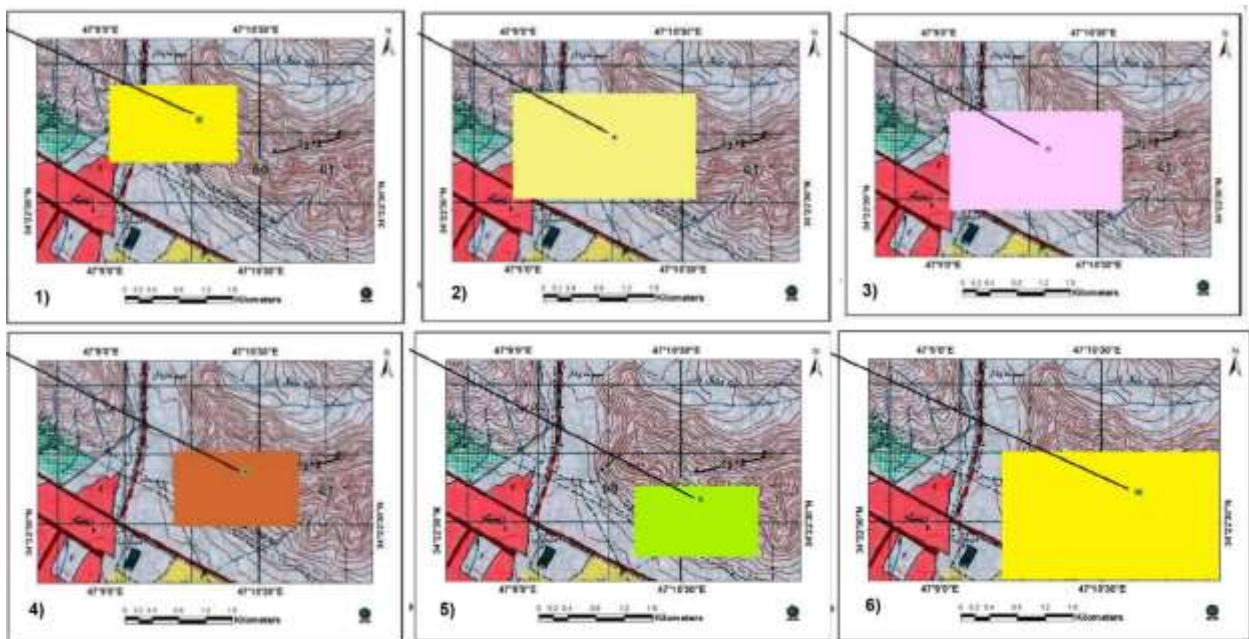
مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: موقعیت محدوده مطالعاتی در ارتباط با درز و شکاف‌ها

برداشت داده‌ها از بخش غربی و موقعیت ایستگاه ۱ (ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰۰ متر) آغاز شد. محدوده کل ریزش ۲۱۷۰۴۱ مترمربع برآورد گردید. شیب دامنه در این ایستگاه بیشتر به سمت شرق است و به همین سبب مخروط به دست آمده دارای کشیدگی به سمت راست است و این امر باعث شده تا قسمت‌هایی از منازل مسکونی در ابتدای قسمت غربی شهرک ظفر در محدوده این ایستگاه قرار بگیرد. مساحت منازل در معرض خطر ریزش ۱۹۷۰۵ مترمربع است. سپس برداشت نقطه ۲ (ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۰ متر) انجام پذیرفت که محدوده کل ریزش ۲۴۵۹۴۱ مترمربع برآورد گردید. محدوده منازل مسکونی که در معرض ریزش سنگ این ایستگاه بودند ۹۶۸۳۵ مترمربع از گستره ریزش را در بر گرفته است. با وجود اینکه این ایستگاه دارای

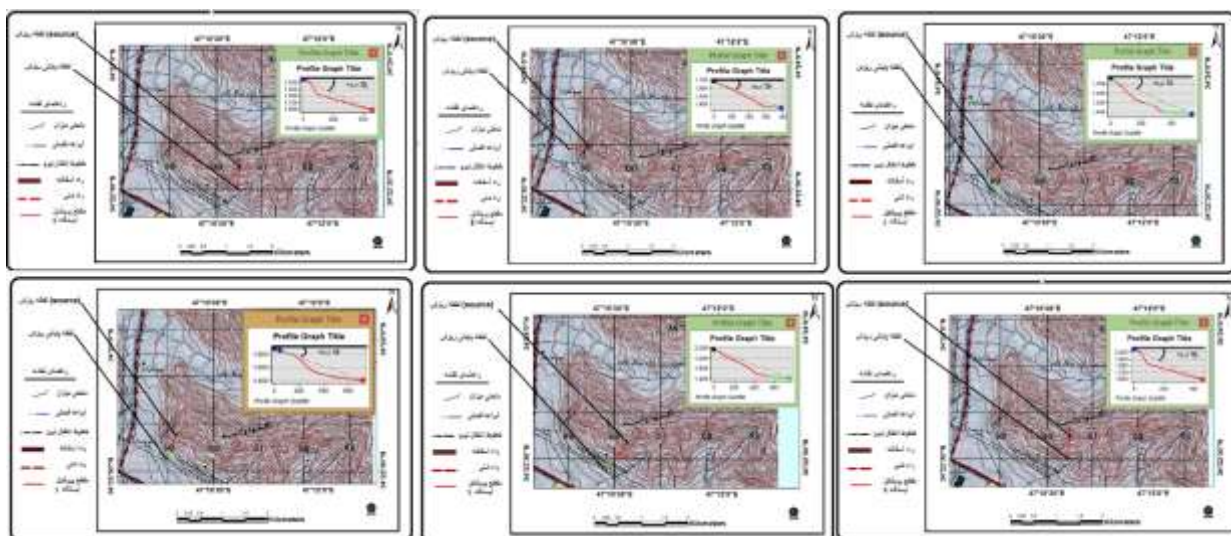


شیب مقعر است و دامنه در طول زمان به علت فرسایش تا حدود زیادی عقب‌نشینی کرده است اما متأسفانه به علت گسترش بیش از اندازه ساخت‌وسازها، منازل فراوانی در محدوده ریزش سنگ این ایستگاه و خطرات ناشی از آن قرار گرفته‌اند. به دنبال زلزله آبان ماه ۹۶، ریزش‌هایی در این ایستگاه صورت گرفت که باعث آسیب‌های جدی مالی و جانی در این منطقه شد (سازمان پزشکی قانونی کل کشور، ۱۳۹۶). مساحت کل مناطق در معرض خطر ریزش در ایستگاه ۳ (ارتفاع از سطح دریا ۱۷۱۰ متر) ۲۷۵۱۱۶ مترمربع است؛ اما محدوده مسکونی در معرض ریزش ۲۸۰۴۴۶ مترمربع محاسبه شده است. ایستگاه ۴ محدوده‌ای در حدود ۶۳۵۵۱۳ مترمربع را شامل شده که منازل در معرض خطر ریزش سنگ در ایستگاه ۴ (ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر)، به دو قسمت تقسیم شده‌اند، قسمت غربی ایستگاه که محدوده کوچک‌تری از منازل مسکونی را به مساحت ۱۹۴۲ مترمربع و قسمت شرقی ایستگاه که مناطق مسکونی را به مساحت ۵۳۱۸۷ مترمربع در بر گرفته است. محدوده غربی منازل در معرض خطر، به علت نزدیک بودن به دامنه و ارتفاعات موجود با خطرات بیشتری مواجه است و در صورت رخداد زلزله، ساکنین این قسمت خسارات بیشتری را متحمل خواهند شد. ایستگاه ۵ (ارتفاع از سطح دریا ۱۸۲۰ متر) در شرق ایستگاه ۴ قرار گرفته است. مساحت کل محدوده ریزش ۶۷۷۳۰۸ مترمربع و محیط آن ۳/۳۳ کیلومتر است. مساحتی از منازل مسکونی که در محدوده ریزش ایستگاه ۵ قرار گرفته همانند ایستگاه ۴ شامل دو قسمت است، در قسمت غرب محدوده، ریزش‌ها مناطق مسکونی را به مساحت ۴۹۸۶ مترمربع و محیط ۰/۳۶ و در قسمت شرقی محدوده ریزش‌ها ۴۸۹۹۹ مترمربع و محیط ۰/۸۹ از این محدوده را در بر گرفته‌اند. آخرین ایستگاه برداشت داده‌ها ایستگاه ۶ (ارتفاع از سطح دریا ۱۹۸۰ متر) است. این ایستگاه در شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارد و محدوده ریزش‌های آن به مساحت ۴۱۶۴۳۸ مترمربع را در بر گرفته است. مساحت منازل در معرض خطر ریزش در این ایستگاه ۱۴۵۸۶ مترمربع است (شکل ۱۱-۷) و جدول ۱.



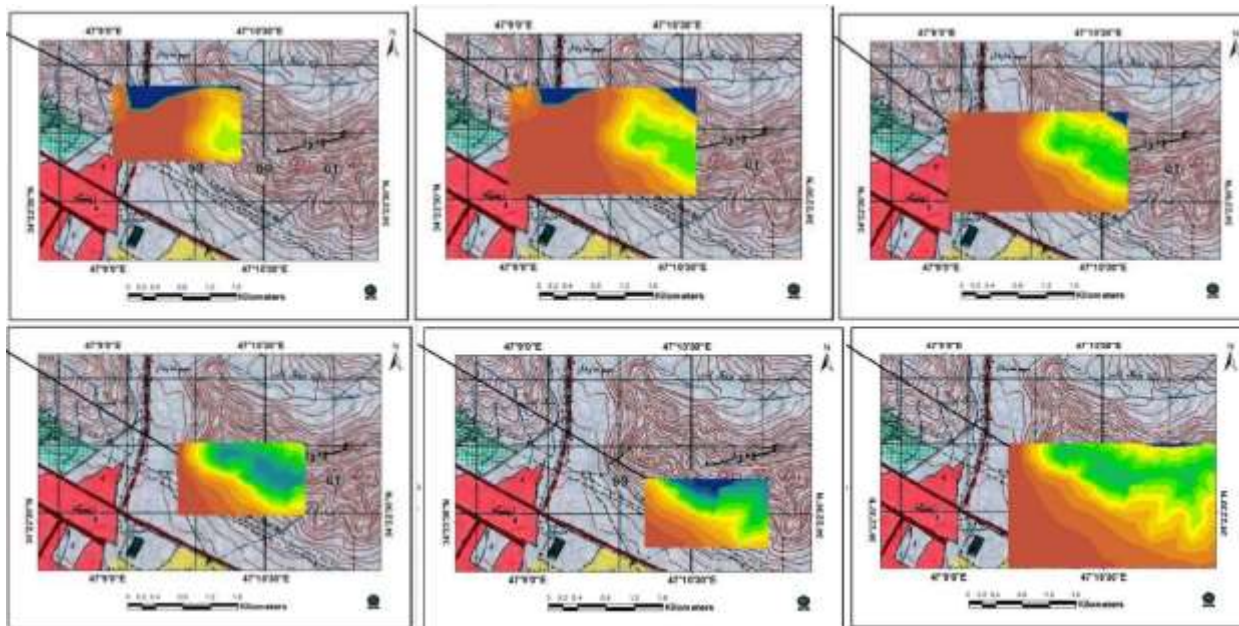
مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقاط ریزش ایستگاه‌های ۱-۶ بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مطالعاتی



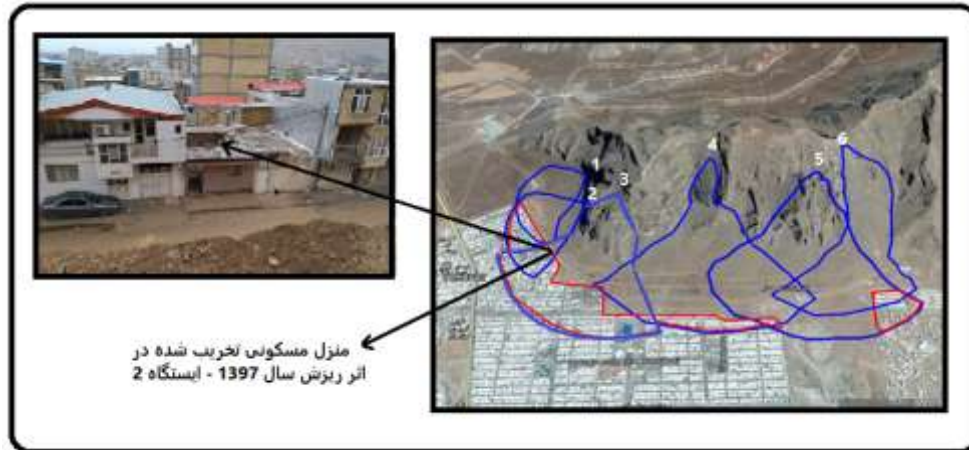
مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: پروفایل ایستگاه‌های ۱-۶



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: محدوده تقریبی ریزش ایستگاه‌های ۱-۶



مأخذ: نگارندگان

**شکل ۱۰:** موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و محدوده ریزش و گستره مسکونی در معرض خطر ریزش

**جدول ۱:** مشخصات ایستگاه‌های مورد برداشت

شماره ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	محدوده کل ریزش	مساحت منازل در معرض خطر ریزش
۱	۱۵۰۰m	۲۱۷۰۴۱m <sup>2</sup>	۱۹۷۰۵ m <sup>2</sup>
۲	۱۶۰۰m	۲۴۵۹۴۱ m <sup>2</sup>	۹۶۸۳۵m <sup>2</sup>
۳	۱۷۱۰ m	۲۷۵۱۱۶m <sup>2</sup>	۲۸۰۴۴۶m <sup>2</sup>
۴	۱۸۰۰m	۶۳۵۵۱۳m <sup>2</sup>	۵۵۱۲۹m <sup>2</sup>
۵	۱۸۲۰m	۶۷۷۳۰۸m <sup>2</sup>	۵۳۹۸۵m <sup>2</sup>
۶	۱۹۸۰m	۴۱۶۴۳۸ m <sup>2</sup>	۱۴۵۸۶m <sup>2</sup>

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

**شکل ۱۱:** ریزش در قسمت غربی ایستگاه ۴ و موقعیت منازل مسکونی



## نتیجه‌گیری

یکی از پدیده‌های متداول و طبیعی در مناطق کوهستانی سنگ‌ریزش است. علی‌رغم اینکه سنگ‌ریزش یک حادثه طبیعی تلقی می‌شود هنگامی که زندگی انسان‌ها را به لحاظ مالی و جانی در معرض خطر قرار دهد به مخاطره طبیعی تبدیل و در صورتی که در اثر وقوع آن‌ها، نرخ تلفات جانی و مالی بالا باشد جزء بلایای طبیعی محسوب می‌شود. برحسب نوع سنگ‌ها، قلمرو آب و هوایی و همچنین شکل متلاشی شدن سنگ‌های سخت و یکپارچه دامنه، ثبات منطقه مورد تهدید قرار خواهد گرفت. این بی‌ثباتی برای مسکن شهری و روستایی، تأسیسات تفریحی و توریستی و کارخانه‌های صنعتی که در دامنه پای کوه استقرار یافته‌اند یا جاده‌هایی که از مناطق کوهستانی عبور می‌کنند خسارات بی‌شماری ایجاد کرده است (رجایی، ۱۳۷۳، ۲۶۰). در این پژوهش عوامل گوناگون تأثیرگذار در وقوع ریزش سنگ در شهرک ظفر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی حرکات توده‌ای مانند ریزش سنگ در مناطق کوهستانی به صورت سیستمی عمل می‌کنند، در نتیجه همه عوامل در وقوع چنین پدیده‌هایی نقش خاص خود را ایفا می‌کنند. ولی در این میان بعضی از عوامل نقش پررنگ‌تری دارند. در محدوده مورد مطالعه از بین عوامل تأثیرگذار جنس سنگ، شیب، سطوح ارتفاعی، بارش، تغییرات دمایی، تعداد روزهای یخبندان و فاصله از جاده و کاربری اراضی بیش از سایر عوامل در وقوع ریزش سنگ دخیل هستند. علاوه بر موارد یاد شده وجود گسل‌های زیاد در یک منطقه موجب بروز زلزله است و همچنین زلزله گسل جدیدی را به وجود می‌آورد و در نتیجه تعداد شکست‌ها زیادتر شده و به این ترتیب قابلیت زلزله در این منطقه افزایش می‌یابد. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که یک گسل به موازات دامنه‌ها و در حد فاصل دو لایه زمین‌شناسی آهک و رسوبات کواترنر از این مسیر عبور می‌کند به عبارتی منطقه شمال کرمانشاه بر روی گسل واقع شده است و در صورت لرزش زمین، امکان ریزش در دامنه‌های منطقه دو چندان می‌گردد و این مسئله ساکنین این مناطق را با خطر جدی روبرو می‌کند یکی از روش‌های پرکاربرد و مؤثر برای اندازه‌گیری خطر سنگ‌ریزش تئوری مخروط افت است. این روش به منظور ارزیابی خطر سنگ‌ریزش در منطقه مورد مطالعه (شهرک ظفر) استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی خطر سنگ‌ریزش با استفاده از نرم‌افزار CONEFALL که بر پایه نظریه مخروط افت نوشته شده است تهیه شد. بر این اساس داده‌های مورد نیاز جهت انجام پژوهش مورد نظر تعیین موقعیت سنگ‌ریزش و نقشه رقوم شیب منطقه است. مشاهدات صحرایی برای تعیین موقعیت سنگ‌ریزش‌ها انجام و از طریق ۶ ایستگاه برداشت شد. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر منطقه مورد مطالعه تهیه و مقایسه نتایج حاصل با واقعیت‌های روی زمین تطابق نزدیک دارد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده صحت به‌کارگیری روش مخروط افت جهت اندازه‌گیری خطر سنگ‌ریزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. قابل ذکر است از بین ۶ ایستگاه فوق‌الذکر در جدول شماره ۱، ایستگاه شماره ۶ کمترین محدوده منازل در معرض خطر (مساحت ۴۱۶۴۳۸ مترمربع) و ایستگاه شماره ۳ (با مساحت ۲۷۵۱۱۶ مترمربع) با شیب محدب، بیشترین محدوده منازل در معرض خطر را به خود اختصاص داده است. در حالی که به علت عدم برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، در این منطقه بیشترین ساخت و سازها در دامنه‌های مربوط به همین ایستگاه است. ضروری است در ایجاد تمهیدات لازم جهت کاهش خطر همچنین در نظر گرفتن این مخاطره در توسعه شهر در این بخش مورد توجه مسولین قرار گیرد و از نظرات متخصصین مربوطه در برنامه‌ریزی‌ها بهره گرفته شود.

## منابع

- ۱- اسفندیاری دوآباد، فریبا، هاشمی، سیداقبال، (۱۳۹۱): پهنه‌بندی ریزش در مسیر ارتباطی پاوه نودشه با استفاده از روش Expert Choices و AHP در محیط GIS، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲.
- ۲- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۸): خطر ریزش‌های سنگی در دامنه‌های شرقی سه‌هند و پهنه‌بندی محدوده‌های مخاطره آمیز در حوضه قرنقوچای، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۵۴ (۴۸)، صص. ۵۱-۱۴.
- ۳- علایی طالقانی، محمود؛ جلیلیان، ستار؛ رضاپور، علی، (۱۳۹۴): بررسی ژئومورفولوژیکی خطر ریزش سنگ در مسیر جاده کرمانشاه-ایلام، از شهر حمیل تا روستای شباب؛ مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۱۴.
- ۴- شیرزادی، عطاءاهلل؛ موسوی، سیده زهره؛ کاویان، (۱۳۸۵): ساخت مدل مناطق خطر ریزش سنگ در طول جاده‌های کوهستانی با استفاده از شاخص همپوشانی و GIS، مطالعه موردی: کردستان، گردنه ره صلواتآبراد) پژوهش‌های آبخیزداری، ۸۳، صص. ۸۴-۳۵.
- ۵- مختاری، داود (۱۳۸۴): ارزیابی ژئومورفولوژیکی بخشی از مسیر راه تبریز - مرند در گردنه پیام در شمال غرب ایران، فصل‌نامه مدرّس علوم انسانی، ۳(۴)، صص. ۸۱-۵۵۴.
- ۶- رجایی، علی، (۱۳۷۳): ژئومورفولوژی کاربردی در برنامه‌ریزی و عمران ناحیه‌ای. چاپ اول. نشر قومس. ۳۲۸ صفحه.
- ۷- سازمان پزشکی قانونی کل کشور، فهرست اسامی جان‌باختگان زلزله استان کرمانشاه، ۲۸ آذر (۱۳۹۶).  
(<http://www.lmo.ir/index.php>)
- ۸- نیکودل، محمدرضا، جمشیدی، امین؛ حافظی مقدس، ناصر، (۱۳۸۹): همبستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌هایی از سنگ ساختمانی با تأکید بر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره شانزدهم.
- 9- Adams, A. E. Mackenzie, W. S. & Guilford, C. (2017): Atlas Of Sedimentary Rocks Under The Microscope. Routledge.
- 10- Andrianopoulos A.1, Saroglou H.1 And Tsiambaos G.1, (2013): Rock Fall Hazard And Risk Assessment Of Road Slopes, Bulletin Of The Geological Society Of Greece, Vol. XLVII.
- 11- Batterson, M. S. Mccuaig, And D. Taylor, (2006): Mapping And Assessing Risk Of Geological Hazard On The Northeast Avalon Peninsula And Humber Valley, Newfoundland. Current Research. Government Of Newfoundland And Labrador, Department Of Natural Resources, Geological Survey, Report: P. 06-1.
- 12- Crosta G. B. And Agliardi F. (2003): A Methodology For Physically Based Rockfall Hazard Assessment, Natural Hazards And Earth System Sciences, 3: 407-422.
- 13- Evans, S. And O. Hungr, The Assessment Of Rockfall Hazard At The Base Of Talus Slopes. Canadian Geotechnical Journal, 1993. 30(4): P. 620-636.
- 14- Haeri, A. Hosseini-Motlagh, S. M. Samani, M. R. G. & Rezaei, M. (2020): A Bi-Level Programming Approach For Improving Relief Logistics Operations: A Real Case In Kermanshah Earthquake. Computers & Industrial Engineering, 145, 106532.
- 15- Greenwood, N. (2021): 3. Geomorphology And Drainage. In The Sinai (Pp. 26-50). University Of Texas Press.
- 16- Jaboyedoff, M. And V. Labiouse, (2003): Preliminary Assessment Of Rockfall Hazard Based On GIS Data. In 10th ISRM Congress. 2003. Onepetro.
- 17- Kalkhajeh, R. G. & Jamali, A. A. (2021): Changes In Subsidence And Uplift And The Nighttime Land Surface Temperature Anomaly Related The Distance To The Earthquake Epicenter And The Faults Using Sentinel And MODIS Imageries.
- 18- Klimes, J. (2011): Rockfall Hazard And Risk Assessment On Forested Slopes, Examples From Czechia. Geografie, 116, No. 2, Pp. 144-155.
- 19- Lee, S. (2004): Application Of Frequency Ratio And Logistic Regression Models To Landslide Susceptibility Mapping Using GIS, Environmental Management.
- 20- Mineo Simone, Pappalardo Giovanna, Mangiameli Michele, Campolo Santo And Mussumeci Giuseppe, (2018): Rockfall Analysis For Preliminary Hazard Assessment Of The Cliff Of Taormina Saracen Castle (Sicily), Bulletin Sustainability, Published: 6 February 2018.

- 21- Morino, C. Conway, S. J. Balme, M. R. Helgason, J. K. Sæmundsson, Þ. Jordan, C. ... & Argles, T. (2021): The Impact Of Ground-Ice Thaw On Landslide Geomorphology And Dynamics: Two Case Studies In Northern Iceland. *Landslides*, 18(8), 2785-2812.
- 22- Nofal, O. M. & Van De Lindt, J. W. (2022): Understanding Flood Risk In The Context Of Community Resilience Modeling For The Built Environment: Research Needs And Trends. *Sustainable And Resilient Infrastructure*, 7(3), 171-187
- 23- Palma, B. Parise, M. Reichenbach, P. & Guzzetti, F. (2012): Rockfall Hazard Assessment Along A Road In The Sorrento Peninsula, Campania, Southern Italy. *Natural Hazards*, 61(1), 187-201.
- 24- Paronuzzi, P. (2009), Rockfall-Induced Block Propagation On A Soil Slope, Northern Italy. *Environmental Geology*, 58(7): P. 1451-1466.
- 25- Topal, T., Akin, M. K., Akin, M., (2012): Rockfall Hazard Analysis For An Historical Castle In Kastamonu (Turkey), *Natural Hazards*, Volume 62, Issue 2, Pp 255-274.
- 26- Shafizadeh-Moghadam, H. Minaei, M. Shahabi, H. & Hagenauer, J. (2019). Big Data In Geohazard; Pattern Mining And Large Scale Analysis Of Landslides In Iran. *Earth Science Informatics*, 12(1), 1-17.
- 27- Wieczorek, G.F. Et Al. (1998): Rockfall Hazards In The Yosemite Valley. US Geological Survey Open-File Report. 98(46): P. 1-13.
- 28- Yağbasan, Ö. Z. L. E. M. & Kırıcı, H. (2021): Impacts Of GIS Based Materials In Teaching Relationship Between Faults And Earthquakes In Turkey. *International Journal Of Curriculum And Instruction*, 13(3).
- 29- Zhao, B. Liao, H. & Su, L. (2021): Landslides Triggered By The 2018 Lombok Earthquake Sequence, Indonesia. *Catena*, 207, 105676.