

منشا سنگ ریزش های جاده چالوس، تکتونیک فعال یا اقلیم کواترنری

ایمان لباف تهرانی؛ گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

محسن پورکرمانی*؛ گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

محمود الماسیان؛ گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

سهیلا بوذری؛ گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

محمدرضا جعفری؛ گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

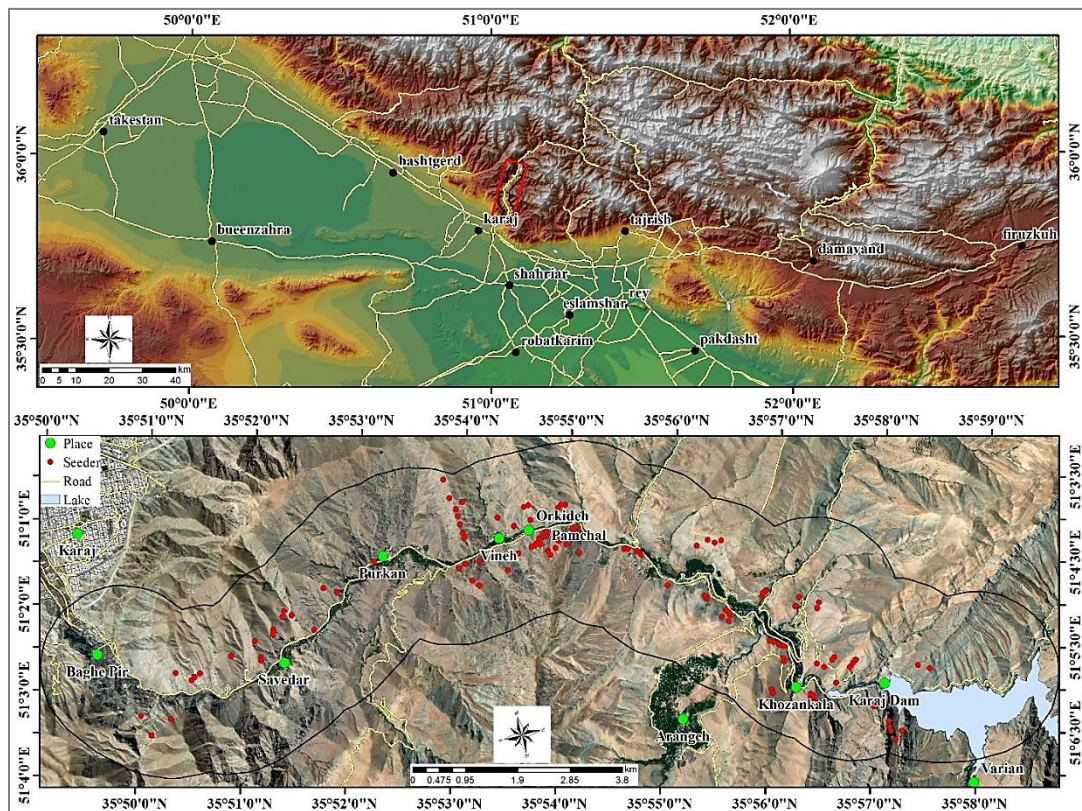
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲

چکیده

جاده چالوس به عنوان یکی از محورهای اصلی ارتباطی شمال و جنوب البرز مرکزی، همواره شاهد وقوع سنگ ریزش های متعدد بوده و این امر خسارات بی شماری را به همراه دارد. در این مقاله، به بررسی نحوه پراکندگی و دلایل وقوع این ریزش ها پرداخته می شود. به این منظور از روش پهنه بندی خطر سنگ ریزش با استفاده از عوامل مهندسی سنگ بهره گرفته شده است. نتایج نشان می دهد در حدفاصل سد کرج تا ابتدای محدوده شهری، دست کم ۹ منطقه اصلی وجود دارد که ریزش سنگ، محور جاده را تحت تاثیر قرار می دهد. شیل های آسارا، ممبر توف میانی و واحدهای کواترنری به ترتیب بیشترین میزان منشاء سنگ ریزش را به خود اختصاص داده اند. به جز برخی مناطق، ارتباط تعریف شده ای میان زون های خرد شده تکتونیک و نقاط شروع سنگ ریزش ها دیده نمی شود. بررسی های آماری نشان می دهد بیشتر زمین لغزش ها در انتهای فصل زمستان و ابتدای فصل بهار رخ می دهند. فارغ از آن که تکتونیک سبب خرد شدگی واحدهای سنگی منطقه شده است، اما زمان وقوع رویدادها گویای ارتباط مستقیم آن ها با وضعیت آب و هوایی کواترنری دارد. پیشنهاد می گردد تا اداره راه، سیستم های پایداری و کنترل سنگ ریزش در نقاط پر خطر شناسایی شده، اجرا نماید تا از بروز فجایع بعدی ممانعت به عمل آید. واژگان کلیدی: سنگ ریزش، جاده چالوس، سد کرج، کواترنری.

مقدمه

ریزش های دامنه ای، تقسیم بندی های مختلفی دارند که اغلب به نحوه حرکت، جنس و ابعاد توده و عامل حرکت وابسته است. در این میان سنگ ریزش به عنوان یکی از ناپایداری های دامنه ای که می تواند ابعاد گستردگی کمتری را نسبت به دیگر ناپایداری ها داشته باشد، مورد توجه قرار گرفته است. جاده چالوس از زمان ساخت تا به امروز، با خطرات ریزش سنگ مواجه بوده است. خسارات ناشی از حوادث سقوط سنگ شامل آسیب به زیرساخت ها و وقفه در تجارت و همچنین اثرات زیست محیطی می شود. در این مطالعه، بخشی از این جاده حداقل محدوده شهری کرج تا سد کرج (امیرکبیر) به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است (شکل ۱). یکی از مهم ترین ورودی ها برای مدل ریزش سنگ پراکنده، توپوگرافی زمین است. در این مطالعه، از DEM با وضوح بالا (۱۰ متر) استفاده شده است. ویژگی های توپوگرافی، مناطق منبع ریزش سنگ و مسیر جاده را می توان به وضوح از DEM پوشانده شده با تصاویر ماهواره ای کوئیک برد شناسایی کرد (شکل ۱).



شکل ۱: گستره مورد مطالعه. شکل بالا موقعیت منطقه مطالعاتی (کادر قرمز) در شمال شهر کرج تا موقعیت سد کرج را نمایش می دهد. شکل پایین همان منطقه را بر روی تصویر ماهواره ای کوئیک برد (۲۰۲۲) نشان داده است (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد). موقعیت نقاط سنگ ریزش بر اساس بازدیدهای صحرائی و استفاده از تصویر یاد شده به صورت نقاط قرمز رنگ نمایش داده شده اند.

سوانح طبیعی به عنوان یکی از عوامل تاثیر گذار بر زندگی بشر، از دیرباز مورد توجه بوده است. راه های دسترسی که در مناطق کوهستانی احداث گردیده اند، از جمله مناطقی هستند که بیشترین تاثیر را از پدیده‌هایی نظیر رانش زمین، سنگ ریزش و غیره می پذیرند. در این بررسی قرار است تا ارتباط بین نقاط سنگ ریزش و عوامل محرکه از جمله تکتونیک و اقلیم مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود کدام عامل سهم اصلی را دارد. از قدیمی ترین تلاش‌ها برای برآورد خطر سنگ ریزش می‌توان به مطالعات پیرسون (Pierson et al., 1990; Pierson and Van Vickle, 1993) اشاره نمود. این محقق روش‌های متعددی برای برآورد خطر ناشی از سنگ ریزش در مناطق مختلف پیشنهاد نموده است. از مطالعاتی که در ارتباط با سقوط سنگ در بزرگ راه‌ها انجام شده می‌توان به بررسی‌های بونسه و همکاران (Bunce et al., 1997) اشاره نمود. در مطالعه مذکور تبعات اجتماعی ناشی از سنگ ریزش در راه‌ها و موضوع مهم غرامت ناشی از آن برای اداره راه مورد بررسی قرار گرفت. در منطقه مورد مطالعه یکی از مطالعات جامع در این منطقه مربوط به بلورچی و همکاران (Bolourchi et al., 2006) است. در این مطالعه کلیه پارامترهای مهندسی سنگ در ارتباط با وقوع سنگ ریزش‌های جاده چالوس (مرزن آباد تا پل زنگوله) مورد بررسی قرار گرفته است. محمد پور و همکاران (Mahmoudpour et al., 2006) با استفاده از روش SMR1 (Romana, 1993) به بررسی نقش زمین لرزه ۱۳۸۳ کجور با بزرگای ۶.۳ بر وقوع سنگ ریزش‌های دامنه ای در جاده چالوس (مرزن آباد) پرداختند. پس از آن قاضی پور و همکاران (Ghazipour et al., 2007) ابتدا مکان ریزش سنگ در امتداد جاده ترسیم و پس از آن، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سازندهای داخل و مجاور جاده را بررسی نمودند. عوامل اصلی ایجادکننده شناسایی و از بین آن‌ها ۵ عامل انتخاب و مدل‌سازی شد که شامل زوایای شیب، جهت، فاصله از گسل، زهکشی‌ها و شدت لرزه هستند. مدل نهایی برای تهیه نقشه خطر ریزش سنگ پیشنهاد شده و نقشه نهایی با استفاده از نرم افزار Arc GIS تهیه شده است. اداره راهداری استان البرز سالانه هزینه‌های هنگفتی برای مهار سنگ ریزش‌های جاده چالوس صرف می نماید. به عنوان مثال تنها در موقعیت رستوران ارکید، دامنه ای وجود دارد که در فصول سرد حتی به صورت روزانه ریزش می نماید و میلیاردها تومان هزینه مالی را به خود اختصاص داده است. اهمیت مطالعه پیش رو به دلیل در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی و پارامترهای مهندسی دامنه، همچنین مقایسه شرایط اقلیمی در وقوع سنگ ریزش است.

در این مقاله قرار است تا با استفاده از روش لن و همکاران (Lan et al., 2007) به بررسی سنگ ریزش‌های محور جاده چالوس (حداصل شهر کرج تا سد کرج) پرداخته شود. دقیق ترین مدل ارتفاعی رقومی (DEM2) موجود از منطقه (با دقت ۱۰ متر) برای بررسی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مناطق منبع ریزش سنگ واقعی را می‌توان بر اساس مجموعه داده‌های ترکیبی در GIS تعریف کرد (Dorren, 2003; Dorren et al., 2004). قطعه مورد اشاره در جاده چالوس تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است و به همین سبب این مطالعه می تواند به عنوان نخستین گام‌ها در این خصوص به شمار برود. از سوی دیگر استفاده از افزونه ارائه شده توسط لن و همکاران (Lan et al., 2007) حتی در سطح کشور هم به صورت محدود (Jarahi and Seifilaleh, 2016) مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به بررسی روش مورد استفاده در تحلیل‌ها اشاره خواهد شد. سپس نحوه برآورد پارامترهای ورودی ارائه گردیده و نتایج تحلیل‌ها ارائه می شود. در نهایت بحث و بررسی بر روی نتایج صورت خواهد گرفت.

¹ Slope Mass Rating

² Digital Elevation Model

روش مطالعه

شکل و ویژگی های یک سطح تعیین می کند که سنگ چگونه بر روی آن فرو می ریزد. افزونه ۱ تجزیه و تحلیل ریزش سنگ در ArcGIS (Lan et al., 2007) روشی را برای توصیف ویژگی های فیزیکی یک سطح ارائه می دهد. با استفاده از DEM به عنوان ورودی، می توان سیستم ریزش سنگ را ترسیم کرد و سپس مشخصات آن سیستم را کمی سازی کرد. ابزارهای موجود در افزونه (Lan et al., 2007) امکان می دهند تا مسیر سقوط سنگ را از هر منبع ریزش سنگی که فرآیند فیزیکی سقوط سنگ از جمله غلت زدن یا سر خوردن و پرواز (مسیر پرتابه) را شبیه سازی نمود. همچنین روش هایی را برای ایجاد رستر فرکانس ریزش سنگ ۲، رستر ارتفاع سقوط سنگ ۳ و رستر انرژی سقوط سنگ ۴ برای ارزیابی موثر خطر سقوط سنگ ارائه می دهند. DEM ها، شکل نقطه ریزش سنگ، شکل هندسی سطح زمین اولیه این افزونه هستند. درک توپوگرافی سطح زمین برای شبیه سازی ریزش سنگ بسیار مهم است. شیب و جهت شیب ایجاد شده از DEM ها و خود DEM ها برای مدل سازی توپوگرافی سطح استفاده می شود. آن ها برای محاسبه مسیر لغزش سنگ و کاراکترهای برخوردی و برگشتی زمانی که سنگ در حال پرواز است، و همچنین تعیین وضعیت ریزش سنگ (یعنی از غلتیدن به پرواز) مهم هستند. مسیر سقوط سنگ و ویژگی سرعت آن به صورت سه بعدی ذخیره می شوند. این اطلاعات، ورودی مفیدی برای تجزیه و تحلیل فرکانس، ارتفاع و انرژی ریزش سنگ و همچنین فاصله تأثیرگذار آن خواهند بود. در این مطالعه طبق جدول ۱ مقادیر پارامترهای سنگ به صورتی انتخاب شد که تعداد قطعات سنگی برای شروع ریزش ۵ عدد و هر کدام ۵۰۰ کیلوگرم هستند. همانطور که اشاره گردید، نقاط شروع سنگ ریزش بر اساس بازدید های میدانی و تصاویر ماهواره ای گزینش گردیده اند.

در مرحله بعد محیطی که در آن سنگ ریزش می کند تعریف می شود. برای هر محیط پارامترهایی شامل زاویه اصطکاک^۵ (بر حسب درجه)، ارتجاع تانژانتی^۶ و ارتجاع نرمال^۷ با استفاده از نوع واحدهای زمین شناختی تعیین می شوند. بدین منظور ابتدا نقشه زمین شناسی منطقه طبق شکل ۲ تهیه و واحدهای زمین شناختی بررسی شدند. در این میان سازند میلا، تیزکوه، کرج و واحدهای کواترنری قابل مشاهده هستند. واحدهای کواترنری ۲۲٪ از سنگ ریزش ها را در خود جای داده اند و منشاء بقیه سنگ ریزش ها در واحدهای مختلف سازند کرج می باشد. به کمک مطالعاتی نظیر جلاپر و همکاران (Jalayer et al., 2022) و توکلی و یساقی (Tavakoli and Yassaghi, 2005) پارامترهای مورد اشاره استخراج می شوند. برای این منظور طبق جدول ۲، دست کم ۵ محیط متفاوت تعریف گردید.

¹ Extension

² Rock Fall Frequency Raster

³ Rock Fall Height Raster

⁴ Rock Fall Energy Raster

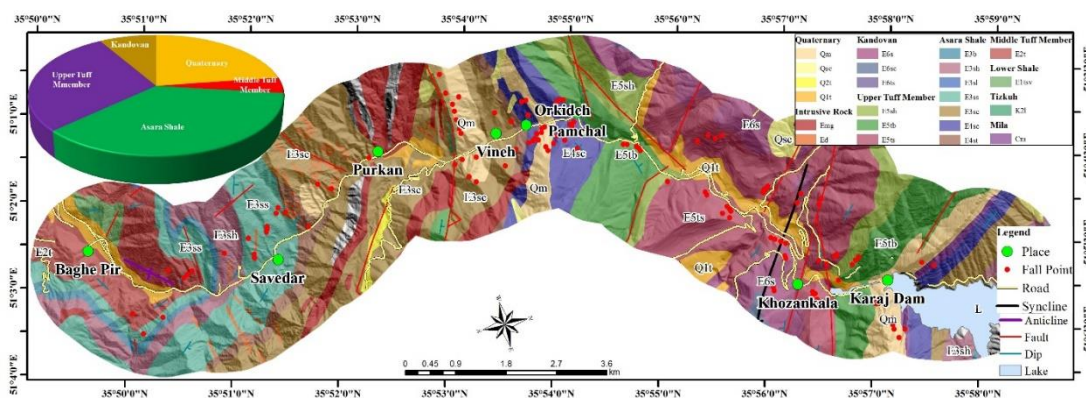
⁵ Friction Angle

⁶ Tangential Restitution

⁷ Normal Restitution

جدول ۱: پارامترهای مبنا برای تعیین مشخصات توده سنگ

No.	Parameter	Value
1	Mass of Seeder	500 kg
2	Density of Rock	2600 kg/m ³
3	Initial Horizontal velocity	5 m/s
4	Initial Vertical velocity	5 m/s
5	Seeder number at one location	5



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. ممبر شیل آسارا، واحدهای کواترنری و ممبر توف میانی به ترتیب بیشترین فراوانی سنگ ریزش را برخوردار هستند. (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد)، برگرفته از نقشه زمین شناسی تهران (Amini et al., 1993).

جدول ۲: پارامترهای مورد نیاز در انواع دامنه‌های منطقه مورد مطالعه

No.	Material Type	Normal Restitution (Rn)	Tangential Restitution (Rt)	Fraction Angle (Degree)
1	Hard rock slope	0.40	0.85	10
2	Weathered rock slope	0.35	0.80	15
3	Soil slope with loose vegetation	0.25	0.60	25
4	Soil slope with dense vegetation	0.20	0.50	30
5	Mud slope with bush	0.15	0.30	50
6	Water (rock must stop)	0	0	90

بدین ترتیب می توان پنج مرحله پیش پردازش را برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر سنگ ریزش در نظر گرفت. در بخش اول اطلاعاتی نظیر DEM، شیب و جهت شیب، شرایط محیط و نقاط شروع سنگ ریزش به برنامه معرفی می شود. خروجی این بخش مجدداً به همراه DEM به برنامه وارد می شود تا نقشه فراوانی نقاط سنگ ریزش محاسبه شود. همین تحلیل برای تهیه نقشه سرعت نیز تکرار می گردد. برنامه به کمک DEM و نقاط شروع سنگ ریزش، نقشه ارتفاع سنگ ریزش را تهیه می کند. در پنجمین مرحله، از تحلیل DEM و نقشه سرعت، نقشه انرژی تهیه می شود. نهایتاً از وزن دهی (در اینجا به طور مساوی) لایه های فراوانی، ارتفاع و انرژی، نقشه پهنه بندی سنگ ریزش تهیه می شود.

Hazard Assessment: B+D+E

A: Rockfall simulation (Material, Seeder point + DEM + Slope + Aspect)

B: Frequency (A + DEM)

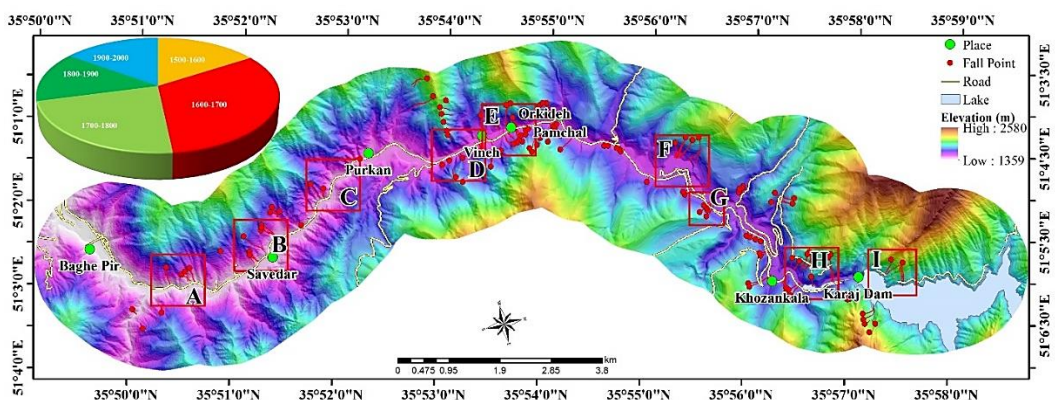
C: Velocity (A + DEM)

D: Height (Seeder point + DEM)

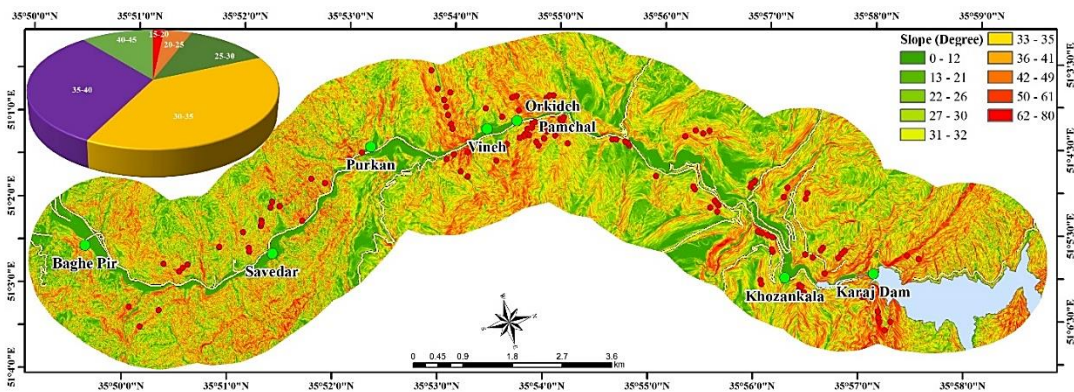
E: Energy (C + DEM)

تحلیل ها و نتایج

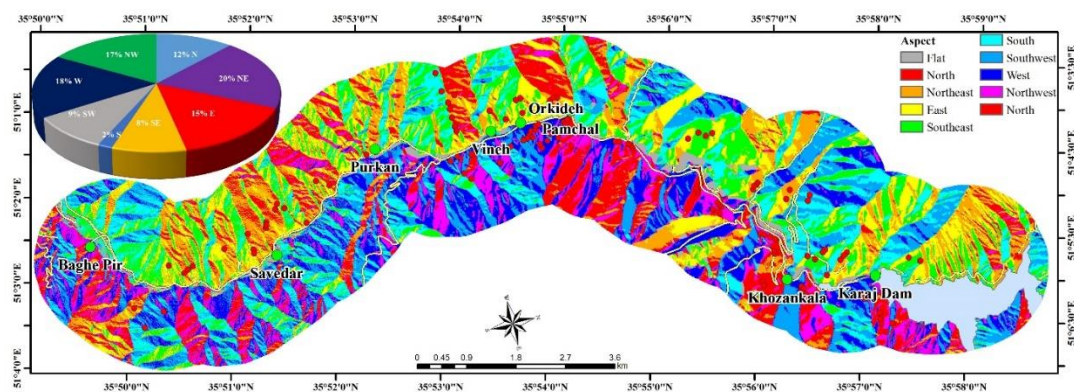
همان طور که اشاره گردید برای شروع تحلیل ها لازم است تا نقشه های متعددی آماده سازی شوند. یکی از آن ها DEM است (شکل ۳). ضمن بررسی وضعیت ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، موقعیت نقاط شروع سنگ ریزش از نظر ارتفاعی در شکل ۳ مورد توجه قرار گرفت. بیش از ۶۰٪ سنگ ریزش ها در بین تراز ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا رخ داده اند. تقریباً تمامی سنگ ریزش ها در بازه ۱ کیلومتری از کف دره به وقوع پیوسته اند. با استفاده از این داده، نقشه های شیب و جهت شیب تهیه گردید (شکل های ۴ و ۵). نزدیک به ۷۰٪ از سنگ ریزش ها در شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه، ۱۰٪ در شیب ۴۰ تا ۴۵ درجه و بقیه در شیب کمتر از ۳۰ درجه قرار دارند. علیرغم اختلاف بین دوره های یخبندان (فصول سرد) به دلیل تفاوت در میزان تابش خورشید، برابری نسبی بین تعداد سنگ ریزش های دامنه های شرقی و غربی وجود دارد.



شکل ۳: مدل ارتفاعی رقومی گستره مورد مطالعه. نقاط سنگ ریزش به طور مشخصی با دامنه های پر شیب مرتبط هستند. کادراهای قرمز رنگ A تا I موقعیت مناطق پر خطر را نمایش داده اند. دقت ارتفاعی ۱۰ متر می باشد. (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد).

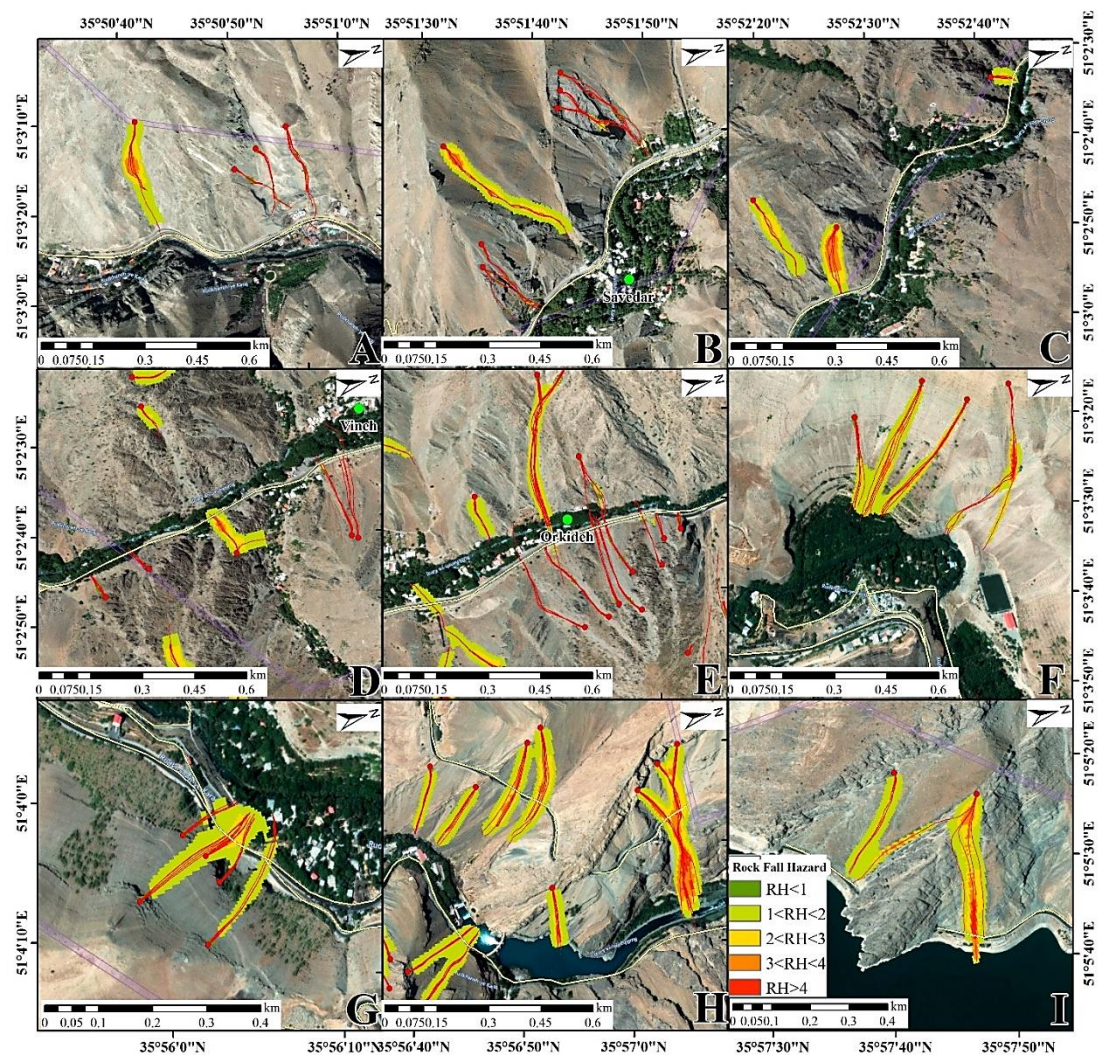


شکل ۴: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه بر حسب درجه. بیشترین فراوانی نقاط سنگ ریزش مربوط به دامنه هایی با شیب ۳۰ تا ۴۰٪ (۷۰٪) درجه هستند. (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد).



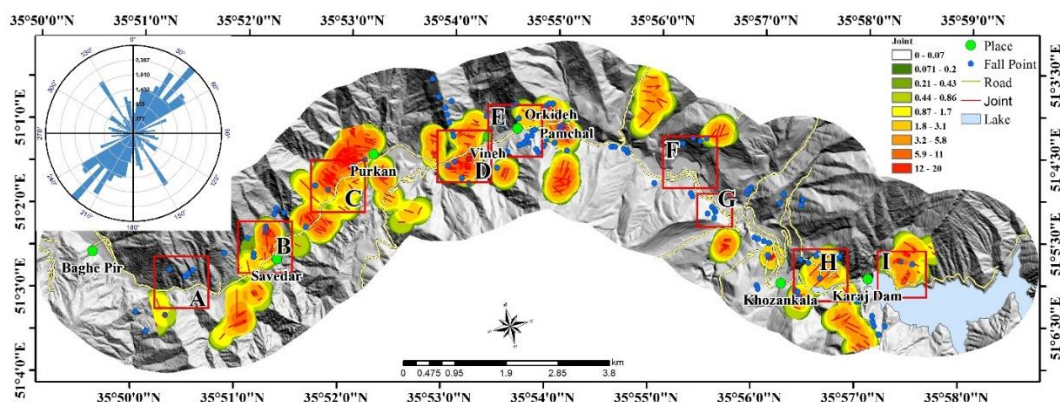
شکل ۵: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه. فراوانی نقاط سنگ ریزش مربوط به دامنه های شرقی و غربی یکسان است. (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد).

بر مبنای آن چه در بخش روش مطالعه تشریح شد، پهنه بندی خطر سنگ ریزش در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. دست کم ۹ محدوده پر خطر شناسایی گردید (شکل ۶). در این مناطق سنگ ریزش‌ها از دامنه به سمت پایین حرکت نموده و مسیر جاده را قطع نموده‌اند. بنابراین مستعد بروز سوانح جانی و مالی هستند. اولین تونل بعد از سد کرج، شمال خوزنکلا، دو محدوده در نزدیکی پلیس راه، محدوده رستوران ارکیده، وینه، جنوب پورکان، ساوه‌در، و پلیس راه ورودی جاده چالوس از جمله مناطق حادثه ساز از دید سنگ ریزش می‌باشند.



شکل ۶: مناطق ۹ گانه که بیشترین میزان خطر سقوط سنگ در آن‌ها وجود دارد. رده بندی ۵ گانه از خیلی کم به رنگ سبز تا خیلی زیاد به رنگ قرمز می‌باشد. موقعیت این شکل‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. (جهت شمال ۸۰ درجه چرخش دارد)

به منظور بررسی ارتباط موقعیت سنگ ریزش‌ها و وضعیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه، گسل‌ها، درزه‌ها و خطواره‌های تکتونیکی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی (Amini et al., 1993)، مقالات موجود (Baftipour et al., 2022; Berberian and Yeats, 2016; Habibi et al., 2023; Jarahi, 2020, 2021; Jarahi et al., 2022; Nazari et al., 2011; Ritz et al., 2012; Talebian et al., 2016; Torabi et al., 2020) تصویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه گردید (شکل ۷). سپس چگالی این عناصر تکتونیکی تهیه شد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، اغلب (۷۵٪) سنگ ریزش‌ها در نقاطی مستقل از زون‌های تکتونیزه رخ داده‌اند. تنها در موقعیت رستوران ارکیدیه تا آبشار وینه، یک زون خرد شده بزرگ وجود دارد که مسبب اصلی سنگ ریزش‌های آن منطقه می‌باشد. جهت‌گیری سیستم شکستگی‌ها به صورت شمال شرق-جنوب غرب و سیستم فرعی شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد.



شکل ۷: نقشه چگالی شکستگی‌های گستره مورد مطالعه. شکستگی‌ها با استفاده از تصویر ماهواره‌ای کوئیک برد برداشت شده‌اند و فراوانی آن‌ها ارتباط مستقیم با رخنمون واحدهای سنگی سخت در منطقه دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی وضعیت سنگ ریزش‌های دامنه‌ای در محدوده ابتدای جاده چالوس تا سد کرج پرداخته شد. نقشه‌های زمین‌شناسی، DEM، شیب و جهت شیب تهیه و محیط دامنه‌ای تعریف گردید. سپس با استفاده از بازدیدهای میدانی، نقاط سنگ ریزش شناسایی و به افزونه مربوطه در ArcGIS وارد شدند. تحلیل‌ها دست کم ۹ منطقه پرخطر را نشان می‌دهند. این مناطق فاقد هر گونه سیستم پایداری، نگهداری و یا کنترل سنگ ریزش هستند. تنها در موقعیت رستوران ارکیدیه یک دیوار حایل ۴ متری با عرض نیم متر و طول ۱۰۰ متر برای توقف ناپایداری دامنه‌ای احداث گردیده که با توجه به بررسی‌های میدانی، کارآمد نبوده و در فصول سرد برخی از سال‌ها، سنگ ریزش‌ها پس از برخورد به لبه سکوی شیب، به حالت پرواز از روی دیوار حایل عبور کرده و وارد مسیر جاده چالوس می‌شوند (شکل ۸).



شکل ۸: نمای سه بعدی از وضعیت سنگ ریزش جاده چالوس در محدوده رستوران ارکیده. خطوط قرمز لغزشی، پرواز و سقوط سنگ را نمایش داده‌اند. برگرفته از گوگل ارث (نگاه به سمت جنوب غرب).

منشاء سنگ ریزش‌ها رسوبات سازند کرج و کنگلومراهای کواترنری هستند. سنگ ریزش‌ها به صورت غلت خوردن و پرش (پرواز) از دامنه به سمت رودخانه چالوس حرکت می‌کنند. در تمامی مناطق شناسایی شده، سنگ‌ها وارد مسیر جاده چالوس می‌شوند و می‌توانند موجب بروز فاجعه گردند. طبق بررسی گسل‌ها، درزه‌ها و خطواره‌ها، ارتباط تعریف شده‌ای بین زون‌های خرد شده تکتونیکی و نقاط شروع سنگ ریزش دیده نمی‌شود. با این حال دست کم در محدوده رستوران ارکیده تا آبشار وینه، که به عنوان پر خطرترین محدوده است، نقش زون‌های خرد شده بسیار پر اهمیت می‌باشد. اطلاعات آماری (مصاحبه شفاهی با اداره راه استان البرز) گویای آن است که فصل زمستان بیشترین آمار سنگ ریزش را چه در این منطقه و چه در سایر مناطق از مسیر جاده چالوس، به خود اختصاص داده است. بعلاوه فصل تابستان کمترین آمار را دارد. بررسی‌های محدود پل زنگوله تا مرزن آباد در مطالعات بلورچی و همکاران و توکلی و یساقی (Bolourchi et al., 2006; Tavakoli and Yassaghi, 2005) بر صحت این اطلاعات تاکید دارد. اطلاعات فوق گویای آن است که علیرغم آنکه زون‌های خرد شده تکتونیکی می‌توانند منشا و کنترل کننده اصلی در نقاط شروع سنگ ریزش‌ها باشند اما این چرخه‌های یخبندان فصول سرد هستند که عامل رخداد و پدید آورنده اصلی در وقوع سنگ ریزش‌های این محدوده از جاده چالوس می‌باشند. این مهم گویای آن است که آب و هوای عهد حاضر (کواترنری) تا چه در تشدید اثر پدیده‌های تکتونیکی موثر است.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای مهندس میثم قدمی، معاون حمل و نقل اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای البرز، به جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات آماری سنگ ریزش‌های مسیر جاده چالوس تقدیر به عمل می‌آید.

References

- Amini, B., Emami, M., Jamshid, K., and Afsharianzadeh, A. M., 1993, Geological Map of Tehran: Geological Survey of Iran.
- Baftipour, M., Jarahi, H., Polat, G., and Seifilaleh, S., 2022, Damavand Earthquake of 2020 the Mainshock or an Alarm for Disaster for the Capital of Iran: *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 15, no. 1.
- Berberian, M., and Yeats, R. S., 2016, Tehran: An Earthquake Time Bomb; In *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: The Geological Society of America*, no. Special Paper 525, p. 84.
- Bolourchi, M., Entezam Soltani, I., Mahmoudpour, M., and Ansari, F., 2006, Rock-fall Hazard (Marzan-Abad – Investigation on Chalus Road (Pol-e-Zanguleh
- Bunce, C. M., Cruden, D., and Morgenstern, N. R., 1997, Assessment of the hazard from rock fall on a highway: *Canadian Geotechnical Journal*, v. 34, p. 344-356.
- Dorren, L., 2003, A review of rockfall mechanics and modelling approaches: *Organic Geochemistry - ORG GEOCHEM*, v. 27.
- Dorren, L., Maier, B., Putters, U., and Seijmonsbergen, A., 2004, Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps: *Geomorphology*, v. 57, p. 151-167.
- Ghazipour, N., Orumiey, A., Entezam Soltani, I., and Pirouz, M., 2007, The hazard zonation of rockfall along Chalus road in north of Iran.
- Habibi, R., Pourkermani, M., Ghorashi, M., Almasian, M., and Jarahi, H., 2023, The Effects of Quaternary Sediments on Earthquake Acceleration: *Himalayan Geology*, v. 44, p. 71-80.
- Jalayer, S., Sharifi, A., Abbasi-Moghadam, D., Tariq, A., and Qin, S., 2022, Modeling and Predicting Land Use Land Cover Spatiotemporal Changes: A Case Study in Chalus Watershed, Iran: *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, p. 1-19.
- Jarahi, H., 2020, Quaternary fault escarpment or Paleo shoreline, Case study Eslamshahr Metro, Southeast of Tehran: Geotechnic section, Zharf Pouya Co., (Persian Language), 56pp.

- Jarahi, H., 2021 Paleo Mega Lake of Rey Identification and Reconstruction of Quaternary Lake in Central Iran: *Open Quaternary*, v. 7, no. 1, p. 1-15.
- Jarahi, H., Pourkermani, M., Akbarzadeh, R., and Farajpour, Z., 2022, The re-interpretation of Quaternary faults near Tehran, Based on Paleo Mega Lake of Rey Theory, SSA Annual Meeting 2022: Washington D.C., USA, p. 7.
- Jarahi, H., and Seifilaleh, S., 2016, Rock fall hazard zonation in Haraz highway: *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 9, p. 371-379.
- Lan, H., Derek Martin, C., and Lim, C. H., 2007, RockFall analyst: A GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling: *Computers and Geosciences*, v. 33, p. 262-279.
- Mahmoudpour, M., Karimnejad, S., Bolourchi, M., and Ansari, F., 2006, The evaluation of SMR classification method with special reference to results of the Chalus road rock slopes analysis.
- Nazari, H., Ritz, J.-F., Ghassemi, A., Bahar-Firouzi, K., Salamati, R., Shafei, A., and Fonoudi, M., 2011, Paleoearthquakes Determination of Magnitude~6.5 on the North Tehran Fault, Iran: *J. Seismol. Earthq. Eng.*, v. 13.
- Pierson, L., Davis, S., and Van Vickle, R., 1990, Rockfall hazard rating system–implementation manual: Federal Highway Administration) FHWA.(
- Pierson, L. A., and Van Vickle, R., 1993, Rockfall hazard rating system: participant's manual: United States. Federal Highway Administration.
- Ritz, J.-F., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M., and Saidi, A., 2012, Paleoearthquakes of the past 30,000 years along the North Tehran Fault (Iran): *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, v. 117, p. 6305.
- Romana, M., 1993, A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating, p. 575-600.
- Talebian, M., Copley, A. C., Fattahi, M., Ghorashi, M., Jackson, J. A., Nazari, H., Sloan, R. A., and Walker, R. T., 2016, Active faulting within a megacity: the geometry and slip rate of the Pardisan thrust in central Tehran, Iran: *Geophysical Journal International*, v. 207, no. 3, p. 1688-1699.
- Tavakoli, M., and Yassaghi, A., 2005, Geometry and kinematics analysis of south Marzan-abad faults (Karaj-Chalus Road.(

Torabi, M., Fattahi, M., Amini, H., Ghassemi, M., and Karimi, N., 2020, OSL dating of landslide-dammed-lake deposits in the North of Tehran, Iran: 958 Ray-Taleghan/Ruyan earthquake: *Quaternary International*, v. 562.