[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

ارتباط لیتولوژی و ساختارهای تکتونیکی با انواع ناپایداری‌های شیب‌های سنگی در مسیر آزادراه قزوین - رشت

مهناز فیروزی*[۱]، محمدحسین قبادی[۱]، علی نورزاد[۲]، علی اصغر سپاهی گرو[۱]

۱. دانشگاه بوعلی سینا، همدان، دانشکدهٔ علوم پایه، گروه زمین‌شناسی،

۲ . دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب و محیط زیست

تاریخ: دریافت ۹۶/۱۰/۲۷ پذیرش ۹۷/۰۷/۰۸

چکیده

آزادراه قزوین- رشت از مهم‌ترین محورهای ارتباطی کشور در شمال ایران است. مسیر آزادراه از سازندهای مختلف با ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت عبور می‌کند. شیب زیاد دامنه‌ها و وجود چندین دسته درزه و گسل باعث شده تا در امتداد مسیر مذکور لغزش‌های متعددی به وقوع پیوسته و یا در حال وقوع باشند. در این پژوهش، تحقیق جامع درباره پراکندگی زمین‌لغزش‌ها و انواع آن‌ها در مسیر آزادراه انجام شده است. بدین‌صورت که ضمن شناسایی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه، موقعیت آن‌ها در نقشهٔ زمین‌شناسی ثبت و ارتباط آن‌ها با سازندهای زمین‌شناسی و ساختارهای تکتونیکی بررسی شده است. مناطق و واحدهای سنگی مستعد به‌وقوع زمین‌لغزش با در نظر گرفتن تراکم سطحی زمین‌لغزش‌ها و درصد فراوانی آن‌ها در هر واحد زمین‌شناسی با بهره‌گیری از نرم‌افزار ARC GIS 10.2 به‌ترتیب اهمیت مشخص شدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد علیرغم ناهمگنی قابل توجه لیتولوژی، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ساختارهای تکتونیکی، شباهتی بین انواع لغزش‌ها و پراکندگی آن‌هاوجود دارد.در طول این مسیرچهار نوع لغزش شناسایی شده‌اند، که عبارتند از ۱. گسیختگی‌های صفحه‌ای، گوه‌ای، واژگونی و سقوط، در سنگ‌های مقاوم و نسبتاً مقاوم آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت‌های متعلق به سازند کرج، آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه و کنگلومرای فجن. در سنگ‌های ذکر شده چندین دسته درزه موجود

*نویسنده مسئول firuzi.mahnaz@yahoo.com

بوده است که سطوح درزه‌ها دارای هوازدگی متوسط تا شدید است. بازشدگی آن‌ها بین ۱- ۰/۵ میلی‌متر است. مقاومت برشی درزه‌ها نیز متوسط است که با توجه به جهت غالب درزه‌ها نسبت به رویه شیروانی نوع گسیختگی‌ها تغییر کرده است. ۲. ریزش و پوشش سنگ‌ریزه‌ای در کلاهک سیلیسی و زمین‌لغزش چرخشی در زون آرژیلیتی- سریسیتی واحد سنگ شناسی A، ۳. ریزش سنگ در سنگ‌های متشکل از توف کربناتی و آندزیتی در واحد سنگ شناسی EV2 متعلق به سازند کرج. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در کیلومتر ۷۵۰+۸۰ مسیر آزادراه باعث کاهش مقاومت اشباع به‌دلیل محتوی بالای اکسید آهن از قبیل گوتیت در سیمان توف‌های آندزیتی شده است و ٤. جریان واریزه‌ای و زمین‌لغزش چرخشی در خاک‌های برجای سازند شمشک به‌دلیل بافت لپیدوبلاستیک اسلیت‌ها و استعداد فرسایش‌پذیری بالای آن‌ها با توجه به آب و هوای مسیر در حد فاصل منجیل- رودبار.

واژه‌های کلیدی: آزادراه قزوین- رشت، زمین‌لغزش، سازند کرج، زون آرژیلیتی- سریسیتی، شمشک، بافت لپیدوبلاستیک، نرم افزار ARC GIS 10.2

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها نقش مؤثری در تخریب آزادراه‌ها، جاده‌ها و مسیرهای راه آهن دارند و موجب خسارات جانی و مالی زیادی می‌شوند [۱]. شناخت مناطق مستعد رانش و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند در برنامه‌ریزی برای انجام اجرای ایمن پروژه‌های عمرانی و کاهش یا حذف خطر مؤثر واقع گردد. نتیجهٔ شناخت مناطق مستعد لغزش، موجب ارائه راهکارهای مناسب برای تثبیت شیروانی‌های مستعد گسیختگی می‌شود.

بررسی‌های گسترده‌ای در رابطه با تأثیر زمین‌شناسی بر زمین‌لغزش‌ها انجام شده است [۲]، [۳]. به‌عنوان مثال تاولاریس و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از سیستم مهندسی سنگ (Rock Engineering system;RES) که شامل لیتولوژی، تکتونیک، هیدرولوژی، جهت شیب، فاصله از جاده، بارندگی است، به پیش‌بینی مناطق مستعد لغزش در مناطق پاناگوپولو و مالاکاسا در یونان پرداخته‌اند [٤]. هم‌چنین میزان تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی نیز در ایجاد ناپایداری‌های سنگی به‌وسیلهٔ عبدالله و همکاران در سال ۲۰۱٤ در عربستان بررسی شده است [۵]. پهنه‌بندی زمین‌لغزش در سنگ‌های هوازده گرانیت در جنوب ایتالیا در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

سال ۲۰۱۸ با استفاده از روش آماری در محیط GIS ارزیابی شده است. نقشه هوازدگی گرانیت‌ها به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان خطر تهیه و استفاده شده است [٦].

براساس بازدیدهای صحرایی از مسیر و پژوهش‌هایی که مؤلفان در سال ۱۳۹۳ [۷] و ۲۰۱۷[۸]انجام داده‌اند مشخص شد که آزادراه به‌دلیل تنوع سنگ‌شناسی و ساختارهای تکتونیکی در مرحله بهره‌برداری به‌وسیلهٔ ناپایداری‌های سنگی تهدید می‌شود. لغزش‌های مهمی مانند لغزش گلدیان که شهر رودبار را تهدید کرد و خسارات فراوانی به باغ‌های زیتون وارد کرد. لغزش فتلک که موجب مدفون شدن کامل روستای فتلک با اهالی آن شد [۹]. زمین‌لغزش منجیل که در تاریخ ۹۲/٤/٤ کیلومتر۸۰۰–۵۰۰+۱۰۲ آزادراه را مسدود کرد [۱۰]، ریزش سنگ‌ها در محدوده منجیل– رودبار در مسیر آزادراه در بیست و دوم خرداد ۱۳۹٦ و بالاخره انسداد آزادراه مواصلاتی بر اثر این لغزش‌ها و سنگ‌ریزش‌ها [۱۱]، اهمیت توجه به ناپایداری‌های مسیر بررسی شده را روشن‌تر می‌سازد. هدف از این پژوهش تعیین پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در انواع واحدهای سنگی مسیر آزادراه قزوین–رشت است که تأثیر نقش زمین‌شناسی، تفاوت در خصوصیات ژئوتکنیکی و ساختارهای تکتونیکی در ایجاد و پراکندگی زمین‌لغزش‌ها را در مسیر نشان می‌دهد. ارائه روش‌های مناسب تثبیت، هدف نهایی این پژوهش است.

روش تحقیق

در این پژوهش با انجام بازدیدهای صحرایی و با استفاده از عکس‌های هوایی در طول مسیر آزادراه قزوین–رشت، موقعیت، پراکندگی و نوع زمین‌لغزش‌ها شناسایی شد. سپس با استفاده از نرم افزار ARC GIS 10.2 نقشهٔ زمین‌شناسی و نقشهٔ زمین‌لغزش‌ها، رقومی‌سازی شده‌اند. در ادامه، ضمن محاسبهٔ مساحت سازندها، واحدهای سنگ‌شناسی منطقه و مساحت زمین‌لغزش‌های رویداده در آن‌ها، میزان حساسیت هر سازند نسبت به انواع زمین‌لغزش‌ها تعیین شد و درصد فراوانی زمین‌لغزش برای هر واحد سنگ‌شناسی محاسبه شد. پراکندگی ریزش‌های سنگی در انواع واحدهای سنگی تعیین شد. در ادامه، به‌منظور بررسی نقش لیتولوژی (جنس سنگ، بافت، ترکیب کانی‌شناسی، هوازدگی، آلتراسیون و فرسایش) از واحدهای سنگی سازند کرج، شمشک، آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه و کنگلومرای فجن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

نمونه‌برداری انجام شد. سپس خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه‌ها با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی از قبیل وزن مخصوص خشک، درصد تخلخل، مقاومت فشاری تک‌محوری طبق استاندارد (۱۹۷۹) ISRM تعیین شد. در مرحلهٔ بعد برای تعیین نقش ساختارهای تکتونیکی برداشت مشخصات هندسی دسته درزه‌ها و مشخصات فیزیکی آنها (مواد پرکننده، میزان بازشدگی، وضعیت زبری و هوازدگی سطوح درزه‌ها، وضعیت آب) و مقاومت برشی روی درزه‌های با سطوح صاف انجام گرفت سپس نتایج به‌دست آمده از تراکم نسبی و درصد فراوانی با ویژگی‌های زمین‌شناسی ، ژئوتکنیکی و ساختارهای تکتونیکی هر سازند مطابقت داده شد.

موقعیت مسیر

مسیر آزادراه با طول ۱۳۸ کیلومتر در سال ۱۳۸۸ بهره‌برداری شد. غالباً جاده به‌صورت بغل‌بری (ترانشه‌زنی) در دل کوه احداث شده و در محل تلاقی با دره‌ها از روی خاکریزها یا پل‌های ساخته شده عبور می‌کند. این مسیر که از ارتفاعات البرز با امتداد تقریبی شمالی جنوبی می‌گذرد، شهرستان قزوین را به استان گیلان وصل می‌کند، یک پروژه ملی می‌باشد. مسیر آزادراه از مناطقی با ارتفاع مختلف عبور می‌کند که برای نشان دادن این ارتفاع مسیر بر روی تصاویر SRTM ماهواره لندست در محیط نرم‌افزار Arc GIS و Global Mapper رقومی شده و مورد پردازش قرار گرفته است که در شکل ۱ موقعیت و تصاویر ماهواره‌ای مسیر آزادراه نشان داده شده است.

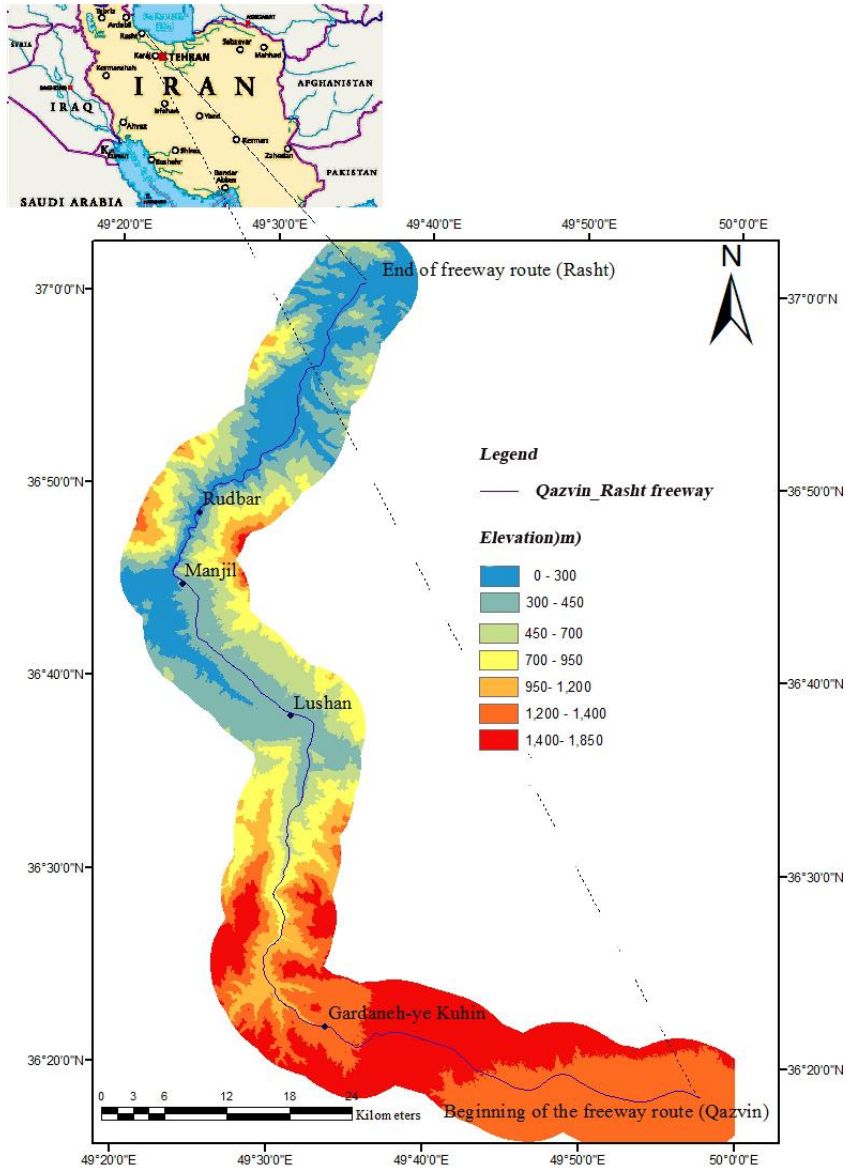
ژئومورفولوژی و آب و هوا

اقلیم در وقوع زمین‌لغزش‌ها یک اثر مهم و آنیداشته و برخی از عناصر اقلیمی چون بارندگی و دما نقش مهمی رادر وقوع زمین‌لغزش‌های مسیر آزادراه ایفاء می‌کند نقطه شروع مسیر در ارتفاع حدود ۱۴۰۰ متری است، اما نقاط میانی جاده، ارتفاعی معادل ۵۰۰ متر دارد. انتهای آزادراه در جنوب غرب امامزاده هاشم به به ارتفاع ۲۷۰ متری ختم می‌شود. با توجه به بلندترین نقطه ارتفاعی در مسیر آزادراه با ارتفاع ۱۴۰۰ متر و وجود اختلاف نسبتاً زیاد در ارتفاع، منطقه در چند اقلیم متفاوت قرار گرفته است. به‌طوری‌که در ابتدای مسیر، (گردنه کوهین) به‌علت ارتفاع زیاد از سطح دریا، زمستان‌ها سرد و نسبتاً طولانی و تابستان‌ها معتدل است. حداکثر دمای مطلق سالانه در گردنهٔ کوهین حدود ۳۸ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد در روزهای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]



شکل ۱. مسیر آزادراه قزوین _ رشت روی تصاویر ماهواره‌ای SRTM

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

گرم تیرماه و حداقل دما نیز ۱۳- درجه، در شب‌های ماه‌های آذر و دی گزارش شده‌اند. تعداد روزهای یخبندان ٦٠ روز در سال است [۱۲]. در این نقاط از مسیر به‌دلیل اختلاف شدید حداکثر و حداقل درجه حرارت در طی فصول سال و حتی در یک شبانه روز، هوازدگی مکانیکی شدید است. با کاهش ارتفاع به‌سمت مناطق پست یعنی میانه مسیر(منطقه لوشان) از شدت فرایند مزبور کاسته می‌شود. در حد فاصل منجیل- رودبار (تقریباً اواخر مسیر) به‌دلیل زیاد بودن میزان بارش و دمای متوسط، هوازدگی شیمیایی نسبت به هوازدکی مکانیکی غلبه دارد.

زمین‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی

مسیر آزادراه قزوین ـ رشت از دیدگاه زمین‌ساختاری در زون البرز قرار دارد. به‌طورکلی زون البرزجزء کمربند چین‌خورده آلپ ـ هیمالیا است. زون ساختمانی البرز که در بخش مرکزی کمربند فعال آلپ – هیمالیا قرار دارد. متشکل از ورقه‌های تراستی وروراندہ است واز زمان تریاس پسین (رخداد آلپی جوان) متحمل کوتاه‌شدگی شده است [۱۳]. این رشته جبال از نقطه نظر چینه‌شناسی و زمین‌ساختی اختصاصات یکنواختی نداشته و به‌همین دلیل به بخش‌های البرز شرقی و کپه داغ، البرز مرکزی و البرز غربی تقسیم شده است. مسیر بررسی شده در بخش البرز مرکزیاز رشته کوه‌های البرز از دره سفید رود و محور قزوین به رشت شروع می‌شود و در امتداد سواحل جنوبی دریای مازندران پایان می‌یابد. نقشهٔ زمین‌شناسی و درصد فراوانی سازندهای موجود در طول مسیر به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش از نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در چهار صفحه (شیت) تاکستان، جیرود، رودبار و رشت، نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ رودبار (خلیل‌آباد) [١٤]، [۱۵]، [١٦]، [۱۷] و [۱۸] و هم‌چنین از نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده به‌وسیلهٔ شرکت‌های مهندسین مشاور پارس، پاسیلو و هراز راه در سال ۱۳۸٤ با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته منحصر به نواری به عرض ۱۳۰۰ متر در حاشیه آزادراه است. با توجه به شکل ۳ حدود ۳۹ درصداز کل مسیر را سازند کرج به سن ائوسن زیرین تا میانی تشکیل می‌دهد. از نظر سنگ‌شناسی، بخشی از این سازند از رخساره دریایی و بخشی نیز از رخساره قاره‌ای تشکیل شده است. رخساره دریایی شامل سنگ‌های آذرآواری از قبیل توف‌ها و توفیت‌ها، آهک و غیره است. توف‌ها و توفیت‌ها دارای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

لایه‌بندی مشخص و واضح است. در رخساره قاره‌ای فعالیت ولکانیکی اهمیت بیش‌تری دارد.گدازه‌های مجموعه ولکانیکی بیش‌تر از جنس آندزیت، آندزیت ـ بازالت و ریوداسیت است که بافت پورفیری و گلوموپورفیری (غیر پورفیری) دارند. آگلومرا، برش‌های ولکانیکی، ماسه سنگ‌هائی که اجزاء آن آتشفشانی است، به‌انضمام شیل، سیلت سنگ و کنگلومرا نیز از همراهان مجموعه ولکانیکی البرز هستند. در حد فاصل گردنه کوهین تا لوشان از کیلومتر ۱۰۰+۴۷ تا ۸۰۰+۸۰ از واحدهای سنگ‌شناسیE6v گدازه‌های بازالتی، تراکی بازالتی ـ تراکی آندزیتی، گدازه‌های کوارتز آندزیتی، آندزیتی، تراکی آندزیتی، آندزیتی بازالتی قهوه‌ای تیره E6an، توف شیشه‌ای لیتیک‌دار بلورین داسیتی- آندزیتی سبز زیتونی تا سبز رنگ E6gt، توالی گدازه‌های آندزیت کوارتز دار، توف ماسه‌ای قرمز رنگ، توف آهکی E6vt، تناوبی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا با میان لایه‌های توفی به‌رنگ خاکستری تیره و قهوه‌ای رنگ Es، تناوب ماسه‌سنگ بامیان لایه‌هایی ازمارن و توف قرمز رنگ Em تشکیل شده است. در ابتدای مسیر توف‌های این سازند به‌طور گسترده‌ای دستخوش دگرسانی آرژیلی- آلونیتی (A) شده‌اند که در عکس‌های هوایی به‌رنگ سفید مشخص است. در این واحد سنگی ریزش و سقوط سنگ در قسمت‌های مرتفع و در قسمت‌های پایین گلروانه اتفاق افتاده است. مسیر از کیلومتر ۱۰۰ تا ۱۱۳ کیلومتری مجدداً از توف‌های قهوه‌ای چین‌خورده و آندزیت‌های قهوه‌ای شدیداً آلتره شده با لایه‌بندی ماسه‌سنگ سخت و مقاوم قهوه‌ای رنگ در قسمت‌های پایین‌تر Evt، آگلومرا به رنگ خاکستری و دایک‌هایی از جنس آندزیت‌ها Etb متعلق به سازند کرج تشکیل شده است. البته در این بین سازند کنگلومرایی فجن به سن پالئوسن در ۶۰۰ + ۱۰۴ کیلومتری مسیر آزادراه قرار گرفته است. از نگاه سنگ‌شناسی، این سازند شامل ضخامت متغیری از کنگلومرای پلی میکتیک همراه با بین لایه‌های ماسه‌سنگ توفی است. قلوه‌های کنگلومرا بیش‌تر بازالت و آندزیت با گردشدگی و جورشدگی خوب با یک سیمان تقریباً سخت به هم‌دیگر پیوسته‌اند و قطر آنها از چند میلی متر تا ۲۵ سانتی متر متغییر است. سیمان این سازند به‌رنگ قرمز دیده می‌شود که بر اثر وجود اکسیدهای آهن در سیمان آنها به این رنگ در آمده و یک مشخصه سازند فجن در این قسمت از مسیر است. ولی به‌طور محلی، سازند فجن نوعی کنگلومرای آتشفشانی (آگلومرا) است که به‌طور دگرشیب سنگ آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه زیرین را می‌پوشاند و در بالا با سازند آهکی زیارت هم شیب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

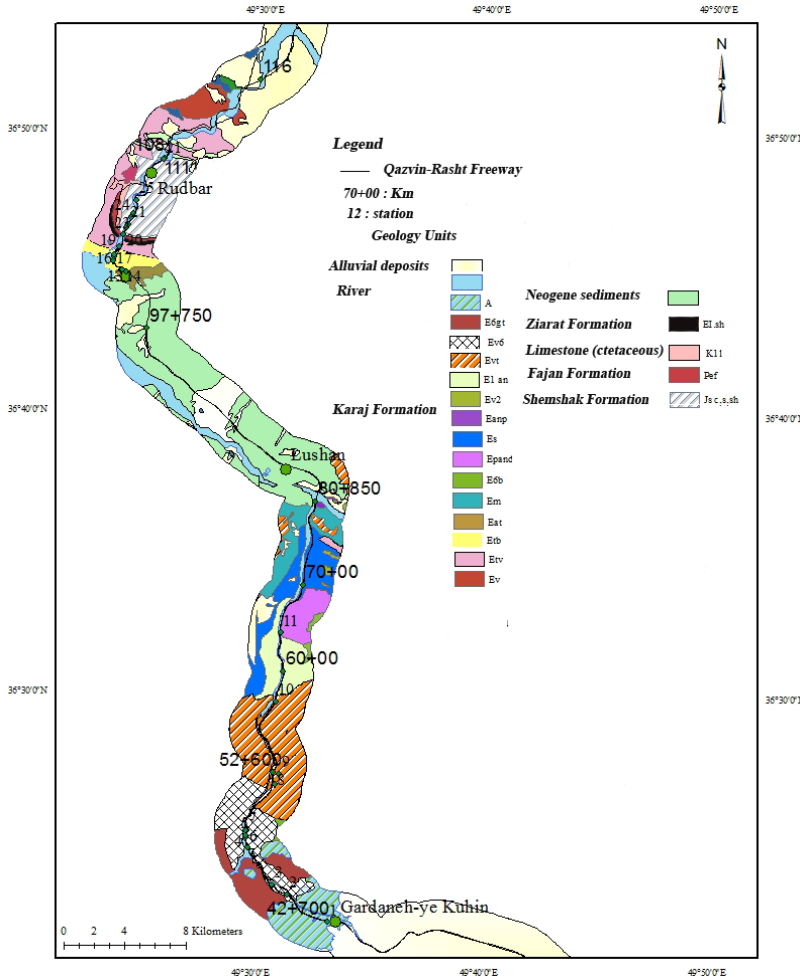
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

است. این سازند در نقشهٔ زمین‌شناسی با علامت Pef نشان داده شده است. سازند زیارت عمدتاً شامل سنگ آهک نومولیت دار همراه با شیل به‌رنگ خاکستری روشن تا خاکستری، متوسط تا ضخیم لایه هستند. این رسوبات با سن ائوسن پیشین تامیانی به‌صورت هم شیب بر سازند فجن و با مرزی تدریجی در زیر سازند کرج قرار گرفته‌اند که در نقشهٔ زمین‌شناسی با علامت EIsh نشان داده شده است. سن این سازند پالئوسن تا ائوسن میانی است که شامل آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای، گاهی الیتی که به‌گونه هم‌شیب روی واحد شیلی سازند شمشک قرار گرفته‌اند. از نظر مورفولوژی شیب بسیار زیادی در کیلومتر ۶۵۰+۱۰۴ تا ۹۰۰+۱۰۸ دارند. این لیتولوژی با علامت Kl1 نشان داده شده است. نام سنگ بایو میکرواسپارایت است کانی اصلی تشکیل‌دهندهٔ سنگ، کلسیت است که تقریباً تمام سنگ را در برگرفته است.

در کیلومتر ۹۰۰+۱۰۸ تا ۸۰۰+۱۱۱ مجموعه‌ای شامل شیل، ماسه سنگ با میان لایه‌های کنگلومرا در مسیر رخنمون دارند. این مجموعه در چینه‌شناسی البرزسازند شمشک است. مسیر از نظر مورفولوژیکی در شیب‌های مرتفع و تند واقع شده است و سن سازند تریاس ـ ژوراسیک است. شیل‌های این مجموعه نازک لایه‌اند. رنگ بیش‌تر آنها سبز زیتونی است. گه‌گاه لایه‌های ذغال‌دار سیاه‌رنگ و حتی لایه‌های زغال خالص (گرافیت) نیز همراه آنها دیده می‌شود. شیل‌ها در منطقهٔ رودبار تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند در درجات ضعیف‌تر به اسلیت تبدیل شده‌اند. اسلیت‌های یاد شده بسیار ترد و شکننده هستند و به‌دلیل چین‌خوردگی شدید خیلی خرد و شکسته و بهم ریخته‌اند. در نقشهٔ زمین‌شناسی ارائه شده سازند شمشک با علامت sh، s، Jsc مشخص شده‌اند.

با توجه به نقشهٔ سایزموتکتونیک ایران و نقشه‌های زمین‌شناسی، گسل‌های اصلی منطقه، راستای شرقی-غربی، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی-جنوب‌غربی دارند. از مهم‌ترین و مشخص‌ترین گسل‌های منطقه می‌توان به گسل شمال قزوین اشاره کرد. این گسل با راستای شرقی-غربی، موجب راندگی گدازه‌های آتشفشانی ائوسن بر نهشته‌های آبرفتی پلیوسن شده است. هم‌چنین گسل‌های دیگری نیز در محدوده اجرای ترانشه‌ها قرار دارند از جمله راندگی کوه‌های البرز، گسل بره سر-کلیشم، لوشان، منجیل، هرزه ویل است. گسل هرزه ویل با امتداد N100 در نزدیکی سد منجیل ازمجموعهٔ توف آگلومرا و آندزیت ائوسن

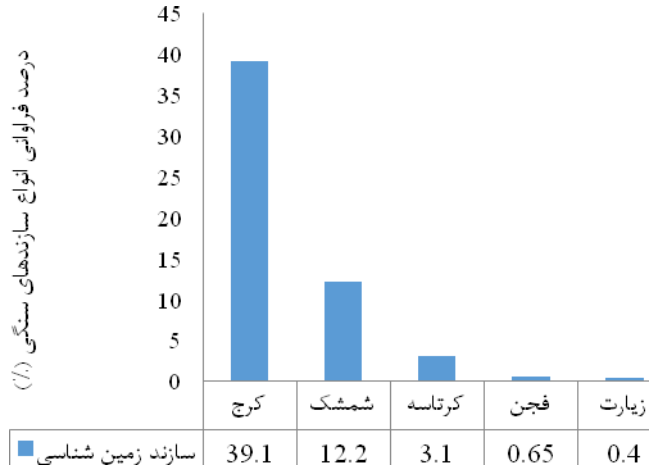
عبور می‌کند که باعث درزه شدن مجموعه سنگ‌های مسیر آزادراه شده است. علاوه بر این، گسل‌های کوچک مقیاسی که در نقاط متعددی مسیر را قطع کرده و در مواردی با ترانشه‌های بررسی شده، تقاطع ایجاد کرده‌اند.



شکل۲. نقشهٔ زمین‌شناسی و موقعیت ایستگاه‌ها در مسیر آزادراه قزوین–رشت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]



شکل ۳. درصد سازندهای سنگی موجود در مسیر آزادراه قزوین – رشت

انواع ناپایداری دامنه‌ای

رخنمون‌های سنگی و مصالح درگیر باناپایداری دامنه‌ها در طول مسیر طیبازدیدهای صحرایی بررسی شده‌اند. انواع مختلفی از ناپایداری دامنه‌ای در مسیر دیده می‌شونددر شکل ۵ الف تا خ نمایی از انواع ناپایداری ها در طول مسیر نشان داده شده است. متداولترین آنها ریزش‌ها و سقوط سنگ[1]، گسیختگی صفحه‌ای، گوه‌ای و خمشی، حرکات جریانی[2]، لغزش‌ها[3]، شستشوی شیب[4]، پوشش سنگریزه [5] و بهمن واریزه‌ای[6] هستند. انواع مختلف ناپایداری‌های دامنه‌ای متناسب با نوع سازندها تقسیم‌بندی شده‌اند. شکل‌های ٤ و ۵ تنوع ناپایداری‌های دامنه‌ای را در مسیر آزادراه قزوین– رشت نشان می‌دهند.

1. Rock fall
2. Debris flow
3. Landslide
4. Slope wash
5. Scree slope
6. Rock avalanche

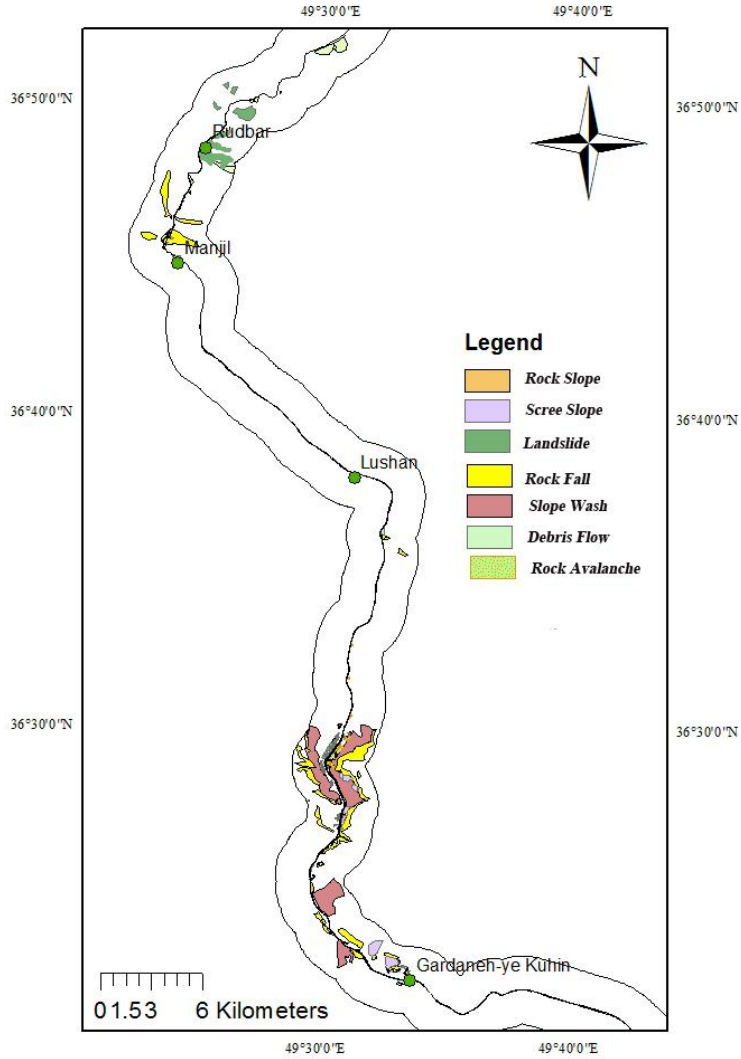
شکل ٤. نمایی از زمین‌لغزش‌های رخداده در مسیر آزادراه قزوین – رشت، الف) سقوط بلوک‌های سنگی در قسمت بالای ترانشه و زمین‌لغزش در سری سنگ‌های آندزیت با آلتراسیون شدید (ایستگاه اول: کیلومتر ۷۰۰+٤۲). ب) سقوط و ریزش بلوک‌های سنگی در سری سنگ‌های آندزیتی و پوشش سنگریزه‌ایی در قسمت پایین ترانشه (ایستگاه ۹: کیلومتر ٦۰۰+۵۲)، عکس به‌سمت جنوب‌شرق گرفته شده است. پ) ریزش بلوک‌های سنگی در سری سنگ‌های آندزیتی و نهشته‌های آذرآواری (ایستگاه ۱۰: کیلومتر ۹۰۰+۵۷). ت) سقوط و ریزش بلوک‌های سنگی در سری سنگ‌های آگلومرای خاکستری (ایستگاه ۱۵: کیلومتر ۱٤۰). ج) زمین‌لغزش منجیل که در تاریخ ۹۲/٤/٤ اتفاق افتاد و از کیلومتر۸۰۰–۵۰۰+۱۰۲ آزادراه را مسدود کرد. عکس روبه جنوب گرفته شده است. چ) گسیختگی صفحه‌ای به موازات شیب توپوگرافی و ریزش در سری کنگلومراهای هوازده سازند شمشک در ناحیهٔ خلیل آباد رودبار (ایستگاه ۲۱: کیلومتر ۱۰۵).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]



شکل ۵. میزان پراکندگی زمین‌لغزش‌ها و تنوع آن‌ها در مسیر آزادراه قزوین – رشت

پراکندگی ریزش‌های سنگی روی انواع واحدهای سنگی

برای پراکندگی ریزش‌های سنگی روی انواع واحدهای سنگی میزان تراکم لغزش در واحد، درصد فراوانی پدیدهٔ زمین‌لغزش با توجه به روابط ۱ و ۲ تعیین شده‌اند. تراکم نسبی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

نمودار ستونی درصد فراوانی انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای در واحدهای سنگی به‌ترتیب در جدول ۲ و شکل ٦ محاسبه و ارائه شده است. در سازند کرج درصد فراوانی سقوط سنگ، واژگونی سنگ، بهمن سنگ، پوشش سنگ‌ریزه‌ای و لغزش ترکیبی بالاترین مقدار را شامل می‌شوند. در سنگ‌های متعلق به سازند شمشک استعداد جریان واریزه‌ای و زمین‌لغزش‌ها افزایش یافته است. در کنگلومراهای فجن و آهک‌های سازند زیارت و کرتاسه، پدیدهٔ ریزش‌های سنگی بیش‌تر شکل می‌گیرند.

تعیین میزان تراکم لغزش در واحد: برای محاسبهٔ میزان تراکم زمین‌لغزش

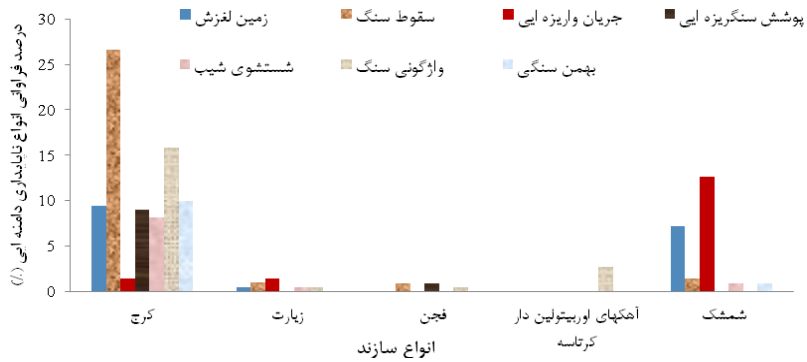
$$\% L_{I=}{}^{A_L}/_{A_T} \quad (۱)$$

که L_I: میزان تراکم زمین‌لغزش، A_L: مساحت متأثر از زمین لغزش، A_T: مساحت کل واحد سنگ‌شناسی.

تعیین درصد فراوانی پدیدهٔ زمین لغزش در هر واحد سنگ شناسی

$$\% L_{F=}{}^{N_L}/_{N_T} \quad (۲)$$

که L_F: درصد فراوانی زمین‌لغزش در هر واحد سنگ‌شناسی، N_L: تعداد زمین‌لغزش‌های ثبت شده در هر واحد سنگ‌شناسی، N_T: تعداد زمین‌لغزش‌های ثبت شده در کل منطقه.



شکل ٦. نمایش درصد فراوانی انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای در واحدهای سنگ‌شناسی مسیر آزادراه قزوین– رشت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

جدول ۲. رابطهٔ انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای با واحدهای سنگ‌شناسی

واحدهای سنگ‌شناسی			مساحت هرواحد Km^2	میزان تراکم L_I(نوع حرکت)					
				شستشوی شیب	واژگونی سنگ	بهمن سنگی	سقوط سنگی	زمین لغزش	جریان واریزه ایی	پوشش سنگریزه ایی
پالئوژن	کرج	A	۱۱/٤	٤	–	–	۱۹/٦	۳	–	۲۹/۹
		E6v	۱۷/۷	۱۷	۱۳/۷	٦/۱۸	۱۲/٤	۱۰/۲	–	٦
		Evt	۳۰/۷	۲۰/٦	–	۱/۸	۱٦	۱/۲	–	۲/۲
		Etb3	۱٤/۳	–	۳	–	٦۱	–	–	۵
		Ev2	۲/۵	–	–	–	–	۱/۲	–	–
	زیارت	EIsh	۰/٦۸	۱	–	۲	–	–	۵	–
	فجن	Pef	۱/۳	–	۵	–	٤۵	–	–	٤
کرتاسه	آهکهای اوربیتولین دار	K1l	۰/۲٦	–	۰/۱۸	–	–	–	–	–
ژوراسیک	شمشک	Js,c,s,sh	۱٤/۱	–	–	–	۱/۵	۳۵/۳	۱۵	–

خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه‌های سنگی مسیر آزادراه قزوین–رشت

ناپایداری شیروانی‌های سنگی تحت تأثیر ویژگی‌های مهندسی سنگ بکر و توده‌سنگ مسیر آزادراه قرار داد. ویژگی‌های مهندسی توده‌سنگ در درجهٔ اول به خصوصیات فیزیکی ناپیوستگی‌های موجوددر توده سنگ وابسته است. به‌همین منظور برای تعیین خواص مهندسی توده سنگ، خواص ناپیوستگی‌های موجود در تودهٔ سنگ بررسی شد. در این پژوهش با تهیه و حمل بلوک‌های سنگی دست‌نخورده از سنگ‌های موجود در مسیر آزادراه قزوین– رشت به آزمایشگاه دانشگاه بوعلی سینا همدان، نمونه‌های استوانه از سنگ‌های مسیر و با درجات متفاوت هوازدگی و آلتراسیون تهیه شده است. برای نمونه‌هایی از سنگ که درجهٔ هوازدگی زیاداست و امکان تهیه نمونه‌های استوانه‌ای میسر نبوده است از نمونه‌های مکعبی براساس استاندارد ASTM-C170 [۱۹] استفاده شده است. مطابق با استاندارد ISRM (۱۹۷۹) [۲۰]، آزمون‌های تعیین خصوصیات فیزیکی شامل چگالی خشک و درصد تخلخل روی نمونه‌هایی از سنگ‌های مسیر انجام شده است از میانگین نتایج برای توصیف

خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها براساس رده‌بندی آنون (۱۹۷۹) [۲۱] استفاده شد نتایج آزمایش‌های تک‌محوری در حالت خشک و اشباع و رده‌بندی آن‌ها براساس دیر و میلر ۱۹٦٦ در جدول ٤ ارائه شده است. در شکل ۷ الف تا ت تصاویر نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی شکل استفاده شده نشان داده شده است. خواص فیزیکی ناپیوستگی‌ها به‌وسیلهٔ بازدیدهای صحرایی و با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی تعیین شده است. برای محاسبه پارامترهای مقاومت برشی درزه‌ها، آزمایش برش مستقیم روی درزه‌های مصنوعی انجام شد. شکل ۷ ث نمونه‌ای از دستگاه آزمایش مقاومت برشی مستقیم سنگ به‌همراه نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش موردنظر را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای تعیین JRC از پروفیل گیج استفاده شده است. بدین‌منظور ابتدا پروفیل گیج روی سطح درزه گذاشته می‌شود و سپس نیمرخ سطح درزه روی کاغذ رسم می‌شود. در مرحلهٔ بعد با انطباق این نیمرخ روی نیمرخ‌های استاندارد که به‌وسیلهٔ بارتون و کوبی (۱۹۷۷) [۲۲] ارائه شده، مقدار JRC تعیین می‌شود. شکل ۷ ح تصویری از پروفیل گیج است که برای تعیین JRC به‌کار برده شده است. هم‌چنین نحوهٔ اندازه‌گیری شیب و امتداد درزه‌ها، گسل‌ها و دامنه با استفاده از کمپاس در شکل ۷ خ نشان داده شده است.

شکل ۷. الف) نمونه‌های استوانه‌ای آماده شده برای آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری از ایستگاه ۱٦، ب) نمونه‌های مکعبی آماده شده از قسمت پایین ترانشه ایستگاه ۱ واحد A، پ) نحوهٔ شکست در نمونه سنگی از واحدE6v، ت) نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی آماده شده برای آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری از ایستگاه ۱۰، در عکس سمت، ج) نمونه‌ایی از توف آندزیتی بعد از اشباع نشان داده شده است. چ) دستگاه آزمایش برش مستقیم سنگ به‌همراه نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش، ح) اندازه‌گیری سطح درزه با شانه زبری، خ) اندازه‌گیری شیب و امتداد درزه‌ها و دامنه با استفاده از کمپاس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

برای تعیین مقاومت فشاری سطوح درزه (JCS) از چکش اشمیت استفاده شده که به‌وسیلهٔ انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) در سال ۱۹۷۹توصیه شده است. برای هر نمونه سنگ، حداقل ۲۰ آزمایش انجام و سپس با استفاده از روابط تجربی بارتون و کوبی(۱۹۷۷) [۲۲] مقدار JCS در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شده است.

$$\text{Log JCS(MPa)} = 0.00088\,\gamma_d R + 1.01 \qquad (۳)$$

در رابطهٔ (۳)، R شاخص عدد سختی اشمیت و γ_d وزن واحد حجم خشک سنگ برحسب KN/m^3 است.

با مقایسه نتایج مقاومت فشاری سطح درزه که حاصل استفاده از چکش اشمیت است و مقاومت تراکمی تک‌محوری سنگ می‌توان سطوح درزه را براساس هوازدگی که به‌وسیلهٔ سینگ و گهرویی در سال ۱۹۸۹ (جدول ۳) [نقل از ۲۳] ارائه شده، طبقه‌بندی کرد. نتایج طبقه‌بندی در جدول ٤ نشان شده است.

جدول ۳. رده‌بندی سطوح درزه براساس هوازدگی (سینک و گهرویی ۱۹۸۹) [نقل از ۲۳]

ضریب هوازدگی(σ_c/JCS)	توصیف هوازدگی سطح درزه
‹۱/۲	تازه _ کمی هوازده
۱/۲–۲	هوازدگی متوسط
›۲	کاملاً هوازده

با توجه به جدول ٤، از نظر میزان مقاومت، سنگ‌های ولکانیکی سازند کرج در واحدهای سنگ‌شناسی E6v، آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه K1l و کنگلومرای فجن Pef براساس طبقه‌بندی مهندسی سنگ بکر دیر و میلر ۱۹٦٦ [۲٤] در رده‌های خیلی بالا (A) و بالا (B) قرار می‌گیرند. براساس طبقه‌بندی آنون ۱۹۷۹ [۲۱]، نمونه‌های ایستگاه‌های ٦ و ۹ در گروه سنگ‌های دارای وزن واحد حجم متوسط قرار می‌گیرند. هم‌چنین براساس تخلخل، در گروه سنگ‌های با تخلخل متوسط واقع می‌شوند. تخلخل متوسط، شرایط را برای حضور آب فراهم کرده است. برخلاف سنگ بکر بسیار محکم و مقاوم، در توده سنگ‌ها، درزه‌ها، در سه و گاه در چهار دسته متعامد دیده می‌شوند (جدول ٤). بازشدگی در بین درزه‌ها عموماً متوسط بوده است و گاهاً با رس پرشده است. سطح درزه‌ها براساس طبقه‌بندی سینک و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

گهرویی ۱۹۸۹ (جدول ۳) [نقل از۲۳] از هوازدگی کم تا کاملاً هوازده برخوردار است. سیستم درز و شکاف ناشی از عملکرد تکتونیک زمینه ساز گسیختگی‌های سنگی، سقوط سنگ و حرکت گوه سنگی است.

چنان‌که گفته شد واحد سنگ شناسی A تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته است. با توجه به جدول ٤ توده سنگ تشکیل دهنده کلاهک A از سریسیت، کائولینیت، آرژیلیت در زمینه‌ایی از کوارتز قرار دارد (زون سیلیسی)، همین عامل کوارتز باعث بالارفتن مقاومت سنگ تا ۱۷۷ مگاپاسکال شده است که براساس طبقه‌بندی دیر و میلر ۱۹٦٦ در رده A قرار گرفته و به‌صورت صخره‌ای با شیب ۸۰ درجه مشاهده می‌شود. ولی جنس توده‌سنگ تشکیل‌دهندهٔ در قسمت پایین ترانشه از سریسیت، آرژیلیت، کائولینیت، گوتیت، ژیپس و لوکوسین (زون آرژیلیتی- سریسیتی) است. مقاومت فشاری این توده آلتره شده براساس مقاومت فشاری تک‌محوری (جدول ٤) ۳/۸٤ مگاپاسکال بوده است واز نظر طبقه‌بندی مهندسی سنگ دیر و میلر ۱۹٦٦ در رده پایین (E) قرار می‌گیرد. هوازدگی و دگرسانی در این توده سنگی به قدری پیشرفته است که ناپیوستگی‌های درون توده سنگ تقریباً محو شده و به‌سختی قابل شناسایی هستند.

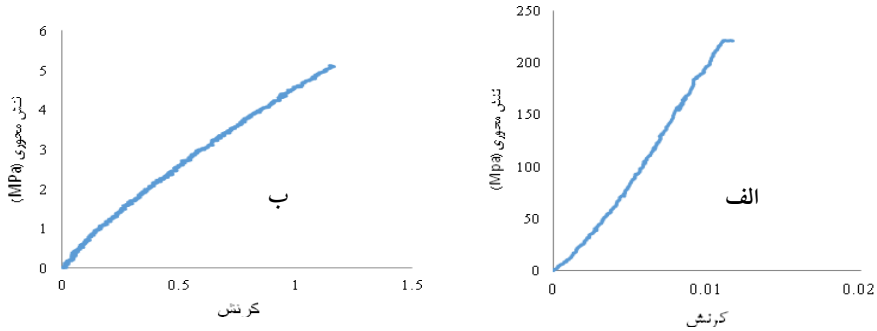
در شکل ۸ نمودارهای تنش-کرنش برای سنگ‌های آندزیتی سازند کرج در ابتدای مسیر و سنگ موجود در کلاهک (زون سیلیسی) و زون آرژیلیتی-سریسیتی A با استفاده از نتایج آزمایش تک‌محوری رسم شده است. براساس این نمودارها دو نوع رفتار تشخیص داده شد که عبارتند از: ۱. پلاستیک-الاستیک: که در نمونه‌های کلاهک سیلیسی و آندزیت‌های سازند کرج مشاهده شده است. بخش پلاستیک در این دسته از سنگ‌ها بسیار کم است و رفتار آنها در آزمایش فشاری تک‌محوری به‌صورت شکننده بوده است، طوری‌که با صدای زیاد و حالت انفجاری گسیخته می‌شود. ۲. پلاستیک-پلاستیک که در نمونه‌های زون آرژیلیتی-سریسیتی در واحد سنگ شناسی A مشاهده شده است.

با توجه به جدول ٤، در واحد سنگ‌شناسی EV2 مقاومت تک‌محوری توف آندزیتی در حالت خشک ۵۳/۱ مگاپاسکال بوده است که در حالت اشباع به ۱٤/۱ مگاپاسکال می‌رسد در توف کربناتی مقاومت تک‌محوری متوسط است. در این ترانشه سنگی به‌دلیل بالا بودن سطح

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

آب زیرزمینی و تفاوت مقاومت سنگ در حالت اشباع ناپایداری لغزش‌ها عمدتاً به‌صورت ریزش‌های سنگی است (شکل ٤ پ).

چنان‌که در جدول ٤ ارائه شده است با تشدید هوازدگی در کنگلومراها میزان تخلخل افزایش یافته و مقدار مقاومت تک‌محوری و برشی کاهش یافته است در این مرحله از هوازدگی ذرات و کانی‌های سنگ از هم جدا شده‌اند. به‌طوری‌که کنگلومراهای کاملاً هوازده فاقد چسبندگی هستند. برای اسلیت‌ها به‌دلیل بافت لپیدوبلاستک و ساختمان ورقه‌ای انجام آزمایش تک‌محوری امکان‌پذیر نیست و برای اندازه‌گیری مقاومت از آزمایش بار نقطه‌ای در بدترین حالت (جهت موازی بر شیستوزیته) استفاده شده است. بدین‌صورت که از نمونه‌های مکعبی شکل با ابعاد بین ۳۰ تا ۸۵ میلی‌متر و با نسبت ابعاد (۳/۱W‹D›W)، به‌صورت بلوکی در هر دو حالت خشک و اشباع تحت آزمایش قرار گرفت و از مقادیر شاخص مقاومت بار نقطه‌ای به‌دست آمده، میانگین گرفته شد. مقادیر میانگین بار نقطه‌ای در حالت خشک ۲/۳MPa و در حالت اشباع نمونه‌ها به‌علت جذب آبی که نمونه‌ها در اثر اشباع شدن داشته گسیخته نمی‌شوند از این‌رو، در حالت اشباع نتیجه خاصی حاصل نشد.



شکل ۸. نمودارهای تنش-کرنش در آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری الف) برای سنگ‌های آندزیتی متعلق به سازند کرج، ب) زون آرژیلیتی-سریسیتی در واحد سنگ‌شناسی A

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95] [DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7] [Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

جدول٤- خصوصیات ژئوتکنیکی واحدهای سنگ‌شناسی در مسیر آزادراه قزوین-رشت

سازند شمشک				سنگ‌های سخت و نرم(واحد شناسی Ev2)
اسلیت	خاک برجای حاصل از هوازدگی کنگلومرا	کنگلومرای هوازده	کنگلومرا سالم	توف آندزیتی
–	GM	-	-	–
کوارتز+ فلدسپات+ میکا (بافت سنگ لپیدوبلاستیک)	کوارتز+ایلیت+کلریت	-	-	کلریت+ ایلیت+ پلاژیوکلاز+ فلدسپات+کوارتز+اکسیدآهن+گوتیت
–	۰/۰۱	-	-	–
–	۲۱	-	-	–
–	–	-	-	–
۲/٦۸	–	۲/۱	۲/٤	۲/۳۲
٤/۷٦	–	۱۷/۸	۲/۷۵	٤/٤۵
–	–	۳۵/۸	۹۹/۸	۵۳/۱
–	–	۲٦/۸۹	۷۸/۹	۱٤/۱
–	–	– پلاستیک	الاستیک	پلاستیک-پلاستیک
–	–	E	B	D
۰/٤٦	–	۰/٦	۱/۱	۰/۲
۷/۸	–	۱۸/۷	۲۹/۳	۸
٦۵/۲٤۱	–	٦۲/۱۱	٤۰/۲٤۰	٦۰/۱۰۲
۳	–	۳	۳	۱
۳۰/۲٤۰ و ۳۰/۱۹۵	–	٦۱/۱۷	۳۵/۲۳٦	۷۰/۱۰۰
۰/۱	–	۱-۳	۱-۳	۲-۳
۰/۲-۰/٦	–	۰/٦-۲	۲۰	۲۰
/۱-۰/۵	–	۰/۱-۰/۵	کمتر از ۰/۱	۰/۱-۰/۵
گاهاً با رس	–	پرشدگی با گل حدود ۵ cm	–	رس
-	–	۱۷/۳	۳۵/٦	۱۲/۱
-	–	موج دار صاف	موج دار- زبر	موج دار صاف
موج دار- زبر	–	کاملاً هوازده	متوسط هوازده	کاملاً هوازده
مرطوب	–	مرطوب	مرطوب	آب جریان دارد

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95] [DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7] [Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

	کلاهک سخت و مقاوم (واحد سنگ شناسی)A		سنگهای سخت و مقاوم		
توف کربناتی	زون سیلیسی	زون آرژیلیتی-سریسیتی	اهک‌های کرتاسه (K1l)	کنگلومرای فجن (Pef)	آآگلومرا (Etb)	بازالت) Ev6(ایستگاه ۹)
-	-	-	-	-	-	-
-	سریسیت، کائولینیت، ارژیلیت در زمینه‌ایی از کوارتز	+کائولینیت+گوتیت+ ژیپس و	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-		-	-	-	-
۲/٦٥	۲/٥٨	۲/۰۳	۲/۳٦	۲/۲۲	۲/۲۳	۲/۲۷
۱/۸۳	۰/۰۹	۱۸/۸۲	٦/۳۷	۳/۷٥	۸/٦٤	٥/۷۸
٦۰/٦	۱۷۷	٥/۱۲	۸٥/۱	۱۱۸/۱	۸۹/۹	۱٤٦/۸
٥٤/٦	۱۰۲	۱/۷۲	٥۱/۷	۷۱/۷۳	٥۹/۸	۱۰۰/۱
الاستیک-پلاستیک	الاستیک-پلاستیک	پلاستیک	الاستیک-پلاستیک	الاستیک-پلاستیک	[illegible]	الاستیک
C	A	E	B	B	B	B
۰/۳٥	۰/٥	۰/۱۸	۱/۱۲	۰/۳	۰/۳٤	۰/۲
۱٤/۸	۳٥/۱	۸	۲۸/۸	۲۱/٤	۲۱/۷	۳۰/۷
٦۰/۱۰۲	۸۰/۱۰	٤۹/۱۰	٥۸/۲۹۸	۸۲/۲٤۰	٤٥/۲٤۰	۷٥/۳۱٥
۱	٤	٤	۲	۳	۳	۳
۷۰/۱۰۰	٦۰/۳٤۰ و ٦۰/۲۰	٦۰/۳٤۰ و ٦۰/۲۰	٥۱/۲۹٦		۷۰/۱۸۰ و ۳۳/۲۲۰	۸۸/۷ و ۹۰/۲۹۰
۲-۳	۰.٥-۲	۰/٥-۲	۱/٥-۲	۱/٥-۲	۱/٥-۲	۳-۱۰
۲۰	موج دار صاف	موج دار صاف	۲۰-٤۰	۲۰-٥۰	۱۰-٥۰	۰/۲-۰/٦
۰/۱-۰/٥	۱-۳	۱-۳	-	-	۱۰-۲۰	۰/۱-۰/٥
رس	با مواد دگرسان شده	تمیز و گاهاً ژیپس	-	-	-	تمیز
۲٦/۷	٤۱/٥	-	٥۱/۳۸	٤۸/۱	۲۹/٤	٦۷/۱
موج دار صاف	موج دار زبر	موج دار صاف	موج دار زبر	موج دار زبر	موج دار- زبر	موج دار- زبر
کاملاً هوازده	متوسط هوازده	کاملاً هوازده	متوسط هوازده (وجود انحلال)	متوسط هوازده	متوسط هوازده	متوسط هوازده
آب جریان دارد	مرطوب	آب تراوش می کند	زنگ برگشتگی	رنگ برگشتگی	مرطوب	خشک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

نام خاک	تراکی اندزیت Ev6(ایستگاه۶)
نوع کانی ها	-
چسبندگی (kg/cm^2)	-
زاویه اصطکاک داخلی (ϕ^o)	-
نفوذپذیری(cm/sec)	-
وزن واحد حجم خشک(gr/cm^3)	۲/۴۹
تخلخل(٪)	۴/۵۲
مقاومت فشاری تک محوری در حالت خشک (MPa)	۱۰۹
مقاومت فشاری تک محوری در حالتاشباع (MPa)	۶۰/۵
رفتار سنگ قبل از شکست	الاستیک-پلاستیک
طبقه بندی سنگ براساس دیر و میلر(۱۹۶۶)	B
چسبندگی (MPa)	۰/۸
زاویه اصطکاک داخلی (ϕ^o)	۲۳/۶
شیب/ جهت شیب رویه شیروانی	۶۰/۲۶۰
تعداد دسته درزه‌ها	۴دسته درزه منظم و گسل
شیب/ زاویه شیب درزه غالب	۴۵/۲۷۵و ۴۹/۲۵۰
دراز (متر)	۲
فاصله داری (سانتی متر)	۰/۲-۰/۶
بازشدگی (میلی‌متر)	۰/۱-۰/۵
پرشدگی	از هوازدگی سنگ
مقاومت فشاری سطوح درزه (JCS) براساس دیر ۱۹۶۶	۳۷/۱
وضعیت زبری(JRC)	موج دار- زبر
هوازدگی	کاملاً هوازده
وضعیت آبداری	خشک

بحث

ارتباط لیتولوژی و خصوصیات ژئوتکنیکی سنگ بکر و توده‌سنگ پس از انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی با پراکندگی ریزش‌های سنگی مطابقت داده شد. سپس پایدارسازی آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. با توجه به جداول ۲ و ٤ انواع لغزش‌های موجود در مسیر در ٤ گروه قرار داده شد، که عبارتند از: ۱. گسیختگی‌های صفحه‌ای، گوه‌ای، واژگونی و سقوط سنگ در دامنه‌هایی با شیب تند در سنگ‌های دارای چندین دسته درزه با مقاومت متوسط تا بالا از قبیل سنگ‌های ولکانیکی سازند کرج، آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه و کنگلومرای فجن، ۲. لغزش در ترانشه‌هایی متشکل از کلاهک در واحدهای سنگ‌شناسی A و دامنه‌هایی که از سنگ‌های آندزیتی مقاوم در قسمت بالا و از نهشته‌های آذرآواری در قسمت پایین دامنه تشکیل شده‌اند. ۳. لغزش در دامنه‌هایی که از توالی سنگ‌هایی سست و مقاوم تشکیل شده‌اند مانند توف‌های کربناته و آندزیتی در واحد سنگ‌شناسی EV2 و ٤. جریان واریزه‌ایی و زمین‌لغزش چرخشی در خاک‌های برجای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

اسلیت‌ها و کنگلومراهای سازند شمشک، در ادامه سازوکار تشکیل و ارتباط بین پارامترهای ذکر شده به‌طور مفصل آورده شده است.

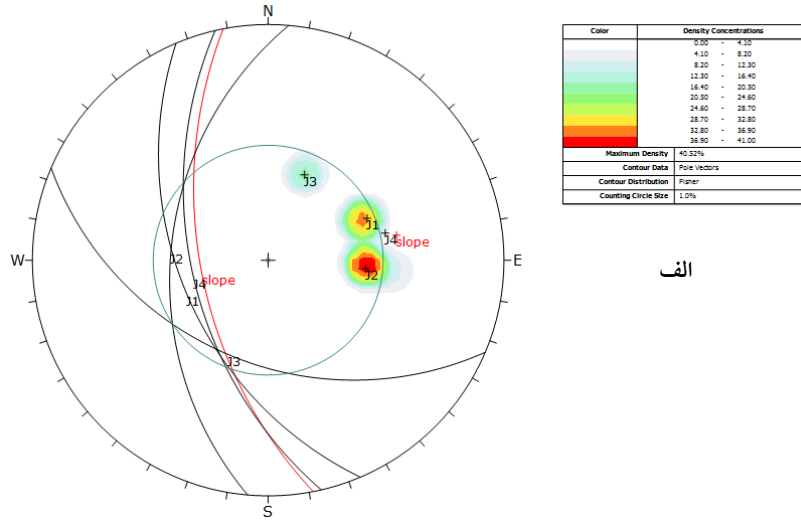
۱.زمین لغزش در دامنه‌هایی با شیب تند در سنگ‌هایی با مقاومت متوسط و بالا

با توجه به گسترش سطحی سازند کرج بیش‌ترین تعداد گسیختگی‌های صفحه‌ای، گوه‌ای، واژگونی، سقوط سنگ و بهمن سنگی در این سازند مشاهده می‌شود. از نظر ویژگی‌های مهندسی آندزیت‌ها، تراکی آندزیت ها و بازالت ها مقاومت فشاری خوبی دارند ولی دارای دسته درزه‌های فراوان با فاصله‌داری متوسط بین (۰/٦-۰/۲) متر و در اکثر موارد سطوح درزه‌ها کمی زبر و متوسط تا شدیداً هوازده، بازشدگی سطح دیواره‌ها بین ۵-۱ میلی‌متر بوده که با توجه به آب و هوای سردسیری و انجماد و ذوب مکرر یخ، با وجود آب در درزه‌های سنگ توسعه سیستم درزه‌ها خیلی سریع‌تر از حالت عادی صورت گرفته و این موضوع سقوط و واژگونی قطعات سنگی را تسهیل می‌کند. به‌عنوان مثال در واحدهای سنگ‌شناسی متشکل از سنگ‌های با مقاومت متوسط و دارای دسته درزه‌ها با بازشدگی ۲۰-۱۰ میلی متر (Etb3) سقوط سنگ به بیش‌ترین مقدار خود از لحاظ تراکم نسبی رسیده است (L_I (سقوط سنگ) =٦۱). در شکل ۹ تصاویر استریوگرافی ایستگاه‌های ٦ و ۹ مسیر با استفاده از نرم افزار Dips v6.1 [۲۵] آورده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، در ایستگاه ٦ (شکل ۹ الف) ناپایداری صفحه‌ای حاصل، تحت تأثیر دسته درزه چهارم (J4) و ناپیوستگی گوه‌ای، حاصل برخورد دسته درزه‌های دوم و سوم و چهارم روی خواهد داد. بیش‌ترین جهت یافتگی در جهت N۲٤۷ است. در استریوگرافی مربوط به ایستگاه ۹ (شکل ۹ ب)، ناپایداری گوه‌ای روی می‌دهد. استفاده از موانع حفاظت از سنگ در مناطق کوهستانی در سراسر جهان به‌طور گسترده کاربرد دارد که برای جلوگیری از سقوط و رها شدن سنگ طراحی شده‌اند. سیستم‌های ذکر شده از شبکه‌های فولادی انعطاف پذیر متصل به کابل‌های سیم کشی تشکیل شده است که به‌نوبه خود به‌وسیلهٔ لنگرهایی فولادی به زمین متصل می‌شوند [۲٦]. استفاده از این سیستم‌ها برای مهار و کنترل سنگ‌های در حال سقوط پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین از پیچ سنگ‌ها برای بلوک‌هایی که احتمال واژگونی، گوه‌ای و صفحه‌ایی در آن‌ها وجود دارد نیز می‌توان استفاده کرد.

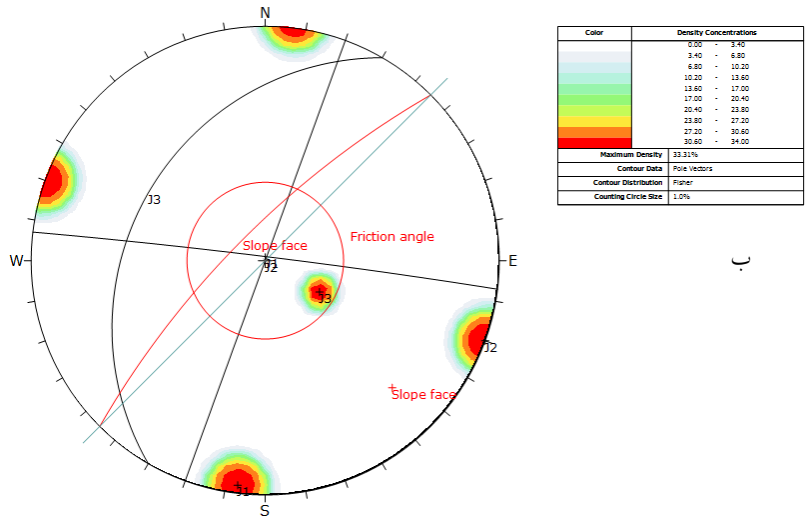
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]



الف



ب

شکل ۹. تصاویر استریوگرافی الف) ایستگاه ٦، ب) ایستگاه ۹. توجه شود که در این شکل‌ها صفحات ناپیوستگی، صفحه دامنه و دایرهٔ اصطکاک نمایش داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

۲. زمین لغزش در دامنه‌های متشکل از سنگ‌های سخت و نرم

توف‌های کربناته و آندزیتی در حالت خشک مقاومت متوسطی دارند. برعکس در حالت اشباع مقاومت توف آندزیتی کاهش یافته و به ۱٤/۱ مگاپاسکال می‌رسد. چون در این قسمت از مسیر سطح آب زیرزمینی بالاست و جریان آب وجود دارد، به‌دلیل زیاد بودن اکسید آهن در سیمان توف‌های آندزیتی، مسئله شسته شدن و کاهش مقاومت این مواد را در دامنه مشرف به مسیر آزادراه به‌همراه دارد (شکل ۷ ت). این موضوع موجب کاهش پایداری شیب‌ها می‌شود.

۳. گسیختگی در کلاهک سخت و مقاوم

با توجه به جدول ۱ بیش‌ترین تراکم نسبی پوشش سنگریزه‌ای و سقوط در واحد سنگ‌شناسی A (ایستگاه ۱) مشاهده می‌شود (شکل ٤ الف). در کلاهک سیلیسی موجود با ارتفاع بیش‌تر از ٦۰ متر و با شیب قائم سقوط سنگ و ریزش واریزه ($L_{I(\text{سقوط سنگ})}$ =۱۹/٦ و $L_{I(\text{پوشش سنگریزه ایی})}$ = ۲۹/۹) اتفاق می‌افتد. در حالی‌که در قسمت پایین دست دامنه زمین‌لغزش چرخشی به‌وقوع می پیوندد.هر جا که رطوبت خاک بالاست و جریان آب زیرزمینی وجود دارد، گلروانه‌ها ایجاد می‌شوند. در واقع فراوانی خاک رس (سریسیت + آرژیلیت + کائولینیت) و رطوبت خیلی زیاد باعث تغییر از خاکروانه به گلروانه می شود. به‌دلیل سختی و مقاومت متفاوت سنگ در زون‌های دگرسانی در قسمت‌های مرتفع میانگین مقاومت تراکمی تک‌محوری MPa ۱۷۷ است. در حالی‌که در قسمت‌های پایین دامنه به MPa ۳/۸٤ می‌رسد. تفاوت نوع لغزش می‌تواند به‌دلیل تحمل تنش‌های متفاوت ناشی از صلبیت لایه‌های سخت و مقاوم کلاهک و تغییر شکل در لایه‌های شکل‌پذیر زیرین و هم‌چنین نفوذپذیری متفاوت دولایه است. در شکل ۸ تغییر حالت شکست سنگ از حالت ارتجاعی به حالت خمیری در نمونه‌های سنگی برداشت شده از قسمت بالا و پایین ترانشه نشان داده شده است که گویای مطلب مذکور است. از طرفی ناپیوستگی‌های برداشت شده در قسمت بالادست دامنه شامل ٤ دسته درزه است که از تراکم و تقاطع دسته درزه‌ها، انواع گسیختگی‌ها و سقوط سنگ رخ خواهد داد. دسته درزه‌ها دارای هوازدگی متوسط هستند که گاهاً با رس پرشده‌اند و مقاومت برشی متوسط دارند. ولی در قسمت پایین ترانشه هوازدگی و دگرسانی به‌قدری پیشرفته است که ناپیوستگی‌ها درون توده سنگ تقریباً محو شده‌اند و به‌سختی قابل شناسایی هستند

از طرفی وجود مواد پر کننده یعنی ژیپس، بدلیل انحلال‌پذیری، وقوع زمین‌لغزش را تسهیل می‌کند. گوزتی در سال ۱۹۹٦ بیان کرد تفاوت‌های موجود درانواع زمین لغزش‌ها می‌تواند به تفاوت‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناختی مربوط شود [۲۷].

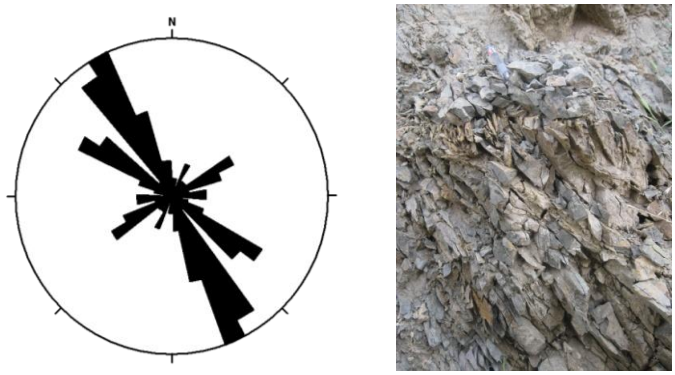
ریزش سنگ‌ها در قسمت بالادست دامنه می‌تواند به جاده آسیب برساند در این شرایط از بین بردن بلوک‌های دارای احتمال ریزش با استفاده از آتشباری کنترل شده و لق‌گیری آن‌ها بهترین روش برای ایمنی جاده در این قسمت است. استفاده از زهکش‌های افقی و قائم به‌دلیل پایین نگه داشتن سطح آب زیرزمینی و باربرداری مناسب برای پایدارسازی ترانشه مورد نظر پیشنهاد می‌شود.

٤. حرکات جریانی و زمین‌لغزش چرخشی در سازند شمشک

بیش‌ترین تراکم نسبی و درصد فراوانی زمین‌لغزش و حرکات جریانی در سازند شمشک دیده می‌شود ($L_{I(\text{زمین لغزش})}$ =۱۹/٦ و $L_{I(\text{جریان واریزه ایی})}$ = ۱۵). در این قطعه از مسیر اسلیت‌ها به‌فراوانی دیده می‌شوند اسلیت ها به‌دلیل ساختمان ورقه‌ایی، خردشدگی شدید و فرسایش پذیری زیاد با توجه به آب و هوای مسیر در حد فاصل منجیل- رودبار، ضخامت زیادی از خاک‌های سطحی اسلیتی را در دامنه‌ها تشکیل می‌دهند که زمینه را برای ایجاد زمین‌لغزش‌های چرخشی مستعد کرده است. در جاهائی‌که ضخامت پوشش خاک کم و شیب دامنه‌ها بیش‌تر است، بیش‌تر ناپایداری‌های دامنه‌ای به‌صورت حرکت جریانی دیده می‌شود. براساس بازدیدهای صحرایی در طول مسیر، کنگلومراها به‌صورت توده کریستالین درجا، هوازده شده‌اند. به‌ترتیبی که ساختمان ظاهری کنگلومرا از هم نپاشیده، رنگ سنگ به قهوه‌ای تبدیل شده است. فرایند هوازدگی با کاهش مقاومت کنگلومراها به تشکیل مناطق مستعد زمین لغزش کمک می‌کند. مقاومت کنگلومراهای بدون هوازدگی در حالت خشک از ۹۹/۸ مگاپاسکال به ۳۵/۸ مگاپاسکال در هوازدگی شدید، کاهش یافته است (جدول ٤). در ایستگاه ۲۵، ۱۲ درزه برداشت شده است. بر این اساس درزه‌ها دارای راستای NE و جهت شیب SW است. در صورتی‌که آب وارد این واحد گردد، جهت کلی حرکت آن در جهت غالب شیب یعنی SW است. درزه‌های این ایستگاه دهانه باز و تداوم کم دارند.درزه‌ها بدون مواد پرکننده است. این درزه‌ها می‌توانند مقاومت توده سنگ را پایین آورند.از دو دسته درزه برداشت شده، دسته درزه اول درزه‌های صاف و موازی هستند که هم‌جهت با برگوارگی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

توسعه یافته‌اند. دسته درزه دوم دارای سطح ناصاف است. برمبنای رده‌بندی توده‌های سنگی براساس فاصله ناپیوستگی‌ها که توسط ISRM (۱۹۷۹) ارائه شده است، اسلیت‌ها در رده بد قرار دارند، بنابراین وجود هوازدگی بالا و امکان ایجاد نهشته‌های سست انتظار می‌رود.



الف ب

شکل ۱۰. الف) تصویرجهت یافتگی اسلیت ها، ب) رزدیاگرام کل درزه‌های موجود در ایستگاه ۲۶. با توجه به شکل می‌توان قضاوت کرد که حرکت کلی آب در اسلیت‌ها راستای SW دارد.

نتیجه‌گیری

۱. ناپایداری شیب‌های سنگی در مسیر آزادراه قزوین- رشت تحت تأثیر لیتولوژی، وضعیت چینه‌شناسی، وضعیت تکتونیکی قرار دارد. در توده سنگ‌هایی که سنک بکر آنها مطابق رده بندی دیر و میلر در رده A و B واقع می‌شوند و رفتار صلب دارند با داشتن چندین دسته درزه، گسیختگی‌های صفحه‌ای، واژگونی، گوه‌ای و سقوط سنگ در بیش‌ترین مقدار خود اتفاق می‌افتند.

۲. تفاوت در نوع دگرسانی به‌دلیل تغییر کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ سنگ باعث تغییر در نوع لغزش شده است. به‌طوری‌که در زون دگرسانی سیلیسی گسیختگی گوه‌ای، سقوط سنگ و پوشش سنگ‌ریزه‌ایی و در زون دگرسانی آرژیلیتی- سریسیتی زمین‌لغزش چرخشی و گلروانه اتفاق افتاده است.

۳. جهت‌یابی ناپیوستگی‌ها در ایستگاه‌های شمارهٔ ۳، ٤، ٥، ۹ و ١٦ نسبت به شیب رویه شیروانی طوری است که احتمال وقوع گسیختگی گوه‌ای در ایستگاه‌های مذکور وجود دارد. با مطالعه و بررسی آماری ناپیوستگی‌های موجود در مسیر آزادراه مشخص

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]

[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

می‌شود که عملکرد فرایندهای تکتونیک بر منطقه، باعث گسترش ناپیوستگی‌های متنوع در توده‌های سنگی شده است. استفاده از موانع حفاظت سنگی از قبیل تورهای سیمی فولادی و میل مهارها در ایستگاه‌های ذکر شده پیشنهاد می‌شود.

٤. در واحد سنگ‌شناسی (Ev2)، علاوه بر توالی سنگ‌های سست و مقاوم سطح آب‌های زیرزمینی بالا بوده و باعث کاهش مقاومت تراکمی توف‌های آندزیتی از ۵۳/۱ مگاپاسکال تا ١٤/١ مگاپاسکال شده است که می‌تواند عامل اصلی ناپایداری شیب‌ها شود. استفاده از شاتکریت همراه با زهکش‌های افقی زیرسطحی بین توف‌های آندزیتی و کربناتی به‌منظور پیش‌گیری از گسیختگی الزامی است.

۵. اسلیت‌ها به‌دلیل بافت لپیدوبلاستیک و وجود کانی‌هایی مانند میکا و فلدسپات استعداد فرسایش‌پذیری زیادی دارند. هم‌چنین وجود شکستگی‌ها در دو جهت با فواصل کم و دهانه باز، ورود آب را به داخل سنگ آسان کرده که یکی دیگر از عوامل بالارفتن فرسایش‌پذیری این قبیل سنگ‌ها است. در جاهائی‌که ضخامت پوشش خاک کم و شیب دامنه‌ها بیش‌تر است، بیش‌تر ناپایداری‌های دامنه‌ای به‌صورت حرکت جریانی دیده می‌شود.

تقدیر و تشکر

از شرکت‌های مهندسین مشاور پارس، پاسیلو و هرازراه به‌دلیل در اختیار گذاشتن نقشه‌های زمین‌شناسی مورد نیاز تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید. هم‌چنین در این پژوهش از امکانات آزمایشگاهی و حمل و نقل دانشگاه بوعلی سینا همدان استفاده شده است. بدین وسیله کمال تشکر دارم.

منابع

1. Wei Z., Yin G., Wang J.G., Wan L., Jin L.,"Stability analysis and supporting system design of a high-steep cut soil slope on an ancient landslide during highway construction of Tehran–Chalus", Environ Earth Sci. 67 (2012) 1651-1662.
2. Henriques C., Zêzere J.L., Marques F.,"The role of the lithological setting on the landslide pattern and distribution", Engineering Geology. 189 (2015) 17-31.

3. Vezzoli L., Apuani T., Corazzato C., Uttini A.,"Geological and geotechnical characterization of the debris avalanche and pyroclastic deposits of Cotopaxi Volcano (Ecuador). A contribute to instability-related hazard studies", Journal of Volcanology and Geothermal Research. 332(2017) 51-70.

4. Tavoularis N., Koumantakis I., Rozos D., Koukis G., "The contribution of landslide susceptibility factors through the use of Rock Engineering System (RES) to the prognosis of slope failures: An application in Panagopoula and Malakasal areas in Greece", Geotechnical and Geological Engineering. 36 (3) (2018) 1491-1508.

5. Abd-Allah A.M.A., El-Sawy E.K., Abu Seif E.S.S., El-Fakharani A., Sharaf M.A.,"Rock slope stability and design in Arafat–Muzdalifa area, Saudi Arabia", Arab J Geosci. 7(2014) 4029-4042.

6. Borrelli L., Ciurleo M., Gullà G., "Shallow landslide susceptibility assessment in granitic rocks using GIS-based statistical methods: the contribution of the weathering grade map", Landslides. 15(6) (2018) 1127-1142.

۷. قبادی م. ح.، فیروزی م.، "اهمیت توجه به مطالعات زمین‌شناسی مهندسی در مرحله بهره-برداری از سازه‌های خطی، مطالعه موردی: آزادراه قزوین-رشت"، هجدهمین همایش زمین‌شناسی مهندسی (۱۳۹۳).

8. Firuzi M., Noorzad A., Ghobadi M.H., "Rockfall hazard assessment in the right abutment of Sefidrud dam, Gilan (Iran)"و 4th International Conference on Long-Term Behavior and Eco-Friendly Dams. (2017) 152-158.

9. Shahrivar H., Nadim H.,"The morphology, petting and processes of Rudbar and Fatalak landslides triggered by the 1990 Manjil-Rudbar earthquake in Iran"و M. Sc Thesis, University of Oslo, 212.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

10. Ghobadi M.H., Firuzi M., Noorzad A.,"A large-scale landslide and related mechanism: a case study in the Qazvin–Rasht freeway, Iran", Environmental Earth Sciences, (14)(76) (2017) 478, doi: 10.1007/s12665-017-6815-2.

11. http://www.mehrnews.com/news/4002045.

12. GRWA., (Gilan Regional Water Authority) (2016). http://www.glrw.ir/

13. Alavi M., "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of theAlborz mountain system in Iran", Geodynamics. (1) 21(1996)1-33.

۱۴. سازمان زمین‌شناسی کشور، "نقشه زمین شناسی چهار گوش تاکستان، مقیاس۱/۱۰۰۰۰" (۱۳۴۹).

۱۵. سازمان زمین‌شناسی کشور، "نقشه زمین شناسی چهار گوش زنجان، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰" (۱۳۶۴).

۱۶. سازمان زمین‌شناسی کشور،"نقشه زمین شناسی چهار گوش جیرنده، مقیاس۱/۱۰۰۰۰" (۱۳۴۹).

۱۷. سازمان زمین‌شناسی کشور، "نقشه زمین شناسی چهار گوش رودبار، مقیاس۱/۱۰۰۰۰" (۱۳۴۹).

۱۸. سازمان زمین‌شناسی کشور،"نقشه زمین شناسی چهار گوش منجیل، مقیاس۱/۲۵۰۰۰" (۱۳۹۶).

19. ASTMC170, "Standard test method for compressive strength of dimension stone", Technical Bulltein, Marble Institute of America. 1(3) (2014).

20. ISRM, "Commission on standardization of laboratory and field tests, suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 16 (1979) 148-156.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]

21. Anon, "The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Geological society working party report", The Quarterly Journal of Engineering Geology. 28 (1995) 207–242.

22. Barton N., Choubey V., "The shear strength of rock joints in theory and practice", Rock mechanics. 10 (1-2)(1977)1-54.

۲۳. فریدونی. د.، "بررسی پایداری توده‌های سنگی شیب‌دار در مسیر گنجنامه _ شهرستانه" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا همدان. (۱۳۸۴).

24. Deere, D.U. and Miller, R.P "Engineering classification and index properties for intact rock", Technical report AFWLTR- 65- 116, A.F. Weapons Laboratory, Kirtland AFB, NM.(1966).

25. Rocscience., "Dips v6.1 graphical and statistical analysis oforientation data", Rocscience Inc, Toronto. (2008).

26. Escallón J.P., Wendeler C., Chatzi E., Bartelt P., "Parameter identification of rockfall protection barrier components through an inverse formulation", Engineering structures. 77 (2014) 1-16.

27. Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., "The influence of structural setting and lithology on landslide type and pattern", Environmental and Engineering Geoscience. 2 (4)(1996) 531-555.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1400.15.1.2.7]
[DOI: 10.52547/jeg.15.1.95]