دکتر ابراهیم مقیمی، عضو هیأت علمی دانشگاه تهران
شماره مقاله: ۶۵۴

E. Moghimi, Ph.D
E.mail: moghimi-ir@yahoo.com

ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای مشرف به جاده سولقان (از پل زر تا سولقان*) (۱)

چکیده

در این مقاله ویژگی‌های ژئومرفولوژیکی دامنه‌ای مشرف به جاده سولقان (از پل زر تا سولقان) و خطراتی که دارند مورد بحث قرار گرفته است. بعضی دامنه‌های مشرف به این جاده از نظر مخاطرات ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای مهم تلقی می‌شوند. اهداف کلی این مقاله تشخیص و بررسی اقدامات، ارزیابی مطلوب و شناسایی میزان ناپایداری دامنه‌ای و احتمال خطر برای جاده و مردم است. پدیده‌های دامنه‌ای در امتداد این جاده در سه شکل عمودی (قائم)، جانبی و مورب مشاهده می‌شود. علت و مکانیسم ایجاد و تغییراتی که دارند بسیار پیچیده است. استفاده از دامنه‌های مشرف به جاده سولقان و جاده مستلزم دادن آگاهی به مسؤولین و کسانی که مجری طرح در امتداد جاده و دامنه هستند می‌باشد. به هنگام سازی بسیار دقیق اطلاعات خطر از پدیده‌های دامنه‌ای و جاده سولقان و ارزیابی درست و دقیق آن از دیگر اقدامات است. در این دامنه‌ها، میانگین بارش سالانه بیش از ۳۵۰ میلی‌متر و یخبندان فصلی و قطعی است. بیشترین قسمت منطقه بین ۳۰ تا ۴۵ درجه شیب دارد. شکستگی‌های شیب‌دار و تند منطقه بدون شک اهمیت زیادی دارد. در شیب‌های ۱۵ تا ۴۵ درجه فروریختن ناگهانی، ریزش خرده سنگ، واژگونی قطعه سنگ و سقوط سنگ زیاد مشاهده می‌شود. کاهش مقاومت مواد بیشتر بر اثر هوازدگی و افزایش حجم، آماس‌پذیری، زدوده شدن سیمان بین ذره‌ای و لایه‌ای و متورم شدن به وسیله یخ و شستشو توسط آب می‌باشد. اغلب مواد تحکیم نیافته در سطح دامنه از طریق فعالیت درزه‌ها در حال افزایش است. در این منطقه درزه‌ها اهمیت زیادی در تولید اشکال ایفا می‌کنند.

کلید واژه‌ها: پدیده‌های دامنه‌ای، ناپایداری، شیب سطحی، سقوط دامنه‌ای، مکان‌های ناپایدار، جاده سولقان، شمال غرب تهران، ایران.

* سولقان در شمال غرب تهران واقع است.

روش تحقیق

بسیاری از اطلاعات ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای به دست آمده در این مقاله بر مبنای مشاهده مستقیم است. مکان‌شناسی پدیده، اندازه‌گیری نسبی از پدیده، نمونه‌برداری از مواد دامنه‌ای و تعیین قلمرو از جمله مواردی است که در روش میدانی انجام شده است. تطبیق عوارض با تصاویر ماهواره‌ای و هوایی ازجمله موارد دیگر در این تحقیق است. مشاهده شانه جاده متصل به دامنه و ارزیابی قابلیت آن در مواقع ریزش مواد و شناسایی مکان‌های تجمع و توقف مردم و خودروها هنگام تردد در جاده به لحاظ قابلیت خطری که در مکان توقف دارد از دیگر مواردی بود که در مشاهده به آن توجه خاص شده است.

همچنین با مراجعه به نقشه‌های پایه از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی و مراجعه به کتابهای مرجع و دیگر منابع مکتوب مربوط به تحقیق، کار پیگیری شده است.

در تحقیق مورد نظر بیشتر از دو نرم‌افزار Arcview و Arcinfo استفاده شده است و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS اطلاعات ژئومورفولوژیکی بازنگری، تغییر مقیاس و یا جنرالیزه شده‌اند. از روش‌های آماری و ارزش عددی نیز استفاده شده است.

شاخص‌های مورد استفاده

در این مقاله از ۱۰ شاخص: ۱. سنگ‌شناسی ۲. درزه ۳. گسل ۴. لرزه ۵. شیب ۶. انفصال یا چسبندگی مواد ۷. میزان حجمی ۸. ضخامت مواد تراکمی ۹. ضریب رطوبت ۱۰. درجه حرارت یا برودت، کاربری اراضی و تردد استفاده شده است. این شاخص‌ها با استفاده از روش ارزش عددی (از صفر تا ۲۰) تحلیل شده‌اند و بر این اساس استعداد اولیه به لحاظ میزان خطر در چهار گروه طبقه‌بندی شده است.

گروه ۱. دامنه کم خطر (تا ۲۵ درصد) گروه ۲. دامنه خطر متوسط (تا ۵۰ درصد) گروه ۳. دامنه با خطر زیاد (تا ۷۵ درصد) گروه ۴. دامنه خطر خیلی زیاد (بیش از ۷۵ درصد)

الف) پدیده‌های دامنه‌ای در امتداد جاده

منطقه مورد مطالعه دارای چندین پدیده دامنه‌ای است. ازجمله این پدیده‌ها عبارتند از:

۱.پرتگاه: این پدیده بر روی سطوح سنگی مقاوم و گسلی مشاهده می‌شود. تغییر شیب یال‌های سنگی وگسلی محدود به جاده، پرتگاه‌های مشرف به جاده را تشکیل داده‌اند. پرتگاه‌ها اغلب دارای دیواره‌هایی هستند که شیبی بیش از ۴۰ درجه دارند.

۲. یال فرسایشی: این پدیده بیشتر در سطوح سنگی کم مقاوم منطقه مشاهده می‌شود. اثر فرسایش شیاری و آبراهه‌ای و حرکت رو به پایین مواد فرسایشی و جاده‌سازی در ایجاد این پدیده نقش زیادی دارد.

۳. دامنه بدون پدیده سنگی: این بخش از منطقه سطوح نسبتا کم عارضه‌ای را تشکیل می‌دهند. در این قسمت برون‌زدگی سنگی وجود ندارد، ولی مواد هوازده آن را پوشانده است، کاهش شیب مهمترین عامل چنین چشم‌اندازی در این پدیده است. این پدیده بیشتر در قلمرو سولقان مشاهده می‌شود.

۴. جریان‌های آبراهه‌ای کوچک: جریان‌های نخ آبی کوتاه و خطی در امتداد شیب فرسایشی و عمود به جاده زیاد مشاهده می‌شود.

۵. مخروط واریزه‌ای: این پدیده در مکان‌ها و فضاهایی که با یک انقطاع سنگی و تغییر شیب نقطه‌ای همراه هستند و به جاده محدود است بیشتر دیده می‌شود.

۶. تجمع سنگریزه‌ای: این پدیده در فضای نزدیک به مکان‌های خط القعری مشاهده می‌شود.

۷. پدیده لغزشی: بیشتر روی سطوح سنگی با شیب ۱۵ تا ۲۵ درجه مشاهده می‌شود.

۸. پدیده سنگی: شامل تظاهر لایه‌های سنگی در سطح دامنه‌ای است و در منطقه فراوان قابل مشاهده می‌شود.

طبقه‌بندی اشکال غالب دامنه‌ای مشرف به جاده

اشکال غالب منطقه چهره ریزشی و رانشی است. اشکال ریزشی مواد خاکی، سنگریزه‌ای و سنگی است. بین این سه مواد ریزش‌های سنگریزه‌ای و سنگی بیشتر است.

در منطقه مورد مطالعه بیشتر مواد سنگریزه‌ای و سنگی تحت تأثیر شیب، انجماد و جریان رطوبتی آب (هنگام بارش)، و لرزش (هنگام زلزله یا صاعقه) دچار ریزش می‌شوند. به دلیل نداشتن لایه‌های خاکی ضخیم و هوازدگی سطحی وجود بیشتر ریزش‌ها از نوع مواد سنگریزه‌ای است. مواد سنگریزه‌ای با توجه به انفصال زیادی که دارند و همچنین حجم زیادی که در بالادست جاده پیدا کرده‌اند و شیب سطح دامنه‌ای که بر آن قرار گرفته‌اند، چهره تخریبی پیدا کرده‌اند. با توجه به فاصله کمی که این مواد با جاده دارند قطعا سبب تجمع و پخش روی سطح جاده خواهند شد و از این نظر ممکن است خطرآفرین باشند. تقریبا روی تمام سطوح سنگی منطقه پتانسیل ریزشی مشاهده می‌شود.

سه چهره عمده جابجایی در منطقه مورد مطالعه عبارت است از:

۱. چهره واژگونی: نمونه کاملا مشخص آن قطعه سنگی به ارتفاع حدود ۴ متر و عرض حدود ۳ متر و ضخامت حدود ۲ متر است که در ابتدای ضلع جنوب شرقی تونل سولقان قرار دارد و احتمال اینکه در آینده با واژگون شدن خسارت زیادی را به تونل وارد کند وجود دارد. موارد مشابه به آن در منطقه متعدد است.

۲. چهره لغزشی: مواد لغزشی شامل قطعه سنگ و سنگریزه است. بیشتر لغزه‌های منطقه در دامنه‌های با شیب بیش از ۱۵ درجه مشاهده می‌شوند.

۳. چهره جریانی (خزشی): شکل دیگر فرآیندهای دامنه‌ای منطقه جریان آرام مواد است مواد خاکی کم ضخامت و سنگریزه‌ای روی دامنه حرکت به سمت پایین دارند. جریان آرام این مواد به نظر می‌رسد که معلول دو علت افزایش تدریجی حجم و اثر یخ و ذوب مجدد در منافذ خاکی و سنگریزه‌ای سطح دامنه است.

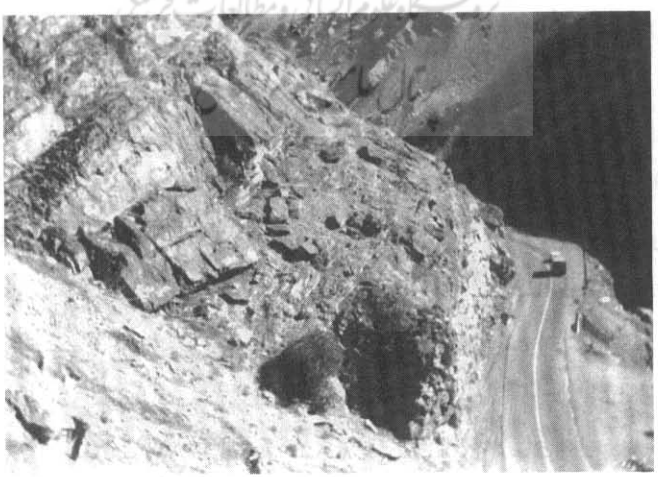
عمده‌ترین عامل‌های حرکت بخشی به هر یک از چهره‌های فوق را می‌توان تحقق متفاوت زمین‌لرزه (*بربریان، قریشی و ارژنگ، ۱۳۶۴*)، حذف تکیه‌گاه‌های جانبی یا حایل زیرین، زیربری توسط جریان‌های آبراهه‌ای عمود بر جاده سولقان، فرسایش بین درزه‌ای، بریدگی‌ها و حفاری‌های مصنوعی، افزایش بار مواد (تراکم مواد درزه‌ای یا سنگی، تراکم برف)، فشار مصنوعی (به خصوص در وضعیت کنونی که فاز یک و دو آزادراه تهران-شمال در دست اجرا است)، عبور دایم وسایل نقلیه سنگین (به خصوص در فعال‌سازی بخش‌هایی از مواد منفصل دامنه که نزدیک به جاده می‌باشد)، تنش‌های زیرساخت لایه‌های خاکی و سنگی زیرین در منطقه بیان کرد.

وجود قطعه سنگ‌های منفرد بر سطح دامنه‌های مشرف به جاده زیاد است. این وضعیت بیشتر شامل شیب‌های دامنه‌ای نزدیک به خط القعرهای دره‌ای و یا جاده مشاهده می‌شود. ابعاد قطعه سنگ‌های منفرد بسیار متفاوت است. گاهی زاویه‌دار و گاهی دارای شکل هندسی مربع می‌باشد. قطعه سنگ‌های زاویه‌دار تمایل به غلتیدن دارند. در این راستا مشخصات قطعه سنگی که از فروردین ۱۳۷۹ تا آبان ۱۳۸۲ مورد اندازه‌گیری و بررسی بوده است به صورت نمونه در جدول ۱ آمده است. همچنان‌که در جدول ۱ آمده است طی سال‌های ۱۳۷۹ لغایت ۱۳۸۲ قطعه سنگ مورد نظر ۶ سانتی‌متر به شکل عمودی، ۴ سانتی‌متر در امتداد شیب شرقی و بیش از ۸۰ سانتی‌متر بازشدگی عرضی تغییرات داشته

است. این قطعه سنگ هم‌اکنون در آستانه حرکت و جابجایی قرار دارد و با یک عامل حرکت بخشی قوی ممکن است به سمت سطح پایین دست حرکت و بالاخره در مسیر جاده قرار گیرد.

جدول ۱ اندازه‌گیری تغییرات یکی از قطعه سنگ‌های منفرد روی سطح دامنه، نزدیک آبشار

سال‌های اندازه‌گیری	ارتفاع از پای سنگ	فاصله از سطح تراز قطعه بالایی	تعداد شکاف سنگی قابل مشاهده	عمق شکاف	باز شدگی شکاف عرضی	شیب‌سطحی زمین
فروردین سال ۱۳۷۹	۲۲۶ سانتی‌متر	۱۶۰ سانتی‌متر	۱	۲ متر	۲۰ سانتی‌متر	۲۳ درجه
فروردین سال ۱۳۸۰	۲۲۵ سانتی‌متر	۱۶۲ سانتی‌متر	۱	۲ متر	۳۵ سانتی‌متر	۲۳ درجه
فروردین سال ۱۳۸۱	۲۲۳ سانتی‌متر	۱۶۲ سانتی‌متر	۱	۲ متر	۴۰ سانتی‌متر	۲۳ درجه
فروردین سال ۱۳۸۲	۲۲۳ سانتی‌متر	۱۶۳ سانتی‌متر	۲ (عمودی و مایل)	۲ متر با دو جهت مایل و عمودی	۹۰، ۹۵، ۱۰۳ سانتی‌متر	۲۳ درجه
آبان سال ۱۳۸۲	۲۲۰ سانتی‌متر	۱۶۴ سانتی‌متر	۲ (عمودی و مایل)	۲ متر با دو جهت مایل و عمودی	۹۴/۵، ۱۰۰، ۱۰۹ سانتی‌متر میانگین: ۱۰۱/۲	۲۳ درجه
دامنه تغییر	۶ سانتی‌متر	۴ سانتی‌متر	-----	----	۸۱/۲ سانتی‌متر	----
جهت حرکت	عمودی	شیب شرقی	عمودی- مایل		شمالی- جنوبی	----



شکل ۱ قطعه سنگ منفرد اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

علت‌های مهم تغییر اشکال

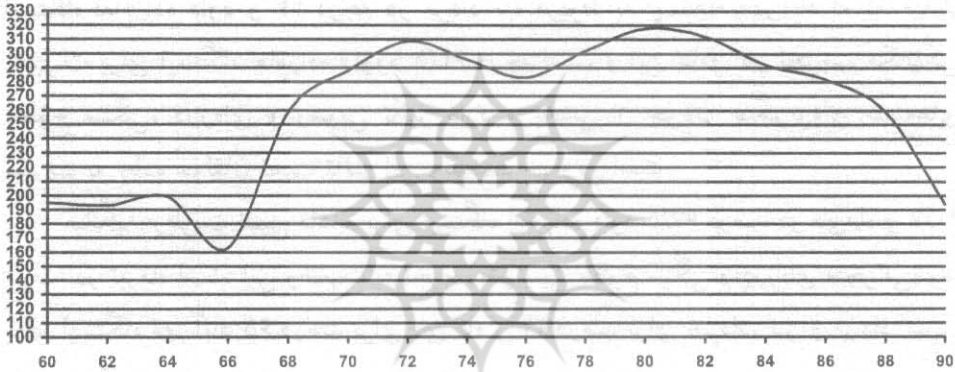
علت اقلیمی

دوره زمانی داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه سی سال، از سال ۱۹۶۱ لغایت ۱۹۹۰ به طور پیوسته از ایستگاه مهرآباد (*مقیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۷۸*) و ۱۵ سال از ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۵ از ایستگاه امامزاده داود است. بخشی از این دوره غیر هم زمان است. ما به تحلیل نتایج حاصل از میانگین‌ها پرداخته‌ایم. در ایستگاه امامزاده داود میانگین دما در دی‌ماه ۱/۳ درجه و حد اکثر ۲۴ درجه (در تیرماه) و میانگین سالانه ۱۱/۷ است. این وضعیت برای مهرآباد حداقل ۸ (در دی ماه) و حداکثر ۲۶/۲ (در تیرماه) و میانگین سالانه ۱۴ درجه است. دمای مطلق حداقل ۲۶ در بهمن‌ماه و ۳۶/۵ درجه در مرداد ماه برای ایستگاه امامزاده داود و ۴۴ درجه در مرداد ماه مربوط به ایستگاه مهرآباد است. میدان تغییرات برای ایستگاه امامزاده داوود ۶۲/۵ درجه است و این عامل در تخریب مکانیکی سطوح سنگی، درزه‌ای و رسوبی تأثیر دارد و بخشی از جریان سنگریزه‌ای دامنه‌های مشرف به جاده سولقان تحت تأثیر این وضعیت حرارتی است.

میانگین رطوبت نسبی ماهانه برای ایستگاه امامزاده داود ۶۷/۵ درصد در دی‌ماه و ۳۰/۷ درصد در تیرماه است. این وضعیت به تخریب شیمیایی سطوح سنگی و درزه‌ای منجر می‌شود. برای ایستگاه مهرآباد ۶۵ درصد برای دی ماه و ۲۴ درصد برای خرداد، تیر و مرداد است.

میانگین بارش ماهانه برای ایستگاه امامزاده داود ۶۷/۷ در اسفند ماه و ۱/۱ در مرداد ماه و برای ایستگاه مهرآباد ۳۹/۱۷ در بهمن‌ماه و ۰/۹۲ در شهریور ماه محاسبه شده است. بارش برای ایستگاه امامزاده داود به سه صورت برف، تگرگ و باران با فراوانی بیشتر برف است. در مهرآباد با فراوانی بیشتر باران است. این بارش‌ها و تغییرات ناشی از آنها سبب شستشوی سطوح سنگی، درزه‌ها و تحمیل شبکه‌های آبراهه‌ای در سطح دامنه شده است. با محاسبه میانگین متحرک رطوبت نسبی و بارش ایستگاه مهرآباد روند ضربه‌ای و تابع پلدای کاملا مشهود است (۲). میانگین تعداد روزهای یخبندان سالانه در ایستگاه امامزاده داود ۷۲ روز و برای ایستگاه مهرآباد ۲۳ روز ثبت شده است. اثر ناشی از یخبندان و ذوب مجدد و اثر تخریبی ناشی از انبساط مولکولی پوشش‌های سطحی متأثر از وضعیت برودتی به خصوص روی درزه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه چشم‌انداز زیادی دارد. در این منطقه یخبندان فصلی، قطعی است و در بسیاری از موارد ناگهانی و شدید

است. گاهی درجه یخ‌زدگی بخش عمقی خاک و مواد دامنه‌ای و حتی بخش عمقی درزه‌ها را دربر می‌گیرد. قندیل‌های یخی و ضخامت یخ‌زدگی در درزه‌ها نشان می‌دهد که عامل اصلی و قطعی تولید مواد واریزه‌ای و قطعه سنگی منطقه در حال حاضر یخبندان فصلی است. قندیل‌های یخی با قطر بیشتر از ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاعی حدود ۳ متر طی زمستان سال ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ مورد مشاهده اینجانب بوده‌اند. به خصوص عمق یخ‌زدگی نقش کارسازتری در ایجاد انفصال ذرات و قطعات دامنه‌ای منطقه دارد. یخ‌زدگی و ذوب مجدد باعث جریان مواد خاکی و سنگی سطوح شیبدار دامنه می‌شود. وقتی که یخ‌زدگی مجدد حاصل می‌شود، جریان تجمع آب ذوب شده در بالادست سطوح یخ زده کاملا معکوس می‌شود و این باعث ناپایدارتر شدن مواد سطحی دامنه‌های مشرف به جاده می‌شود.



شکل ۲ روند بارش تهران طی ۳۰ سال بر حسب میانگین متحرک ۵ ساله

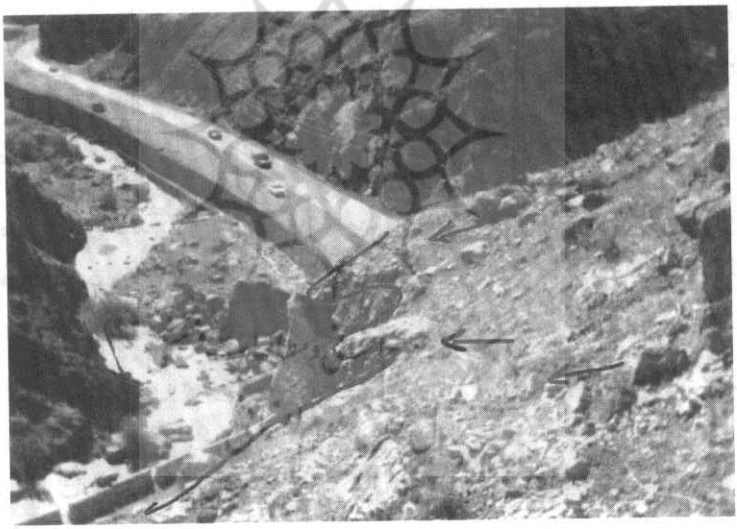
جدول ۲ میزان پایداری، جهت شیب و نوع پدیده‌های دامنه‌ای غالب منطقه و درجه شیب

درجه شیب	درصد مساحت به کل منطقه	نوع پدیده‌های دامنه‌ای غالب	جهت شیب	میزان پایداری
تا ۱۵ درجه	۸	تجمع توده‌ای مواد واریزه‌ای و سنگریزه‌ای، قطعه‌سنگ‌های لغزشی و ریزشی، خاکهای منفصل همراه با آثار زیاد آبراهه‌ای، اثر رانش	شرقی- غربی شمالی- جنوبی	ناپایدار
۳۰-۱۵	۲۴	مخروط های واریزه‌ای، مواد سنگریزه‌ای ضخیم لایه، مواد آبراهه‌ای، قطعه سنگ‌های منفرد، لایه‌های کم ضخامت خاکی، انباشت دره‌ای، شستشوی آبراهه‌ای، ریزش	شرقی-غربی شمالی-جنوب شمال شرقی- جنوب غربی	بسیار ناپایدار
۴۵-۳۰	۳۰	واریزه‌های درزه‌ای، سنگریزه‌ها، قطعه سنگ‌های زاویه‌دار تخریبی و جابجا شده، اشکال آبراهه‌ای	شرقی-غربی شمالی-جنوبی	ناپایدار
بیش از ۴۵ درجه	۳۸	سطوح سنگی، ستیغ، سطوح گسلی، قطعه سنگ‌های بزرگ آستانه‌ای، درزه‌ها با امتداد اصلی، اشکال اولیه آبراهه‌ای، سقوط	شرقی-غربی شمالی-جنوبی	ناپایداری سنگی

علت سنگی

منطقه مورد تحقیق در گروه سازند کرج شناخته شده است. سازند کرج به علت رنگ سبز خود به نام سری‌های سبز رنگ نیز نامیده می‌شوند. این سازند از رسوبات آذر آواری زیردریایی و جریان‌های آتشفشانی تشکیل شده است (*نبوی، ۱۳۵۵*).

جهت شناسایی هرچه بیشتر از سنگ‌های تشکیل دهنده مواد دامنه‌ای موجود در منطقه از امتداد جاده سولقان و از روی دامنه مشرف به آن حدود ۲۵ نمونه جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در گروه‌های مختلف (*سینگ، ب و ر.ک.گویل، ۱۳۸۲*) و (*Bieniawski. Z. T, 1989*) دسته‌بندی شده‌اند. این دسته‌ها شامل توف، توف شیشه‌ای، توف آندزیتی، توف تراکی آندزیتی، آندزیت، ریوداسیت و دیاباز، شیل، سنگ آهک می‌باشند. اکثر مقاطع دارای رنگ سبز و سبز تیره و دانه‌ریز است و تا حدودی هوازده شده‌اند.



شکل ۳ توفهای دانه درشت هوازده با ترکیب آندزیتی با رنگ سبز کم رنگ در امتداد جاده سولقان

توف سبز که به حالت توده‌ای و دارای شیل و گدازه‌ای داسیتی و آندزیتی است، چهره‌ای جریانی و آذرآواری را نشان می دهد (*مدنی، حسن، ۱۳۶۷*) و ازجمله سنگ‌های مهم منطقه مورد مطالعه به شمار می‌روند و قسمت اعظم سنگ‌های ولکانیک بازیک جاده سولقان را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها دارای درزه‌های فوق‌العاده زیادی است و سهولت تحقق حرکتهای رو به پایین سنگ به همین علت است. شیل با میان لایه‌های ماسه

سنگی و سیلتستون از دیگر گروه سنگی است. حدود ۱۰۵۰ متر از جاده سولقان در امتداد این شیل‌ها احداث شده است. بخشی از جاده سولقان حدفاصل پادگانه‌های رودخانه‌ای قدیمی و سطوح شیلی ساخته شده است. تونل سولقان به طول ۳۰۰ متر حدفاصل سطوح سنگی، شیلی-آندزیتی و پادگانه‌های رودخانه قدیمی احداث شده است.

علت گسلی

روند کلی گسل‌های مهم منطقه، شمال‌غرب- جنوب‌شرق است و اکثر آنها رورانده (معکوس) می‌باشند که دارای حرکت امتدادی راستگرد و چپگرد نیز بوده ولی مؤلفه راستگرد در این منطقه بیشتر دیده می‌شود. در منطقه به علت دگریختی خاص خود روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب نیز در گسل‌ها مشاهده می‌شود (*بربریان، قریشی و ارژنگ، ۱۳۶۴*). گسله بسیار مهمی که روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق را دارد گسل امامزاده داود با حدود ۲۰ کیلومتر طول، روراندگی زیادی دارد. سایر گسل‌های قابل مشاهده در جاده کن- سولقان از همین روند پیروی می‌کنند. حدود ۱۱ گسل در امتداد این جاده قابل تشخیص هستند و اغلب سطح منقطعی دارند. بنابراین اشکال دامنه‌ای بالادست این جاده تحت تأثیر خط و انقطاع گسلی است. نباید فراموش کرد که گسل‌های منطقه در بعضی نقاط نقش تهدیدکننده‌ای را در ماندگاری جاده دارند. مهمتر اینکه جاده تقریبا در بسیاری از قسمت‌ها عمود بر امتداد عمومی گسل‌ها احداث شده است. رودخانه کن با امتداد شمالی- جنوبی بسیاری از لایه‌های فوقانی سنگی دارای گسل را فرسایش داده است. این فرسایش باعث شده است تا بخش تراستی محدود به رودخانه با شیب ملایم‌تری نسبت به دیگر بخش‌های گسل در سطح ظاهر می‌شود. قسمت‌های زیادی از جاده سولقان نیز روی این سطوح پادگانه‌ای احداث شده است. آن بخش از یال جاده که سمت رودخانه است تحت تأثیر فرسایش رودخانه‌ای است، در صورتی‌که یال دیگر (بخش غربی) جاده محدود به سطوح سنگی گسلی است و آثار و شواهد فرسایشی و ناپایداری روی این سطوح سنگی گسلی نشان از آسیب‌پذیری زیاد جاده دارد.

علت درزه‌ای

درزه‌ها تحت تأثیر تنش‌ها یا فشارهای وارده به سنگ‌ها به وجود می‌آید (*امیر شاه‌کرمی و تقی‌پور، ۱۳۸۰*). درزه‌های موجود در منطقه از گسله‌های منطقه فراوانی بیشتر

و ابعاد بسیار کمتری دارند. روند و قرارگیری بیشتر درزه‌ها یکسان یا تقریبا یکسان است و به عبارتی گروهی از درزه‌های منظم را تشکیل می‌دهند. بنابراین در منطقه درزه‌ها از نظم سیستمی برخوردارند این نظم سیستمی معلول یکنواختی تقریبی جنس سنگها و فشار وارده است (*Barton. N and Chpubey, V.D, 1978*). درزه‌ها نقش تخریبی زیادی در سطوح دامنه‌ای و توسعه جاده‌ای منطقه دارند.

به طور کلی درزه‌های منطقه از لحاظ ژنتیکی به دو دسته قابل تقسیم هستند:

۱. درزه‌های طولی که ناشی از تنش‌های عمود بر طول درزه است.

۲. درزه‌های عرضی که ناشی از تنش‌های عمود بر عرض دره است.

هر دو از نظم و سیستم برخوردارند. این دو گروه درزه‌ها بیشتر تحت اثر عامل‌های بیرونی از جمله اقلیم و با عمق کم و در امتدادهای مختلف، با توجه به جنس سنگ ظاهر شده‌اند. به نظر می‌رسد که درزه‌های طولی در راستای تنش اصلی و بزرگ وارد بر سنگ‌ها به وجود آمده‌اند به عبارتی این‌ها در راستای بزرگترین تنش وارده به وجود آمده‌اند. هر دو گروه در امتداد جاده و روی سطوح سنگی دامنه‌های مشرف به جاده چشم‌انداز زیادی دارند. مطالعه درزه‌ها به صورت گروهی (گروه درزه‌ای) و در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (جدول ۳).

جدول ۳ اندازه‌گیری فاصله درزه‌ها در ایستگاه‌های مختلف، به سانتی‌متر

شماره درزه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
فاصله درزه از درزه بعدی	۵۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۱۴۵	۱۹۰	۸۵	۳۴۰	۱۷۱	۱۰۵	۱۱۹	۱۷۰
فاصله درزه از درزه بعدی	۵۰	۵۰	۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۴۵	۱۶۱	۸۵	۳۴۰	۱۷۱	۱۰۵	۱۱۹
میانگین	۵۰	۷۵	۸۵	۸۰	۱۱۷/۵	۱۶۷/۵	۱۲۳	۲۱۲/۵	۲۵۵/۵	۱۳۸	۱۱۲	۱۴۴/۵

از بررسی تراکم، فاصله و روند درزه‌ها به این نکته می‌توان پی برد که منطقه تحت تأثیر فشار ثقلی قرار داشته و عموما درزه‌ها از نوع فشاری می‌باشند و می‌توان با توجه به روند آنها جهت نیروهای غالب مؤثر بر درزه‌های وارد بر منطقه را به دست آورد و این جهت معمولا جنوب‌غرب- شمال‌شرق می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۴ فراوانی درزه‌ها و روند آنها از چهار ایستگاه اندازه‌گیری شده

روند درزه‌ها	NW-SE	SW-NE	N-S	W-E
تعداد درزه‌ها	۱۲۰	۹۰	۷۰	۴۰

مهمترین تأثیرپذیری درزه‌ای جاده سولقان ناشی از درزه‌های با امتداد شمالی- جنوبی است. درزه‌های شمالی- جنوبی عمود بر محور چین‌خوردگی سنگ‌های منطقه است و در جهت عمود بر گسل‌های اصلی هستند. درزه‌های شرقی- غربی در جهت محور چین بوده و عمود بر جهت درزه‌های شمالی- جنوبی نقش ایفا کرده‌اند. این درزه‌ها عمیق‌تر هستند ولی پایدارترند. درزه‌های شرقی- غربی درزه‌های شمالی- جنوبی را تحت کنترل دارند و به عبارتی درزه‌های شرقی- غربی تا حدودی بر رفتار درزه‌های شمالی- جنوبی نقش ایفا می‌کنند. توده‌های مختلف سنگی منطقه مقاومت‌های متفاوتی را در ارتباط با تکامل درزه‌ها از خود نشان می‌دهند (*Hudson. J.A. 1988*). سنگ‌های مقاوم تراکم کمتری از درزه دارند و سنگ‌های بسیار کم مقاوم اثر پوسته درزه‌ای (از طریق پرشدگی) را در سطح ظاهری می‌سازند (*الیاسی، ۱۳۵۷*).

جدول ۵ طبقه‌بندی و تعیین ژئومورفولوژیکی (فرسایش) درزه‌ها در ارتباط با مقاومت توده‌های سنگ و فرآیندهای دامنه‌ای مشرف به جاده سولقان

متغیر ↓ / گروه سنگی ←	گروه ۵ و ۴	گروه ۲ و ۳ / گروه ۵ و ۴	گروه ۱ و ۲ / گروه ۲ و ۳	گروه ۱ و ۲	گروه ۱ و ۲
۱- میزان مقاومت سنگ	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
۲- میزان هوازدگی	خیلی کم	کم	متوسط	هوازدگی زیاد	هوازدگی خیلی زیاد
۳- تراکم درزه‌ها	کمتر از ۱۰٪	کمتر از ۲۰٪	کمتر از ۵۰٪	کمتر از ۷۰٪	فوق‌العاده زیاد
۴- فاصله درزه‌ها	زیاد	۲-۵ متر	۰/۵-۲ متر	۲۰-۵۰ میلی‌متر	کمتر از ۲۰ میلی‌متر
۵- جهت درزه‌ها	کاملا مشخص	مشخص	تقریبا مشخص	تشخیص آن مشکل است	قابل تشخیص نیست
۶- عرض درزه‌ها	حدودا ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر	حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر	حدود ۱۰ تا ۰/۵ سانتی‌متر	۳ تا ۵ میلی‌متر	۱ تا ۵ میلی‌متر
۷- ادامه درزه‌ها	غیر ممتد	تا حدودی ممتد	ممتد	با امتداد زیاد	با امتداد زیاد
۸- جریان رو به خارج آب زیرزمینی	بسیار کم دارد	کم دارد	در حد متوسط	آثاری مشاهده نشد	آثاری مشاهده نشد
۹-جریان رو به داخل آب سطحی	خیلی زیاد دارد	زیاد دارد	زیاد دارد	تا حدودی	خیلی کم
۱۰- میزان پرشدگی	ندارد	تا حدودی دارد	کم دارد	پرشدگی زیاد	کاملا پرشده
۱۱- مواد واریزه‌ای پای دامنه	بسیار کم دارد	تا حدودی دارد	زیاد مشاهده می‌شود	زیاد مشاهده می‌شود	بسیار زیاد
۱۲ میزان زاویه‌داری مواد	کاملا زاویه‌دار	کاملا زاویه‌دار	تا حدودی زاویه‌دار	با زاویه‌داری کم	بسیار کم

مجموعه بررسی‌های درزه‌ای در ارتباط با مقاومت سنگ‌ها در جدول ۵ آمده است. گروه یک شامل سنگ‌های آذرین نفوذی، گروه دو شامل توف، خاکستر توف سبز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و سنگ آهک، گروه سه شامل شیل و سیلتستون توفی، گروه چهار شامل توف سبز روشن با میان لایه‌هایی از کنگلومرا و ماسه سنگ و گروه پنج شامل شیل با میان لایه‌هایی از سه سنگ و سیلتستون می‌باشد.

در مجاور گسله امامزاده داوود درزه‌ها متراکم‌تر مشاهده می‌شوند که هرجا که تراکم گسلی در سطوح دامنه‌ای بالادست جاده بیشتر است دامنه، ناپایدارتر ظاهر شده و از این جهت خطر حوادث جاده‌ای ناشی از درزه‌های متراکم نیز افزایش می‌یابد. از این رو نه تنها در محل گسل امامزاده داوود بلکه در سایر گسل‌های مهم در امتداد جاده کن- سولقان خطر ناپایداری دامنه‌ای ناشی از درزه‌های سنگی به شدت مشاهده می‌شود.

اثر لرزه‌ای

اثر فعال لرزه‌ای منطقه به وجود گسله‌های فعال بستگی دارد. گسل‌های فعال به گسل‌هایی گفته می‌شود که فعالیت تکتونیکی داشته باشند یا گسلش و راندگی سطحی در رسوبات نرم مثلا رسوبات کواترنر انجام شده باشند یا دارای رویداد تکتونیکی و زمین‌لرزه تاریخی باشد. مثلا:

الف) یک فعالیت در هزار سال گذشته، دو فعالیت در ده هزار سال گذشته یا ۵ فعالیت در ۳۵ هزار سال گذشته یا ۷ فعالیت بزرگ در ۵۰ هزار سال گذشته داشته باشند.

ب) وجود زمین‌لرزه فراوان در قلمرو قرن؛ یعنی در طی هر قرن فراوانی زمین‌لرزه نسبت به قرن قبلی ۲۵ درصد افزایش داشته باشد.

ج) قرار گرفتن یک منطقه در مجاورت یک گسل فعال شناخته شده که در اثر جنبش آن گسل فعال، جنبشی در گسله مجاور ایجاد شود، نیز برای چنین منطقه اثر فعال لرزه‌ای خواهد داشت (*ریچارد.جی، چورلی، استانلی، سودن، ۱۳۷۵*). وجود شواهد ژئومورفولوژیکی جدید مثل دیواره یا پرتگاه گسلی که بر اثر فرسایش از بین نرفته باشد نیز شاهدی بر فعالیت لرزه‌ای خواهد بود (۳).

منطقه مورد مطالعه به سبب آن‌که:

الف) سنگ‌های ائوسن بر روی رسوبات نرم کواترنر رانده شده است.

ب) دارای سابقه تاریخی زلزله است.

ج)آثار و شواهد ژئومورفولوژیکی جدید بر سطح گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود یکی از منطقه‌های مهم فعال لرزه‌ای به شمار می‌رود.

از این رو با توجه به این که منطقه از دیدگاه زمین‌شناختی گستره‌ای است فعال و به شدت لرزه‌خیز همان‌گونه که در تاریخ پرمخاطره آن نشان می‌دهد و با توجه به این که در آینده گستره تهران و شهرهای اطراف شاهد زمین‌لرزه‌ای شدید خواهد بود لذا بر مسؤولین و مردم است که در خصوص ساخت و ساز در امتداد این راه و روی دامنه‌های مشرف به آن مثل سرپناه نه چندان مقاومی که در روی خط الرأس مواد منفصل شمال آبشار احداث شده است، خودداری کنند و یا حداقل رعایت نکات ایمنی و مهندسی را در برابر خطرات دامنه‌ای بنمایند. تعریض جاده بدون رعایت اصول ایمنی در مقابل اثرات دامنه‌ای خسارت آفرین خواهد بود.

نتیجه گیری

این مقاله فرآیندها و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی دامنه‌ای مشرف به جاده سولقان (از پل زر تا سولقان) را مورد بحث قرار داده است. در این منطقه نوع پدیده‌ها اغلب ریزشی و درزه‌ها در این راستا نقش مهمی ایفا می‌کنند. پدیده‌های دامنه‌ای مختلف از جمله پرتگاه، یال فرسایشی، دامنه نامنظم، بستر آبرفتی، مخروط واریزه‌ای، تجمع سنگریزه‌ای، پدیده‌های لغزشی و سنگی چشم‌انداز دارد. اشکال ریزشی بیشتر در دو شکل سنگریزه‌ای و قطعه سنگی هستند. اثر میزان شیب، انجماد، بارش، لرزه و درزه در آنها کاملا مشهود است. عامل تغییر شیب توسط انسان در امتداد جاده مشاهده می‌شود. روی تمام گروه‌های سنگی منطقه پتانسیل ریزش به چشم می‌خورد. چهره واژگونی فقط در مکان‌هایی که شیب، نزدیک به قائم است وجود دارد. در دامنه‌های با شیب ۳۰ تا ۴۵ درجه لغزش و ریزش با هم عمل کرده‌اند. در سطوح با شیب تا ۱۵ درجه ریزش و جریان مواد خاکی و سنگی بیشتر چشم‌انداز دارد. در شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه مخروط های واریزه‌ای، مواد ریزشی و اشکال آبراهه‌ای بیشتر دیده می‌شود. عمده‌ترین عامل‌های حرکت بخشی به هریک از چهره‌های فوق را می‌توان حذف تکیه‌گاه‌های جانبی، زیربری توسط جریان‌های آبراهه‌ای بر آبراهه کن و جاده سولقان، فرسایش درزه‌ای، بریدگی‌ها و حفاری‌های مصنوعی، افزایش بار مواد، ناپایداری لایه‌های خاکی و سنگی و تحقق متفاوت زمین لرزه بیان کرد.

در این منطقه بارش بیشتر فصلی است و تغییرات زیادی دارد. یخبندان نیز فصلی و قطعی است. اثر یخزدگی در درزه‌ها و شکاف‌های سنگی مشهود است. درزه‌ها، سطوح گسلی در معرض فرسایش و قطعه سنگ‌های در آستانه لغزش، برجسته‌ترین اشکال دامنه‌ای روی سطوح سنگی و با ارتفاع بالای ۱۷۰۰ متر محسوب می‌شود. نقش پوشش گیاهی منفی است. از نظر اثر سنگ، سنگ‌های گدازه‌ای به شدت دچار هوازدگی شده‌اند. توفهای زیرین به صورت توده‌ای در سطح چشم‌انداز دارد و به رنگ خاکستری روشن هستند. شیل‌های سیاه‌رنگ دارای شکستگی‌های مدادی شکل هستند و تخریب دانه‌ای زیادی دارند. توفهای میانی برون‌زدگی‌های زیادی در سطح دارند و مواد واریزه‌ای تخریبی و مخروط های واریزه‌ای زیادی روی این سطوح سنگی مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد که منشا بسیاری از واریزه‌های سنگی مربوط به این گروه از سنگ است. بخش غربی یال جاده به طور کلی تحت کنترل سطوح گسلی، درزه‌ای و سنگی است. تراکم گسلی و درزه‌ای، نشانی از ناپایداری بیشتر دامنه و جاده دارد. اثر لرزه‌ای فعال در منطقه وجود دارد و سبب انفصال مواد خاکی و سنگی در همه طبقات شیب دامنه‌ای شده است. از این رو باید نسبت به ساخت و سازهای فرودست و یا فرادست جاده دقت زیادی به عمل آید.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از آقایان محمد صابر مقیمی و مصطفی مقیمی که در کارهای میدانی و خدماتی تحقیق همکاری داشته‌اند تشکر می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پی‌نوشت‌ها

۱. ایـن مقاله مستخرج از طرح تحقیق فرآیندهای دامنه‌ای مشرف به جاده سولقان (از پل زر تا سـولقان) مـی‌باشـد که با همکاری معاونت پژوهشی محترم دانشگاه تهران و با استفاده از گرنت به شماره ۳۱۳/۲/۹۷۶ در سال ۱۳۸۲ انجام شده است.

E-mail: MOGHIMI_IR@YAHOO.COM

۲. برای اطلاعات بیشتر به فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۴ و ۵۵ ،" تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارش در تهران در یک دوره سی ساله" مراجعه کنید.

۳. مقیمی ابراهیم، معیارهای ژئومورفولوژیکی فعالیت گسل‌ها، با مصداق‌هایی از ایران، ماله، در دست تهیه.

منابع و مآخذ

۱. آریو، کوک و جی سی، دور کمپ، ترجمه استاد فقید دکتر شاپور گودرزی‌نژاد (۱۳۷۷)؛ **ژئومورفولوژی و مدیریت محیط**، جلد اول، انتشارات سمت.

۲. الیاسی، جواد (۱۳۵۷)؛ **تغییر شکل‌دهنده‌های مواد سازنده پیوسته زمین**، انتشارات دانشگاه تهران.

۳. شاه‌کرمی، امیر؛ تقی‌پور، عبدالعظیم و تقی‌پور، سیاوش (۱۳۸۰)؛ **مکانیک سنگ، رفتار برشی درزه‌های سنگ**، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. بربریان، م- قریشی، م- ارژنگ روش، ب- مهاجر اشجعی (۱۳۶۴)؛ **پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در گستره تهران و پیرامون (گزارش ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور)**، مؤسسه اطلاعات.

۵. جه. تد. یانگ، ترجمه فلاح کوچک‌زاده و کامران یوسفی (۱۳۸۰)؛ **انتقال رسوب (تئوری و کاربرد)**، انتشارات دانشگاه تهران.

۶. خسرو تهرانی، خسرو (۱۳۶۷)؛ **چینه‌شناسی ایران**، انتشارات دانشگاه تهران.

۷. ریچارد جی. چورلی، استانلی ای شوم و دیوید ای. سودن، ترجمه احمد معتمد و ابراهیم مقیمی (۱۳۷۵)؛ **ژئومورفولوژی**، جلد دوم، انتشارات سمت.

۸. ریچارد سون و دیگران، ترجمه عبدالله میرصلواتی دزفولی و محسن محسنی ساروی (۱۳۷۵)؛ **جاده‌سازی در حریم رودخانه**، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۹. سینگ. پ و ر.ک. گویل، ترجمه رسول اجل لونیان و سید داود محمدی (۱۳۸۲)؛ **رده‌بندی توده‌سنگ**، نشر فن‌آوران.

۱۰. شریعتی کوه‌نباتی، عبدالرضا؛ **تاریخچه راه و راه‌سازی در ایران**، مرکز تحقیقات وزارت راه و ترابری، بی‌تاریخ، شماره ثبت ۳۵۷۲.

۱۱. شعبانی شاهین، مهران قربانی، اسدالله نوروزی، کیوان جعفرزاده (۱۳۸۱)؛ **ممیزی ایمنی راه**، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه.

۱۲. عباسی داریوش، ترجمه (۱۳۷۱)؛ **اضمحلال راه در کشورهای در حال توسعه**، مرکز تحقیقات وزارت راه.

۱۳. قبادیانی محمدحسین (۱۳۸۱)؛ **زمین‌شناسی مهندسی**، دانشگاه اهواز.

۱۴. کاووسی، امیر؛ **روش‌های ساده نگهداری راه**، مرکز تحقیقات و مطالعات وزارت راه و ترابری، نشریه شماره ۷۵/۰۰۹، بی‌تاریخ.

۱۵. کریمیان، کریم، ترجمه (۱۳۷۲)؛ **تقلیل آثار بلایای طبیعی به راه‌ها**، مقاله، مرکز تحقیقات و مطالعات وزارت راه و ترابری.

۱۶. مدبی، حسن (۱۳۶۷)؛ **زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک**، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۷. مقیمی، ابراهیم (۱۳۷۸)؛ **تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارش در تهران در یک دوره ۳۰ ساله**، مقاله، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۲ و ۵۵.

۱۸. نبوی، محمدحسین (۱۳۵۵)؛ **دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران**، سازمان زمین‌شناسی کشور.

19. Barton, N.and chpubey, V, D (1978); **The shear strength of rock goints in theory and practice**, rock mech
20.Bieniawski , Z. T (1989); **Engineering rock mass classifications**, John wiley.
21.Govers, G and G. Rauws (1986); **Transporting capacity of overland flow on plane and on irregular beds**, earth surface processes and landforms, vol. 11.
22. Hoek, E. and Brown, E. T (1980); **underground excavations in rock**, institution of mining and metallorgy londan.
23. Hudson, J, A (1988); **The role of rock characterization in slope stability analysis proc.**
24.Johnston, L. W, Lam, T. S. K. and williams, A. f (1987); **constant normal stiffness direst shear testing for socketer pile desing in weak rock** , geotechnique.
25.Kaiser, P. K, mackay, C. and Gale, A. D (1986); **Evaluation of rock classifications at B.C rail Tumblery ridge Tunnels**, rock machanics and rock Engineering.