علل حرکت ومکانیسم لغزشی کوهها در کیلومتر ۱۳۰ شاهراه تبریز - تهران

نوشتهٔ :

دکتر رضا خسروشاهیان

استادیار زمین‌شناسی مهندسی دانشکده فنی دانشگاه آذرآبادگان

چکیده

بررسیهای قسمتی ازشاهراههای ایران نشان میدهد که دراغلب مناطق کوهستانی در برش کوهها از روش های علمی استفاده کافی بعمل نیامده است و این امر سبب ریزش ولغزش کوهها به‌جاده‌ها میشود.

بعنوان مثال با تحقیق درچگونگی لغزش پرفیر فرسوده شده درکیلومتر ۱۳۰ شاهراه تبریز - میانه که ازسال ۱۳۴۹ شروع وهنوزهم ادامه‌دارد به‌اهمیت‌زمین‌شناسی مهندسی درراه‌سازی اشاره میشود.

جاده تبریز - میانه درکیلومتر ۱۳۰ سه منطقه ازکوههای پرفیر و سنگهای دگرگونی مجاورآنرا در امتداد شهری چای بطول ۱۲۶۰ مترقطع‌میکند. بعلت فرسودگی و وجود شکافها وگسلها در پرفیر درضمن برش نامناسب کوه ، مواد بجاده ریزش ولغزش مینماید . بابررسیهای ساختمان تکتونیکی - سنگ شناسی و مطالعه درجه فرسودگی مواد این منطقه علل و مکانیسم حرکت لغزشی مواد کوه تشریح و نمایش داده می‌شود .

نتیجه‌ای که از تحقیقات انجام‌شده بدست‌آمده نشان‌میدهدکه علل‌عمده جابجایی کوه دراثر فرسودگی پرفیرو حرکت لغزشی کوه دراثر نفوذآب به‌شکافها و تبدیل‌آنها به گسلهای قوسی انجام‌میگیرد.

درچندسال اخیر مقدارمواد لغزیده بجاده درحدود یک‌میلیون‌مترمکعب و درحال‌حاضر مقدار موادقابل لغزش بیش ازیک‌میلیون مترمکعب تخمین زده‌میشود. چنانچه ازحرکت کوه جلوگیری بعمل‌نیاید مقدارآن میتواند تا بیش از ۲ میلیون‌مترمکعب افزایش یابد.

علت لغزش وریزش کوهها درجاده‌ها :

چنانچه برش کوهها برای احداث جاده‌های کوهستانی بدون مطالعات و آزمایشهای زمین شناسی مهندسی انجام گیرد ، یعنی کارهای مهندسی با قوانین طبیعت مطابقت ننماید و یا مشکلات طبیعت قبلاً پیش‌بینی نشود ، خطرات ریزش ولغزش پیش میآید.

ازمطالعه کلی قسمتهای مختلف شاهراههای ایران (کنفرانس تاریخ ۱۳۳۵ در دانشکده فنی دانشگاه آذرآبادگان) چنین نتیجه گرفته میشود که درشاهراهها ، برش کوهها ـ احداث تونل ها ، پلها با تکنیک مدرن راهسازی مطابقت نمیکند . بدیهی است که قسمت اعظم تصادفات ـ مسدود شدن راهها ـ منحرف‌شدن وسائل نقلیه ـ یخ بندان داخل تونل ها ـ نشست پلها ازهمان نارسائیهای عملیات فنی سرچشمه میگیرد . شاید دلیل آنرا درکمبود متخصص ویاوقت کم ویانبودن امکانات مالی کافی ویا شاید آنرا باید در عدم همکاری سازمانهای اجرائی بادانشگاهیان وغیره جستجونمود . درهرحال نظیر اینگونه خسارات و یا لغزش ها در اغلب جاده‌های کوهستانی ایران مثلاً جاده‌هراز ـ جاده چالوس ویا جاده ترانزیتی تبریز ـ تهران مشاهده میشود . بعنوان مثال درجاده کوهستانی بین تبریز ـ میانه در بیش از ۱۰ منطقه ریزش و لغزش ایجاد میشود و چنانچه با آزمایشهای علمی ومتدهای مختلف از حرکت‌آنها جلوگیری بعمل نیاید لغزش وریزش درآینده همچنان ادامه داشته خسارات و تلفات زیادی ایجادخواهدنمود . اینگونه نارسائیها درکارهای مهندسی راه خسارات اقتصادی‌نیز دنبال‌دارد ، زیرا لغزش وریزش مداوم کوه سبب‌مسدودشدن شاهراه میگردد و برطرف‌نمودن دائم مواد از جاده مخارج زیادی‌همراه دارد . مخارجی که باینطریق ایجاد میشود بمراتب بیشتر ازهزینه است که اجرای صحیح راهسازی دربرخواهد داشت .

علاوه برمخارج هنگفتی که‌بعد از اتمام کارهای‌ساختمانی درجاده‌ها ـ تونلها ـ پلها تولیدمیگردد اغلب مشاهده میشود که این پیش‌آمدها با تلفات جانی نیز همراه است ، مثلاً ریزش کوه و پرتاب قطعه سنگها بجاده سبب انحراف وسائل‌نقلیه میشود ، و باتونلهائی که با روشهای صحیح‌مهندسی‌احداث‌نمیشوند بعلت تنگی جاده ـ انحنای تند وپانفوذآب وایجاد یخبندان در تونل ، همچنین روشنائی نارسای‌داخل‌تونل عوامل دیگری برای ایجاد تصادف وسائل نقلیه میباشد .

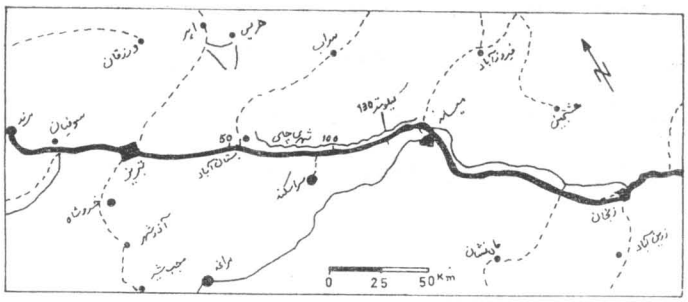
بررسیهای مختلف درکلیه نقاط دنیا نشان میدهد که انتخاب زاویه برش کوهها برای احداث شاهراهها باید با درنظرگرفتن ساختمان تکتونیکی زمین ـ درجه فرسودگی ـ مقدار شکافها ـ گسلها ـ نوع مواد ـ نوع آبهای زیرزمین ـ مقاومت مکانیکی مواد وغیره انجام گیرد . درضمن خطر ریزش ولغزش کوه در برشهای نامناسب اجباری‌میتواند بامتدهای مختلف‌ازقبیل‌احداث دیوارهای حائل ـ زه‌کشی ـ متدپله‌کانی ـ تورهای سیمی ـ بتن آرمه با تورهای‌سیمی ـ سیمان پاشی ـ چمنکاری ، مطابقت زاویه شیب برش با شیب لایه‌ها ـ شکافها ـ گسلها ویا بااحداث تونلهای محافظ روی جاده برطرف گردد .

بعنوان مثال با تحقیقاتی که درکیلومتر ۱۳۰ جاده تبریز ومیانه انجام گرفته است به‌اهمیت‌زمین‌شناسی ـ مهندسی درراهسازی‌مناطق کوهستانی اشاره میکنیم ومکانیسم حرکت‌لغزشی کوه را در مواد آذرین موردمطالعه قرارمیدهیم .

محل موردآزمایش

شاهراه تبریز ـ تهران درمنطقه بین تبریز ومیانه کوههای متعددی‌را که ازسنگهای رسوبی‌وآذرین تشکیل‌شده‌اند قطع میکند . بعلت‌نفوذ ماگما دراین‌منطقه که بیشتر بطریق خروجی انجام گرفته،مقدارزیادی

ازسنگهای رسوبی به‌سنگهای دگرگونی تبدیل‌شده است. جاده تبریز - میانه درکیلومتر ۱۳۰ کوههائی را که بیشتر از سنگهای آذرین نفوذی ازنوع پرفیر (Porphyr) تشکیل شده‌است قطع مینماید (شکل ۱).

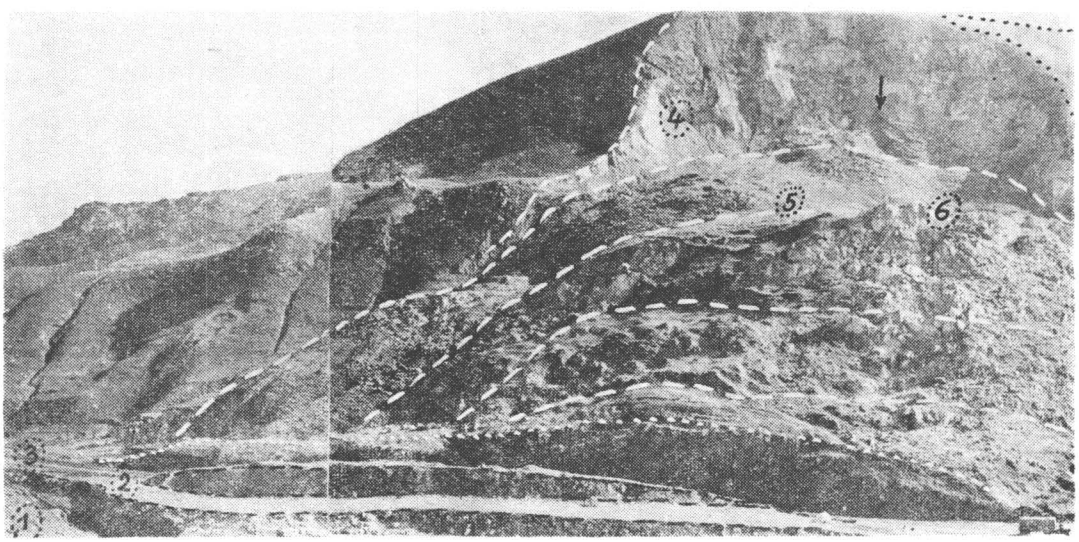


شکل ۱: نقشه مسیر شاهراه تبریز - تهران (اقتباس ازنقشه‌آذربایجان).

ازلحاظ مرفولوژی در پرفیر وسنگهای مجاورآن در زمانهای گذشته دراثر تخریب طبق شکل۹ سه منطقه I و II و III تشکیل شده است. ارتفاع این سه‌منطقه ازسطح جاده درحدود ۱۳۰ متر میباشد.

شاهراه تبریز - تهران منطقه I و II و III را در امتداد رودخانه شهری چای بطول ۱۲۶۰ متر قطع میکند (شکل ۲و۵). بعد از برش کوهها و احداث شاهراه، منطقه I و II قبل ازسال ۱۳۵۱ وهمچنین درسال ۱۳۵۲ لغزش نموده ودرتاریخ ۱۲ر۱۲ر۵۳ حرکت سریع منطقه III کم و درمنطقه I و II نسبتاً زیاد میباشد. حرکت کوه درمنطقه II تاکنون درحدود ٤٥ متر درجهت عمودی و بیش از ۵متر درجهت افقی اندازه گیری شده است.

تحقیقات درباره چگونگی لغزش وریزش این قسمت ازشاهراه ازاوایل سال ۱۳۵۲ شروع و طی بررسیهای متعدد در مواقع بارانی وخشک انجام گرفته است.

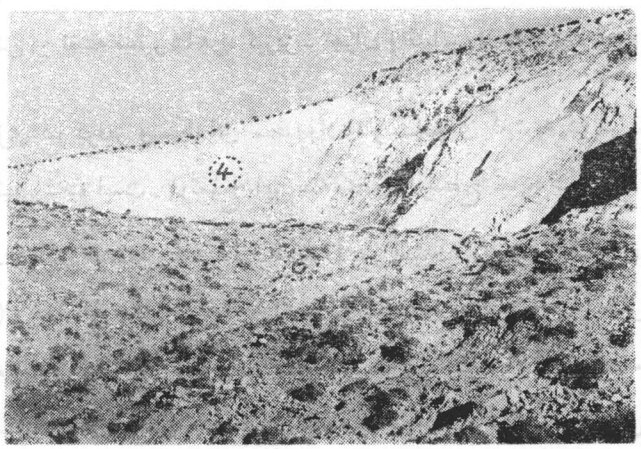


شکل ۲: لغزش پرفیر فرسوده شده درشاهراه تبریز - میانه کیلومتر ۱۳۰ (منطقه II).

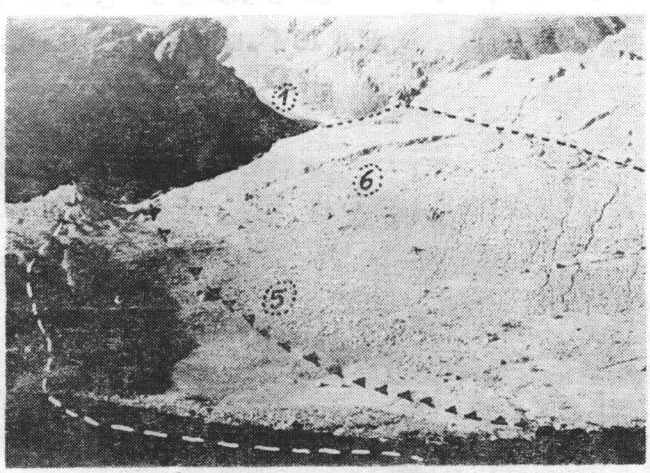
1 = رودخانه 2 = جاده‌فرعی 3 = جاده اصلی ,- - - = گسل

این مطالعات بمنظور شناسائی بیشتر اهمیت زمین شناسی مهندسی در راه‌سازی و بنابه درخواست دانشجویان گروه مهندسی راه و ساختمان و زمین‌شناسی دانشگاه‌آذرآباد گان انجام گرفته است.

C - از ریاست محترم اداره‌راه وترابری آذربایجان شرقی جناب‌آقای مهندس موقت تشکرمیشود که اطلاعاتی درباره‌تاریخ احداث‌شاهراه وشروع لغزش منطقه بررسی‌شده‌را شفاهاً دراختیار اینجانب‌قراردادند. طبق اطلاعات: عملیات جاده‌سازی‌تاکستان - بازرگان ازسال ۱۳٤۱ شروع ودرتاریخ ٤۹۱۰ر۱۷ باتحویل موقت مورد بهره‌برداری قرارگرفته‌است. اواین‌لغزش درمنطقه بررسی‌شده درتاریخ ٤۹۱۲ر۲۹ ایجادوجاده درحدود ۳ساعت مسدود میگردد.



شکل ۳: گسلهای‌قوسی و تشکیل استروکتور پله‌کانی بعد از احداث شاهراه
(عکسبرداری نزدیک ازمحل 4 شکل۲)



شکل ٤: تشکیل فرورفتگیها درمحل گسلها.
(عکسبرداری نزدیک ازمحل 5 و 6 شکل۲). 1 = رودخانه

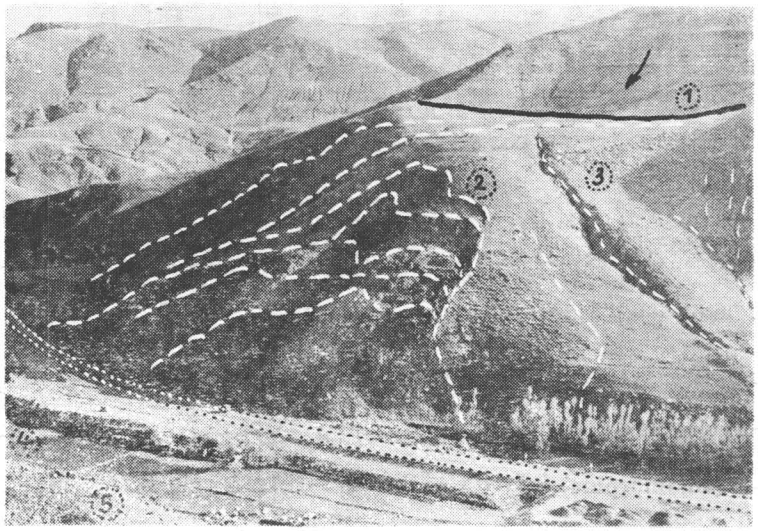
C : بررسیهای مختلف درکیلومتر ۱۳ - جاده تبریز- میانه.

۱- تحقیقات زمین‌شناسی:

ازمطالعه کلی ساختمان زمین‌شناسی این‌ناحیه چنین نتیجه گرفته میشود که قسمتی ازانجماد توده

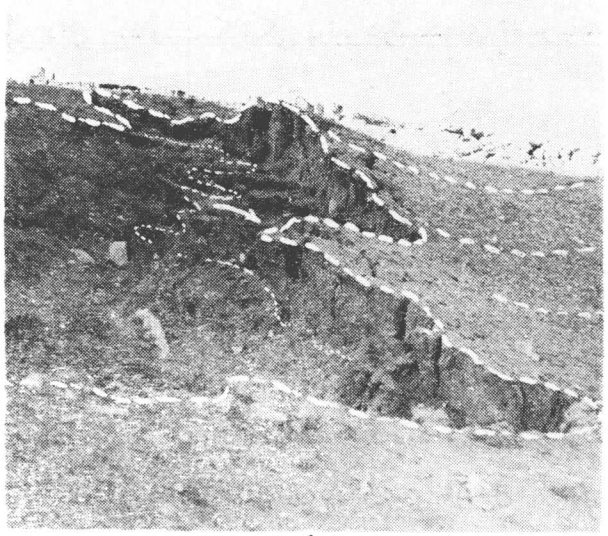
نفوذی آذرین بین لایه‌های رسوبی انجام گرفته است ، چنانچه میتوان آنرا بایک لاکولیت مقایسه نمود . درقسمت شمال شاهراه مواد آذرین روی رسوبات و درقسمت جنوبی آن (منطقه II ، شکل ۲) مواد آذرین زیر رسوبات دگرگونه‌شده مشاهده میشود .

باین طریق کوههای‌این‌منطقه از دونوع مواد مختلف‌آذرین (پرفیر) ودگرگونی تشکیل‌شده‌است . تبلور مجدد (Recrystallisation) سنگهای رسوبی که بصورت دگرگونی همبری (Contact Metamorphism) انجام گرفته سبب ازدیاد مقاومت مکانیکی اینگونه سنگها شده است . درساخت و بافت قسمتی از سنگهای دگرگونی یک‌نوع تغییر وضع متازوماتیسم (Metasomatism) واستروکتور حرکت جریانی مشاهده میشود ، که دلیل برنیمه ذوب رسوبات وجابجائی آنها درحالت خمیری است .

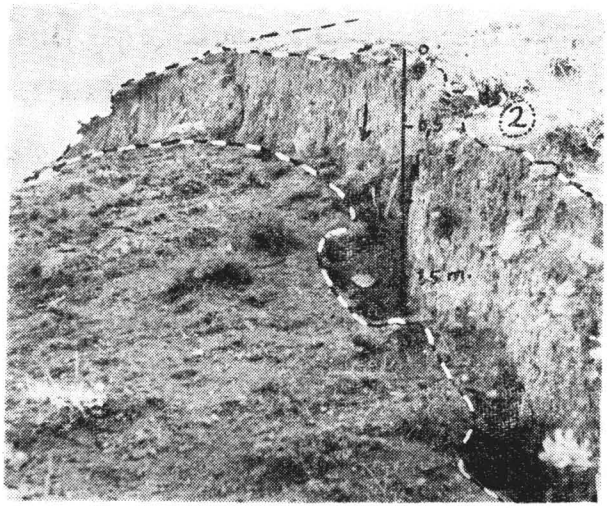


1- گسل‌قدیمی ——— 2- گسلهای‌جدید 3- تولیدشکاف دراثر تخریب
4- مسیررودخانه 5- کوههای مجاور

شکل ٥: لغزش پرفیر فرسوده شده درشاهراه تبریز - میانه کیلومتر ۱۳۱ (منطقه I) .



شکل ٦: تشکیل شکافها وگسلها در اثرحرکت لغزشی .
(عکسبرداری نزدیک ازمحل 2 شکل ٥) .



شکل ۷: ایجاد گسل دراثرحرکت لغزشی
(عکسبرداری نزدیک ازمحل 2 شکل ۵).

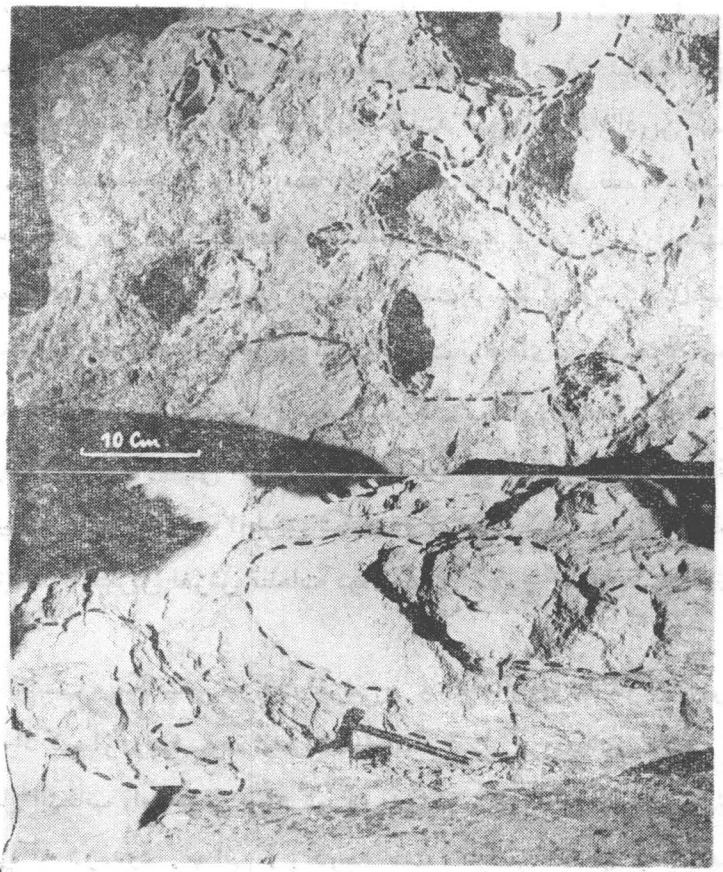
۲ـ مطالعات سنگ‌شناسی :

رنگ پرفیرصورتی ـ سبز ـ سفید ـ ودرحالت فرسودگی خاکستری است . کانیهای ماکرسکپی آن عبارتند از : فلدسپاتها ارتوز ـ الیگوکلاز (Oligoclase, Orthoclase) بیش از ۶۰ درصد ، کوارتز. ۱ الی ۱۵ درصد ، ومقدارکمی بیوتیت وکانیهای تیره متفرقه که بصورت کریستالهای تک‌تک ریز در ماتریکس پرفیر قابل تشخیص میباشد. بعلت‌وفور ارتوزمیتوان این پرفیر را بهتر ارتوز ـ پرفیر (Orthoclase - Prophyr)نامید. بافت پرفیر بسیار ریز ودارای کانیهای تک‌تک درشت شکل‌دارارتوز (Idiomorphic) میباشدکه درشتی‌آنها تا ۵ ٤ سانتیمتر اندازه‌گیری شده است (شکل۸) . درداخل بعضی ازکانیهای ارتوزکانیهای چند میلیمتری کوارتز وکانیهای تیره یافت میشود. کریستالهای درشت ارتوز و بافت میکرسکپی پرفیر نشان میدهد که انجماد مواد مذاب درنزدیکی سطح زمین انجام گرفته است. داخل قسمتی ازقطعه‌سنگهای پرفیر ، سنگهای رسوبی دگرگونه‌شده‌نیز وجوددارد. مقاومت‌مکانیکی پرفیر درقسمتهای تغییرنیافته زیاد و درحالت‌فرسودگی بسیارکم است.

۳ـ فرسودگی پرفیر :

توده نفوذی پرفیر دراثر عوامل تکتونیکی ـ فرسودگی و تخریب لایه‌های رسوبی فوقانی درحال حاضر روی سطح زمین قرارگرفته است. چنانچه اشاره‌شد درپرفیر ، فلدسپاتهای بزرگی وجوددارند که آنها بمرور زمان تحت‌اثر عوامل فیزیکی ، بخصوص عوامل شیمیائی تجزیه و بمواد سفید و خاکستری رنگ تبدیل شده است (شکل۸).

تجزیه فلدسپاتهای اسیدی پرفیر دراثرنفوذ آب و فرسودگی انجام گرفته و بابستگی بشرایط محلی ودرجه‌فرسودگی به کائولن ـ کائولینیت ـ وکانیهای دیگر رسی ازقبیل
Montmorillonit - Halloysit - Diaspor Hydrargillit وغیره تبدیل شده است.



شکل ۸: تشکیل موادنرم‌سفید وخاکستری رنگ وایجاد حفره‌ها دراثر فرسودگی فلدسپاتها در پرفیر منطقه I و II

تجزیه هیدراته ارتوز بطریق زیر انجام میگیرد :

$$2K[AlSi_3O_8] + 3H_2O \longrightarrow Al_2[(OH)_4Si_2O_5] + 4SiO_2 + 2KOH$$

هیدراکسیدآلومینه

$$2K[AlSi_3O_8] + \overset{\uparrow}{8H}\ \overset{\downarrow}{2O} \longrightarrow 2KOH + 2\overset{\frown}{Al(OH)_3} + 2H_2Si_3O_8$$

تجزیه آلبیت : (Albit)

$$2Na[AlSi_3O_8] + 3H20 \longrightarrow Al_2(OH)_4Si_2O_5 + 2NaOH + 4SiO_2$$

٤ـ علل لغزش کوهها درمنطقه I و II و III

کلاً ٤ عامل اصلی درریزش ولغزش کوههای این‌منطقه دخالت مستقیم دارد. آنها عبارتنداز:

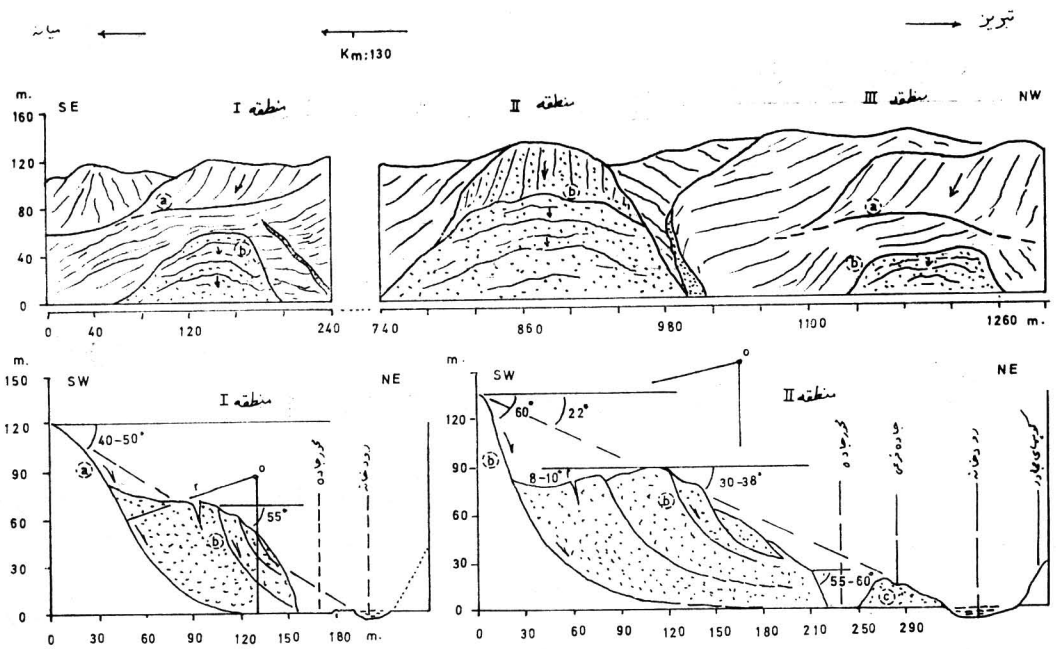
۱- نیروی ثقل ۲- فرسودگی ۳- نفوذ آب ٤- برش نامناسب کوه.

۱- دراثر نیروی ثقل‌مواد ازطرف بالابطرف پائین بطورعمودی ویامایل حرکت‌مینماید. تغییرمکان بصورت نشست ـ ریزش ویالغزش انجام‌میگیرد.

۲- فرسودگی: پرفیر جزء سنگهای بسیار مقاوم آذرین محسوب میشود . فرسودگی پرفیر در منطقه نیمه‌مرطوب مثل نواحی آذربایجان در زمانهای بسیارطولانی وقبل‌از احداث شاهراه انجام گرفته‌است. درجه فرسودگی درقسمت فوقانی وقسمتهای‌شکافدارکوه زیاد میباشد بطوریکه موادآذرین کاملاً متلاشی وبه‌پودر نرم تبدیل شده است. درقسمت تحتانی ویا درمنطقه کم‌شکاف ، فرسودگی فقط در فلدسپاتها انجام گرفته ، باینطریق درسنگ، حفره‌های بزرگ وکوچک تولیدشده‌است. عمق فرسودگی درقسمتهای مختلف کوه‌متغییر است، درمنطقه I عمق آن تا ۲۰ متر تخمین زده‌میشود. بعلت فرسودگی وخردشدن موادازنیروی‌چسبندگی مالشی ومقاومت ایستادگی کوه کاسته‌شده و این سبب تقویت نیروهای‌موثر ومحرك وجابجائی کوه‌میگردد.

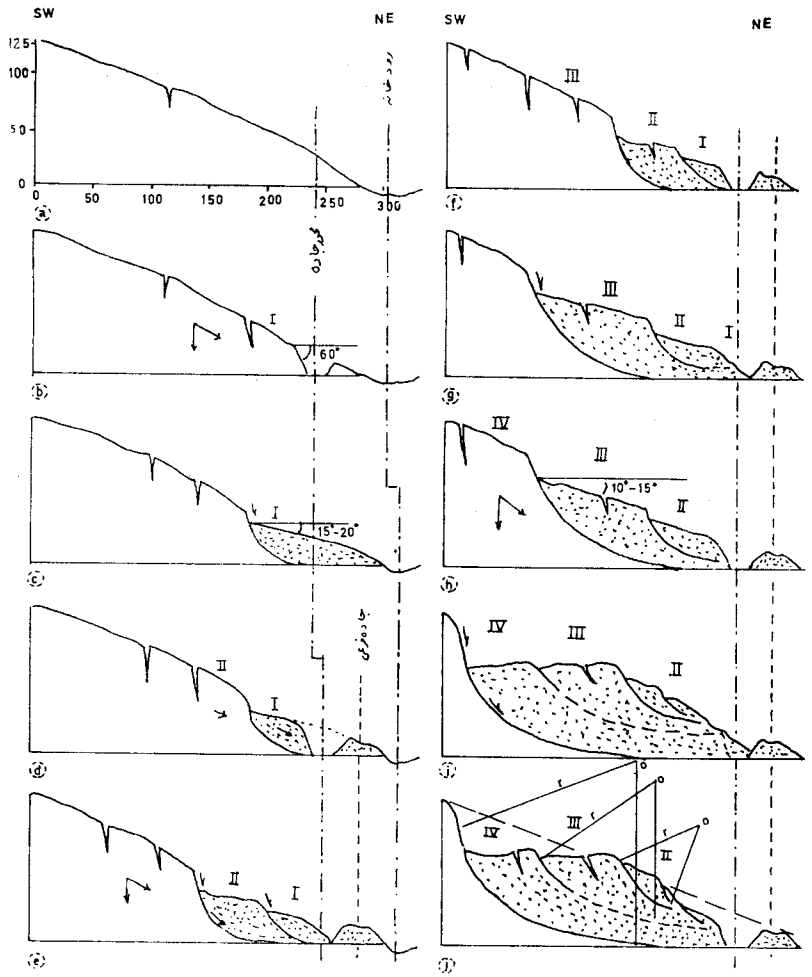
۳- نفوذآب: آب باران یکی ازعوامل موثر درحرکت موادنرم ولغزش کوه در پرفیر فرسوده‌شده‌این منطقه میباشد ، بطوریکه پس‌از بارندگی ، موادنرم قسمت فوقانی کوه آبرا بخود جذب‌نموده درحالت‌خمیری بطرف جاده جریان مییابد. غیر ازآن آب ازطریق شکافها وگسلهای پرفیر بداخل کوه‌نفوذ نموده لایه‌های لغزنده تشکیل می‌شود ، باینطریق لغزش قطعات کوه ازطریق سطوح لغزشی آسانتر انجام می گیرد (شکل ۲ الی ۷).

٤- برش نامناسب و مکانیسم حرکت لغزشی : چنانچه اشاره شد درکیلومتر ۱۳۰ جاده تبریز- میانه قسمت اعظم مواد کوه از پرفیرفرسوده شده تشکیل شده است. بررسیهای مختلف نشان میدهد که‌علت لغزش کوه دراین محل انتخاب زاویه‌برش زیادکوه درحدود ۵۰ الی ۶۰ درجه میباشد (شکل ۱۰- b) . شیب‌طبیعی دامنه کوه که درحدود ۳۰ الی ٤۰ درجه است ، درضمن شکافها و گسلهای قدیمی در قسمت فوقانی کوه (شکل ۵ وشکل ۹ منطقه I و II) نشان میدهد که قبل از برش کوه واحداث شاهراه حرکت‌نموده



شکل ۹: پرفیل طولی وعرضی ازمحل لغزش درشاهراه تبریز - تهران (کیلومتر ۱۳۰). a = گسلهای‌قدیمی b = گسلهای جدید (بعد از احداث‌جاده). c = مولد لغزیده قبل ازسال ۱۳۵۲. ::: = منطقه‌لغزش

است. بعلت بی‌توجهی به‌فرسودگی مواد و گسلهای موجود وباانتخاب زاویه برش نامناسب وعدم‌جلوگیری از حرکت مواد بامتدهای مختلف، درکوه برای ایجاد تعادل وتشکیل شیب‌طبیعی لغزش ایجادشده است. دراینگونه لغزش‌ها اولین تغییرات‌دراثر نیروی کششی باایجادشکافهائی بموازات‌امتداد برش طبق شکل۶ و ۱۰ - b نمایان میشود. دراثر نفوذ آب باران دوحالت پیش میآید: درمرحله اول موادنرم به‌خمیرلغزنده‌ای تبدیل میشود که ازقسمت سطح کوه بطرف جاده جریان مییابد. درمرحله‌دوم یا لغزش اصلی، طبق‌شکل۶ و۷ - ۱۰ c حرکت مواد ازطریق نفوذ آب‌بشکافها و تبدیل‌آنها به‌گسلهای قوسی انجام میگیرد. باینطریق دراثر جابجائی مواد کوه، طبیعت برای ایجاد تعادل‌خود یک شیب طبیعی موقتی تشکیل میدهد (شکل ۱۰ - c). پس از برطرف‌نمودن مواد ازجاده یعنی برش مجدد و ایجاد زاویه شیب نامناسب طبق شکل ۱۰ - d درکوه مجدداً شکافها وگسلهای جدیدی تولید میشود که حرکت مواد بخصوص ازمحل گسلها آسانتر میگردد. بعلت برش کوه بازاویه شیب زیاد که هربار بعد ازهرلغزش بطورمصنوعی در کوه ایجاد میشود ایجاب میکند که گسستگی‌های جدیدی درکوه تولید و باینطریق حرکت‌لغزشی کوه تکرار گردد.



شکل ۱۰: نمایش مکانیسم حرکت لغزشی کوه پس از احداث جاده درمنطقه I و II

باینطریق درکوه طبق شکلهای ۱۰ - a تا ۱۰ - j دراثر ایجاد گسلهای متعدد یک استروکتور پله کانی تشکیل میشود که هرپله کانی معرف محل بین دو گسل است . بعلت نشست و حرکت قوسی مواد در جهت جاده ، درقسمت فوقانی وسطح دامنه کوه درابتدا فرورفتگیهائی ایجادمیشود که شیب سطح این فرورفتگی ها که منطقه بین دوگسل میباشد معمولاً بطرف داخل کوه تغییروضع میدهد (مقایسه شکل ٤ و پرفیل منطقه II شکل ۹) . باینطریق درمواقع بارانی آب درفرورفتگیها جمع آوری شده نفوذآن از محل گسلها ، لایه های لغزنده ای تشکیل میدهد که آن زمینه لغزش های بعدی را مهیا میسازد . باین جهت درمواقع بارانی و بعد از باران مدتی ازمحل گسلهائی که پیشانی برش راقطع مینماید آب خارج میگردد . حرکت قوسی کوه ازمحل شکستگی ها ایجاب میکند که قطعه سنگهای بزرگ وکوچک قسمت تحتانی کوه که کمتر فرسوده شده اند بطرف بالا وپیشانی کوه فشرده شده وباینصورت باموادفرسوده مخلوط شود . علاوه برآن دراثر لغزش مواد از سطح گسلها و تقاطع آنها باسطح برش درکوه یکنوع بیرون زدگی تولید میگردد .

درفصل زمستان لغزش مواد دراثر یخبندان انجام میگیرد ، بطوریکه پس ازیخ زدگی پی در پی درشکافها وگسلها ، ازدیاد حجم حاصل شده فشارهیدرواستاتیکی افزایش مییابد ، درنتیجه حرکت مواد مجدداً تکرارمیشود . پس از پایان دوره یخبندان مواد بیشتر متلاشی شده خاصیت لغزندگی آن افزایش مییابد واین امر سبب کاهش مقاومت ایستادگی کوه میگردد .

ازمطالعات فوق نتیجه گیری میشود ، چنانچه با استفاده از تحقیقات و آزمایشهای عملی مورد لزوم جهت انتخاب متد مناسب ازحرکت کوه جلوگیری بعمل نیاید ، لغزش و ریزش کوه درسالهای آینده همچنان ادامه خواهدیافت مقدارموادی که درحال حاضر طبق پرفیلهای شکل ۹ درمنطقه I و II آماده حرکت میباشد بیش ازیک میلیون مترمکعب تخمین زده میشود . مقدارآن میتواند دراثر عدم جلوگیری تا بیش از ۲ میلیون مترمکعب افزایش یابد . حرکت کوه میتواند درمواقع بارندگی وزلزله بسرعت انجام گیرد .

بعلت لغزش وریزش خفیف درمنطقه I شکل ۹ از تشریح آن فعلاً صرفنظرمیشود ولی لغزش این منطقه بعلت فرسودگی مواد ووجود گسل قدیمی درقسمت فوقانی کوه که دراستداد گسل منطقه I و II قرارگرفته است پیش بینی میشود .

منابع

HABETHA, E.: Ingenieurgeologische Probleme beim Bau der Autobahn in Niedersachsen. Z. deutsch. geol. Ges. Hannover 1963.

HOFMANN, H.: Modellversuche zur Hangtektonik. Geol. Rundschau. B. 62, H. 1 – S. 16 – 29, Stuttgart 1973.

KARRENBERG, H.: Geol. und bodenmechanische Ursachen von Rutschungen, Gleitungen und Bodenfliessen. – Forschungsber. L. – A. Nordrhein. – Westf., **1138**, Köln 1963.

KHOSROVSCHAHIAN, R.: Geol. u. ing. geol. Untersuchungen der Autobahn Hansalinie II bei Tecklenburg. (Dipl. Arb. 1968).

MÜLLER, L.: Die Standfestigkeit von Felsböschungen. – Felsmechanik und Ingenieurgeologie, 1/1, S. 50-71, Wien 1963.

» Der Felsbau. 1.B., 1, Stuttgart 1963.

SIEDEK, G. & VOSS, R.: Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. – Werner-Verlag, Düsseldorf 1963.

ZÀRUBA, Q. & MENCL, V.: Ingenieurgeologie. – Verlag der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag 1961.