چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

بررسی زمین‌لغزش در روستای استخرسر و روش‌های پیشنهادی پایدارسازی آن‌ها

مبینا نوروزی[۱]، سعید ملکی[۲]، جعفر حسن‌پور[۳]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تهران، Mobina.noroozi@ut.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی زمین شناسی، دانشگاه تهران، SsaeidMalaki@ut.ac.ir
[۳]دانشیار، دانشگاه تهران، Hassanpour@ut.ac.ir

چکیده

محدوده مورد مطالعه استخرسر روستایی در شهرستان سوادکوه مازندران است. از نظر چینه‌شناسی متشکل از واحدهای شیل و مارن شمشک به سن ژوراسیک ابتدایی با میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۳۱۷ میلی‌متر در سال است. بر اساس اکتشافات زیر سطحی و مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی افق‌های خاک به سمت پایین تا سنگ بستر به مقاوت ویژه شان افزوده می‌شود. نوع حرکت در زمین‌لغزش روستای استخر سر از نوع حرکات لغزشی است. از نظر توزیع فعالیت در رده زمین‌لغزش‌های پسرونده و عریض شونده، از نظر درجه توسعه در رده پیشرفته، از نظر نحوه فعالیت جز زمین لغزش‌های متوالی و از نظر سن در زمره زمین لغزش های جوان و فعال طبقه‌بندی می‌شود. مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک با هدف بدست آوردن اطلاعاتی از لایه‌های زمین‌شناسی، افق‌های خاک، سطح لغزش احتمالی، سنگ کف، آب‌های زیرزمینی و شکستگی‌های احتمالی انجام شد. برداشت داده‌ها به روش مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی و با استفاده از فاصله الکترودی ۵ و ۱۰ متری به ازای گام‌های جدایش مختلف صورت پذیرفت. افزایش آب زیرزمینی ناشی از نفوذ باران، باعث کاهش ضریب اطمینان و افزایش احتمال گسیختگی هم برای لغزش‌های کوچک و هم برای لغزش‌های کلی دامنه شده است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، استخرسر، بارندگی، زمین‌شناسی مهندسی

Abstract

The area under study is EstakhrSar, a village in Savadkooh, Mazandaran. From the point of view of stratigraphy, it consists of shale and marl units of Shemshak age, with the average annual rainfall in this area is 317 mm per year. Based on subsurface explorations and geotechnical and geophysical studies, the soil horizons will increase their special resistance down to the bedrock. The type of movement in the land-sliding of EstakhrSar village is a type of sliding movement. In terms of distribution of activity in the category of receding and widening landslides, in terms of the degree of development in the advanced category, in terms of the mode of activity except successive landslides, and in terms of age, it is classified in the category of young and active landslides. to be Geophysical studies were carried out by geoelectrical method with the aim of obtaining information about geological layers, soil horizons, possible sliding surface, bedrock, underground water and possible fractures.The data collection was done by the method of specific electrical resistance using a bipolar-bipolar arrangement and using an electrode distance of ۵and ۱۰meters for different separation steps. The increase in underground water caused by the infiltration of rain has reduced the reliability factor and increased the probability of rupture both for small landslides and for general landslides.

Key words: Landslide, EstakhrSar, Rainfall, Engineering Geology

۱. مقدمه

تعداد زیادی از شهرها و روستاهای بنا شده در بخش‌های کوهستانی و پرشیب شمال کشور به دلیل بنا شدن بر روی خاک‌های جنگلی و شرایط خاص زمین‌شناسی مستعد خطر زمین‌لغزش می‌باشند. این زمین‌لغزش‌ها معمولا پس از بروز یک عامل محرک مثلا زلزله و یا بارش اتفاق می‌افتند. حوادثی که در سال‌های نه چندان دور تلفات زیادی همراه داشته است. مستعد بودن این زمین‌ها برای لغزش هم به دلیل وضعیت خاک در حضور مقادیر زیاد مواد آلی و پائین بودن خصوصیات مقاومتی خاک‌ها و هم به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی از جمله حضور واحدهای مارنی سازند شمشک در بخش‌های پائینی و در همبری با این خاک‌ها می‌باشد. از این‌رو غالب شیب‌هایی که در این مناطق مشاهده می‌شود نوعی از انواع لغزش‌ها را در خود نشان می‌دهد. بنابراین بسته به قدرت و بزرگی عامل تحریک‌کننده مانند از بین بردن جنگل، جاده سازی، بارش باران، زلزله و سایر عوامل تحریک‌کننده دیگر، اندازه این لغزش‌ها نیز متفاوت می‌باشد. در حال حاضر میتوان مهم‌ترین عامل تحریک‌کننده برای زمین‌لغزش در این شهرها و روستاها را بارش باران قلمداد نمود. آب باران می‌تواند با قرار گرفتن در فضای خالی دانه‌ها مقدار تنش موثر خاک و نیروی وارده از سنگدانه‌ها بر یکدیگر را کاهش داده و از این طریق خصوصیات مقاومتی خاک را تا حد بسیار زیادی کاهش دهد (هوک و همکاران.، ۲۰۰۲). همین موضوع می‌تواند سبب لغزش توده خاک شود. اتفاقی که در جریان بارندگی‌های، در استخرسر رخ داده است.

۲. ویژگی‌های زمین‌لغزش

به حرکت یک توده سنگ یا خاک به سمت پایین دامنه زمین‌لغزش (Landslide) گفته می‌شود. زمین‌لغزش یکی از خطراتی است که امروزه مورد توجه قرار گرفته است. چرا که اکنون بنا بر بارندگی‌های بسیار در شمال کشور و عوامل انسانی موثر در کاهش مقاومت خاک، سبب کاهش این مقاومت در دامنه‌های پر شیب و جنگل‌های شیبدار شده است. واژه زمین‌لغزش در واقع یک واژه عمومی برای تشریح حرکت رو به پایین توده‌های سنگ، خاک و مواد آلی تحت اثر جاذبه زمین و همچنین ریختارهایی که در نتیجه این حرکت ایجاد می‌شوند، به کار می‌رود (WP/WLI.1995).

زمین‌لغزش‌ها بر اساس معیارهای متفاوتی قابل طبقه‌بندی هستند. این معیارها شامل فعالیت زمین‌لغزش که خود شامل: حالت فعالیت یا سن، توزیع فعالیت یا نحوه گسترش و نحوه فعالیت می شود، سرعت حرکت، شرایط آب، نوع مصالح درگیر و مکانیسم حرکت می‌باشند (جدول ۱) (کرودن.، ۱۹۹۶).

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی حرکات دامنه‌ای بر اساس عوامل هفتگانه

مکانیسم حرکت	نوع مصالح درگیر	شرایط آب	سرعت حرکت	حالت فعالیت	توزیع فعالیت	وضعیت فعالیت
ریزش	سنگ	خشک	بسیار کند	منفرد	در حال حرکت	مقدماتی
واژگون	خاک	مرطوب	خیلی کند	متوالی	پیش رونده	حاشیه ای
لغزش	زباله	خیس	کند	چندگانه	پس رونده	فعال
گسترش	زمین	خیلی خیس	متوسط	مخلوط	گسترده شونده	دوباره فعال شده
جریان	ماسه	منجمد	سریع	پیچیده	بزرگ شونده	معلق
	سیلت	ذوب سده	خیلی سریع		محدود شونده	غیرفعال
	رس		بسیار سریع		کاهش یابنده	خوابیده
						رها شده
						بازسازی شده
						تثبیت شده
						باقی مانده

۳. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

استخرسر روستایی در شهرستان سوادکوه مازندران و در نزدیکی شهر های زیراب و پل سفید قرار گرفته است. این روستا دارای فاصله ای حدود ۵ کیلومتر با مرکز پل سفید و به همین مقدار فاصله ای با مرکز شهر زیرآب دارد. از نظر چینه‌شناسی منطقه مورد بررسی در جنوب مازندران متشکل از واحدهای شیل و مارن شمشک به سن ژوراسیک ابتدایی می‌باشد. بخش ماسه سنگ تحتانی به ضخامت ۷۶ متر، بخش ذغال‌دار تحتانی به ضخامت ۳۳۲ متر، بخش ماسه سنگ فوقانی به ضخامت ۵۳۱ متر و سری ذغال‌دار فوقانی به ضخامت ۷۸ متر است (سازمان زمین شناسی). از دیدگاه گسلی نیز، گسل‌های اصلی و مهم منطقه مورد مطالعه را میتوان در دو دسته اصلی قرارداد. دسته اول گسل‌هایی با طول بسیار زیاد هستند که در فواصل مختلف نسبت به ساختگاه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این گسل‌ها در یک شعاع ۱۵۰ کیلومتری دراطراف طرح مورد شناسایی قرارگرفته‌اند و عبارتند از گسله های خزر (بربریان و همکاران،۱۳۷۱)، عطاری، شمال البرز (قاسمی و قریشی، ۲۰۰۴) و مشا (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴) اشاره نمود. دسته دوم گسل‌هایی هستند که معمولا دارای طول متوسط ۱۰ تا ۵۰ کیلومتری بوده و فعالیت لرزه‌ای آنها تاثیر بسیاری در منطقه مورد بررسی دارند. ازجمله این گسل‌ها، گسل‌هایی چون گسل بایجان، لله بند و ... قابل اشاره هستند. (اشتوکلین، ۱۹۶۸).

۴. ویژگی‌های اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه

آب و هوای منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، منطقه "مرطوب سرد" بوده است (آمبراسیس، ۱۹۸۲). میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۳۱۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. با توجه به اقلیم منطقه که دارای بارندگی طولانی در طول سال است، بارندگی بسیاری داشته است که این کمیت در جدول ۱ در فصول مختلف در سال در دو ایستگاه نزدیک به محل زمین لغزش (پل سفید، تلارم و لاجیم) بررسی شده است.

جدول ۲ - متوسط بارندگی ماهیانه در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های مختلف

نام زیر حوزه	پارامترهای مورد بررسی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
پل سفید	بارندگی ماهانه (میلی متر)	49.8	58.1	62.8	48.1	65.7	67.3	58.2	38.6	35.5	38.1	24.7	53.5	598.4
	بارندگی فصلی (میلی متر)	170.8			181.2			132.4			116.2			
تلارم	بارندگی ماهانه (میلی متر)	53.4	61.9	60.5	40.8	51.4	53.0	41.0	31.5	28.5	43.4	25.5	56.5	547.9
	بارندگی فصلی (میلی متر)	175.9			145.4			101.1			125.5			
لاجیم	بارندگی ماهانه (میلی متر)	92.3	84.8	82.2	58.4	68.0	68.3	55.8	47.1	44.6	47.8	37.8	75.0	764.4
	بارندگی فصلی (میلی متر)	259.4			194.7			147.6			160.6			

بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی، اسفند ماه با حدود ۶۷ میلی‌لیتر بارندگی، پرباران‌ترین ماه در سال و ماه‌های مرداد با ۲۴ میلی‌لیتر با داشتن کمترین بارش‌ها، خشک‌ترین ماه‌های سال در این منطقه می‌باشند.

تغییرات فصلی ماهیانه درجه حرارت نیز به گونه‌ای است که متوسط درجه حرارت در فصل تابستان حدود ۲۱٫۶ درجه سانتی‌گراد و در فصل زمستان در حدود ۴٫۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

همچنین براساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی قراخیل قائمشهر، شیرگاه و آلاشت، متوسط رطوبت نسبی سالیانه در منطقه مورد مطالعه ۷۰ تا ۸۰ درصد، حداکثر رطوبت نسبی مشاهده شده ۷۰ تا ۹۰ درصد و حداقل ثبت شده ۶۰ تا ۷۰ درصد می‌باشند.

۵. اکتشافات زیرسطحی (مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی)

مطالعات ژئوتکنیکی

اکتشافات زیرسطحی از جمله مهم‌ترین بخش‌های مطالعات زمین‌لغزش‌ها محسوب می‌شود. چرا که تقریبا تمامی راهکارها به منظور بهبود زمین، نیازمند داده‌هایی است که گاهی آنها را تنها از طریق مطالعات ژئوتکنیکی میتوان تخمین زد. در روستای اسخرسر با توجه به شرایط زمین‌شناسی محلی و ویژگی‌های زمین‌لغزش رخ داده، ۱ چاهک دستی اکتشافی و یک گمانه ماشینی حفر شده است و داده‌های ژئوتکنیکی به دست آمده از آنها برای تأمین داده‌های طراحی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین آزمایش‌های صحرایی، کاوشگر دینامیکی (Dynamic Probe) و دانسیته صحرایی در محل پروژه انجام شده است.

- **گمانه TP1**: مصالح حفاری شده در چاهک TP1 بر اساس مشاهدات صحرایی تا عمق حدود ۶ متر عمدتا رس با پلاستیسیته کم لای‌دار مرطوب با تراکم کم بوده است. پس از این عمق با برخورد به لایه سنگی حفاری متوقف شد. با توجه با مشاهدات میدانی لایه سنگی مارلستون ارزیابی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، نمونه‌های اخذ شده از این چاهک از گونه خاکی CL (رس لاغر همراه با ماسه و گراول) تشکیل شده است.
- **چاهک BH1**: مصالح حفاری شده در گمانه BH1 بر اساس بررسی جعبه نمونه‌ها، تا عمق یک و نیم متری رس بوده و از این عمق تا ۲۰ متری حفاری در سنگ مارلستون انجام شد. با توجه به اینکه شرایط حفاری تقریبا به صورت خشک بوده است و باعث خرد شدن سنگ شده و همچنین با توجه به برداشت‌های میدانی، لایه سنگی از نظر مقاومت، ضعیف تا متوسط ارزیابی شده است.

نتایج آزمون آتربرگ نمونه‌های برداشت شده نشان می‌دهد که گروه‌های خاکی در چاهک **TP1** عمدتا در محدوده حد روانی پایین با مقادیر پائین خصوصیات مکانیکی قرار دارند.

همچنین تغییرات میزان رطوبت و وزن واحد حجم نسبت به عمق نیز آن‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار میانگین چگالی خشک خاک‌ها در این محدوده برابر با ۱/۶۸ و مقدار میانگین چگالی اشباع نیز برابر با ۱/۹۵ میباشد.

در گزارش ژئوتکنیک ساختگاه استخرسر، با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی، خصوصیات فیزیکومکانیکی خاک در محل روستای استخرسر در جدول ۳ تهیه شده است.

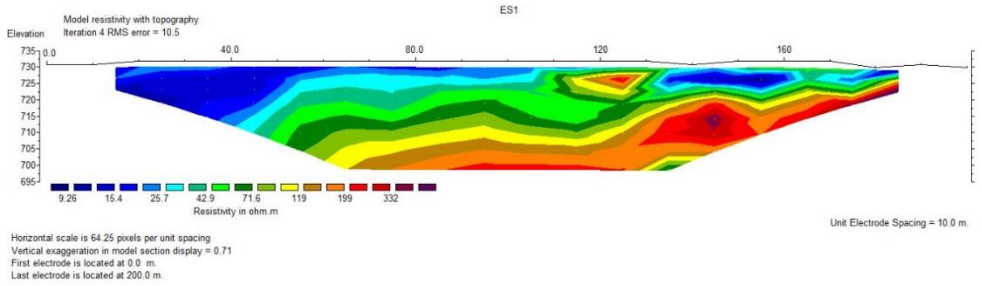
جدول ۳ - مقادیر پیشنهادی برای خصوصیات مکانیکی خاک در محدوده سایت استخر سر

عمق (متر)	USCS	γ_{sat} (g/cm^3)	C_u (kPa)	C' (kPa)	ϕ' (deg)	E (kg/cm^2)	V
0-6	CL	1.90	50-60	35-45	25-30	50-100	0.4

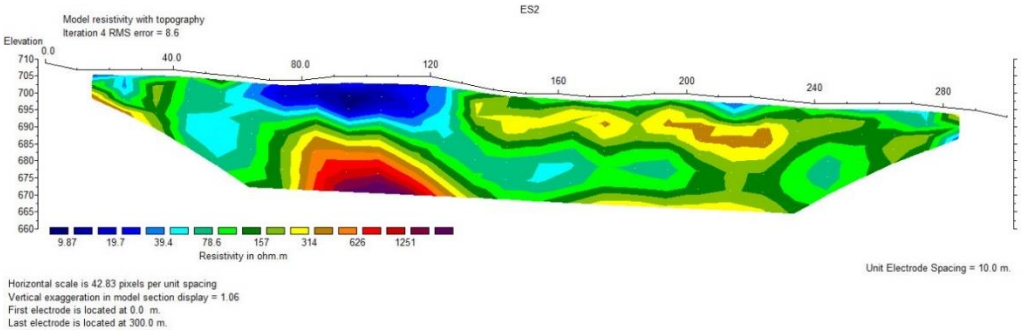
مطالعات ژئوفیزیکی

به منظور مطالعه زمین‌لغزش رخ داده در این محدوده، مطالعات ژئوفیزیکی به روش ژئوالکتریک با هدف بدست آوردن اطلاعاتی از لایه‌های زمین‌شناسی، افق‌های خاک، سطح لغزش احتمالی، سنگ کف، آب‌های زیرزمینی و شکستگی‌های احتمالی انجام شد. برداشت داده‌ها به روش مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی و با استفاده از فاصله الکترودی ۵ و ۱۰ متری به ازای گام‌های جدایش مختلف صورت پذیرفت. در مجموع پنج پروفیل برداشتی به نام های

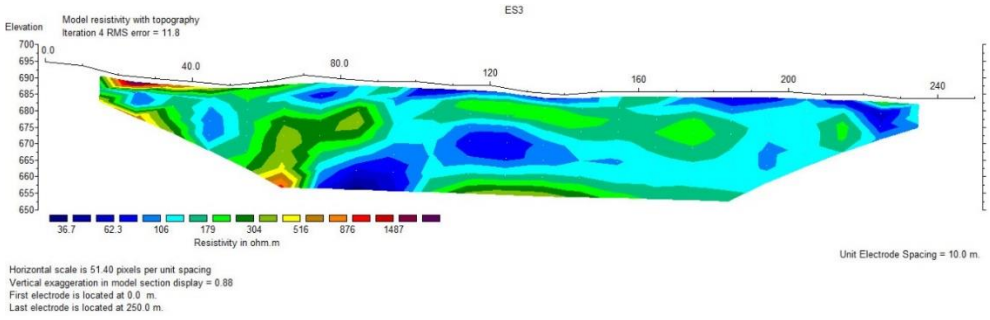
ES1، ES2، ES3، ES4 و ES5 به ترتیب مورد برداشت قرار گرفتند. حاصل نتایج این بررسی‌ها و برداشت‌های صحرایی منجر به ارائه و ترسیم پروفیل‌ها و مقاطع مختلفی از خصوصیات تحت‌الارضی لغزش گردید که در شکل‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است.



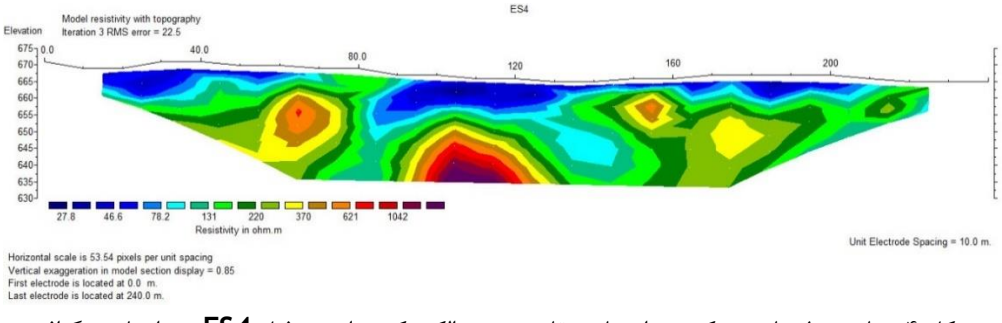
شکل ۱- نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برای پروفیل **ES1** همراه با توپوگرافی



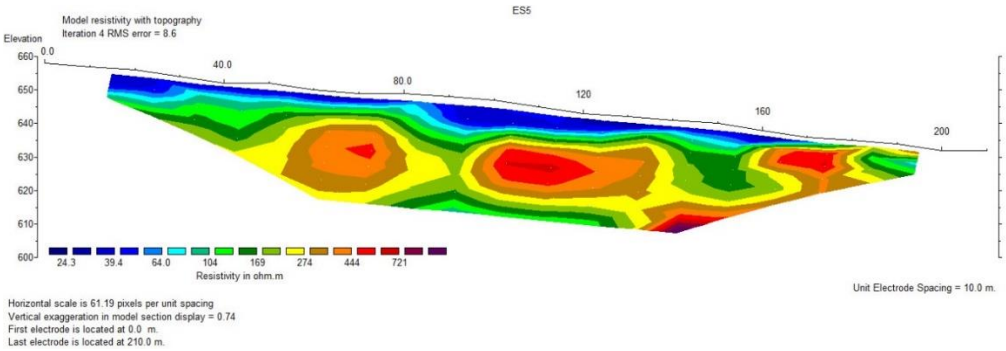
شکل ۲- نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برای پروفیل **ES2** همراه با توپوگرافی



شکل ۳- نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برای پروفیل **ES3** همراه با توپوگرافی



شکل ۴- نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برای پروفیل **ES4** همراه با توپوگرافی



شکل ۴- نتایج مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی برای پروفیل **ES5** همراه با توپوگرافی

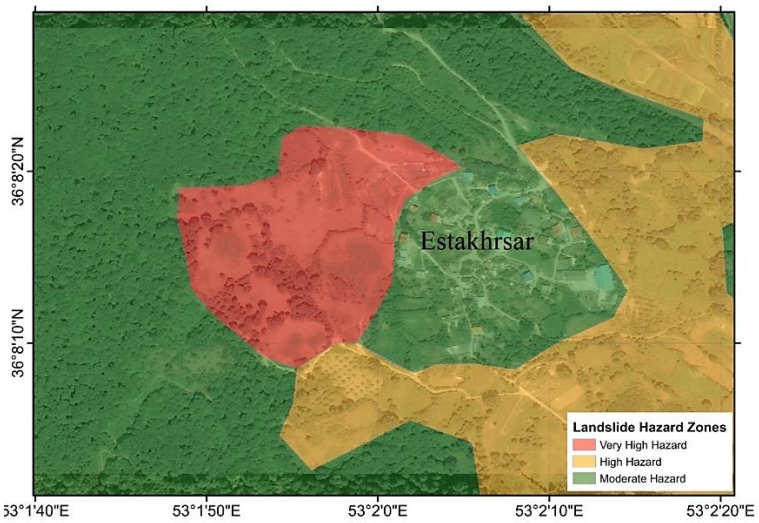
نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت ویژه، اطلاعات مفیدی از وضعیت لایه‌ها در روستای استخرسر را ارائه نمودند. بطور کلی، در ابتدا افق‌های خاک با مقاومت ویژه پایین واقع شده‌اند که به دنبال آن واحد سنگ کف محدوده با مقاومت ویژه متوسط تا بالا قابل تفکیک است.

۶. زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه

بعد از بررسی دامنه‌های اطراف روستای استخرسر سه پهنه خطرات زمین‌شناسی مختلف به شرح جدول ۴ شناسایی و تفکیک گردید. نتایج این پهنه‌بندی بر روی نقشه پهنه‌بندی مناطق اطراف روستا منعکس شده است (شکل ۵).

جدول ۴- پهنه‌بندی مناطق اطراف روستای استخرسر از نظر پتانسیل وقوع لغزش و ناپایداری

زون	پتانسیل خطر لغزش	ضخامت خاک و زون هوازده	شیب	پدیده مخاطره آمیز	ملاحظات
۱	خیلی زیاد	زیاد (بیشتر از ۵ تا ۱۵ متر)	متوسط	لغزش انتقالی یا چرخشی کم عمق در خاکهای برجا اتقاق افتاده است یا احتمال بالایی دارد. جریان گل و واریزه در حریم رودخانه ها	ساخت و ساز جدید به هیچ وجه مجاز نیست. ساختمانهای موجود تخلیه و جابجا شوند. کاشت درخت به منظور بالا بردن پایداری خاک توصیه می گردد.
۲	زیاد	زیاد (بیشتر از ۵ تا ۱۵ متر)	متوسط تا زیاد	احتمال وقوع زمینلغزش انتقالی یا چرخشی کم عمق و جریان مصالح در بارندگیها	از گسترش ساخت و ساز بیشتر جلوگیری گردد. سیاستهای سختگیرانه برای جنگل زدایی اعمال گردد.
۳	متوسط	زیاد (بیشتر از ۵ تا ۱۵ متر)	کم	لغزشهای کوچک و موضعی در خاکهای برجا	در ترانشه برداریها به مسائل پایداری شیب توجه شود. از شیبهای تند لبه آبراهه ها اجتناب گردد. توصیه میشود انتخاب محل مناطق جمعیتی بزرگ بعد از انجام مطالعات دقیق ژئوتکنیک صورت پذیرد. سیاستهای سختگیرانه برای جنگل زدایی اعمال گردد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی مناطق اطراف روستای استخرسر از نظر پتانسیل وقوع لغزش و ناپایداری

محدوده لغزشی روستای استخرسر، در مجموع محدوه لغزشی، با ابعاد متوسط است که در آن لغزش‌های کوچکی در خاک‌های با ویژگی‌های ژئوتکنیکی ضعیف (در حالت اشباع) رخ داده است در محدوده لغزشی مورد مطالعه، که ابعاد آن ۲۵۰ × ۲۰۰ متر می‌باشد. تعدادی زمین‌لغزش کوچک مجزا از هم به وقوع پیوسته‌اند که در حال گسترش رو به بالا و به هم پیوستن می‌باشند. طول این زمین‌لغزش‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی نقشه توپوگرافی محل حدود ۱۰ تا ۲۰ متر و عرض آنها در حدود ۵ تا ۲۰ متر متغیر است. با توجه به این شواهد و مقاطع ترسیم شده میتوان بین ۱ تا ۷ متر را به عنوان عمق سطح گسیختگی در این زمین‌لغزش در نظر گرفت. شیب زمین بر روی محدوده لغزشی مورد مطالعه تقریبا همگن و یکنواخت می‌باشد. شیب کلی دامنه بین ۱۵ تا ۲۰ درجه در نوسان است. تاج و سطح لغزش در این زمین‌لغزش منفرد نبوده و لغزش‌های کوچک در میان محدوده لغزشی مشاهده می‌شوند. حداکثر مقدار جابجایی و ارتفاع پرتگاه لغزشی در قسمت تاج برخی زمین لغزش‌های مشاهده شده حدود ۲ تا ۳ متر می‌باشد و گاهی کمتر از ۱ متر می‌باشد. نوع حرکت در زمین‌لغزش روستای استخرسر با توجه به طبقه‌بندی‌های موجود، از نوع حرکات لغزشی می‌باشد. حرکت لغزشی به صورت ترکیبی از لغزش انتقالی و چرخشی بوده و بخشی از سطح لغزش در امتداد کنتاکت مصالح ریزدانه سست با لایه سنگ بستر سست زیرین قرار گرفته است (رایت و همکاران.، (۱۹۳۷)) (تاوناس و همکاران.، (۱۹۸۰)).

از نظر توزیع جنس مصالح در شیب، بخش اعظم دامنه را مصالح ریزدانه‌ای تشکیل می‌دهند که از نظر دانه‌بندی در ردیف رس‌ها و سیلت‌ها قرار می‌گیرند. ضخامت این واحد چندان زیاد نبوده و حداکثر به ۱۰ متر می‌رسد. بخشی از سطح لغزش از میان رسوبات ریزدانه فوق الذکر عبور می‌نماید. بلافاصله زیر این لایه که ضخامت محدود و متغیری دارد (بین ۱ تا ۷ متر)، یک لایه مارنی ضعیف قرار گرفته است که سنگ کف دامنه و محدوده لغزشی را تشکیل می‌دهد. این زمین لغزش زمانی که بارش وجود ندارد دارای نرخ حرکت بسیار کندی بوده و حرکت آن بدون انجام مونیتورینگ (مثلا نصب ایستگاه‌های نقشه‌برداری) و بازدیدهای منظم دوره‌ای (جهت مشاهده تغییرات سطحی) قابل تشخیص نمی‌باشد. حرکت اولیه این زمین‌لغزش ناگهانی بوده و بعد از چند روز بارندگی صورت گرفته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که با اشباع شدن مصالح لغزش یافته در اثر بارش‌های مداوم حرکات دامنه نیز سرعت می‌گیرد. زمین‌لغزش روستای استخرسر را میتوان از نظر توزیع فعالیت در رده زمین‌لغزش‌های "پسرونده" و "عریض شونده"، از نظر درجه توسعه در رده "پیشرفته"، از نظر نحوه فعالیت جزء زمین-لغزش‌های "متوالی" و از نظر سن در زمره زمین‌لغزش‌های "جوان" و "فعال" طبقه‌بندی نمود.

در فصل زمستان و اوایل بهار که میزان بارندگی نسبتا زیاد است، سطح آب زیرزمینی به حداکثر تراز خود می‌رسد و دامنه اشباع از آب می‌شود. با توجه به سوابق موجود از حرکت این توده، بالا آمدن تراز آب زیرزمینی تاثیر به سزایی در حرکت آن داشته است. حرکت اصلی این توده بعد از چند روز بارندگی در اواخر زمستان ۱۳۹۷ و اوایل بهار ۱۳۹۸ صورت گرفته است. از نظر آب‌های سطحی نیز حجم قابل توجهی از آب‌های حاصل از بارش‌های جوی از طریق ترک‌های کششی و گودال‌های ایجاد شده بر روی توده لغزش به داخل توده لغزش زهکش می‌شوند و وضعیت پایداری زمین لغزش فوق را بحرانی‌تر می‌نمایند.

به طور کلی میتوان عوامل متعددی را در تحریک زمین‌لغزش استخرسر و شروع حرکت آن دخیل دانست:

- مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش روستای استخرسر را میتوان جنس مصالح دانست. مصالح ریزدانه تشکیل دهنده دامنه از خصوصیات ژئوتکنیکی مطلوبی برخوردار نیستند. این مصالح نسبت به آب حساس هستند و پارامترهای مقاومت برشی آنها در حضور آب شدیدا کاهش می‌یابد.
- تاثیر آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌باشد که به طور کلی نحوه تاثیر آب‌های زیرزمینی و سطحی را میتوان در موارد ذیل خلاصه کرد:

  الف – پارامترهای مقاومت برشی برخی مصالح زمین شناسی در حضورآب به شدت کاهش می‌یابد.

  ب – حضور آب باعث افزایش فشار منفذی و کاهش تنش های موثر و در نتیجه کاهش مقاومت برشی می‌گردد.

  ج- وجود آب زیرزمینی باعث افزایش وزن توده و در نتیجه بحرانی‌تر شدن شرایط ناپایداری می‌گردد.
- فعالیت‌های بشری در زمین‌لغزش استخرسر و مناطق اطراف به دلیل تغییر کاربری زمین و ساخت و ساز منازل روستایی و فعالیت‌های کشاورزی، پوشش گیاهی دامنه به طور کامل از جنگل به علفزار تغییر کرده است. از بین رفتن پوشش گیاهی سبب عدم جذب بارش‌ها توسط درختان و ریشه آنها، حذف ریشه‌ها که وظیفه نگهداری و تسلیح خاک را بر عهده داشته‌اند، توسعه بیشتر ترک‌های ریز در خاک و نفوذپذیری بیشترلایه‌های سطحی خاک و در نتیجه هدایت بیشتر آب‌های سطحی به داخل دامنه شده است.
- مورفولوژی مستعد لغزش؛ دامنه‌ای که زمین‌لغزش استخرسر در آن رخ داده است، دارای ارتفاع زیاد و زاویه شیب ۱۵ تا۲۰ درجه می‌باشد.

۷. تحلیل پایداری

در این مطالعه، برای انجام تحلیل‌ها از نرم افزار Slide که بر اساس روش‌های تعادل حدی توسعه یافته است، استفاده می‌شود. در این مطالعه تحلیل پایداری دامنه با فرضیات زیر صورت گرفته و خلاصه نتایج حاصله در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. در شکل‌های ۶ (الف تا د) نیز نتایج برخی از این تحلیل‌ها نشان داده شده است.

- سطح آب زیرزمینی در دو حالت مختلف از نظر تراز آب در نظر گرفته شده است. در حالت اول سطح آب پایین‌تر از کنتاکت لایه خاکی و مارن زیرین و در حالت دوم دامنه کاملا اشباع از آب در نظر گرفته شده است.
- در تمام تحلیل‌ها جریان آب زیرزمینی در خاک با در نظر گرفتن ویژگی‌های هیدرولیکی مصالح و با استفاده از روش المان محدود مدلسازی شده است تا دقت بیشتری در محاسبه فشار آب و توزیع آن در دامنه حاصل گردد.
- تحلیل ها در دو حالت استاتیکی و شبه استاتیکی انجام شده است.

جدول ۵- خلاصه نتایج تحلیل پایداری انجام شده برای لغزش‌های کوچک و کم عمق

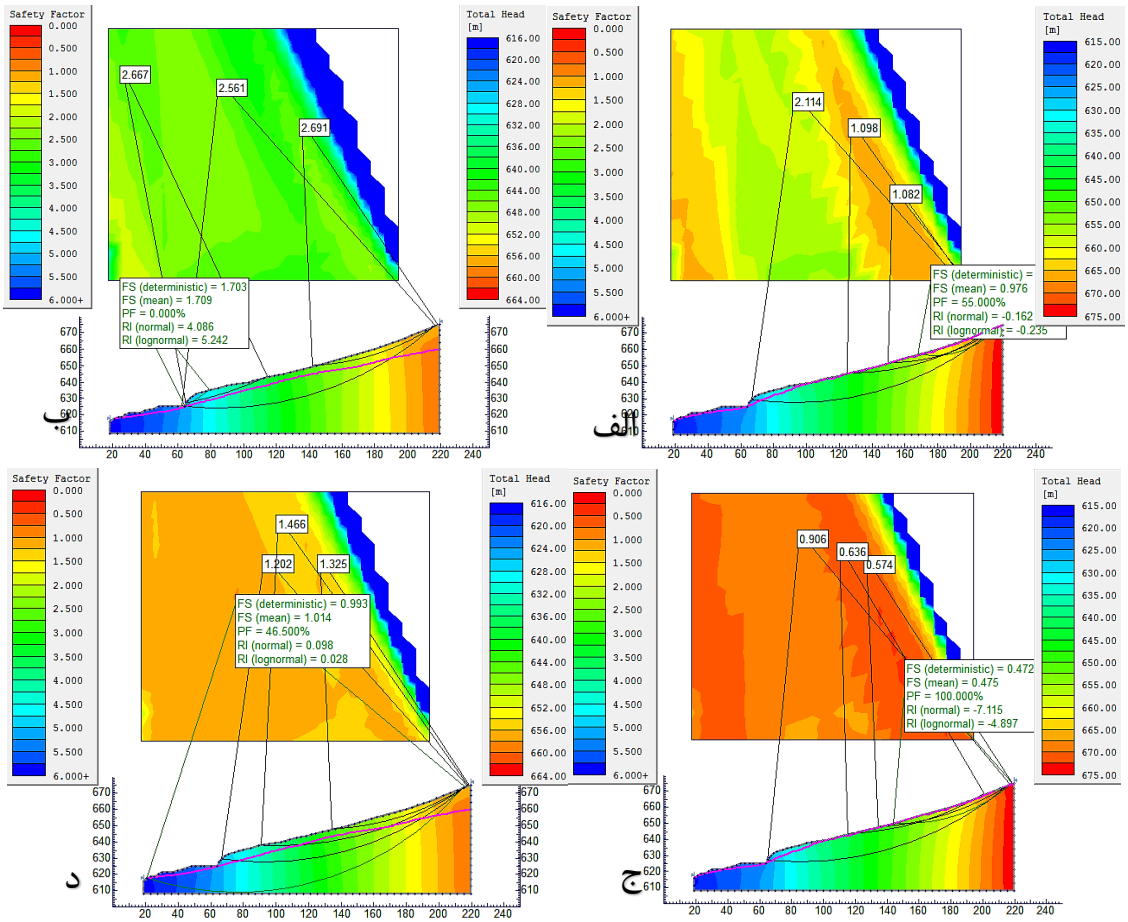
پارامتر	استاتیک		شبه استاتیک	
	سطح آب پایین	سطح آب بالا	سطح آب پایین	سطح آب بالا
ضریب اطمینان روش قطعی	> 2.6	1.0-1.1	> 1.3	< 0.7

جدول ۶- خلاصه نتایج تحلیل پایداری انجام شده برای زمین‌لغزش‌های وسیع و عمیق و لغزش کلی دامنه

پارامتر	استاتیک		شبه استاتیک	
	سطح آب پایین	سطح آب بالا	سطح آب پایین	سطح آب بالا
ضریب اطمینان روش قطعی	2.561	2.114	1.202	0.906

بر اساس نتایج تحلیل‌ها زمین‌لغزش‌های کوچک رخ داده در دامنه در حالت کاملا اشباع ضریب اطمینان نزدیک به ۱ داشته‌اند که با توجه به اینکه دامنه بعد از یک بارندگی شدید و طولانی و در حالت کاملا اشباع گسیخته شده است، همخوانی لازم را با واقعیت دارد. بدیهی است میتوان انتظار داشت در بارندگی‌های شدید بعدی نیز چنین لغزش‌های کوچکی در دامنه به وقوع بپیوندد. اگرچه این زمین‌لغزش‌ها به تنهایی خطری برای روستای استخرسر محسوب نمی‌شوند، اما در صورت به هم پیوستن آنها می‌توانند یک زمین لغزش بزرگ‌تر در دامنه ایجاد نمایند که خطر بزرگی محسوب می‌شود. در شرایط شبه استاتیکی (وقوع زلزله)

شرایط بحرانی‌تر خواهد بود. به ویژه اگر هنگام زلزله دامنه اشباع از آب باشد، وقوع اینگونه زمین‌لغزش‌ها حتمی خواهد بود و در اینصورت احتمال حرکت یک زمین لغزش وسیع ولی کم عمق کاملا محتمل خواهد بود. زمین‌لغزش‌های بزرگ و عمیق به تنهایی نه در حالت خشک و نه در حالت اشباع پتانسیل وقوع ندارند. با این حال اگر وقوع زلزله همزمان با اشباع بودن دامنه (بارندگی‌های شدید و طولانی) باشد، وقوع اینگونه زمین‌لغزش‌ها نیز ممکن خواهد بود.



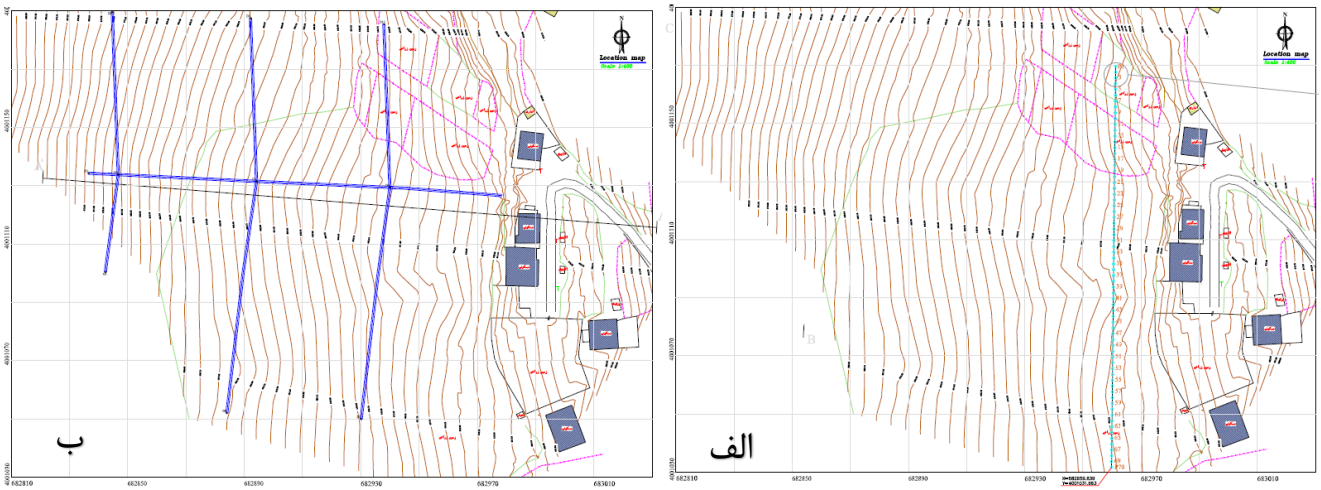
شکل ۶- **الف)** نتایج تحلیل پایداری دامنه در شرایط استاتیک و آب زیرزمینی پایین **ب)** نتایج تحلیل پایداری دامنه در شرایط استاتیک و آب زیرزمینی بالا (کاملا اشباع) **ج)** نتایج تحلیل پایداری دامنه در شرایط شبه استاتیک و آب زیرزمینی پایین **د)** نتایج تحلیل پایداری دامنه در شرایط استاتیک و آب زیرزمینی بالا (کاملا اشباع)

همانطور که ملاحظه می‌شود تاثیر بسیار زیاد آب زیرزمینی (ناشی از نفوذ آب باران) بر ضریب اطمینان پایداری است که باعث ایجاد افت شدیدی در ضریب اطمینان و افزایش احتمال گسیختگی در دامنه (هم برای لغزش‌های کوچک و هم برای لغزش کلی دامنه) شده‌است.

۸. پایدارسازی و کاهش خطر زمین لغزش

در زمین لغزش مورد مطالعه در روستای استخرسر به دلیل اقتصادی نبودن و عدم دسترسی به تکنولوژی مورد نیاز به طور کلی امکان ساخت سازه‌های پذیرنده حرکت وجود نداشت و همچنین انتقال محل ساختمان‌های مسکونی نیز با توجه شرایط اجتماعی و اقتصادی اهالی روستا، قابل توجیه و مطرح نمی‌باشد. بنابراین پایدار سازی لغزش مورد توجه قرار گرفته و با در نظر گرفتن مسائل فنی، میزان اعتبارات اختصاص یافته و توان اجرایی پیمانکاران محلی، طرح مناسب انتخاب گردد. در زمین‌لغزش استخرسر راه حل‌های پیشنهادی برای پایدارسازی دامنه‌ها هم جنبه ترمیمی داشته (جلوگیری از ادامه لغزش‌ها کوچک) و هم دارای جنبه پیشگیری با هدف جلوگیری از لغزش کلی دامنه می‌باشند. انتخاب هر یک از روش‌ها با توجه به ویژگی‌های زمین‌لغزش موردنظر، محدودیت‌های اجرایی، هزینه‌های

اجرا و ... صورت پذیرفت. روش‌های مطرح در تثبیت زمین‌لغزش استخرسر با توجه به شرایط این زمین‌لغزش از نظر عوامل تاثیرگذار بر حرکت دامنه و همچنین با در نظر گرفتن هزینه‌های قابل تامین، عبارت از احداث زهکش‌های سطحی برای جمع‌آوری آب‌های سطحی و احداث شمع‌های بتنی می‌باشند. اجرای صحیح و کامل این طرح می‌تواند تا حد زیادی در کاهش خطر لغزش در آینده مؤثر باشد. با در نظر گرفتن احتمال وقوع لغزش مجدد که به وقوع بارندگی‌های طولانی و شدید وابسته است و اثرات تخریبی احتمالی و درجه ریسک این زمین‌لغزش که با توجه به تجارب قبلی نمیتوان ریسک بالایی را برای آن در نظر گرفت و همچنین با توجه به اعتبارات محدود برای پایدارسازی و تثبیت این زمین‌لغزش، میتوان اجرای طرح‌های پیشنهادی را از نظر مرحله اجرا اولویت بندی نمود. پیشنهاد می‌شود در مرحله اول طرح‌های کم هزینه‌تر مانند طرح زهکشی اجرا گردد و اجرای شمع‌ها به مرحله دوم و در صورت تامین اعتبار کافی موکول گردد. همچنین به منظور بازگرداندن شرایط دامنه به شرایط طبیعی کاشت درختان مناسب می‌تواند راهکار مفیدی باشد که در این گزارش بر اجرای آن در دامنه بالادست روستای استخرسر که با خطر بسیار بالا معرفی شده است، قویا تاکید می‌گردد (شکل ۷).



شکل ۷ – الف) پلان موقعیت زهکش‌های سطحی ب) پلان موقعیت شمع‌های بتنی

۱۰. نتیجه

با توجه به مطالعه انجام شده در محدوده استخرسر، خصوصیات مکانیکی خاک از سطح تا عمق شش متری سطح زمین بر اساس طبقه بندی USCS، CL بوده است. در ابتدا افق‌های خاک با مقاوت ویژه پایین واقع شده‌اند که به دنباله آن سنگ بستر در محدوده دارای مقاومت ویژه متوسط تا بالا قابل تفکیک است. در این محدوده لغزش های کوچکی در خاک‌های دارای ویژگی‌های ژئوتکنیکی ضعیف به دلیل اشباع بودن از آب رخ داده است. عمق سطح گسیختگی بین یک تا هفت متر بوده و در این محدوده مورد مطالعه شیب زمین تقریبا همگن و یکنواخت، و دارای مقدار بین ۱۵ تا ۲۰ درجه در نوسان است. نوع حرکت در زمین‌لغزش روستای استخرسر از نوع حرکات لغزشی است. از نظر توزیع فعالیت در رده زمین‌لغزش‌های پسرونده و عریض شونده، از نظر درجه توسعه در رده پیشرفته، از نظر نحوه فعالیت جز زمین لغزش‌های متوالی و از نظر سن در زمره زمین‌لغزش‌های جوان و فعال طبقه‌بندی می‌شود.برای پایدارسازی و کاهش خطر زمین‌لغزش و جلوگیری از ادامه یافتن زمین‌لغزش‌های کوچک روش‌های طرح تثبیت شامل احداث زهکش‌های سطحی و احداث شمع‌های بتنی پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه های زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

- بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگروش، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۱، پژوهش و بررسی نوزمینساخت، لرزه زمینساخت و خطر زمینلرزه گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۷ صفحه.

- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian earthquakes. Cambridge university press, New Yourk.
- Cruden, D. M., and Varnes, D. J., 1996. Landslide types and processes. In Turner, A. K., and Schuster, R. L. (eds.), Landslides: Investigation and Mitigation. Wasington, DC: National Academy Press, pp. 36–75. Transportation Research Board Special Report 247, National Research Council.
- Stocklin, J., 1968. Structure history and tectonics of Iran: a review. Am. Assoc. Petrol B 52(7):1229–1258.
- Stocklin, J., 1974. Northern Iran: Alborz Mountains. Geological Society, London, Special Publications, 4, 213-234, 1 January 1974.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In Schuster, R. L., and Krizek, R. J. (eds.), Landslides: Analysis and Control. Washington, DC: Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1990. A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, **41**, 5–12.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1991. A suggested method for a landslide summary. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, **43**, 101–110.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1993a. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, **47**, 53–57.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1994. A suggested method for describing the causes of a landslide. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, **50**, 71–74.