

# تلفیق رویکردهای مختلف مطالعاتی به منظور ارزیابی سازوکار تحریک زمین لغزش طالقانی- مطالعه موردی

نویسنده: سعید هاشمی طباطبائی\*، امیر سعید سلامت\* و علی رهنما\*

\*مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش ژئوتکنیک، تهران، ایران.

## A Multidisciplinary Approach to the Evaluation of the Mechanism of Triggering Taleghani Landslide- Case Study

By: S.H. Tabatabaei\*, A.S. Salamat\* & A. Rahnama\*

\*Building and Housing Research Center, Dept. of Geotechnic, Tehran, Iran.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۲/۰۷

### چکیده

این مقاله روش‌های مختلف را به منظور ارزیابی زمین لغزش طالقانی که تحت تأثیر بارندگی در شهرستان گرمی استان اردبیل در سال ۱۳۸۲ رخ داد، توصیف می‌کند. در اثر این لغزش، حدود ۳۰۰ منزل مسکونی آسیب دید و تعدادی از آنها تخریب شدند. به رغم شرایط همگن زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی، هیچ‌گونه گسیختگی در مناطق مجاور ملاحظه نشده است. مشاهدات میدانی نتایج نشان داد که تغییرات تراز آب زیرزمینی از مهم‌ترین عوامل در تحریک زمین لغزش است. لذا این مطالعات بر نقش تغییرات تراز آب زیرزمینی تکیه می‌کند. شیب لغزش در قسمت تاج بسیار تند و به سمت پاشنه بسیار ملایم و یکنواخت می‌شود. بررسی‌های میدانی با روش‌های ژئوالکترونیک به روش سونداژ قائم، حفاری چاهک‌های اکتشافی، مشاهدات صحرایی و زمین‌ریخت‌شناسی انجام و با نرم‌افزارهای Rockwork 2004 و Arc GIS تحلیل شدند. روش ژئوالکترونیک ساختار کلی زمین لغزش از جمله سبزه‌های سطحی، ژرفای استقرار سنگ کف، سبزه‌های لایه اشباع و نقاط مسیر ورود آب زیرسطحی به منطقه مورد مطالعه را ارائه کرد. برای به دست آوردن اطلاعات دقیق زیرسطحی بر اساس مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل از روش ژئوالکترونیک، ۲۱ چاهک دستی حفر شد. نمونه‌های معرف مصالح ساختمانی مورد مطالعه، انتخاب و آزمایش شدند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، تحلیل شیب با استفاده از نرم‌افزار Slide انجام و راهکارهای تثبیت ارائه شد.

**کلیدواژه‌ها:** زمین لغزش، ژئوالکترونیک، چاهک اکتشافی، ضریب اطمینان، سطح آب زیرزمینی، تعادل حدی

### Abstract

This paper describes a multidisciplinary approach for evaluation of statically triggered landslide that occurred in Germe, Ardebil province on 1382. With respect to the evidence, no other mass movement was recorded in the adjacent areas despite the geological and geomorphological homogeneity. Field observations indicate that subsurface water level changes are the most important parameter in triggering the landslide. Hence, the study was focused on an analysis of the role of subsurface water level changes in triggering the landslide. The slope inclines steeply at crown and very gentle towards the toe of landslide. Field data dealing with geomorphology, geophysics (vertical electrical sounding or VES) and geotechnics were acquired and analyzed with the service of Rock Work 2004 and Arc GIS softwares in order to investigate the cause effect relationships between water level changes and mass movement. The geophysical survey detected two buried paths on the flanks of landslide and a three layer internal structures composed of surface deposit, natural bed rock and saturated zones. Based on the results, 21 test pits were located and excavated to the depth of hard layer. Representative material of the study area was selected and tested. Based on the

lab tests, the slope was analyzed using Slide Software and remedial measures were recommended.

**Key Words:** Landslide, Geoelectric, Test pit, Factor of Safety, Subsurface water level, Limit equilibrium

## مقدمه

حدی و شدت بارش و دوره آن، اثر قابل ملاحظه‌ای بر فشار آب در شیب‌ها و به دنبال آن پایداری شیب‌های در حال رانش دارد (Lapenna et al., 2005). در مطالعه زمین لغزش، بیشتر کارشناسان برای به دست آوردن اطلاعات لازم برای تحلیل سازوکار زمین لغزش، مانند شکل، سطح لغزش، شرایط زیرسطحی و توزیع آب زیرزمینی در گستره زمین لغزش از اطلاعات گمانه‌ها استفاده می‌کنند. در بسیاری از موارد به دلیل هزینه‌های بالا و نیز تعداد کم گمانه‌ها، چنین داده‌هایی کافی نیست. بنابر این لازم است فناوری مناسبی برای پیش‌بینی و مطالعه سازوکار لغزش‌ها ایجاد شود. برای غلبه بر این مشکلات، کاربرد بررسی‌های مقاومت الکتریکی در مطالعه زمین لغزش‌ها به طور چشمگیری افزایش یافته است. روش مقاومت الکتریکی علاوه بر ویژگی‌های مقاومتی زیرسطحی، اطلاعات بارزشی از نحوه توزیع آب زیرزمینی و ساختار زمین‌شناسی نیز ارائه می‌کند (Fei & Keizo, 2004; Won et al., 2005; Park et al., 2005). این مقاله، روند مطالعات و شناسایی و پایداری‌سازی زمین لغزش طالقانی در شهرستان گرمی بررسی می‌شود. مطالعات ژئوالکتریک و ژئوتکنیک به منظور درک هر چه بهتر ساختار درونی ساختگاه مورد مطالعه، روند جریان آب، بررسی نحوه گسیختگی که پیش شرط اصلی تحلیل‌های پایداری شیب است صورت گرفت. راهکار مؤثر برای پایداری‌سازی شیب با استفاده از نرم‌افزار Slide ارائه می‌شود.

## ریخت‌شناسی زمین لغزش

محدوده مورد بررسی در استان اردبیل و در شهرستان گرمی واقع است. این شهر در ۱۲۲ کیلومتری اردبیل در طول و عرض جغرافیایی  $38^{\circ} 59' N$  و  $48^{\circ} 3' E$  قرار دارد. زمین لغزش طالقانی در شمال باختر شهر، محدوده‌ای با عرض ۲۲۵ و طول ۴۵۰ متر از یک تپه با شیب تند، حدود ۳۰۰ واحد مسکونی و راه دسترسی به محور آنگوت و مرکز شهر را تحت تأثیر قرار داده است. بر اساس شواهد محلی اولین حرکت در اوایل سال ۱۳۸۲ رخ داد. به منظور انجام مطالعات و آگاهی از سازوکار لغزش، ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه لغزش با مقیاس ۱:۵۰۰ تهیه شد. قسمت اعظم محدوده مورد مطالعه دارای شیب کم در حدود  $8^{\circ}$  -  $5^{\circ}$  است. میزان شیب از سمت شمال به جنوب بین  $20^{\circ}$  تا  $55^{\circ}$  متغیر است و از باختر به خاور به موازات خطوط توپوگرافی تقریباً ثابت است. بیشترین میزان لغزش در بخش جنوبی ساختگاه قرار دارد. دو ردیف ترک کششی به موازات یکدیگر در بخش تاج لغزش مشاهده می‌شود. زاویه سطح

بسیاری از زمین لغزش‌ها نتیجه رخداد مجدد زمین لغزش‌های دیرین هستند. یکی از عوامل مهم در رخداد زمین لغزش، بارندگی و ذوب برف است. این عوامل می‌توانند موجب افزایش فشار آب منفذی و فرسایش در پنجه زمین لغزش شوند (Park et al., 2005). افزایش فشار آب منفذی در منطقه هوادار (وادوز) و نیز افزایش جریان آب زیرزمینی در منطقه اشباع، متأثر از بارش‌های جوی است (Jiao et al., 2005). بارش‌های سنگین جوی به همراه عوارض شدید توپوگرافی از عوامل مهم و اثرگذار در رخداد زمین لغزش‌ها در مناطق کوهستانی است و مطالعه فرایندهای منجر به لغزش یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مسائل در این زمینه است. عموماً زمین لغزش‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی را در واکنش با بارش نشان می‌دهند. رفتار پایداری زمین لغزش‌هایی که در عمق قرار گرفته‌اند، عمدتاً تحت تأثیر افزایش سطح ایستایی و نرم‌شدگی سنگ و خاک به دلیل نفوذ آب است در حالی که پایداری و شکل زمین لغزش‌های کم ژرفا در پاسخ به بارش، بیشتر در کنترل فشار منفذی موقت است (Hengxing, 2003). سطح اولیه آب زیرزمینی، شدت و دوره بارش عوامل مهمی در وقوع لغزش هستند که همواره تغییر می‌کنند. بنابراین باید خاطر نشان کرد که ضریب ایمنی نه تنها به شدت بارش و سطح اولیه آب زیرزمینی، بلکه به مدت زمان بارندگی نیز وابسته است (Ng & Shi, 1998). به منظور درک الگوی جریان آب زیرزمینی در شیب‌ها و اثر آنها بر روی پایداری شیب مدل عددی جریان آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. حرکت گرانشی جریان آب در شیب‌ها به شرایط توپوگرافی و توزیع مصالح با قابلیت هدایت هیدرولیکی متفاوت بستگی دارد. در این مطالعات اثرات ریخت‌شناسی شیب، خواص مصالح و ناهمگونی آب‌شناختی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد در شرایطی که شیب دامنه، موازی یک لایه با رسانایی هیدرولیکی پایین باشد، لایه به عنوان درپوش بر روی سیستم جریان عمل می‌کند و نیروی زیاد نشت به طرف پاشنه موجب گسیختگی بالقوه شیب می‌شود (Jiao et al., 2005). اثر نفوذ انواع آب‌های سطحی را می‌توان با استفاده از روش اجزای محدود بررسی کرد. این روش، به منظور ارزیابی اثر وقوع بارش و نقش شرایط زمین در توزیع آب منفذی در خاک‌های غیر اشباع به کار گرفته شده است (Ng & Shi, 1998). روش اجزای محدود، همراه با کاهش مقاومت برشی در تحلیل شیب‌ها به کار گرفته می‌شود. نتایج تحلیل اجزای محدود نشان می‌دهد که ویژگی‌های هیدرولیکی، درجه اشباع نسبی، روش‌های بررسی شرایط

گسیختگی ترک‌های کششی در حدود ۶۰ درجه است و سر لغزش کمی به سمت مخالف شیب طبیعی دامنه متمایل شده است. لذا لغزش غالب، چرخشی است. شکل ۱ تغییرات شیب توپوگرافی در ساختگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی نقشه نشان می‌دهد که در کلیه قسمت‌ها بخصوص در نیمه شمالی، شیب حدود ۲ تا ۱۲ درجه و در قسمت مرکزی و جنوب خاوری، شیب غالب بین ۲۳-۱۲ درجه است. شیب ۵۵-۲۳ درجه کمترین گستردگی را دارد که در نیمه جنوبی منطقه مشاهده می‌شود.

### مطالعات ژئوفیزیکی

روش‌های ژئوفیزیکی با هدف کسب اطلاعات ارزشمند از ویژگی‌های زیرسطحی ساختگاه به همراه دیگر اطلاعات همانند حفاری‌های ژئوتکنیکی می‌توانند به کار گرفته شوند. گرچه روش‌های متنوع ژئوفیزیکی برای کسب این اطلاعات وجود دارد، اما انتخاب روش مطلوب بستگی به نوع مطالعه دارد (Sarris et al., 1995). با توجه به شرایط ریخت‌شناسی منطقه و بارش‌های جوی و بالا بودن سطح ایستابی، آرایه شلومبرژه با روش سونداژ الکتریک قائم برای بررسی‌های کم ژرفا به عنوان مناسب‌ترین روش به کار گرفته شد. این روش برای کسب اطلاعات دقیق از ساختگاه از آرایش‌های خطی استفاده می‌کند. مقادیر مقاومت ظاهری با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل با توجه به ستبرای سربار و ژرفای آب زیرزمینی محاسبه می‌شود. آرایه شلومبرژه به دلیل آن که فقط دو الکترود از مجموع ۴ الکترود بین قرائت‌های پی‌درپی حرکت می‌کنند، ساده‌تر از آرایه ونر است (Cardimona, 2002). در مطالعه زمین لغزش گرمی، با توجه به شرایط محل از روش سونداژ الکتریک قائم با آرایه شلومبرژه استفاده شد. این آرایه در طول ۴ نیمرخ و هر کدام با ۵ سونداژ اجرا شد. در این مطالعات، بیشترین طول الکترودهای جریان و الکترودهای پتانسیل به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰ متر و امتداد گسترش در طول همه نیمرخ‌ها اغلب نظیر هم و فاصله سونداژها حدود ۱۰۰ متر انتخاب شد. مقاطع چهارگانه در شکل ۲ ارائه شده است.

### تشریح مقاطع ژئوالکتریک نیمرخ‌ها

نیمرخ اول ۵ سونداژ با آرایش شلومبرژه به طول حدود ۳۵۰ متر راستای شمال باختری - جنوب خاوری به موازات ارتفاعات حاشیه محل قرار دارد. دامنه تغییرات مقاومتی در این نیمرخ بین ۵ تا ۱۵۰ اهم متر متغیر است. تغییرات چشمگیر مقاومت الکتریک در سطح زمین و در ژرفاهای کم این نیمرخ امری طبیعی بوده و یکی از ویژگی‌های ژئوالکتریک نهشته‌های سطحی است. در سطوح پایینی، تغییرات مقاومت الکتریک اطلاعات ارزشمندی را از شرایط زیرسطحی ارائه می‌دهد. در طول این نیمرخ، پس از گذر از لایه سطحی با مقاومت الکتریک متغیر در محل سونداژهای ۲ و ۴ از مقدار مقاومت

الکتریک نسبت به اطراف کاسته می‌شود. در صورتی که در ادامه نیمرخ، به دلیل تغییر اندازه ذرات، رطوبت و پارامترهای دیگر ژئوالکتریک، کاهش مقاومت الکتریک ظاهری بیشتر بوده و تا حدود ۵ اهم متر پایین می‌آید. پس از لایه میانی، لایه زیرین قرار دارد که نسبت به لایه بالایی خود مقاومت بیشتری نشان می‌دهد. در این نیمرخ مقادیر گرادیان مقاومت الکتریک از ۱/۷- تا ۱/۸+ متغیر است. به دلیل یکنواختی ویژگی‌های الکتریک زمین، تغییر عمده‌ای در قسمت‌های میانی نیمرخ مشاهده نمی‌شود. در دو قسمت ابتدایی و انتهایی نیمرخ تغییرات گرادیان جانبی مقاومت الکتریک نسبت به قسمت‌های میانی قابل ملاحظه است. در مقطع ژئوالکتریک نیمرخ ۱، به طور کلی سه نوع لایه بر اساس مقادیر مقاومت الکتریک متمایز شده‌اند که شامل لایه خاک سطحی و سنگ بستر و لایه اشباع از آب است. در محل سونداژ ۲ و سونداژ ۴ نیمرخ ۱ پس از گذر از لایه سطحی که ستبرای آن از ۲ تا ۵ متر در طول نیمرخ متغیر است، منطقه اشباع مشاهده می‌شود که احتمالاً محل گذر آب زیرسطحی بوده و از عوامل تأثیرگذار در ناپایداری دامنه مورد مطالعه در شهر گرمی است (شکل ۳).

نیمرخ دوم شامل ۵ سونداژ فاصله هر نقطه برداشت از نقطه بعدی حدود ۱۰۰ متر است. این نیمرخ تقریباً به موازات نیمرخ ۱ و در راستای شمال باختری - جنوب خاوری و در امتداد دامنه و عمود بر جهت شیب آن برداشت شده است. مسیر این نیمرخ دقیقاً بر روی توده لغزنده قرار دارد و شیب دامنه در این مسیر بسیار تند است.

در قسمت‌های سطحی زمین در امتداد این خط برداشت، مقاومت الکتریک دارای نوسان زیادی است. به طور کلی، گستره تغییرات اعداد مربوط به مقاومت ویژه الکتریک ظاهری در این نیمرخ نیز گسترده بوده و بین ۲۰ تا ۹۰ اهم متر در تغییر است. علت این امر می‌تواند تغییر میزان اشباع شدگی و احتمالاً دانه‌بندی رسوبات و نیز برخورد به لایه سنگی از جنس ماسه سنگ باشد. میزان گرادیان عمقی مقاومت الکتریک این مقطع از ۲۵- تا ۲۵+ در نوسان است. در این خط برداشت به طور نسبی یکنواخت، آهنگ تغییر مقاومت الکتریک در راستای قائم مشاهده و نظم بهتری، مانند لایه‌بندی افقی مشاهده می‌شود. در نزدیکی سطح زمین، مقادیر گرادیان قائم منفی است. این مقادیر نسبت به ژرفا به سمت مثبت میل می‌کند. در مقطع ژئوالکتریک نیمرخ ۲ سه نوع لایه بر اساس مقادیر مقاومت الکتریک آنها متمایز شده است. سه تیپ لایه جدا شده در طول این نیمرخ شامل لایه خاک سطحی با ستبرای نه چندان متغیر، سنگ بستر و لایه اشباع از آب است. در طول این نیمرخ سنگ بستر به صورت آخرین لایه تفکیک شده در سراسر نیمرخ گسترش دارد (شکل ۴). نیمرخ سوم شامل ۵ سونداژ با فواصل حدود ۱۰۰ متر است. دامنه تغییرات مقاومت الکتریک در این نیمرخ بین ۴ تا ۱۵۰ اهم متر است. گرادیان عمقی

شیب به منظور تعیین خطر لغزش و کاربری آن در برنامه‌ریزی توسعه، از اطلاعات تفصیلی زمین شناسی، توپوگرافی، ژئوفیزیکی استفاده می‌شود و حفاری و نمونه‌برداری ضروری است (Chelli et al., 2006).

تحلیل پایداری محل و ارائه روش‌های پایدارسازی آنها مستلزم شناخت دقیق خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه و مصالح درگیر است. برای به دست آوردن اطلاعات دقیق و کامل از ویژگی‌های مهندسی خاک زیرسطحی و آگاهی از وضعیت روند آب زیرزمینی، با توجه به نتایج مطالعات ژئوالکتریکی و مشاهدات صحرایی، ۲۱ حلقه چاهک اکتشافی در ساختگاه مورد مطالعه حفاری شد. آرایه چاهک‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که همه گستره مورد مطالعه را پوشش داده و بیشترین اطلاعات زیرسطحی از آنها استخراج شود (شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که خاک تا ژرفای کمی از سطح زمین از نوع MH یا CL است. با افزایش ژرفا، جنس مصالح از نوع SM و در برخی گمانه‌ها به GW یا GP-GW تغییر می‌یابد. به طور کلی، جنس چیره خاک درشت دانه و از نوع SM است. با توجه به نتایج آزمایش چگالی در محل، خاک منطقه مورد مطالعه تراکم نسبتاً بالایی دارد. سنگ بستر در قسمت میانی تاج، در چاهک‌های TP1، TP2، TP3، TP4 و TP11 مشاهده شد. سنگ بستر به صورت پیک زبانه گسترش دارد و ژرفای استقرار آن در بخش بدنه و پاشنه افزایش می‌یابد. هنگام حفاری، سطح گسیختگی در چاهک‌های آزمایشی TP1، TP8 و TP15 به ترتیب در ژرفاهای ۱۷، ۲/۵ و ۳ متر در مصالح SP-SM/SM و SM مشاهده شد. میانگین بارش سالانه در منطقه حدود ۳۵۰ میلی‌متر در سال است (گزارش فرمانداری شهرستان گرمی). بر اساس گزارش‌های محلی، هر سال پس از بارندگی طولانی، جریان آب در قسمت بدنه لغزش در سطح نمایان می‌شود. این امر بیانگر افزایش سریع سطح آب زیرزمینی بوده، لذا در تحلیل لغزش، این عامل بررسی شد. اطلاعات میدانی برای شناسایی هر چه بهتر خاک و تعیین ویژگی‌های رفتاری، تعیین دقیق وضعیت آب زیرزمینی و تعیین میزان تخریب با توجه به گسترش آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS و Rock work 2004 تحلیل شد. گسترش سطح ایستابی در شکل ۷ ارائه شده است.

بررسی نقشه نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در بخش‌های شمال، شمال خاور و خاور، نزدیک به سطح زمین می‌باشد و به سمت شمال باختر، جنوب باختر و بخش‌هایی از مرکز محل مورد مطالعه به حدود ۲ متر افزایش می‌یابد. ژرفای سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از جنوب ساختگاه به ۶ متر می‌رسد و در بخش جنوب باختری محل بین ۱۱/۵-۶ متر متغیر است.

### تشریح مقاطع ژئوتکنیکی

به منظور تکمیل مطالعات و آگاهی دقیق‌تر از شرایط زیرسطحی محل و

مقاومت الکتریکی در این خط برداشت و این مقطع از زمین تغییراتی از حدود ۲۰- تا ۲۰+ دارد.

مقادیر گرادیان جانبی مقاومت الکتریکی در طول خط برداشت سوم در محل سونداژ ۲ تغییرات قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد. این تغییرات مثبت و بیانگر افزایش مقاومت الکتریکی در محل سونداژ ۲ نسبت به نقاط مجاور خود است. در مقطع ژئوالکتریکی نیمرخ ۳ سه نوع مشخص لایه زمین شناسی شامل نهشته‌های سطحی، زون اشباع و سنگ قابل تفکیک است. زون اشباع در این مسیر که از نظر اهداف مطالعات حاضر اهمیت خاصی دارد، در محل سونداژهای ۱ و ۵ خود را نشان می‌دهد که در واقع مجاری نفوذ و جریان آب‌های زیرسطحی را نشان می‌دهد (شکل ۵).

نیمرخ چهارم در امتداد شمال باختر- جنوب خاور قرار دارد. این نیمرخ نیز شامل ۵ سونداژ ژئوالکتریک با فواصل تقریبی ۱۰۰ متر است. تغییرات مقاومت الکتریکی بازه وسیعی را به خود اختصاص می‌دهد که در محل سونداژهای ۱ و ۲ و ۴ و در نزدیکی سطح زمین هاله‌های با مقاومت الکتریکی ظاهری بالا را نشان می‌دهد. در قسمت‌های زیرسطحی این نیمرخ و به صورت نسبتاً پیوسته‌ای زون کم مقاومت الکتریکی مشاهده می‌شود که حاکی از ریزدانه بودن نهشته‌هاست و احتمالاً تأثیر آب زیرسطحی را نمایش می‌دهد. تغییرات متنوع در سطح این مسیر برداشت به دلیل ویژگی‌های نهشته‌های سطحی که دارای بازه تغییرات مقاومت الکتریکی وسیعی هستند امری طبیعی است. نکته حائز اهمیت در مسیر نیمرخ ۴ این است که لایه اشباع به صورت پیوسته سراسر نیمرخ را در بر می‌گیرد و به عبارت دیگر آب‌های زیرسطحی نفوذ کرده و از نقاط بالا دست در این راستا به هم متصل و محدوده ناپایداری را از نظر رانش زمین تشکیل می‌دهند (شکل ۶).

مقایسه نیمرخ‌های زمین شناسی بر اساس داده‌های ژئوالکتریکی نشان می‌دهد که ژرفای سنگ بستر به سمت پاشنه افزایش می‌یابد. مقاطع نشان می‌دهند که در دو پهلو رانش، دو منطقه اشباع وجود دارد.

### مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک

بدون یک مدل حقیقی، تمامی محاسبات پایداری فقط در حد یک نظریه خواهند بود. این مدل را می‌توان با مطالعه دقیق تمام ساختگاه تهیه و به کمک بررسی‌های زمین ریخت‌شناسی، حفر گمانه، روش سونداژ الکتریکی و ... کنترل کرد. به منظور تشخیص توزیع واقعی مصالح و نیز ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی، انجام آزمایش‌های مرتبط ضروری است. همه روش‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارند و از این رو، اطلاعات حاصل از مطالعات زمین ریخت‌شناسی، گمانه‌ها و سونداژ ژئوفیزیکی به طور مشترک به کار گرفته می‌شوند (Yague, 1978). برای دستیابی به یک مدل مهندسی از

### بررسی‌های آزمایشگاهی

در ادامه مطالعات ژئوتکنیکی، آزمایش‌های آزمایشگاهی شامل دانه‌بندی، هیدرومتری، تراکم، برش مستقیم و نفوذپذیری بر روی نمونه‌های خاک انجام شد. با توجه به لوگ گمانه و آزمایش دانه‌بندی در مجموع خاک‌های  $SM, SM/SW-SM, SW/GW$  و  $GW/GW-GM$  به عنوان خاک‌های غالب محل شناسایی شدند. بر این اساس آزمایش‌های آزمایشگاهی به منظور تعیین پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و مقاومتی خاک بر روی نمونه‌های معرف مصالح محل انجام شد (جدول ۱).

### تحلیل پایداری

برای بررسی پایداری شیب می‌توان از روش‌های گوناگون استفاده کرد. روش تعادل حدی و اجزای محدود از رایج‌ترین روش‌ها هستند (Hoeck & Bray, 1981). با توجه به مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و آزمایشگاهی، بیشتر مصالح از نوع  $SM$  و زاویه اصطکاک داخلی بین ۱۰ تا ۱۵ درجه و مقادیر چسبندگی کمتر از  $0.25 \text{ Mpa}$  است. با توجه به شرایط پیچیده مرزی و روش اجزای محدود و وجود لایه‌های نرم در محدوده مورد مطالعه و سطوح لغزش‌ها در ترازهای مختلف استفاده از روش اجزای محدود میسر نیست (Cheng et al., 2007). برای بررسی در تحلیل پایداری مقاطع مختلف سه نوع لایه در نظر گرفته شد و به منظور محاسبه ضرایب ایمنی، از روش تعادل حدی استفاده شده است (Bojorque et al., 2007).

نظریه تعادل حدی بر فرض‌های زیر استوار است:

- ۱- ضریب ایمنی مربوط به اجزای مقاومتی خاک (مقاومت‌های چسبندگی و اصطکاک) به صورت یکسان فرض می‌شود.
  - ۲- ضریب ایمنی برای تمامی بلوک‌ها یکسان فرض می‌شود.
- اساس این نظریه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. برای بررسی پایداری شیب از نرم‌افزار Slide استفاده شد.

روش پیشاپ اصلاح شده بر اساس تعادل گشتاورها و روش جامبو با توجه به تعادل نیروها ضریب ایمنی را محاسبه می‌کنند. اما روش اسپنسر تعادل نیروها و گشتاورها را در نظر می‌گیرد و در نتیجه روش مناسب‌تری برای محاسبه ضریب ایمنی است. بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی و چاهک‌های اکتشافی در محدوده لغزش گرمی بیانگر ژرفای کم آب زیرزمینی تا حداکثر ۶ متر است. مطالعات ژئوتکنیکی نشان می‌دهد که یک لایه نفوذناپذیر از نوع MH در ژرفاهای مختلف قرار دارد که لایه آب زیرزمینی بر روی آن قرار دارد. مشاهدات صحرایی در دو گمانه TP1 و TP8 نشان داد که لغزش در امتداد سطح لایه نفوذناپذیر انجام گرفته است. با توجه به قرارگیری سطح لغزش و توپوگرافی منطقه، آب زیرزمینی به صورت سطح ایستابی مدل شد

درک چگونگی روند لغزش به کمک نرم‌افزار Rock Works 2004 چهار مقطع طولی در جهت شمال باختری- جنوب خاوری تهیه شد که بیشتر چاهک‌های آزمایشی و قسمت‌های مختلف لغزش از تاج تا پاشنه را پوشش می‌دهد (شکل ۸).

طول تقریبی مقاطع بین ۱۹۰ متر در مقطع BB' تا ۴۱۴ متر در مقطع CC' متغیر است. اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین نقاط گمانه‌ها در مقاطع مختلف از ۰/۵ متر در مقطع BB' تا ۹ متر در مقطع CC' متفاوت است. تناوب لایه‌ها از بخش جنوب خاور به شمال باختر در مقاطع مختلف متفاوت و عمدتاً  $SW/GW$  و  $SM$  است. جنس غالب خاک در کلیه مقاطع  $SM$  است. بجز مقطع AA' در بقیه مقاطع وجود عدسی‌هایی از MH در امتداد مقاطع کاملاً آشکار است. در مقاطع BB', CC' و DD' لایه آبدار مشاهده می‌شود. ستبرای لایه آبدار در طول مقاطع مختلف متفاوت است. در مقطع AA' و CC' تناوب لایه‌ها از شمال باختر به جنوب خاور بیشتر می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایش‌های آزمایشگاهی، نقشه‌های گسترش لایه آبدار، تخریب و نیز اطلاعات حاصل از تشریح مقاطع ژئوتکنیکی، شرایط زیرسطحی محل به گونه‌ای است که تنوع و ستبرای لایه‌های خاک از تاج تا پنجه لغزش و نیز از شمال باختر به جنوب خاور محل (از سمت چپ به راست مقطع) به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این تنوع، بخصوص در بخش بدنه زمین لغزش بیشتر است. جنوب خاوری محل دارای خاک درشت دانه و بیشتر از نوع  $GP-GM$  و  $GW-GM$  است. بر اساس مطالعات صحرایی و نقشه گسترش آب، شدت جریان نیز در این بخش افزایش چشمگیری داشته است. بر اساس نقشه تخریب، نیمه شمالی محل به سه بخش با تخریب زیاد، کم و فاقد تخریب تقسیم می‌شود. در بخش‌های فاقد تخریب یا تخریب کم عدسی‌ها از نوع خاک MH مشاهده می‌شود. به دلیل گسترش لایه  $SM$  با نفوذپذیری بالا در محدوده TP12 تا TP18 بیشترین تخریب نیز در این محدوده صورت گرفته است. بخش بدون تخریب نیز محدوده کوچکی را در شمال باختری نیمه شمالی محل تشکیل می‌دهد (شکل ۹). در این نیمه میانگین ژرفای لایه آبدار ۳ متر است. جهت شیب توپوگرافی منطقه و شیب لایه آبدار در این پهنه عمدتاً از سمت جنوب باختری به شمال خاوری است و با شواهد محلی کاملاً همخوانی دارد.

نیمه جنوبی نقشه تخریب نیز به سه بخش با تخریب زیاد، میانگین و کم تقسیم می‌شود. بخش با تخریب زیاد گسترش بیشتر داشته و جنس خاک نیز از نوع  $SM, SW-SM$  است. میانگین ژرفای لایه آبدار در این نیمه ۴/۵ متر است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که زاویه سطح گسیختگی در قسمت تاج در حدود ۶۰ درجه است و سرلغزش کمی به سمت مخالف شیب طبیعی دامنه متمایل شده است. بنابراین، لغزش می‌تواند از نوع غالب چرخشی باشد.

(Ching &amp; Fredlund, 1983).

تقریباً تطابق یافته و نشانگر تأثیر آب زیرزمینی است، این موضوع با مشاهدات صحرایی و ژرفایی که در آن سطح برش مشاهده شده، مطابقت دارد (شکل ۱۲). پس از اصلاح هندسی ضریب ایمنی در حالت اشباع به  $1/13$  و در شرایط طبیعی ضریب ایمنی به  $1/21$  افزایش می‌یابد. هنگامی که زهکشی به طور کامل انجام شود، ضریب اطمینان به  $1/3$  افزایش می‌یابد. لذا اصلاح هندسی به همراه زهکشی موجب افزایش پایداری مقطع می‌شود (شکل ۱۴). مسیر تقاطع مختلف در شکل ۱۵ و نتایج تحلیل مقاطع مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی مقاطع مختلف نشان می‌دهد که بیشترین ژرفای سطح گسیختگی در مقاطع مختلف در حدود ۲۱ متر است. در صورت انجام اصلاحات هندسی به منظور کاهش حجم سربار و افزایش سطح ایستایی آب زیرزمینی ضریب ایمنی در کلیه مقاطع بین  $1/12$  تا  $1/26$  متغیر است. در حالت اصلاح هندسی و زهکشی محدوده لغزش ضریب ایمنی در کلیه مقاطع بین  $1/3$  تا  $1/55$  متغیر است. با توجه به مسکونی بودن منطقه و اهمیت پایداری شیب، حالت اصلاح هندسی و زهکشی توصیه می‌شود. زیرا تلفیق این دو روش، نقش مؤثری در کاهش نیروهای رانشی ایفا می‌کنند. شکل ۱۵ پلان مقاطع مختلف تراس‌بندی را با شیب افقی ۵ و قائم ۱ نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام شده حجم خاکبرداری در حدود ۶۲۰۰۰ متر مکعب است. با توجه به کم ژرفا بودن سطح آب زیرزمینی و مشخصات ژئوتکنیکی توده لغزیده و نیز مسائل اقتصادی، روش معابر پوشیده برای زهکشی آب‌های زیرزمینی منطقه طرح در نظر گرفته شد. زهکش‌ها باید در پایین‌ترین سطح تراز آب زیرزمینی قرار گیرند. با توجه به این که بیشتر مصالح توده لغزیده از نوع درشت دانه است، به منظور جلوگیری از مسدود شدن خلل و فرج فیلترها باید از مصالح با دانه‌بندی خاص استفاده شود. مشخصات مصالح فیلترها، ژرفای استقرار زهکش‌ها و موقعیت چاهک‌های آدم‌رو در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شد است (Deoja et al., 1992). بیشترین ژرفای زهکش‌ها در قسمت جنوبی قرار دارد و به سمت شمال، ژرفای آن با توجه به تراز سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. شکل ۱۶ پلان مسیرهای زهکشی را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات انجام شده نتایج ذیل حاصل شد:

- ۱- ترکیب اطلاعات زمین ریخت‌شناسی، ژئوفیزیک و حفاری گمانه‌های اکتشافی اطلاعات باارزشی برای تحلیل زمین لغزش ارائه می‌کند.
- ۲- وجود یک لایه نفوذناپذیر با ژرفای حداکثر ۶ متر در بدنه لغزش از نفوذ آب‌های سطحی و زیرزمینی به ژرفای پایین‌تر ممانعت به عمل می‌آورد.
- ۳- در پهلوهای زمین لغزش دو مسیر آب زیرزمینی به بدنه لغزش وجود دارد.

به منظور بررسی پایداری شیب، ۵ مقطع عرضی در مناطق مختلف انتخاب شد (شکل ۱۱). برای بررسی صحت مدل ایجاد شده و تطابق آن با واقعیت، تحلیل پایداری به روش اسپنسر ابتدا در ۲ حالت طبیعی و اشباع انجام گرفت. در حالت طبیعی، سطح آب زیرزمینی کتونی مدل شد و در حالت اشباع، سطح آب زیرزمینی با توجه به مشاهدات (هنگام بارندگی) تا نزدیکی سطح زمین بالا آورده شد. با توجه به نتایج و تطابق مقاطع با نقشه تخریب منطقه ملاحظه شد که نتایج تحلیل دارای همخوانی بسیار خوبی با واقعیت موجود در منطقه دارد.

### پایدارسازی منطقه

با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه که دارای یک شیب تند در بالای دامنه و شیب بسیار ملایم در پایین دست است. روش اصلاح هندسی می‌تواند کمک شایانی به افزایش پایداری نماید. از سوی دیگر، نقشه ژرفای سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در قسمت پاشنه، ژرفای سطح آب زیرزمینی نزدیک به صفر است و تقریباً حرکت آب را کد است. عدم خروج آب زیرزمینی و یا قفل شدگی آن به دلیل شیب کم (کمتر از ۱ درصد) است که موجب نشست بسیاری از سازه‌ها در قسمت پاشنه زمین لغزش شده است. به منظور بررسی تأثیر اصلاح هندسی و زهکشی بر ضریب ایمنی و انتخاب روش پایدارسازی بهینه، تحلیل در ۳ حالت صورت گرفت. به منظور بررسی روش تحلیل نتایج، مقطع B-B' به عنوان نمونه بررسی شد. این مقطع در قسمت شمال‌باختری منطقه مورد مطالعه واقع شده و از گمانه‌های TP9 و TP15 عبور می‌کند و جهت آن تقریباً جنوب باختر-شمال خاور است. طول این مقطع برابر با ۲۴۰ متر و تغییرات ارتفاع بین ۶۲ تا ۹۹ متر است. تغییرات شیب در مقطع بین ۵ تا ۳۱ درجه است. جنس خاک این مقطع از نوع SM و SM/SW-SM است. پارامترهای ژئومکانیکی آن در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

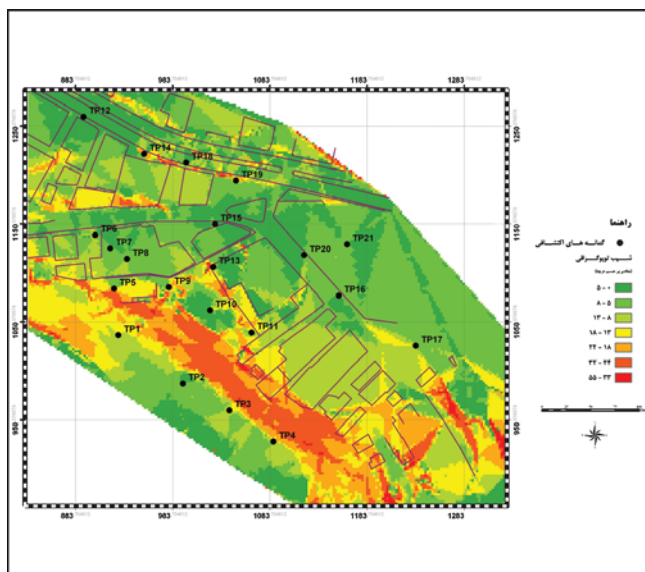
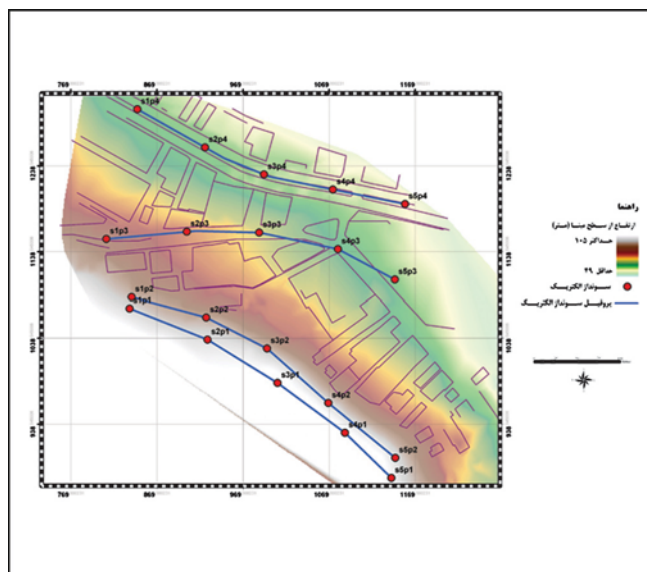
شکل‌های ۱۱ و ۱۳ حالات مختلف مورد تحلیل مقطع و شکل‌های ۱۲ و ۱۴ نتایج تحلیل در حالت‌های مختلف توسط در نرم افزار Slide را نشان می‌دهد. نتیجه محاسبات مقاطع مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. در اینجا مقصود از شرایط طبیعی، عدم بارندگی در منطقه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حالت طبیعی ضریب ایمنی این مقطع برابر با  $1/07$  است. در این حالت مشاهده می‌شود که سطح لغزش بالاتر از سطح آب زیرزمینی و توده پایدار است. پایداری منطقه در فصول خشک گواهی بر این مسئله است. زمانی که منطقه به حالت اشباع می‌رسد، مقدار ضریب ایمنی آن به  $0/99$  کاهش می‌یابد. در حالت اشباع، سطح لغزش بر سطح آب زیرزمینی

۶- سطح آب زیرزمینی مهمترین عامل ناپایداری شیب منطقه است. در حالت تراز طبیعی سطح آب زیرزمینی، منطقه پایدار و در اثر بالا آمدگی سطح آب، منطقه ناپایدار می شود.

۷- زهکشی منطقه توأم با اصلاح هندسی شیب مناسب ترین روش برای پایدارسازی منطقه است.

۴- کاهش شیب زمین به کمتر از یک درصد در بخش پاشنه زمین لغزش موجب تجمع آب و رکود آن شده است.

۵- مصالح تشکیل دهنده محل مورد مطالعه در بالای لایه سخت شده و از ضریب نفوذپذیری مطلوبی برخوردار است. رکود آب در قسمت پاشنه موجب افزایش سریع سطح آب زیرزمینی در منطقه و در نهایت ناپایداری می شود.



شکل ۲- سونداژها و نیمرخ های مقاطع ژئوالکتریکی در محل مورد مطالعه

شکل ۱- نقشه شیب ساختگاه مورد مطالعه

جدول ۱- نتایج آزمایش های آزمایشگاهی

آزمایش نفوذ پذیری		آزمایش پرش مستقیم				آزمایش تراکم				دانه بندی							
ضریب نفوذ پذیری (cm/s)	نوع خاک	شماره گمانه	عمق (متر)	نوع خاک	چسبندگی (MPa)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	شماره گمانه	عمق (متر)	نوع خاک	رطوبت بهینه (%)	وزن مخصوص خشک جدا آکنه (KN/m <sup>3</sup> )	شماره گمانه	عمق (متر)	نوع خاک			
3.69*10 <sup>-6</sup>	SM	1	TP1	12	0.43	GW/SW	7	TP3	16.4	18.5	SM/SW-SM	7.5	TP1	27	SM	1	TP1
				10	0.24	SM	6	TP5						4.04	SW/GW	7	TP3
1.26*10 <sup>-6</sup>	SM/SW-SM	2	TP2	10	0.42	GW/SW	6.5	TP10	18.9	26	SM	6	TP5	42.6	SM	6	TP5
				25	0	GW/GW-GM	4.5	TP13						33.43	SM	3.5	TP8
				12	0.48	SM	5.5	TP16						29.5	SW/GW	6.7	TP10
2.99*10 <sup>-4</sup>	SW/GW	7	TP3	12	0.48	SM	5.5	TP16	15.6	23	SM	3.5	TP8	19	GW/GW-GM	4.5	TP13
				16	0.11	SM/SW-SM	1.5	TP21	18.9	28	SM	3	TP21	15.5	SM	5.5	TP16
														14.1	SM/SW-SM	1.5	TP21

جدول ۲- مشخصات مقاومتی مصالح درگیر

نوع مصالح	C (Mpa)	$\phi^\circ$	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )
SM	۰/۲۴	۱۰	۱۵/۶
SM/SW- SM	۰/۱۱	۱۶	۱۶
GW- GM	۰	۲۵	۲۰/۰۳

جدول ۳- ضریب ایمنی مقاطع مختلف در محل مورد مطالعه

شماره نبرخ	شرایط طبیعی	حالت اشباع	حالت اشباع و اصلاح هندسی	حالت طبیعی و اصلاح هندسی	حالت زهکشی و اصلاح هندسی
A-A'	۱/۱۵	۰/۹۹	۱/۱۲	۱/۳۱	۱/۵۵
B-B'	۱/۰۷	۰/۹۹۹	۱/۱۳	۱/۲۱	۱/۳
C-C'	۱/۰۳	۰/۹۹	۱/۱۷	۱/۲۳	۱/۴۵
D-D'	۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۱۹	۱/۲۲	۱/۳۶
E-E'	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۳۶

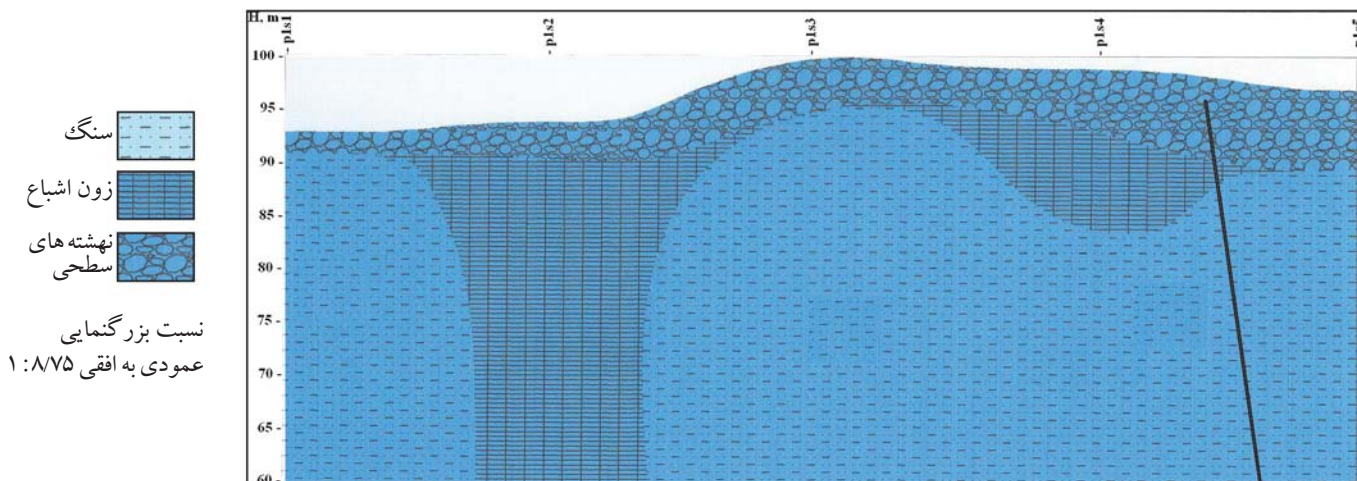
جدول ۵- مختصات و ژرفای زهکش ها و چاهک های آدمرو

شماره	مختصات			ژرفای چاهک های آدمرو (متر)
	Z	Y	X	
۱	۴۰/۹۴۸	۶۵/۱۲۰۷	۷۸/۶۴	۵/۴
۲	۰۰/۱۰۴۹	۶۵/۱۱۹۴	۸۲/۶۱	۵/۳
۳	۶۲/۱۱۹۱	۷۵/۱۱۱۲	۸۷/۵۶	۲/۲
۴	۴۵/۱۲۷۴	۳۰/۱۰۵۴	۰۹/۵۳	۲/۲
۵	۳۵/۳۹۳	۵۵/۱۱۵۹	۳۵/۷۵	۸/۴
۶	۲۵/۹۲۸	۴۲/۱۱۶۰	۱۳/۷۲	۷/۳
۷	۵۶/۹۹۰	۵۵/۱۱۵۹	۰۱/۶۸	۳۵/۴
۸	۰۹/۱۰۴۶	۹۹/۱۱۵۹	۲۵/۶۴	۳
۹	۷۲/۱۰۷۸	۱۸/۱۱۴۲	۲۲/۶۳	۲/۲
۱۰	۱۲/۱۱۱۶	۲۴/۱۱۱۴	۶۰/۶۲	۲/۶
۱۱	۴۹/۱۱۵۴	۶۰/۱۰۸۴	۷۲/۶۱	۳/۵
۱۲	۷۵/۱۱۹۷	۵۲/۱۰۵۲	۳۳/۵۸	۲/۲
۱۳	۱۹/۱۲۱۴	۴۹/۱۰۴۰	۰۰/۵۶	۸۵/۲
۱۴	۰۰/۱۲۳۴	۶۵/۱۰۲۵	۴۴/۵۴	۷۵/۲
۱۵	۵۴/۱۰۳۶	۵۲/۱۱۱۸	۴۷/۶۶	۳
۱۶	۶۸/۱۱۹۲	۸۱/۱۰۱۸	۳۸/۶۲	۵/۴
۱۷	۴۵/۱۲۲۹	۷۱/۹۳۷	۹۰/۶۰	۶/۱
۱۸	۷۱/۱۲۵۸	۱۰/۹۳۸	۶۲/۶۱	۷/۱
۱۹	۵۰/۹۴۴	۶۱/۱۰۸۹	۵۷/۷۷	۵/۶
۲۰	۶۸/۹۹۱	۱۸/۱۰۹۶	۸۶/۷۲	۷/۴
۲۱	۰۴/۱۱۶۱	۴۱/۹۸۶	۶۸/۶۹	۵/۳
۲۲	۲۴/۱۱۹۴	۰۷/۹۴۱	۳۴/۷۳	۲/۶

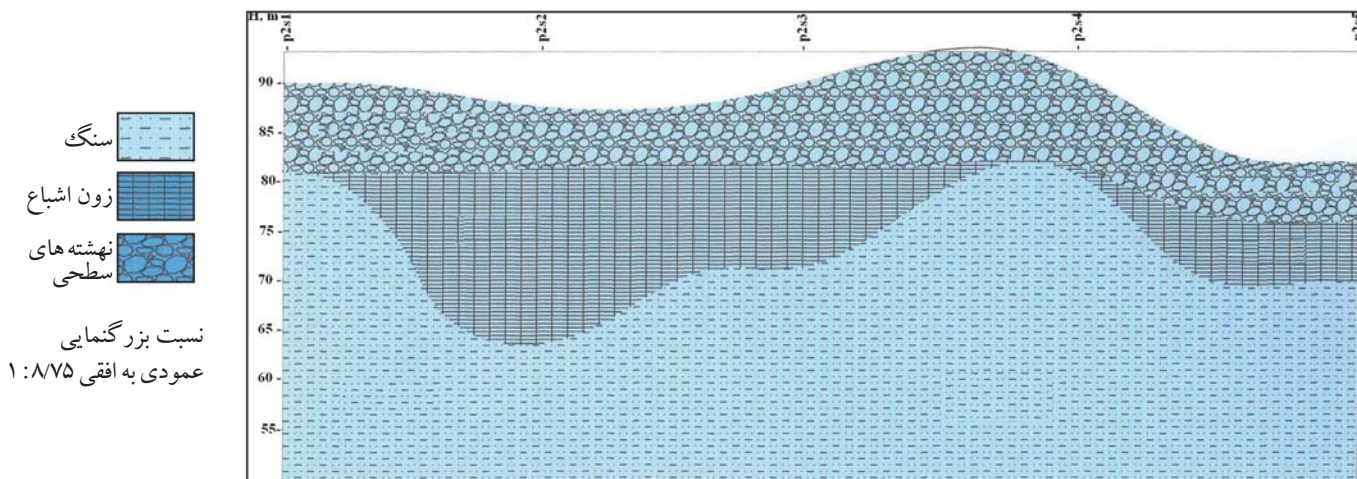
جدول ۴- مشخصات طراحی فیلتر

اندازه الک	دانه بندی فیلتر اطراف لوله زهکش (درصد گذرنده)	دانه بندی فیلتر در محدوده انباری
۲۵ میلی متر	-	۱۰۰
۲۰ میلی متر	-	۹۰-۱۰۰
۱۰ میلی متر	۱۰۰	۴۰-۱۰۰
۴/۷۵ میلی متر	۹۰-۱۰۰	۲۵-۴۰
۲/۳۶ میلی متر	۸۰-۱۰۰	۱۸-۳۳
۱/۱۸ میلی متر	۵۰-۹۵	-
۶۰۰ میکرون	۳۰-۷۵	۵-۱۵
۳۰۰ میکرون	۱۰-۳۰	۰-۷
۱۵۰ میکرون	۱-۱۰	-
۷۵ میکرون	۰-۳	-

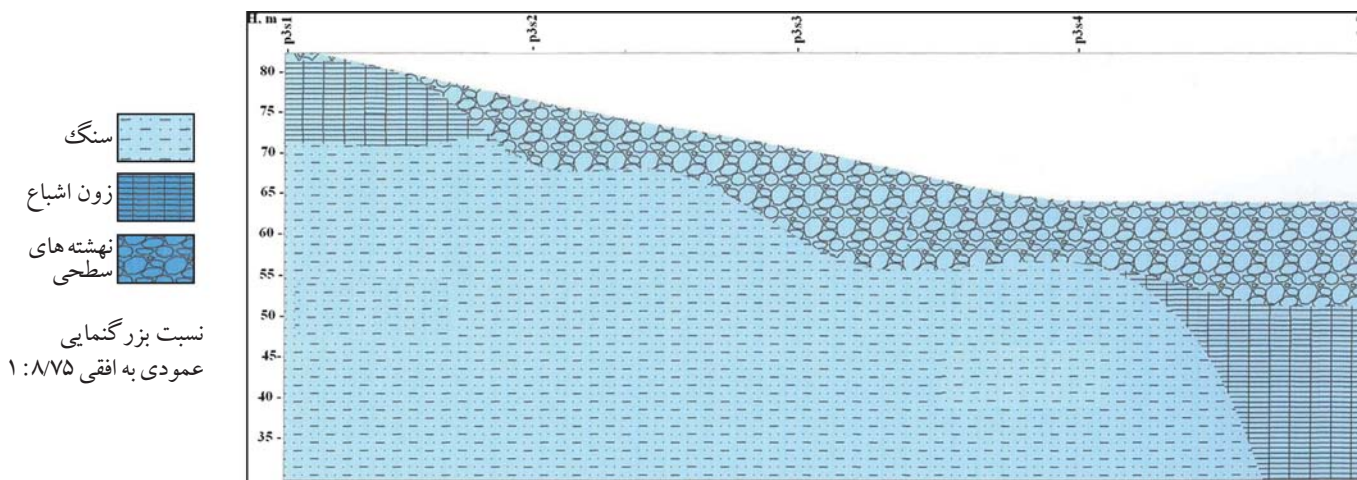




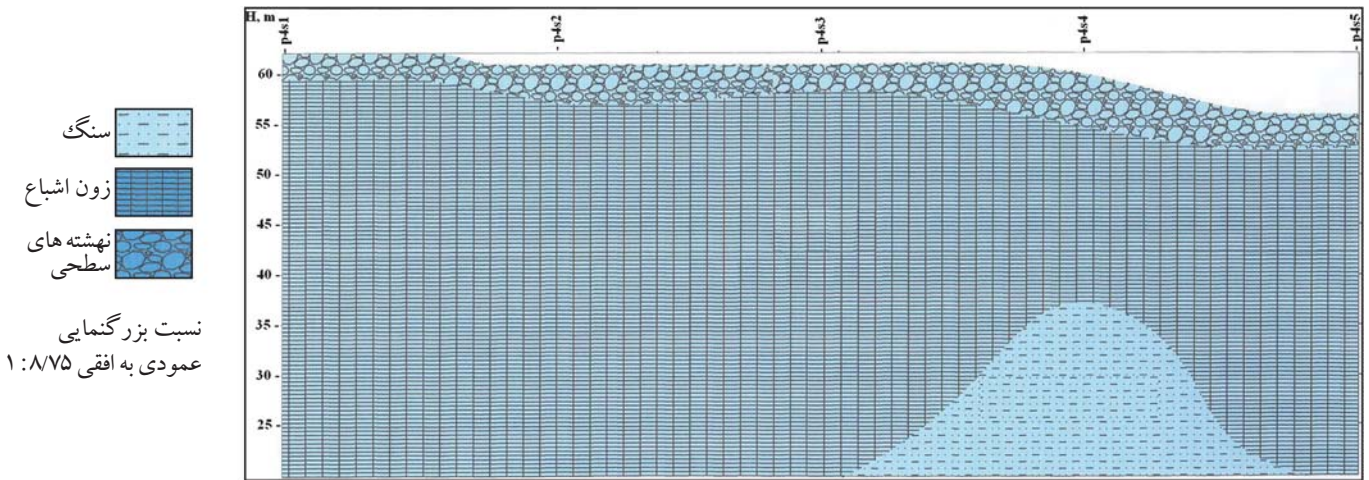
شکل ۳- مقطع ۱ زمین شناسی با استفاده از داده های ژئوالکتریک در محل مورد مطالعه



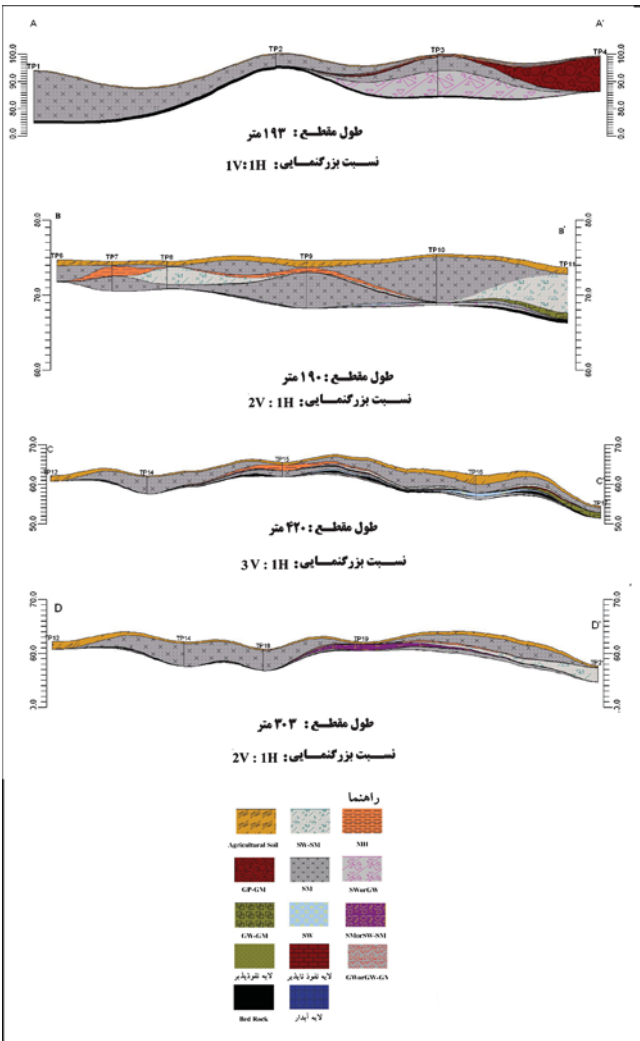
شکل ۴- مقطع ۲ زمین شناسی با استفاده از داده های ژئوالکتریک در محل مورد مطالعه



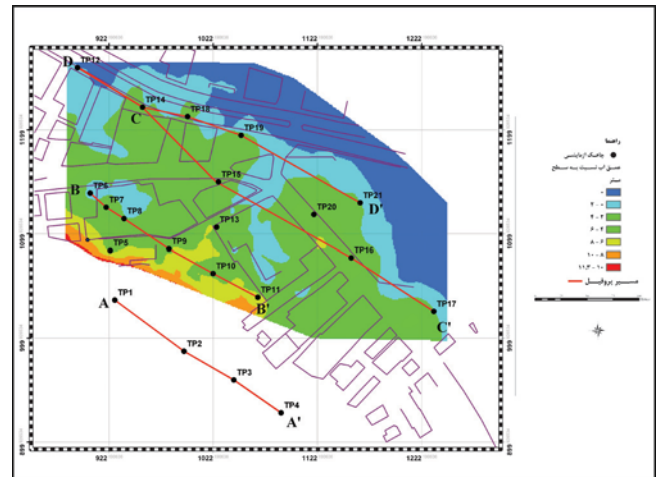
شکل ۵- مقطع ۳ زمین شناسی با استفاده از داده های ژئوالکتریک در محل مورد مطالعه



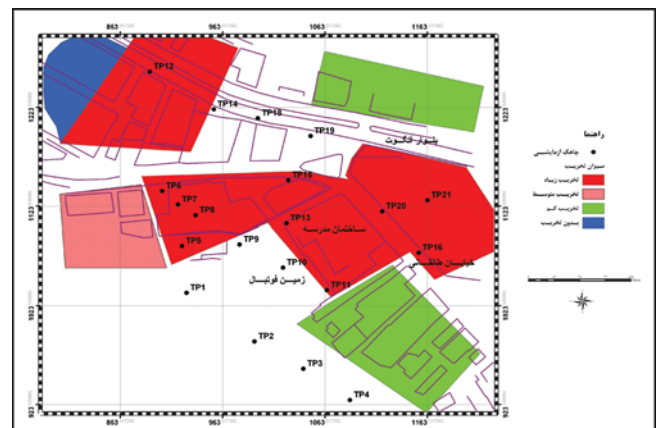
شکل ۶- مقطع ۴ زمین شناسی با استفاده از داده های ژئوالکتریکی در محل مورد مطالعه



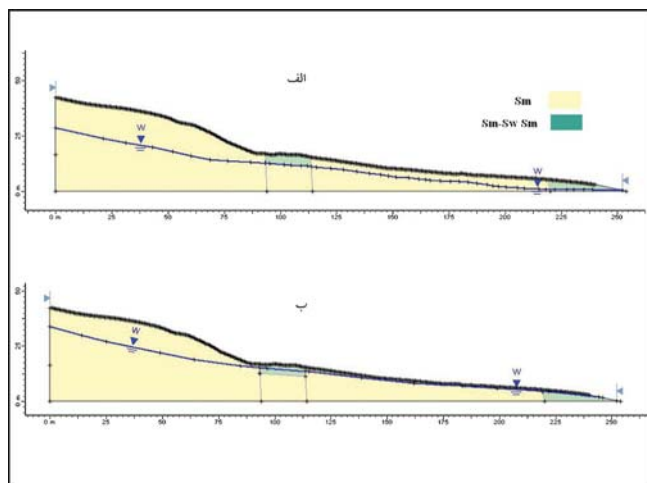
شکل ۸- مقاطع طولی ژئوتکنیکی در محل مورد مطالعه



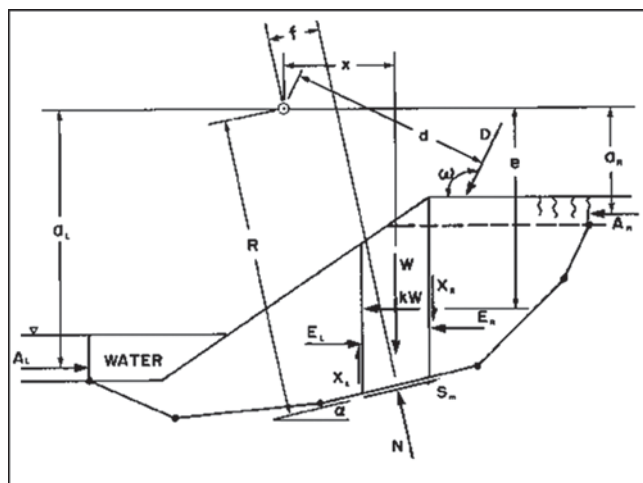
شکل ۷- نقشه سطح ایستابی آب، محل گمانه ها و مسیر مقاطع ژئوتکنیکی در محل مورد مطالعه



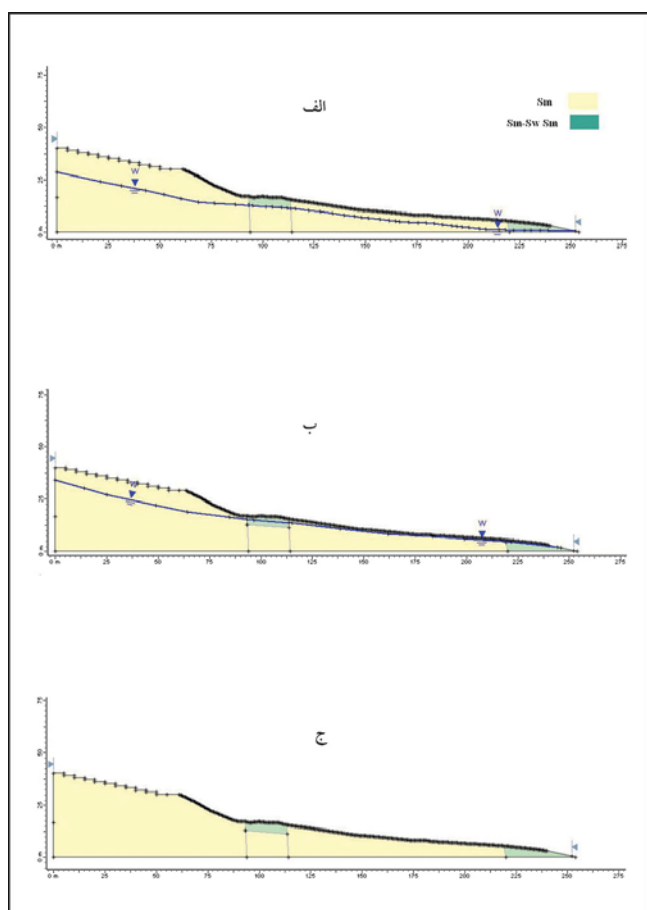
شکل ۹- نقشه میزان تخریب در محل مورد مطالعه



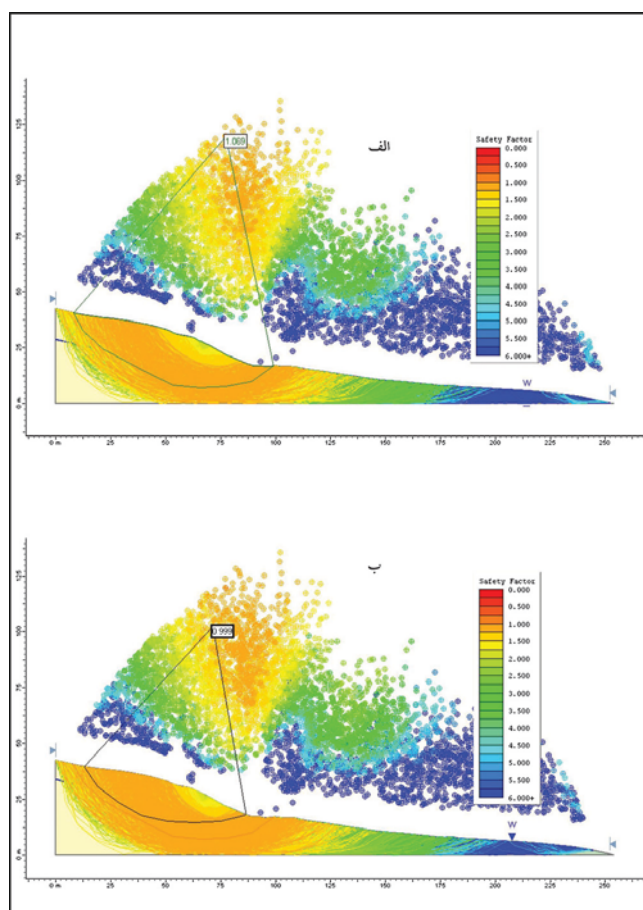
شکل ۱۱- مقطع B-B' در حالات الف) طبیعی و ب) اشباع- بدون اصلاح هندسی



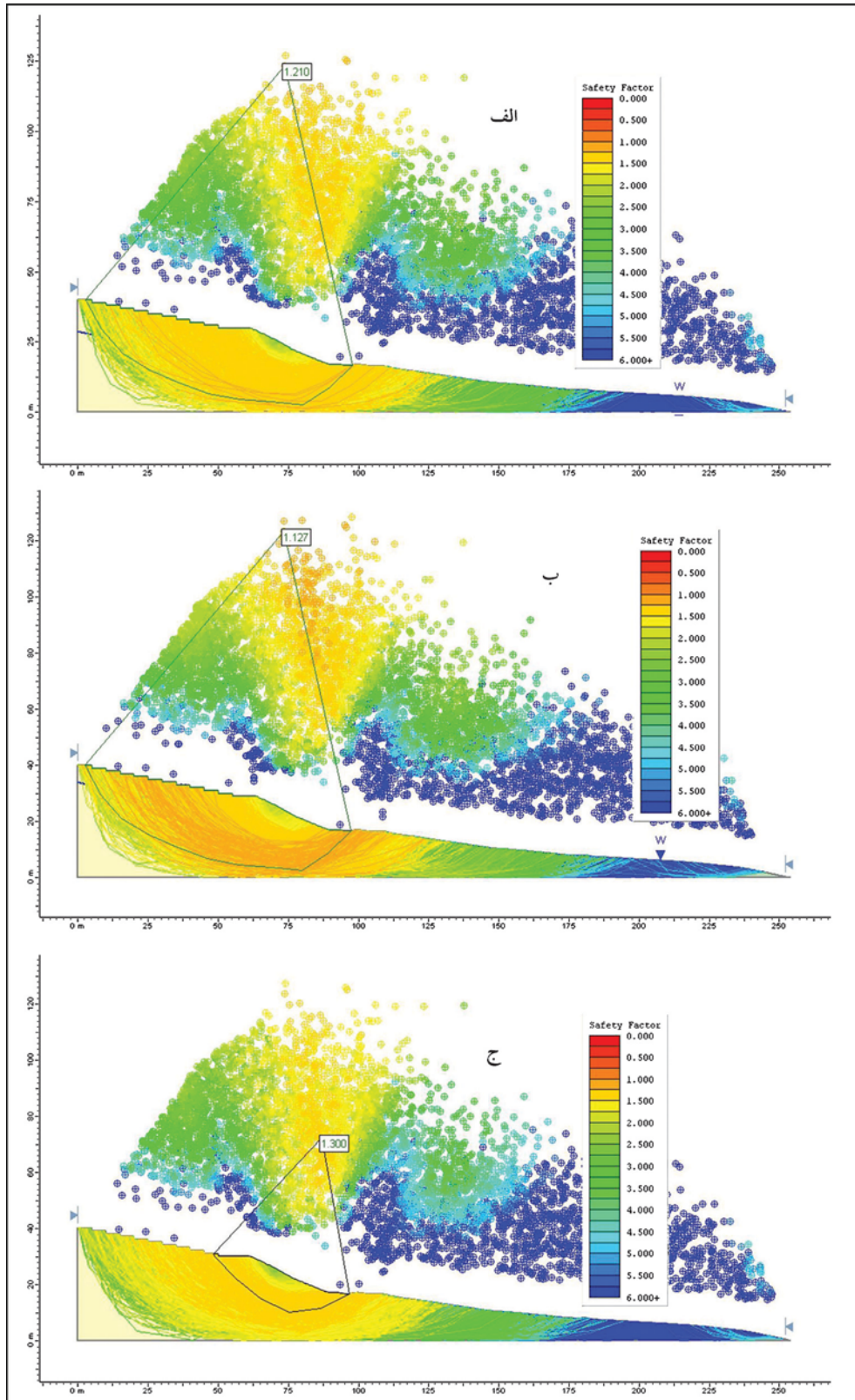
شکل ۱۰- نیروی مؤثر بر روی یک بلوک در حالت لغزش



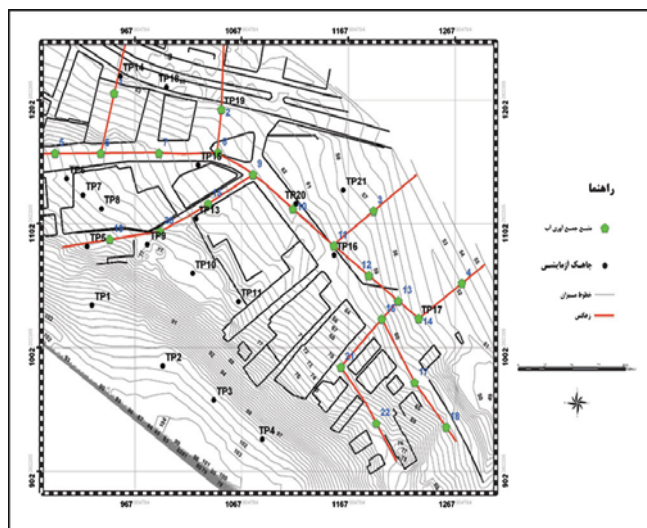
شکل ۱۳- مقطع B-B' در حالات الف) طبیعی و اصلاح هندسی، ب) اشباع و اصلاح هندسی و ج) زهکشی شده- با اصلاح هندسی



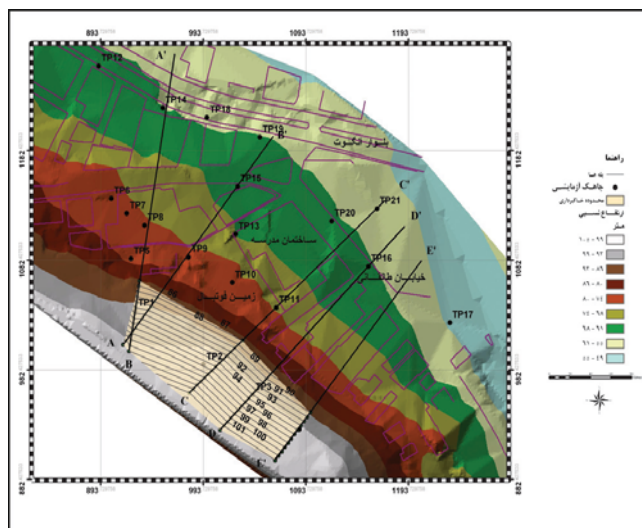
شکل ۱۲- ضریب ایمنی در حالات الف) طبیعی و ب) اشباع- بدون اصلاح هندسی



شکل ۱۴- ضریب ایمنی در حالات الف) طبیعی و اصلاح هندسی، ب) اشباع و اصلاح هندسی و ج) زهکشی شده- با اصلاح هندسی



شکل ۱۶- پلان مسیرهای زهکشی در محل مورد مطالعه



شکل ۱۵- پلان مقاطع مختلف و محدوده تراس بندی در محل مورد مطالعه

## References

- Bojorque, J., De Roeck, G. & Maertens, J., 2007- Comments on- Two- dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, computer and Geotechnics. PP 137- 150
- Cardimona, S., 2002- Electrical Resistivity Techniques for subsurface investigation. Department of Geophysics, university of Missouri Rolla- Mo.
- Chelli, A. & Mandrone, G. & Truffellig, G., 2006- Investigation and Monitoring as tools for modeling the ressenia Castle Land slide Journal of landslide, PP252-259
- Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B, 2007- Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. Computers and Geotechnics, 34 (2007), pp 137- 150.
- Ching, R.K.H. & Fredlund, D.G., 1983- Some difficulties associated with the limit equilibrium methods of slices, Canadian Geotechnical journal. PP 441- 672.
- Deoja, B., Dhital, M., Thapa, B., Wagner, A., Mountain risk engineering handbook-part II, international center for integrated mountain development, 872p.
- Hengxing, L., Chenghuz, Lee, C.F., sijing, W. & Faquan, W.V., 2003- Rainfall induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure Science in china ser. E Technological sciences Vol. 46. pp. 52- 68.
- Hoek, E. & Bray, J.w., 1981- Rock Slope Engineering Revised 3rd Edition, the institution of mining and metallurgy, London.
- Jiao, J. J., Wang, Xu, S. & Nandy, S., 2005- Confined ground water zone and slope instability in weathered igneous rocks in Hong Kong. Engineering Geology Journal. PP 71- 92.
- Lapenna, V., Lorenzo, P., Perrone, A., Piscitelli, S., Rizzo, E & Sdaof., 2005- 2D electrical resistivity imaging of some complex landslides in Lucanian chain, Southern Italy, Society of exploration Geophysics, Volume 70, pp B11- B18.
- Ng, C.W.W. & shi, Q., 1998- influence of rainfall intensity and duration on stability in unsaturated soils. Quarterly journal of Engineering Geology & Hydrogeology. PP 105- 113.



- Park, S.G., Asano, S., Matsuura, S., Okamoto, T. & Kim, J., 2005- Geoelectrical laboratory and field studies of ground water occurrence in a landslide area: a case study from japan. Exploration Geophysics. Pp & 6. 91.
- Sarris, A., Vallianatos F., Soupios, P., Papadopulus, I. & Savaidis, A., 1995- Application of Geophysical Methods in Urban Areas to Determine the Site Response in Environmental Risks. Journal of applied Geophysics. PP 289- 30.
- Yague, A.G., 1978- Modern methods used in study of mass movement. Journal of Bulletin of Engineering Geology and Environment. PP 65- 71.