



پروژه نگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

# رفتار سنجی و پایدارسازی زمین لغزش براساس برداشت‌های نقشه برداری و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی: زمین لغزش نُقل در منطقه پادناهی سمیرم)

مجید صفامهر\*، محسن صالحی\*، مسعود نصری\*\*، محمدرضا رهنما\*\*، حسین بور\*\*\*

1394/11/17

تاریخ دریافت مقاله:

1396/05/17

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

انتشار اخبار مربوط به زمین لغزش و رانش زمین در مناطق مختلف کشور، هر از گاهی توجه مردم و مسئولین را به این پدیده خطرآفرین معطوف می‌دارد. پیش‌بینی و در صورت امکان جلوگیری از وقوع زمین لغزش‌ها می‌تواند علاوه بر حفظ جان شمار زیادی از هموطنان، کاهش خسارت‌های مالی ناشی از تخریب زیرساخت‌ها و سایر منابع را نیز به‌دنبال داشته باشد. کنترل حرکات زمین و پایدارسازی لغزش‌ها در حریم رودخانه‌ها و حوضه سدها می‌تواند راه حلی برای کاهش رسوبات تولید شده در پشت دریاچه و افزایش عمر مفید سدها باشد. زمین لغزش نُقل در بخش پادناهی منطقه سمیرم و مشرف بر رودخانه لای سرخ از سرشاخه‌های رودخانه ماربر و کارون رخ داده است. ورود رسوبات از طریق رانش و لغزش به این رودخانه می‌تواند به مرور زمان ذخیره آبی مفید و قابل استفاده از سدهای کارون را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین زمین لغزش نُقل به عنوان یکی از زمین لغزش‌های فعال و تأثیرگذار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به‌منظور بررسی و کنترل حرکات زمین لغزش نُقل، از شبکه‌های اندازه‌گیری ماهواره‌ای استفاده شده است. در این تحقیق براساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های شبکه در بازه‌های زمانی مختلف، میزان جابه‌جایی هر یک از نقاط این زمین لغزش محاسبه شد. با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی، ابعاد سطحی و زیرسطحی زمین لغزش مشخص گردید. همچنین تحلیل‌های عددی با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی مهندسی، جهت ارزیابی پایداری زمین لغزش انجام شده و در نهایت طرح‌های مناسب پایدارسازی ارائه شد. اشباع شدن مصالح دامنه به‌خصوص مصالح مارنی، باعث کاهش پارامترهای مقاومت مکانیکی خاک شده و باعث ناپایداری توده خاک شده است. جهت زهکشی عمقی یک سری گمانه‌های مایل با شیب نزدیک به سطح افق و در جهت مخالف دامنه طراحی شده است. همچنین اجرای عملیات ساماندهی رودخانه مطابق با جزییات ارائه شده در انتهای مقاله پیشنهاد گردید.

**کلمات کلیدی:** زمین لغزش، نُقل، رفتار سنجی، پایدارسازی، زمین‌شناسی مهندسی.

\* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اردستان. Majid\_safamehr@yahoo.com

\*\* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اردستان.

\*\*\* معاونت اداره آبخیزداری و منابع طبیعی اصفهان.

\*\*\*\* کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی.

## مقدمه

زمین لغزش نُقل در فاصله 300 کیلومتری جنوب شهر اصفهان در شهرستان سمیرم و طول جغرافیایی "10° 39' 51" و عرض جغرافیایی "30° 52' 39" رخ داده است. دسترسی به منطقه مورد نظر از طریق جاده آسفالتی سمیرم-حنا-کیفته-نُقل امکان پذیر است. منطقه یادنا یک منطقه کوهستانی با آب و هوای سرد و بارش برف فراوان در طول سال است. این منطقه دارای پتانسیل بالایی از لحاظ وقوع زمین لغزش می باشد و به همین جهت از طرف معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی، مورد مطالعه قرار گرفته و مشخصات آن ثبت گردیده است. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی اقدام به ایجاد بانک اطلاعاتی برای رانش های گزارش شده از نقاط مختلف کشور نموده است. در این راستا، برای هر رانش زمین شناسنامه ای تهیه شده و نتایج در بانک اطلاعاتی ویژه ای ذخیره می گردد. در صورت ایجاد ارتباط بانک اطلاعاتی فوق با موقعیت جغرافیایی هر رانش، می توان نتایج مطلوبی را از طرح بدست آورد (Vilímek et al. 2014). بدیهی است انجام مطالعات پایه ای نظیر تهیه نقشه های پهنه بندی رانش زمین در کل کشور از طریق سیستم های اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information Systems; GIS) می تواند نقش مؤثری را در رابطه با مدیریت این پدیده در کشور داشته باشد. استفاده از سیستم های مختلف رفتار سنجی در بررسی حرکات زمین لغزش ها و برآورد میزان جابه جایی توده های لغزشی تا کنون در کشورهایی همچون ایتالیا، ژاپن و آمریکا، بیشتر از سایر کشورها مورد توجه قرار گرفته است (Klimeš 2012). سیستم های رفتار سنجی مجموعه ابزارهایی جهت تعیین نوع و چگونگی حرکت لغزش می باشند (کیامهر 1388).

پدیده رانش زمین برخلاف سایر پدیده ها، زمانی حساسیت لازم را برای مطالعه پیدا می کند که مقدار جابه جایی نسبی نقاط تحت رانش زمین در حد قابل توجه بوده، به نحوی که احتمال خسارت های مالی و جانی پیش بینی گردد. به عبارت دیگر، قدرت آشکارسازی مورد نیاز (تلورانس) در رفتارسنجی شبکه های کنترل رانش و کلیه طرح های با ساختمان خاکی نظیر سدهای خاکی و... در حد دسیمتر است (باقری 1383). در این تحقیق، رفتارسنجی زمین لغزش نُقل با استفاده از شبکه های ماهواره ای و جی پی اس (GPS) دو فرکانسه انجام شده است. رفتارسنجی زمین لغزش نُقل با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر حرکت توده لغزشی می باشد. در نتیجه می توان با تحلیل داده های زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، به روشی جهت پایدارسازی و کنترل زمین لغزش دست یافت. این پژوهش، حاصل بررسی های صحرایی و جمع آوری اطلاعات موجود در رابطه با خصوصیات ژئومورفولوژیکی زمین لغزش نُقل می باشد. به منظور بررسی علل اصلی زمین لغزش و ارائه راهکار جهت مقابله با این پدیده، بر روی مقاطع مختلف توده مورد مطالعه، تحلیل هایی صورت گرفت. در نهایت، روش مناسب جهت پایدارسازی ارائه شد.

## زمین شناسی و ساختار زمین لغزش

زمین لغزش نُقل دارای یک حرکت توده ای و حجمی است. مواد جابه جا شده در زمین لغزش نُقل از نوع واریزه (خاک های درشت دانه) است. براساس مطالعات ژئوالکتریک و حفاری های انجام شده، عمق زمین لغزش در بخش های مختلف، متفاوت بوده و حداکثر به 15 متر می رسد. در ادامه، خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی منطقه لغزشی تشریح خواهد شد.

## سازند رازک

در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های تبخیری-آواری با ستبرای حدود 200 متر از تناوب مارن و سنگ جوش سرخ رنگ با قلوه‌های گرد شده از جنس چرت و سنگ آهک با میان لایه‌های گچ، ماسه سنگ دانه درشت و سنگ آهک مارنی رخنمون دارند. مرز زیرین آن با سازند آسماری ناپیوسته و مرز بالایی آن با کنگلومرای بختیاری دگرشیب است. این سازند در محدوده مورد مطالعه دارای گسترش وسیعی است (تصویر شماره 1). سن این سازند میوسن زیرین تا میانی در نظر گرفته شده است.

گرفت. آزمون‌های آزمایشگاهی نیز در بازه زمانی فوق توسط آزمایشگاه‌های همکار و آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک راه و ترابری انجام شد (شرکت مهندسیین مشاور افراز نقشه آریا 1390). در تصویر شماره 3 موقعیت این چاهک‌ها در توده لغزشی نشان داده شده است.



ت 1. نمایی از سازند رازک و موقعیت زمین لغزش (تصویر از Google Earth 2011).

## سازند بختیاری

زمین لغزش نُقل در مجموعه‌ای از مصالح گسل خورده و بهم ریخته معادل سازند بختیاری قرار گرفته است. البته مقطع تیپ سازند بختیاری از نظر استحکام و مقاومت تفاوت بسیار زیادی با منطقه لغزشی نُقل دارد. در محدوده لغزشی نُقل میزان سیمان شدگی و تراکم لایه‌های کنگلومرای پایین بوده و به علت گسلش و هوازدگی مصالح، از میزان مقاومت و پایداری لایه‌ها تا حد زیادی کاسته شده است (تصویر شماره 2).



ت 2. سازند بختیاری و مصالح لغزش.

## مطالعات ژئوتکنیک

مطالعات ژئوتکنیک زمین لغزش نُقل شامل حفاری چاه‌های دستی به طول 75 متر و انجام آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی است. طی این مطالعات 10 حلقه چاه دستی حفاری شده است.

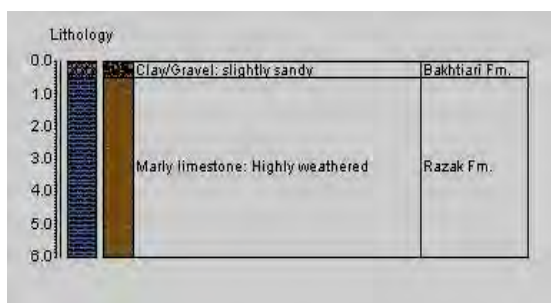


ت 3. موقعیت گمانه‌های دستی بر روی توده لغزشی نُقل (دید عکس به سمت روستای نُقل).

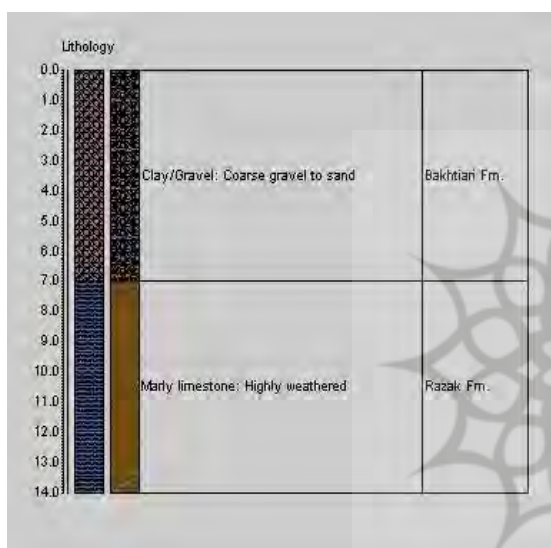
مطالعات صحرایی توده لغزشی نُقل که شامل حفاری 10 حلقه چاه دستی تا عمق ممکن و انجام آزمون‌های بر جا و نمونه‌برداری جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی می‌باشد، با استقرار اکیپ‌های حفاری و کارشناسان و تکنسین‌های فنی و مجرب آزمایشگاهی در محل از تاریخ 90/6/1 لغایت 90/8/21 صورت

### جنس رسوبات

بر اساس جنس و ترکیب لیتولوژی لایه‌ها می‌توان جنس مصالح توده لغزشی را به دو گروه متفاوت تقسیم کرد: خاک‌های گروه اول: این خاک‌ها به رنگ قرمز و متمایل به قهوه‌ای می‌باشند. این گروه شامل قطعات درشت (Over Size) بین 20 تا 30 درصد و خاک‌های با دانه‌بندی GC-SC می‌باشند که به‌طور عمده 60 تا 70 درصد از خاک‌های این گروه را تشکیل می‌دهند. منشاء تشکیل این گروه از خاک‌ها، سازند کنگلومرای بختیاری است. این گروه از ضلع جنوبی زمین لغزش شروع شده و به‌صورت یک نوار حاشیه‌ای تا ضلع شمالی امتداد می‌یابند. چاه‌های اکتشافی حفاری شده در این بخش از توده لغزشی شامل چاه‌های TP1، TP2، TP3، TP4، TP6 و TP7 می‌باشند. لاگ تهیه شده از چاه‌های مذکور نشان داد که جنس رسوبات و خاک‌های شناسایی شده در مطالعات زمین‌شناسی سطحی تا حد زیادی با نتایج حاصل از حفاری‌های اکتشافی مطابقت دارد (تصاویر شماره 4 و 5). بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی لاگ چاه‌های دستی، عمق خاک‌های گروه 1 در گمانه‌های TP3 و TP6 به ترتیب از 0.5 تا 7 متر متغیر می‌باشد (تصاویر شماره 4 و 5). بررسی تغییرات عمق در رسوبات نشان داد که در چاه‌های نزدیک به تاج لغزش، ضخامت خاک‌های گروه 1 ناچیز بوده و به تدریج به سمت مرکز زمین لغزش زیاد می‌شود. خاک‌های گروه دوم: این خاک‌ها بخش میانی و مرکزی زمین لغزش را در بر گرفته‌اند و تا ضلع شمالی آن ادامه دارند. جنس مصالح در این بخش از جنس لایه‌های به شدت هوازده مارنی و آهک‌های مارنی است. منشاء تشکیل این گروه، واحدهای آهکی و مارنی سازند رازک می‌باشد. در تصاویر شماره 4 و 5 تغییرات جنس و ترکیب لایه‌ها نسبت به عمق نشان داده شده است.



ت 4. جنس خاک و تغییرات دانه‌بندی در لیتولوژی در مصالح چاه TP3.



ت 5. جنس رسوبات در چاه شماره TP6.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های منطقه در جداول شماره 1 و 2 نشان داده شده است (شرکت مهندسی مشاور افراز نقشه آریا 1390). نتایج حاصل از آزمایشات مکانیک خاک در مراحل بعدی (تحلیل‌های پایداری) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌منظور تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک‌ها، از آزمون برش مستقیم استفاده گردید. این آزمون در دو حالت برجا و دست خورده انجام گرفت. با توجه به جدول شماره 2 و نتایج حاصل، هر دو حالت برجا و

آزمایشات برش مستقیم در رطوبت طبیعی انجام شده است. ابعاد قالب برای نمونه‌های بازسازی شده  $15.3 \times 30 \times 30$  سانتیمتر می‌باشد و برای نمونه‌های دست نخورده  $20 \times 40 \times 40$  سانتیمتر بوده است. با توجه به هوازدهگی لایه اول مقادیر زاویه اصطکاک داخلی خاک، پایین تر حد معمول برای این نوع از خاک‌ها به دست آمده است.

دست خورده، انطباق نسبتاً زیادی با یکدیگر دارند. شایان ذکر است که انجام این آزمون بر روی نمونه‌های دست خورده و بازسازی شده براساس وزن مخصوص خشک ( $\gamma_d$ ) حاصل از آزمایش دانسیته در محل بوده است. براساس نتایج ارائه شده در جدول شماره 2، میزان مقاومت خاک درشت دانه GC بیشتر از خاک درشت دانه SC می‌باشد. لازم به ذکر است که

ردیف	ویژگی نوع خاک غالب	میانگین درصد رطوبت (%)	میانگین دانسیته طبیعی ( $\text{gr}/\text{Cm}^3$ )	میانگین چگالی خاک ( $\text{gr}/\text{Cm}^3$ )
1	دانه‌های ناشی از هوازدهگی کنگلومرا (GC)	5 - 7	05/2	66/2
2	دانه‌های با هوازدهگی مارن‌ها (SC, SM)	5 - 12	9/1	2/56

### ج 1. بررسی آماری خصوصیات فیزیکی خاک.

ردیف	نوع خاک غالب	روش آزمایش	دانسیته	پارامترهای مقاومت برشی خاک در آزمایشگاه		پارامترهای مقاومت برشی خاک در محل	
				چسبندگی ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ )	اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ )	اصطکاک داخلی (درجه)
1	دانه درشت ناشی از هوا زدگی کنگلومرا (GC)	تند	1/93	0/01	31	31	
			1/92	0/09	30	30	
			1/91	0/07	30	30	
		کند	1/93	0/16	26	26	
			1/92	0/14	27	27	
			1/78	0/14	24	24	
2	دانه درشت ناشی از هوازدهگی مارن‌ها (SC, SM)	تند	1/76	0/12	25	25	
			1/73	0/11	26	26	
			1/78	0/20	23	23	
		کند	1/75	0/19	24	24	
			0/16	26	26	26	

### ج 2. بررسی آماری پارامترهای برشی خاک.

کنگلومرا به شدت با مصالح مارنی و آهک‌های مارنی مخلوط شده‌اند. اختلاط لایه‌های مذکور که متعلق به سازندهای بختیاری و رازک می‌باشد، در نتیجه عملکرد گسل F1 و گسل وزنی مسبب لغزش بوده است (تصویر شماره 6 و 7). وجود لایه‌های ضعیف و سست خاک و میان لایه‌های مارنی که در اثر نفوذ آب‌های سطحی حالت لغزنده پیدا می‌کنند، عامل بعدی زمین لغزش و حرکت دامنه‌ای نقل می‌باشد (تصویر شماره 8).

### عوامل زمین شناسی مهندسی لغزش

براساس نتایج به دست آمده از حفاری‌های اکتشافی و لاگ گمانه‌ها، شناسایی کاملتری از جنس رسوبات و عوامل مؤثر در لغزش انجام شده است. با توجه به بررسی‌های صحرائی، جنس مصالح لغزش ترکیبی از خاک‌های به شدت هوازده و درشت دانه و میان لایه‌های مارنی و آهک مارنی است. نمونه‌های صحرائی برداشت شده از منطقه نشان داد که لایه‌های هوازده

گسل F1 است. این گسل با ساز و کار معکوس باعث جابه‌جایی لایه‌های کنگلومرا و خرد شدگی مصالح شده است. شیب و جهت شیب گسل به صورت  $S56^{\circ}E, 37^{\circ}E$  اندازه‌گیری شده است. تصویر شماره 6 جابه‌جایی لایه‌های کنگلومرا در بخش تاج زمین لغزش را در اثر حرکت این گسل نشان می‌دهد. گسل مذکور باعث تغییر شیب و جهت شیب لایه‌بندی در دو طرف سطح شده است. شیب لایه‌ها در فرا دیواره به صورت  $N74^{\circ}E, 70^{\circ}E$  و در فرود دیواره  $N83^{\circ}E, 44^{\circ}E$  می‌باشد.



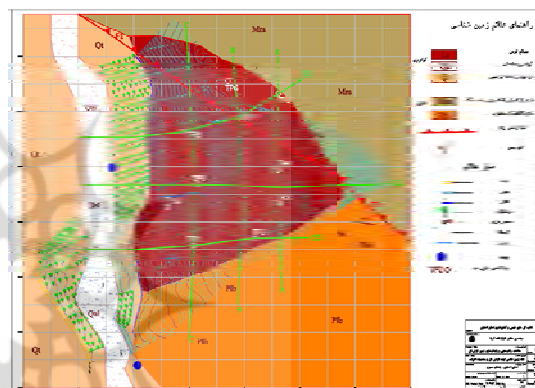
ت 6. سطح گسل و جابه‌جایی لایه‌های کنگلومرا در تاج زمین لغزش نُقل.

### مقاطع زمین‌شناسی از توده لغزشی نُقل

به منظور انجام تحلیل‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی، بایستی تغییرات لایه‌بندی و هندسه لغزش نسبت به عمق رسم گردد. به منظور درک بهتر از وضعیت زمین‌شناسی و مکانیزم لغزش، نمونه‌ای از مقاطع تهیه شده برای زمین لغزش نُقل در تصویر شماره 8 ارائه شده است. بر این اساس، عمق لغزش به ضخامت واریزه‌های ناشی از هوازدگی رسوبات کنگلومرای بختباری و مارن‌های سازند رازک محدود می‌شود. میزان گسترش هوازدگی در رسوبات دامنه بستگی به میزان بارندگی و نفوذپذیری خاک دارد. با توجه به میانگین بارش 553 میلیمتر در منطقه (شرکت مهندسی مشاور افراز نقشه آریا 1390) و نفوذپذیری بالای لایه‌های خاک، عمق هوازدگی افزایش یافته و در نتیجه لغزش توده خاک بر روی لایه‌های مارنی (نمودار شماره 1) اتفاق افتاده است.

### برداشت‌های نقشه برداری

در این پژوهش از نتایج مربوط به اندازه‌گیری‌های نقشه برداری جهت کنترل و رفتارسنجی زمین لغزش نُقل استفاده شده است. برای رفتارسنجی زمین لغزش از سیستم تعیین موقعیت جهانی جی پی اس (GPS) به صورت استاتیک استفاده گردید.



ت 7. نقشه زمین‌شناسی و راستای مقاطع زمین‌شناسی.



ت 8. جنس رسوبات در چاه شماره TP9.

یکی از گسل‌های موجود در منطقه که به نظر می‌رسد در بوجود آمدن زمین لغزش نُقل نقش داشته،

مراحل اندازه‌گیری شامل سه مرحله مجزا می‌باشد. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر مرحله، میزان جابه‌جایی نقاط نشانه روی محاسبه شده است. تغییرات بوجود آمده در مختصات نقاط نشانه روی، مبنای انجام این محاسبات می‌باشد. بنابراین دقت اندازه‌گیری‌های انجام شده برای این محاسبات باید در حد سانتیمتر باشد.

### طرح مشاهدات شبکه‌های ماهواره‌ای شبکه نقاط اصلی

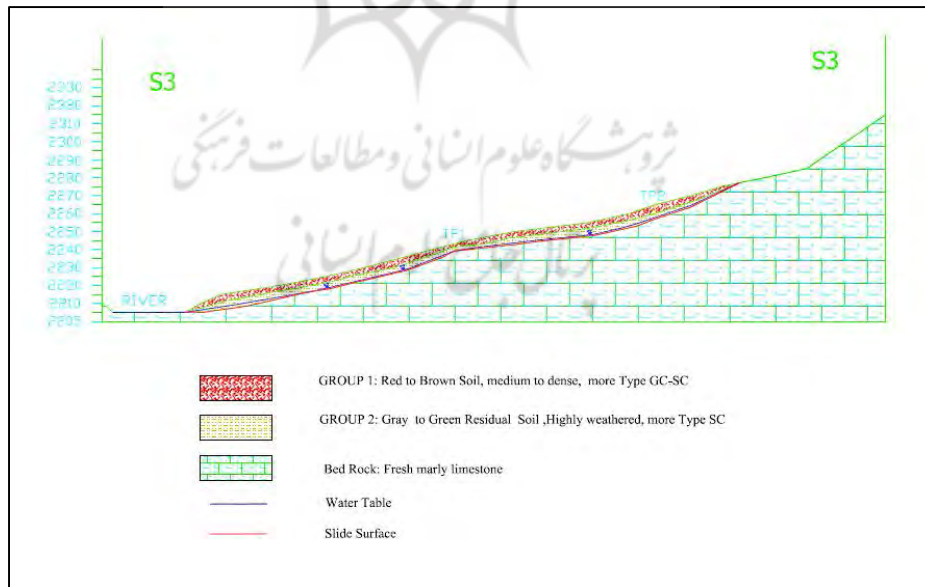
نقاط اصلی، خارج از منطقه زمین لغزش انتخاب شدند. در این پروژه نامگذاری BM برای نقاط خارج از منطقه استفاده شده است. بدین ترتیب نقاط BM1, BM2, BM3, BM4 به‌عنوان نقاط اصلی انتخاب شدند. این نقاط نیز به‌صورت مطلق ثابت فرض نشده‌اند، بلکه در روند کشف نقاط پایدار، ثبات آنها مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. نقاط مرجع تقریباً در شرق و غرب نقاط مشاهداتی (شاهد) قرار دارند. در مورد اتصال به شبکه سراسری، از نقطه

### شبکه نقاط نشانه روی محدوده زمین لغزش

شبکه ماهواره‌ای نقاط شاهد (نشانه روی) منطقه زمین لغزشی، شامل 28 نقطه می‌باشد که با توجه به شرایط منطقه و بازدیدهای میدانی از منطقه در نظر گرفته شده‌اند. نام نقاط شاهد با MP شروع شده است (نقاط MP1 تا MP28). مشاهدات شبکه ماهواره‌ای در سه مرحله و به فاصله زمانی حدود 10 ماه انجام پذیرفته است.

### مشاهدات شبکه‌های ماهواره‌ای

شبکه نقاط ژئودزی ماهواره‌ای منطقه با استفاده از دستگاه GPS/GNSS دو فرکانسه سیستم 1200 لایکا انجام شده است. مشخصات دستگاه در جدول شماره 3 ارائه شده است. مدت مشاهدات هر بیس‌لاین 40 دقیقه در نظر گرفته شده است. طرح مشاهداتی به‌گونه‌ای بوده که تمام نقاط به‌صورت چرخشی (Rover) از حداقل دو ایستگاه مرجع (Reference) تعیین مختصات شوند.



ن 1. مقطع زمین شناسی در راستای S3-S3 موازی با جهت لغزش.



متعلقات	دقت اسمی	نام کارخانه	نام دستگاه
LEIAX1202GG ، آنتن ژئودتیک اطلاعات، باتری ذخیره کارت	5 mm+0.5 ppm دقت مسطحاتی: *10 mm + 0.5 ppm دقت ارتفاعی:	LEICA	SYSTEM1230 LEICA GX1230GG

### ج 3. مشخصات دستگاه اندازه گیری مورد استفاده در مشاهدات شبکه های ماهواره ای GPS.

اطمینان بدست آمده در نمودارهای شماره 2 و 3 ارائه گردیده است. براساس مقادیر ارائه شده در مراجع معتبر از جمله کورنفورس (Cornforth 2005) و با توجه به جدول شماره 4، توده لغزشی نُقل با دارا بودن حدود 11 هکتار مساحت (معادل 110.000 متر مربع) در رده بزرگ (Large) قرار می گیرد. مطابق جدول شماره 5 که برگرفته از کتاب کورنفورس (Cornforth 2005) است، ضریب اطمینان حداقل برای چنین توده لغزشی برابر با 1/3 می باشد. آنالیزهای صورت گرفته نیز مؤید این مسئله بوده و نشان می دهند که در شرایط فعلی ضرایب اطمینان در محدوده مجاز می باشند.

#### تحلیل پایداری شیب در حالت بالا آمدن آب زیرزمینی

با توجه به زیاد بودن میزان بارندگی در منطقه، در صورتی که در هنگام وقوع بارندگی و یا به هر دلیلی سطح آب زیرزمینی به اندازه 2 تا 3 متر بالا بیاید، ضریب اطمینان پایداری توده فوق از حداقل آن کمتر شده و توده فوق به سمت ناپایداری حرکت می کند. نمودارهای شماره 4 و 5 نتایج این تحلیل ها را نشان می دهند.

بنابراین مسئله بسیار مهم جهت پایدارسازی چنین شیبی، زهکشی و پایین آوردن سطح آب زیرزمینی می باشد. این مسئله توسط احداث زهکشی های سطحی برای جلوگیری از جمع شدن آب در مناطقی از توده (که شکل توپوگرافی آن به گونه ای است که آب را بر روی خود نگه می دارد) و همچنین توسط احداث شبکه زهکشی عمقی قابل انجام خواهد بود.

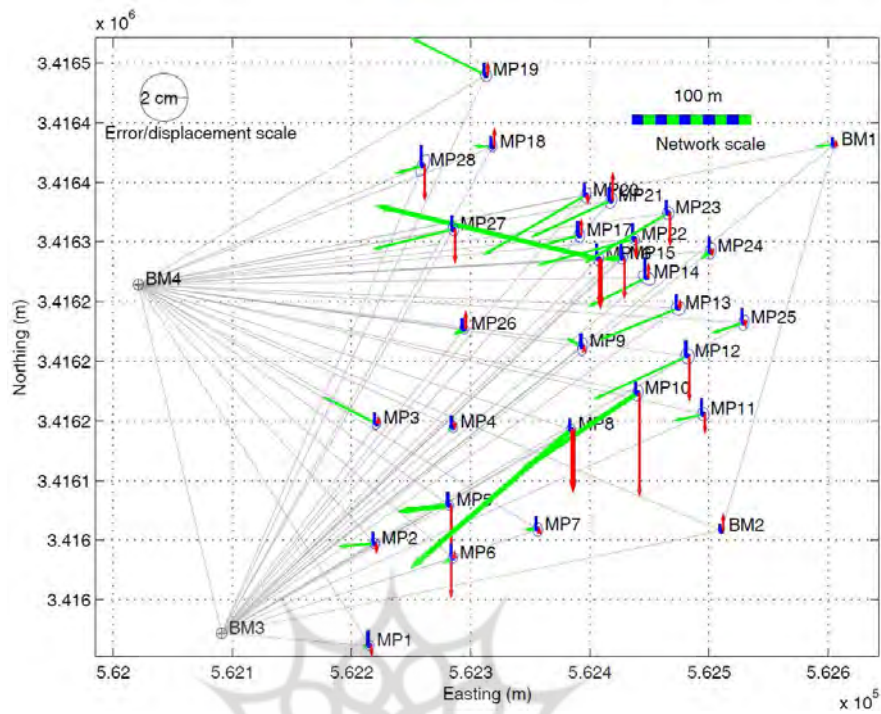
نتایج برداشت های متوالی نقشه برداری و رفتارسنجی نتایج ارائه شده بیانگر جابه جایی معنادار زمین لغزش نُقل می باشد. این جابه جایی ها در مؤلفه های مسطحاتی بیشتر می باشد. بزرگترین جابه جایی در نقاط MP8، MP10 و MP16 است که میزان جابه جایی مسطحاتی آن ها حدود 1 تا 2 متر می باشد. جابه جایی مسطحاتی منطقه بیشتر به سمت غرب می باشد. در مرحله سوم، نقطه MP16 همچنان جابه جایی قابل توجهی را نشان می دهد (تصاویر شماره 9 و 10). وجود سطوح لغزشی کوچکتر در لایه اول باعث می شود که برخی از نقاط، جابه جایی بیستری نسبت به سایر نقاط داشته باشند. جابه جایی نقطه MP16 به دلیل قرار گرفتن بر روی یکی از این سطوح لغزشی مقادیر بیشتری نسبت به سایر نقاط دارد (تصویر شماره 11).

#### تحلیل پایداری توده لغزشی نُقل

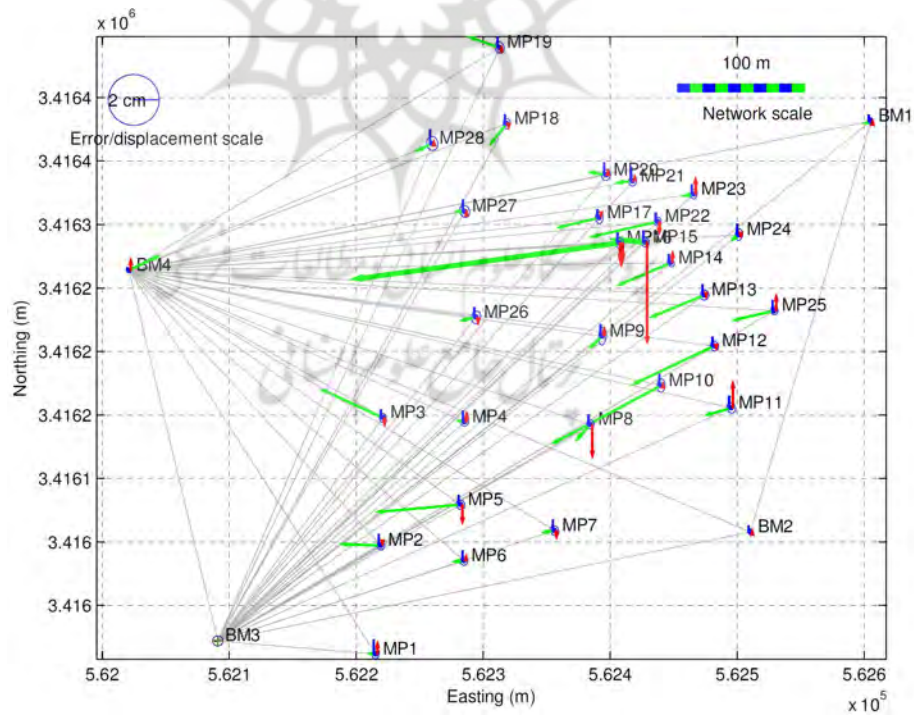
به طور کلی براساس نتایج حاصل از حفاری چاهک ها و پیمایش های صحرائی، خاک های موجود در محدوده توده لغزشی به دو بخش تقسیم می شوند که در بخش کاوش های زیر سطحی توضیح داده شد. در این پژوهش، بر مبنای آزمایشات ژئوتکنیک، داده های مورد نیاز برای تحلیل های عددی فراهم گردید. نتایج حاصل از تحلیل های عددی به شرح زیر می باشند:

#### تحلیل پایداری در شرایط خشک

براساس وضعیت موجود، شیب مورد نظر با استفاده از نرم افزار Geoslope مورد تحلیل قرار گرفت. ضرایب



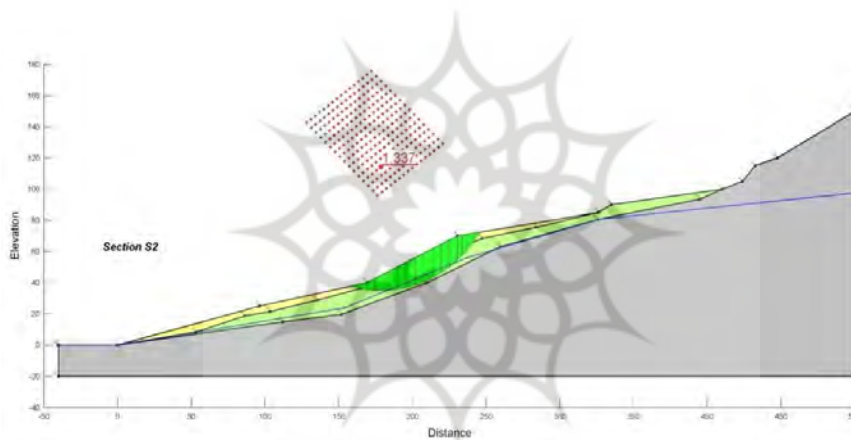
ت 9. جابه‌جایی‌های گرافیکی مسطحاتی و ارتفاعی نقاط کنترل و شاهد (منطقه نقل - بین مرحله اول و دوم).



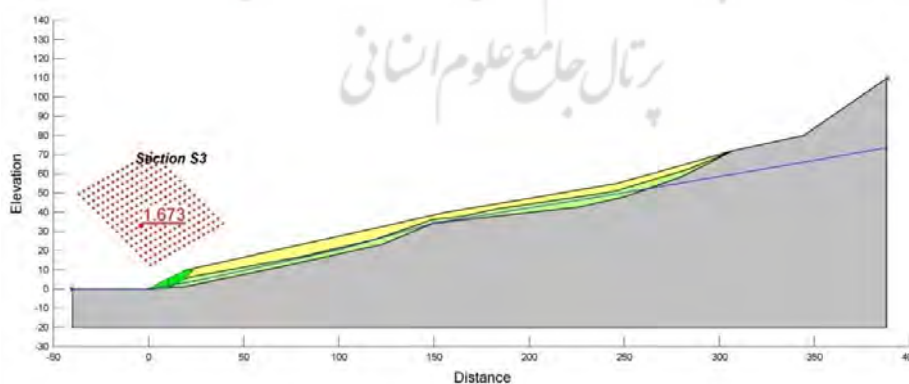
ت 10. جابه‌جایی‌های گرافیکی مسطحاتی و ارتفاعی نقاط کنترل و شاهد (منطقه نقل - بین مرحله دوم و سوم).



ت 11. موقعیت قرارگیری نقطه MP16 و سطوح لغزشی پیرامون آن.



ن 2. نتایج تحلیل پایداری وضع موجود شیب درمقطع S2.



ن 3. نتایج تحلیل پایداری وضع موجود شیب درمقطع S3.

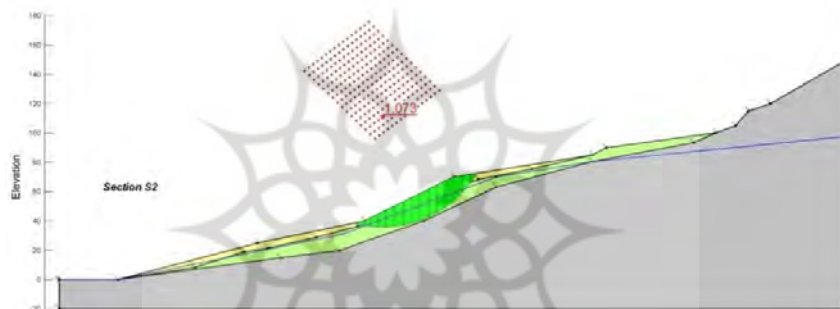
توصیف	مساحت به فوت مربع	مساحت به متر مربع
بسیار کوچک (Very Small)	کمتر از 2000	کمتر از 200
کوچک (Small)	20000-2000	2000-200
متوسط (Medium)	200.000-20000	2.0000-2000
بزرگ (Large)	2.000.000-200.000	200.000-20.000
بسیار بزرگ (Very Large)	20.000.000-2.000.000	2.000.000-200.000
بسیار بسیار بزرگ (Huge)	بیشتر از 20.000.000	بیشتر از 2.000.000

ج 4. طبقه بندی توده‌های لغزشی براساس مساحت توده در پلان.

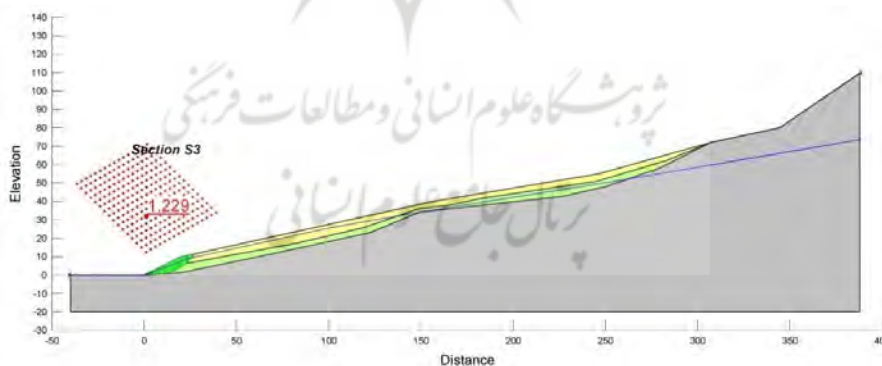
اندازه زمین لغزش	براساس حداقل اطلاعات		براساس اطلاعات معمول	
	گمانه‌ها	ضریب اطمینان محاسبه شده	گمانه‌ها	ضریب اطمینان محاسبه شده
بسیار کوچک (Very Small)	1	1.5	1	1.5
کوچک (Small)	1	1.5	2	1.35
متوسط (Medium)	2	1.4	4	1.25
بزرگ (Large)	3	1.3	6	1.2
بسیار بزرگ (Very Large)	4	1.2	8	1.15

ج 5. مقادیر ضریب اطمینان پیشنهاد شده مطابق با سطح اطلاعات موجود و اندازه زمین

141



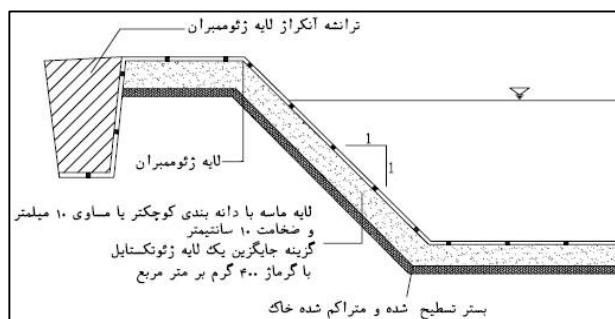
ن 4. نتایج تحلیل پایداری در حالت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در مقطع S2.



ن 5. نتایج تحلیل پایداری در حالت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در مقطع S3.

زمین لغزش نقل در تصاویر شماره 12 تا 14 نشان داده شده‌اند.

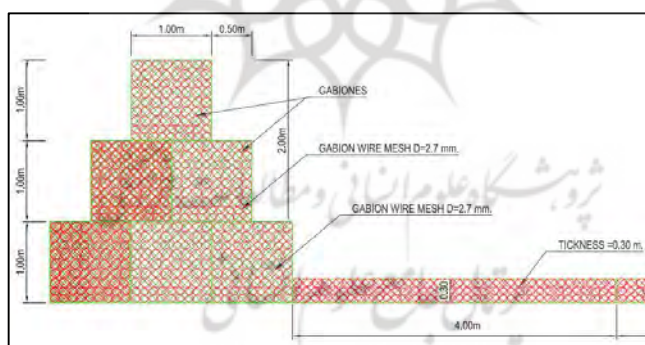
راهکارهای تثبیت  
برخی از راهکارهای تثبیت جهت پایداری



ت 12. طبقه بندی توده های لغزشی براساس مساحت توده در پلان.



ت 13. جزئیات اجرای دیوار گابیونی در حاشیه رودخانه.



ت 14. جزئیات اجرای بند رسوبگیر گابیونی.

#### نتیجه

می باشد (تصاویر شماره 6 و 7) براساس نتایج مطالعات ژئوتکنیک میزان زاویه اصطکاک داخلی لایه اول (خاک حاصل از هوازدهی کنگلومرا در کلاس GC) حداکثر 31 درجه به دست آمده است که این مقدار با در نظر گرفتن شرایط بازسازی نمونه ها (حذف ذرات باقیمانده بر روی الک 4 اینچ و دستخوردگی خاک) کمی

بررسی های انجام شده بر روی زمین لغزش نُقل نشان داد که این زمین لغزش یک توده فعال و در حال حرکت می باشد و مهمترین عوامل محرک آن شیب تند توپوگرافی، وزن توده، جنس و هوازدهی رسوبات و وجود آب های سطحی و زیرسطحی

پیشنهاد گردید (نمودار شماره 2). همچنین احداث بند رسوبگیر بر روی رودخانه در پایین دست توده لغزشی باعث جلوگیری از فرسایش پنجه دامنه توسط رودخانه می‌گردد. این سازه علاوه بر رسوب‌گیری به دلیل کاهش سرعت جریان آب در محل توده لغزشی از میزان انرژی فرسایشی جریان آب رودخانه در دراز مدت می‌کاهد و باعث تثبیت توده لغزشی می‌گردد (تصویر شماره 12).

### فهرست منابع

- باقری، ک. (1383)، "رفتارسنجی و ارائه روش‌های پایدارسازی زمین لغزش مبارک آباد"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف 22-24 اردیبهشت، ص 8.
- شرکت مهندسی مشاور افراز نقشه آریا، (1390)، گزارش ژئوتکنیک زمین لغزش نُقل، ص 59.
- شرکت مهندسی مشاور افراز نقشه آریا، (1390)، گزارش هواشناسی حوضه نُقل، ص 45.
- شرکت مهندسی مشاور افراز نقشه آریا، (1390)، گزارش رفتارسنجی زمین لغزش نُقل، ص 33.
- کیامهر، ر.، (1388)، "مانیتورینگ رانش زمین از طریق شبکه‌های کنترل جابه‌جایی"، عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان. ص 11.
- Cornforth, 2005 "Landslides in Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/Preventative Options in Soils", ISBN: 978-0-471-67816-8, 624 pages, April 2005.
- Klimeš J, 2012 "Geomorphology and natural hazards of the selected glacial valleys, Cordillera Blanca, Peru. Acta Univ Carol Geogr 47:25-31.
- Vilímek V, Emmer A, Huggel C, Schaub Y, Würmli S, 2014 "Database of glacial lake Outburst floods" (GLOFs)—IPL Project No. 179. Landslides 11(1):161-165.
- نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت مالی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان به جهت اجرای طرح پژوهشی با عنوان: رفتارسنجی و پایدارسازی زمین لغزش براساس برداشت‌های نقشه‌برداری زمینی و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی زمین لغزش نقل در منطقه پادانای سمیرم) و مطالعه حاضر تشکر و قدردانی نمایند. همچنین از معاونت اداره آبخیزداری و منابع طبیعی استان اصفهان بابت در اختیار قرار دادن نتایج آزمایشگاهی و داده‌های نقشه‌برداری مرتبط با طرح، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

محافظه کارانه می‌باشد. با توجه به اینکه سطح لغزش در لایه دوم قرار گرفته که ناشی از هوازدگی مارن‌ها و آهک‌های مارنی است، لذا مقدار زاویه اصطکاک داخلی لایه اول تأثیری بر میزان پایداری توده لغزشی نخواهد گذاشت. دلیل این امر پایین‌تر بودن سطح لغزش نسبت به لایه اول می‌باشد.

مطالعات و تحلیل‌های انجام شده بر روی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مؤثرترین روش جهت دستیابی به شیبی پایدار، زهکشی عمقی و جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به داخل دامنه شیب می‌باشد (نمودارهای شماره 2 و 3). اشباع شدن مصالح دامنه به‌خصوص مصالح مارنی، باعث کاهش پارامترهای مقاومت مکانیکی خاک شده و ناپایداری را به دنبال خواهد داشت. جهت زهکشی عمقی یک سری گمانه‌های مایل با شیب نزدیک به سطح افق و در جهت مخالف دامنه پیشنهاد گردید. برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی، پرکردن شکاف‌های موجود در شیب و همچنین تغییر در محل‌هایی از توپوگرافی که به علت شکل خاص حالت فرو رفته داشته و باعث جمع شدن آب در آن نواحی می‌گردد، به‌عنوان راه حل توصیه می‌گردد.

از دیگر توصیه‌هایی که به پایداری شیب از طریق جذب آب‌ها و رطوبت سطحی کمک می‌کند می‌توان به کاشت درخت و جلوگیری از کاهش پوشش گیاهی به علت چرای دام و دیگر عوامل اشاره نمود. با توجه به وجود کانال در پای شیب، توصیه می‌گردد که در صورت امکان مسیر کانال تغییر یافته و در غیر این صورت به منظور جلوگیری از نشست آب و اشباع شدن مصالح زیر آن، دیواره کانال توسط مصالح مناسب از جمله ژئوممبران آب‌بند گردند (تصویر شماره 11). به جهت وجود رودخانه در پایین شیب و امکان شسته شدن پنجه شیب توسط جریان آب، طرح ساماندهی مسیر رودخانه توسط اجرای دیوار گابیونی