Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

رفتارسنجی و پایدارسازی زمین لغزش براساس برداشت‌های نقشه برداری و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی: زمین لغزش نُقُل در منطقه پادنای سمیرم)

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

تاریخ دریافت مقاله: 1394/11/17
تاریخ پذیرش مقاله: 1396/05/17

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 نُقُل در بخش پادنای منطقه سمیرم و مشرف بر رودخانه لای سرخ از سر شاخه‌های 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 نُقُل به عنوان یکی از زمین لغزش‌های فعال و تأثیرگذار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به‌منظور بررسی و کنترل حرکات زمین لغزش نُقُل، 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، نُقُل، 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.
**** کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی مهندسی.

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

مقدمه

زمین لغزش نُقُل در فاصله 300 کیلومتری جنوب شهراصفهان در شهرستان سمیرم و طول جغرافیایی ″10 ′39 °51 و عرض جغرافیایی ″ 39 ′52 °30 رخ داده است. دسترسی به منطقه مورد نظر از طریق جاده آسفالته سمیرم-حنا-کیفته-نُقُل امکان‌پذیراست. منطقه پادنا 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 می‌باشد 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 رانش‌های گزارش شده از نقاط مختلف کشور نموده است. در این راستا، برای هر رانش زمین شناسنامه‌ای تهیه شده و نتایج در بانک اطلاعاتی ویژه‌ای ذخیره می‌گردد. در صورت ایجاد ارتباط بانک اطلاعاتی فوق با موقعیت جغرافیایی هر رانش، می‌توان نتایج مطلوبی را از طرح بدست آورد (Vilímek et al. 2014). بدیهی است انجام مطالعات پایه‌ای نظیر تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی رانش زمین در کل کشور از طریق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information Systems; GIS) می‌تواند نقش مؤثری را در رابطه با مدیریت این پدیده در کشور داشته باشد. استفاده از سیستم‌های مختلف رفتار سنجی در بررسی حرکات زمین لغزش‌ها و برآورد میزان جابه‌جایی توده‌های لغزشی تا کنون در کشورهایی همچون ایتالیا، ژاپن و آمریکا، بیشتر از سایر کشورها مورد توجه قرار گرفته است(Klimeš 2012). سیستم‌های رفتار سنجی مجموعه ابزارهایی جهت تعیین نوع و چگونگی حرکت لغزش می‌باشند(کیامهر 1388).

پدیده رانش زمین برخلاف سایر پدیده‌ها، زمانی حساسیت لازم را برای مطالعه پیدا می‌کند که مقدار جابه‌جایی نسبی نقاط تحت رانش زمین در حد قابل توجه بوده، به‌نحوی که احتمال خسارت‌های مالی و جانی پیش‌بینی گردد. به‌عبارت دیگر، قدرت آشکارسازی مورد نیاز (تلورانس) در رفتارسنجی شبکه‌های کنترل رانش و کلیه طرح‌های با ساختمان خاکی نظیر سدهای خاکی و...، در حد دسیمتر است (باقری 1383). در این تحقیق، رفتارسنجی زمین لغزش نُقُل با استفاده از شبکه‌های ماهواره‌ای و جی‌پی‌اس(GPS) دو فرکانسه انجام شده است. رفتارسنجی زمین لغزش نُقُل با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر حرکت توده لغزشی می‌باشد. در نتیجه می‌توان با تحلیل داده‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، به روشی جهت پایدارسازی و کنترل زمین لغزش دست یافت. این پژوهش، حاصل بررسی‌های صحرایی و جمع‌آوری اطلاعات موجود در رابطه با خصوصیات ژئومورفولوژیکی زمین لغزش نُقُل می‌باشد. به‌منظور بررسی علل اصلی زمین لغزش و ارائه راهکار جهت مقابله با این پدیده، بر روی مقاطع مختلف توده مورد مطالعه، تحلیل‌هایی صورت گرفت. در نهایت، روش مناسب جهت پایدارسازی ارائه شد.

زمین‌شناسی و ساختار زمین لغزش

زمین لغزش نُقُل دارای یک حرکت توده‌ای و حجمی است. مواد جابه‌جا شده در زمین لغزش نُقُل از نوع واریزه(خاک‌های درشت دانه) است. براساس مطالعات ژئوالکتریک و حفاری‌های انجام شده، عمق زمین لغزش در بخش‌های مختلف، متفاوت بوده و حداکثر به 15 متر می‌رسد. در ادامه، خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی منطقه لغزشی تشریح خواهد شد.

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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.

سازند بختیاری

زمین لغزش نُقُل 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 نُقُل دارد. در محدوده لغزشی نُقُل میزان سیمان شدگی و تراکم لایه‌های کنگلومرایی پایین بوده و به‌علت گسلش و هوازدگی مصالح، از میزان مقاومت و پایداری لایه‌ها تا حد زیادی کاسته شده است (تصویر شماره 2).

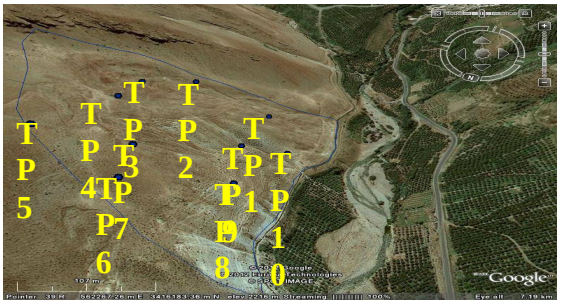
مطالعات ژئوتکنیک

مطالعات ژئوتکنیک زمین لغزش نُقُل 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.

مطالعات صحرایی توده لغزشی نُقُل 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 گرفت. آزمون‌های آزمایشگاهی نیز دربازه زمانی فوق توسط آزمایشگاه‌های همکار و آزمایشگاه فنی ومکانیک خاک راه و ترابری انجام شد (شرکت مهندسین 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).

ت 2. سازند بختیاری و مصالح لغزش.



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

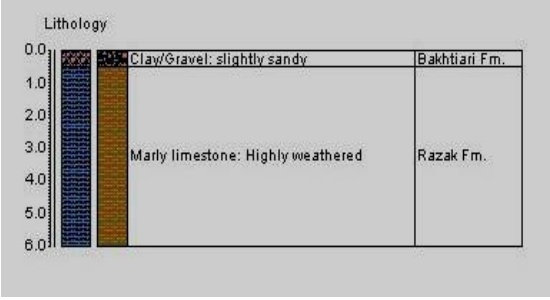
Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

جنس رسوبات

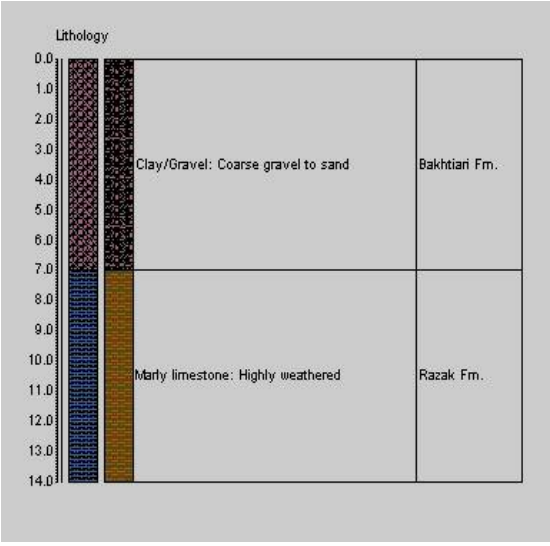
براساس جنس و ترکیب لیتولوژی لایه‌ها می توان جنس مصالح توده لغزشی را به دو گروه متفاوت تقسیم کرد:

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). براساس بررسی‌های انجام شده بر روی لاگ چاه‌های دستی، عمق خاک‌های گروه 1 در گمانه های 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 مهندسین 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

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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 (γd) 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 آزمایشات برش مستقیم در رطوبت طبیعی انجام شده است. ابعاد قالب برای نمونه‌های بازسازی شده 15.3*30*30 سانتیمتر می‌باشد و برای نمونه‌های دست نخورده 20*40*40 سانتیمتر بوده است. با توجه به هوازدگی لایه اول مقادیر زاویه اصطکاک داخلی خاک، پایین‌تر حد معمول برای این نوع از خاک‌ها به دست آمده است.

ردیف	ویژگی نوع خاک غالب	میانگین درصد رطوبت(٪)	میانگین دانسیته طبیعی (gr/Cm^2)	میانگین چگالی خاک (gr/Cm^2)
1	(GCدانه‌ای ناشی از هوازدگی کنگلومرا)	5 -7	05/2	66/2
2	(SC,SMدانه‌ای با هوازدگی مارن‌ها)	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 (Kg/Cm^2)	اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی (Kg/Cm^2)	اصطکاک داخلی(درجه)
1	دانه درشت ناشی از هوا زدگی کنگلومرا (GC)	تند	1/93	0/01	31	-	-
			1/92	0/09	30		
			1/91	0/07	30		
		کند	1/93	0/16	26		
			1/92	0/14	27		
2	دانه درشت ناشی از هوازدگی مارن‌ها (SC,SM)	تند	1/78	0/14	24	0/16	26
			1/76	0/12	25		
			1/73	0/11	26		
		کند	1/78	0/20	23		
			1/75	0/19	24		

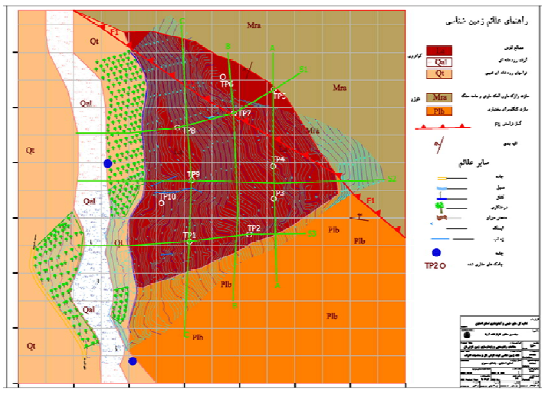
ج 2. بررسی آماری پارامترهای برشی خاک.

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 صحرایی، جنس مصالح لغزش ترکیبی از خاک‌های به شدت هوازده و درشت دانه و میان لایه‌های مارنی و آهک مارنی است. نمونه‌های صحرایی برداشت شده از منطقه نشان داد که لایه‌های هوازده 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 می کنند، عامل بعدی زمین لغزش و حرکت دامنه‌ای نُقُل می‌باشد (تصویر شماره 8).

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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



ت 7. نقشه زمین‌شناسی و راستای مقاطع زمین‌شناسی.

ت 8. جنس رسوبات در چاه شماره TP9.

یکی از گسل‌های موجود در منطقه که به‌نظر می‌رسد در بوجود آمدن زمین لغزش نُقُل نقش داشته، 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 به‌صورت S56°E,37°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 دوطرف سطح شده است. شیب لایه‌ها در فرا دیواره به‌صورت N74°E,70° و در فرودیواره N83°E,44° می‌باشد.

مقاطع زمین‌شناسی از توده لغزشی نُقُل

به‌منظور انجام تحلیل‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی، بایستی تغییرات لایه‌بندی و هندسه لغزش نسبت به عمق رسم گردد. به‌منظور درک بهتر از وضعیت زمین‌شناسی و مکانیزم لغزش، نمونه‌ای از مقاطع تهیه شده برای زمین لغزش نُقُل در تصویر شماره 8 ارائه شده است. بر این اساس، عمق لغزش به ضخامت واریزه‌های ناشی از هوازدگی رسوبات کنگلومرای بختیاری 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 مهندسین 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 نُقُل استفاده شده است. برای رفتارسنجی زمین لغزش از سیستم تعیین‌موقعیت جهانی جی پی اس (GPS) به‌صورت استاتیک استفاده گردید.

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

مراحل اندازه‌گیری شامل سه مرحل مجزا می‌باشد. براساس اندازه گیری‌های 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

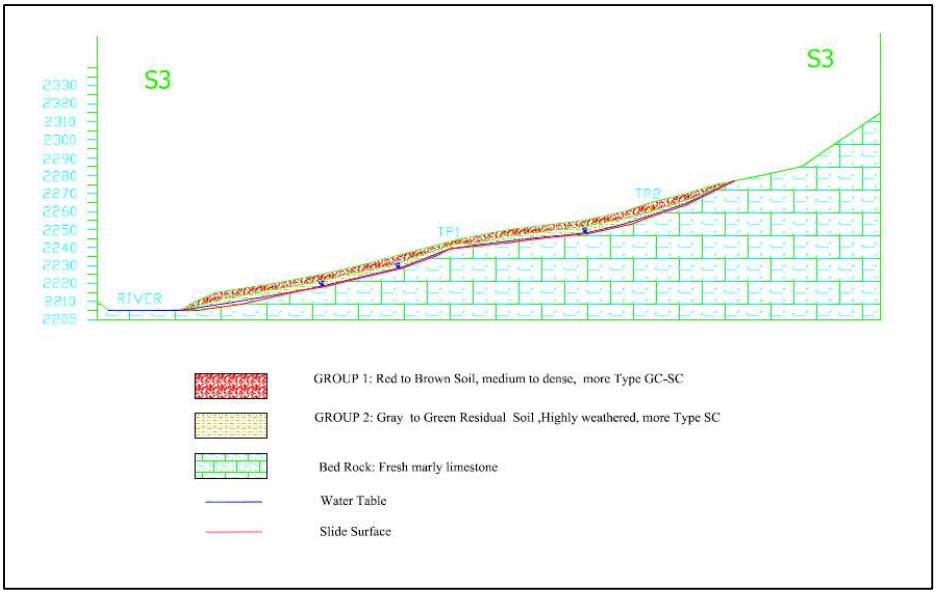
نقاط اصلی، خارج از منطقه زمین لغزش انتخاب شدند. در این پروژه نامگذاری BM برای نقاط خارج از منطقه استفاده شده است. بدین ترتیب نقاط BM1,BM2,BM3,BM4 به‌عنوان نقاط اصلی انتخاب شدند. این نقاط نیز به‌صورت مطلق ثابت فرض نشده‌اند، بلکه در روند کشف نقاط پایدار، ثبات آن‌ها مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. نقاط مرجع تقریباً در شرق و غرب نقاط مشاهداتی (شاهد) قرار دارند. در مورد اتصال به شبکه سراسری، از نقطه GPS-250.003 در فاصله حدود 24 کیلومتری از منطقه استفاده شده است (شرکت مهندسین مشاور افراز نقشه آریا 1390).

شبکه نقاط نشانه روی محدوده زمین لغزش

شبکه ماهواره‌ای نقاط شاهد (نشانه روی) منطقه زمین لغزشی، شامل 28 نقطه می‌باشد که باتوجه 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.

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

نام دستگاه	نام کارخانه	دقت اسمی	متعلقات
SYSTEM1230 LEICA GX1230GG	LEICA	5 mm+0.5 ppmدقت مسطحاتی: *10 mm + 0.5 ppmدقت ارتفاعی:	LEIAX1202GG آنتن‌ژئودتیک ، اطلاعات، باطری‌ذخیره‌کارت

ج 3. مشخصات دستگاه اندازه‌گیری مورد استفاده در مشاهدات شبکه‌های ماهواره‌ای GPS.

نتایج برداشت‌های متوالی نقشه‌برداری و رفتارسنجی

نتایج ارائه شده بیانگر جابه‌جایی معنادار زمین لغزش نُقُل می‌باشد. این جابه‌جایی‌ها در مؤلفه‌های مسطحاتی بیشتر می‌باشد. بزرگترین جابه‌جایی در نقاط MP8، MP10 و MP16 است که میزان جابه‌جایی مسطحاتی آن‌ها حدود 1 تا 2 متر می‌باشد. جابه‌جایی مسطحاتی منطقه بیشتر به سمت غرب می‌باشد. در مرحله سوم، نقطه MP16 همچنان جابه‌جایی قابل توجهی را نشان می‌دهد (تصاویر شماره 9 و 10).

وجود سطوح لغزشی کوچکتر در لایه اول باعث می‌شود که برخی از نقاط، جابه‌جایی بیستری نسبت به سایر نقاط داشته باشند. جابه‌جایی نقطه MP16 به‌دلیل قرار گرفتن بر روی یکی از این سطوح لغزشی مقادیر بیشتری نسبت به سایر نقاط دارد (تصویر شماره 11).

تحلیل پایداری توده لغزشی نُقُل

به‌طور کلی براساس نتایج حاصل از حفاری چاهک‌ها و پیمایش‌های صحرایی، خاک‌های موجود در محدوده توده لغزشی به دو بخش تقسیم می‌شوند که در بخش کاوش‌های زیر سطحی توضیح داده شد. در این پژوهش، بر مبنای آزمایشات ژئوتکنیک، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل‌های عددی فراهم گردید. نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی به شرح زیر می‌باشند:

تحلیل پایداری در شرایط خشک

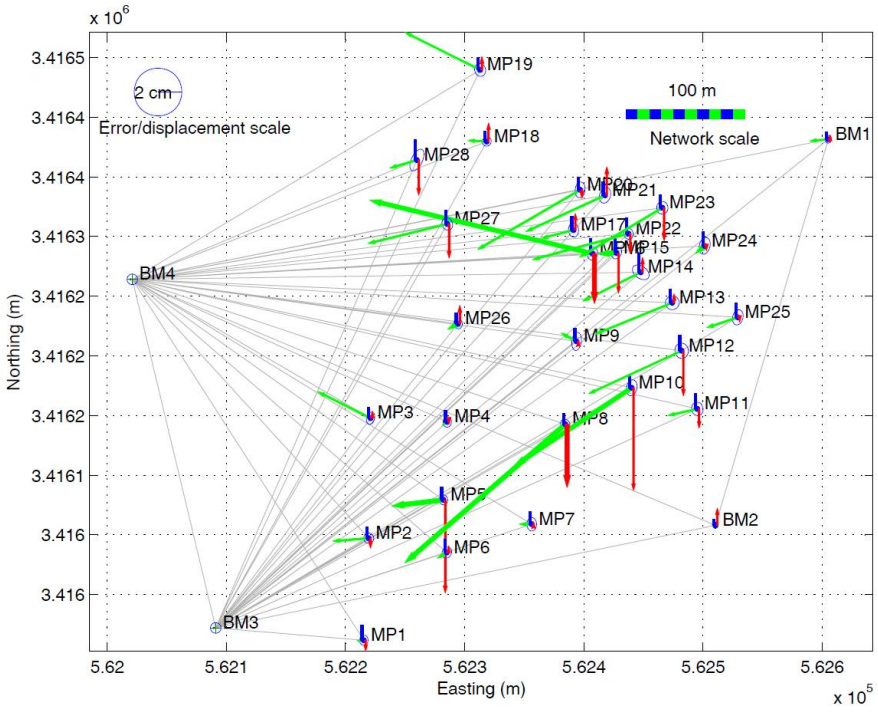
براساس وضعیت موجود، شیب مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار Geoslope مورد تحلیل قرار گرفت. ضرایب اطمینان بدست آمده در نمودارهای شماره 2 و 3 ارائه گردیده است.براساس مقادیر ارائه شده در مراجع معتبر از جمله کورنفورس(Cornforth 2005) و با توجه به جدول شماره 4، توده لغزشی نُقُل با دارا بودن حدود 11 هکتار مساحت (معادل 110.000 متر مربع) در رده بزرگ(Large) قرار می‌گیرد. مطابق جدول شماره 5 که برگرفته از کتاب کورنفورس(Cornforth 2005) است، ضریب اطمینان حداقل برای چنین توده لغزشی برابر با 1/3 می‌باشد. آنالیزهای صورت گرفته نیز مؤید این مسئله بوده و نشان می‌دهند که در شرایط فعلی ضرایب اطمینان در محدوده مجاز می‌باشند.

تحلیل پایداری شیب در حالت بالا آمدن آب زیرزمینی

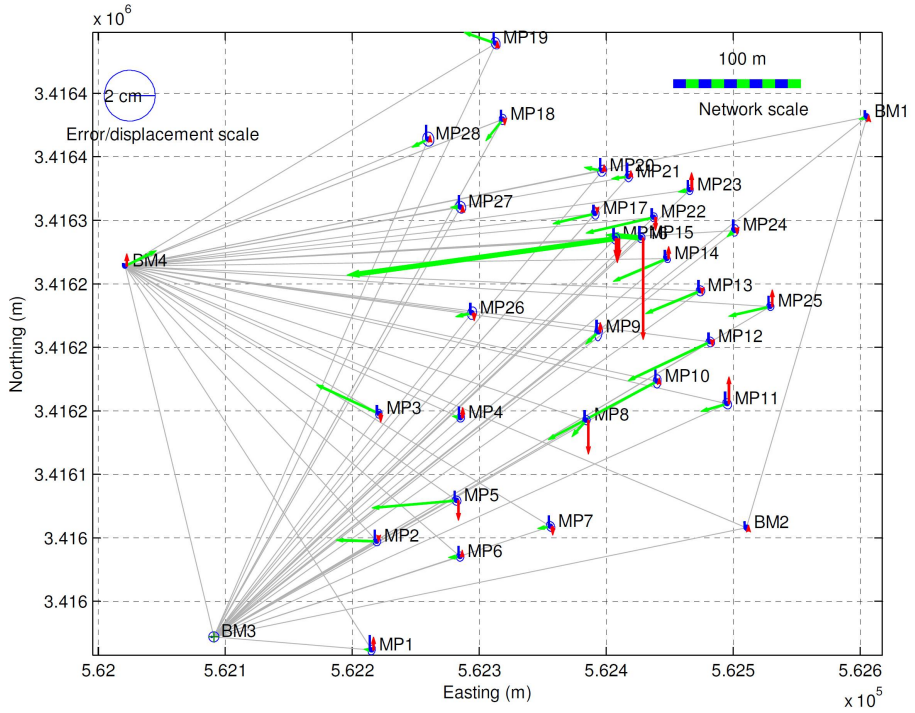
با توجه به زیاد بودن میزان بارندگی در منطقه، درصورتی‌که در هنگام وقوع بارندگی و یا به هر دلیلی سطح آب زیرزمینی به اندازه 2 تا 3 متر بالا بیاید، ضریب اطمینان پایداری توده فوق از حداقل آن کمتر شده و توده فوق به سمت ناپایداری حرکت می‌کند. نمودارهای شماره 4 و 5 نتایج این تحلیل‌ها را نشان می‌دهند.

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

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019



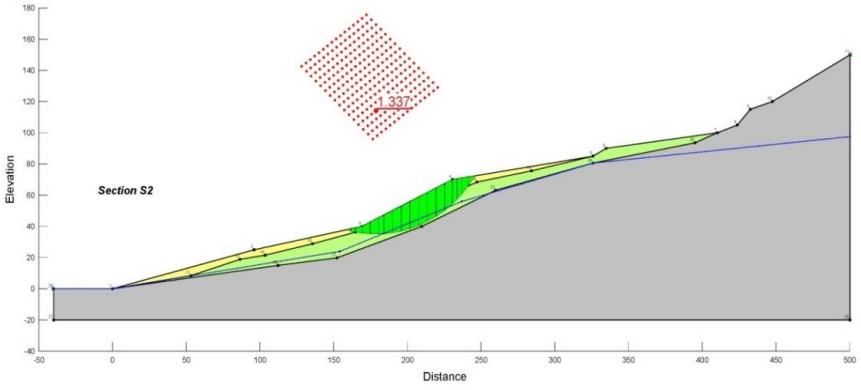
ت **9.** جابه‌جایی‌های گرافیکی مسطحاتی وارتفاعی نقاط کنترل و شاهد (منطقه نُقُل – بین مرحله اول و دوم).



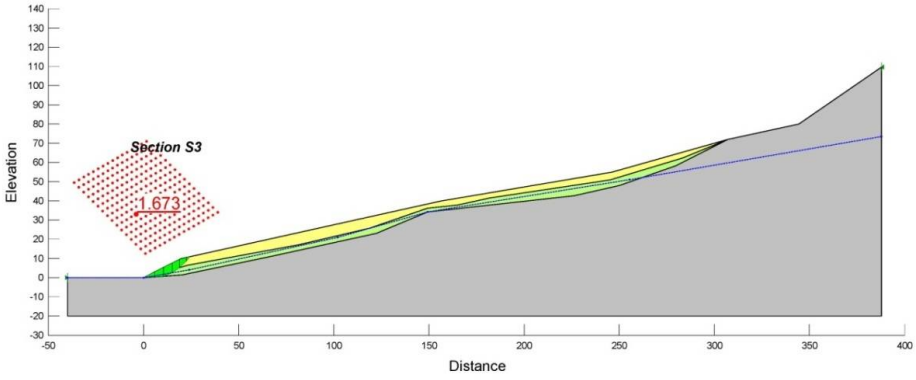
ت **10.** جابه‌جایی‌های گرافیکی مسطحاتی و ارتفاعی نقاط کنترل و شاهد (منطقه نُقُل – بین مرحله دوم و سوم).

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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**.

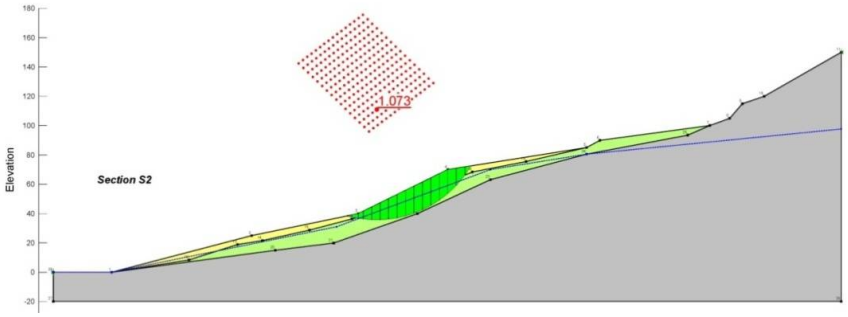
Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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

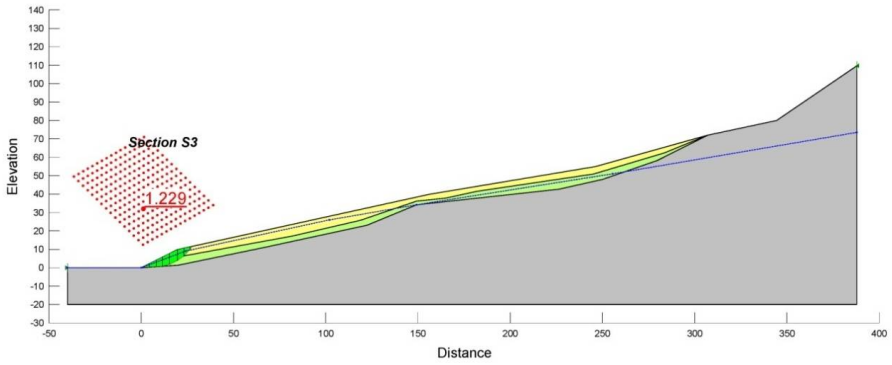
ج 4. طبقه بندی توده‌های لغزشی براساس مساحت توده در پلان.

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



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



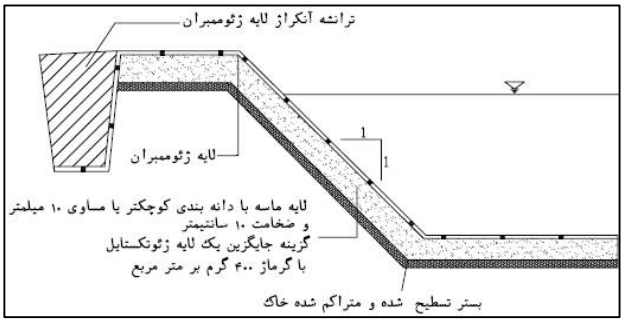
ن 5. نتایج تحلیل پایداری در حالت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی درمقطع S3.

راهکارهای تثبیت

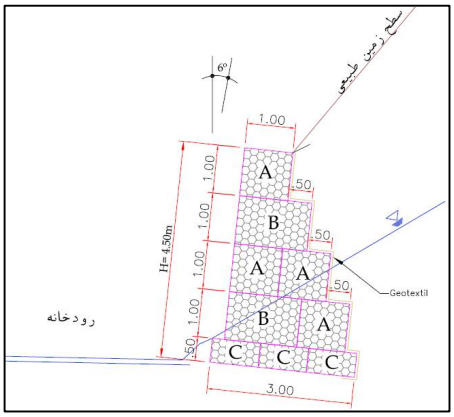
برخی از راهکارهای تثبیت جهت پایدارسازی

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

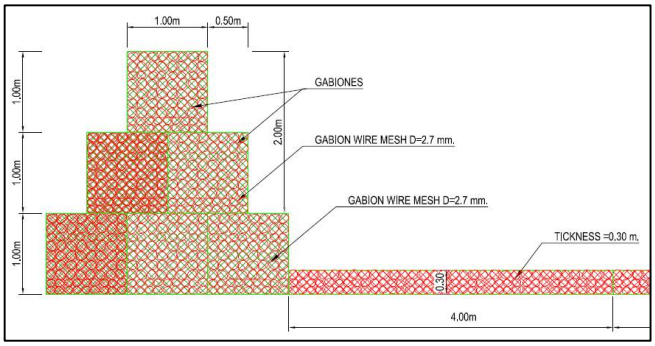
Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019



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



ت 13. جزییات اجرای دیوار گابیونی در حاشیه رودخانه.



ت 14. جزییات اجرای بند رسوبگیر گابیونی.

نتیجه

بررسی‌های انجام شده بر روی زمین لغزش نُقُل نشان داد که این زمین لغزش یک توده فعال و در حال حرکت می‌باشد و مهمترین عوامل محرک آن شیب تند توپوگرافی، وزن توده، جنس و هوازدگی رسوبات و وجود آب‌های سطحی و زیرسطحی می‌باشد (تصاویر شماره 6 و 7).براساس نتایج مطالعات ژئوتکنیک میزان زاویه اصطکاک داخلی لایه اول (خاک حاصل از هوازدگی کنگلومرا در کلاس GC) حداکثر 31 درجه به دست آمده است که این مقدار با در نظر گرفتن شرایط بازسازی نمونه‌ها (حذف ذرات باقیمانده بر روی الک 4 اینچ و دستخوردگی خاک) کمی

Downloaded from jhre.ir at 9:58 +0330 on Tuesday January 8th 2019

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 تخواهد 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 به‌دنبال خواهد داشت. جهت زهکشی عمقی یک سری گمانه‌های مایل با شیب نزدیک به سطح افق و درجهت مخالف دامنه پیشنهاد گردید. برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی، پرکردن شکاف‌های موجود در شیب و همچنین تغییر در محل‌هایی از توپوگرافی که به‌علت 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 این‌صورت به‌منظور جلوگیری از نشت 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 شسته‌شدن پنجه شیب توسط جریان آب، طرح ساماندهی مسیر رودخانه توسط اجرای دیوار گابیونی 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 به‌دلیل 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 شماره12).

فهرست منابع

- باقری، ک. (1383)، "رفتارسنجی وارائه روش‌های پایدارسازی زمین لغزش مبارک آباد"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف 22-24 اردیبهشت، ص 8.
- شرکت مهندسین مشاور افراز نقشه آریا. (1390)، گزارش ژئوتکنیک زمین لغزش ُنقُل ، ص 59.
- شرکت مهندسین مشاور افراز نقشه آریا. (1390)، گزارش هواشناسی حوضه ُنقُل ، ص 45.
- شرکت مهندسین مشاور افراز نقشه آریا. (1390)، گزارش رفتارسنجی زمین لغزش ُنقُل ، 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. ActaUniv Carol Geogr 47:25–31.
- Vilímek V, Emmer A, Huggel C, Schaub Y, WürmliS, 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 پادنای 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.