



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۳۹۹، سال چهارم، شماره ۱۶

10.22077/JT.2021.4135.1107

## کاربرد روش های ترکیبی زمین شناسی و مهندسی در شناسایی و ارزیابی رفتار زمین لغزش (مطالعه موردی: زمین لغزش هاوانان، جنوب بیرجند، خراسان جنوبی)

حسین نوفرستی\*<sup>۱</sup>، محمودرضا هیهات<sup>۲</sup>، مجتبی محمدی<sup>۳</sup>، محمد اقبال دهواری<sup>۴</sup>

- ۱- استادیار گروه معدن دانشگاه بیرجند hnofersty@birjand.ac.ir  
۲- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه بیرجند mhayhat@birjand.ac.ir  
۳- شرکت پارس کاواک، بیرجند mohamadi.s.mojtaba@gmail.com  
۴- مشارکت اوپول- فلار سروان، سد ماشکید سفلی dehvari.e@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

### چکیده

زمین لغزش یک پدیده طبیعی است که سبب فرسایش شدید سطح زمین می شود و در صورت رخداد در مناطق مسکونی ممکن است خطرات مالی و انسانی بیار آورد. زمین لغزش هاوانان در کوه های جنوب بیرجند رخ داده است. وضعیت لیتولوژی، توپوگرافی و ساختمانی منطقه به نحوی است که در فصول بارندگی مقدمات تکرار لغزش فراهم هست. در اثر حرکت خزشی مواد به طرف پایین، بافت قدیم روستای هاوانان در حال تخریب تدریجی است و مزارع آن بدلیل قرارگرفتن در حاشیه دره در حال از بین رفتن است. در این مقاله با استفاده از مطالعات زمین شناسی، ژئوالکتریک، لرزه خیزی و نقشه برداری منطقه، به بررسی وضعیت سطحی و زیر سطحی زمین پرداخته شده است. با توجه به شواهد موجود در محل، زمین لغزش هاوانان از نوع لغزش انتقالی بزرگ است. اگر چه حرکت اصلی توده بصورت لغزش صفحه ای است ولی وجود پرتگاه های متعدد در بخش های خاکی زمین لغزش حاکی از بروز لغزش های دورانی بصورت موضعی نیز هست. نتایج مطالعه ژئوالکتریک منطقه نشان داد که ضخامت سنگ هوازده و زمین لغزش بین ۱۰ تا ۳۰ متر و جنس سنگ کف، سنگ سالم و اولترامافیک است. با توجه به دو مرحله برداشت نقشه برداری انجام شده در محل، مشخص شد که توده لغزشی به طور میانگین ۲۳ میلیمتر در سال جابجا می شود. همچنین بروز ترک های جدید در دیوار منازل و صداهای شنیده شده ناشی از حرکت سنگ ها بیانگر فعال بودن زمین لغزش هاوانان و حرکت آرام خزشی آن است.

واژه های کلیدی: زمین لغزش، روستای هاوانان، ژئوالکتریک



# **Application of Combined Geological and Engineering Methods in Identifying and Evaluating Landslide Behaviour (Case Study: Havanan Landslide, South of Birjand, South Khorasan)**

**H Noferesti, MR Heyhat, M Mohammadi, ME Dehviri**

1- Assitant Professor, Mining Engineering Department, University of Birjand

2- Associate Professor, Department of Geology, Univerity of Birjand

3- pars Kavak Company, Birjand

4- Evyol- Flar Partnership, Lower Mashkid Dam Project, Saravan

## **Abstract**

Landslide is a natural phenomenon that causes severe erosion of the earth's surface and may cause financial and human risks. The Havanan landslide has occurred in the mountains south of Birjand. The lithological, topographic and structural conditions of the area are such that, in the rainy season the conditions for reactivation of the landslide are provided. Due to the creeping movement of materials downwards, the old portion of the Havanan village is gradually being destroyed, and its fields are being damaged due to being located at the edge of the valley. In this paper, using geological, geoelectric, seismic and area mapping studies, the surface and subsurface conditions of the earth have been studied. According to local evidence, the Havanan landslide is a large transitional landslide. Although the main motion is a plane slip, the presence of several flat areas in the region indicates the occurrence of local rotational slides. The geoelectric study showed that the sliding mass thickness is between 10 to 30 meters, and the base rock is a sound ultramafic. According to the two stages of on-site mapping, the sliding mass moves an average of 23 mm per year. Also, the appearance of new cracks in the walls of houses, and the sounds heard occasionally, indicate the slow creep movement of the sliding mass.

Keywords: landslide, Havanan village, geoelectric

## ۱- مقدمه

همکاران (۱۳۹۶)، زندی و همکاران (۱۳۹۷)، ویسکرمی و نوفرستی (۱۳۹۷)، نوفرستی و همکاران (۱۳۹۸) اشاره نمود. در مجموع با توجه به نتایج این تحقیقات آب، لیتولوژی، شیب و کاربری اراضی به عنوان موثرترین عوامل در رخداد زمین لغزش در محدوده‌های مورد بررسی شناسایی شدند. همچنین راه کارهایی نظیر کاهش تراکم ساختمانی و جمعیتی، ایجاد کمربند سبز، رعایت حریم و استفاده از سازه‌های پایدار و مهندسی در محدوده‌های پرخطر به منظور کاهش احتمال وقوع مخاطرات زمین لغزش ارائه گردیدند.

روستای هاوانان در بخش مرکزی رشته کوه باقران در جنوب بیرجند واقع شده است و آثار یک زمین لغزش قدیمی در بخشهای مشرف بر روستا بوضوح قابل مشاهده است. خسارت وارده ناشی از لغزش شامل تخریب ۳۵ واحد مسکونی روستایی، ۵ هکتار زمین کشاورزی و یک مورد قنات است که مجموعاً ۴۷۰۰ میلیون ریال بر اساس برآورد سال ۱۳۸۹ بوده است (مهندسی مشاور سامان سدرو، ۱۳۸۹). غلامی و خطیب (۱۳۷۹) بر نقش سه گسل هاوانان، مزار و یوشت در منطقه هاوانان تاکید نمودند. در اثر تقاطع این سه سری گسل واحدهای سنگی (اسپیلیت‌ها، پریدوتیت‌ها و گابروها) متحمل تغییرشکل، جابجایی و چرخش شده‌اند. در نتیجه واحدهای سنگی متفاوت در کنار یا روی همدیگر قرار گرفته‌اند. قرارگیری این مجموعه سنگی بر روی شیب تند سبب ناپایداری دامنه و لغزش بلوک‌های گوه‌ای شکل در منطقه گردیده‌است. برخاستگی زمین ساختی رشته کوه باقران و اعمال تنش‌های دینامیکی ناشی از رخداد زمین لرزه سبب ناپایداری شده‌است (خطیب، ۱۳۷۸). در یک بررسی دیگر، غلامی و محمدی (۱۳۸۱) خصوصیات کانی شناسی و ویژگی‌های ساختاری منطقه را جزو مهمترین عوامل تاثیر گذار تشخیص دادند. تاجبخش و همکاران (۱۳۹۳) ترکیب سنگ شناسی (قرارگیری

زمین لغزش به حرکت رو به پائین مواد دامنه در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص گفته می‌شود. این پدیده انواع گوناگونی دارد که معمولاً شکل سطح لغزش و جنس زمین به عنوان مبنای طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها استفاده می‌شود. واقع شدن بخش‌های زیادی از ایران در مناطق زلزله‌خیز و کوهستانی موجب گردیده است پدیده زمین لغزش سالانه خسارات قابل توجهی به کشور وارد آورد. بر اساس برآوردهای اولیه، صرفنظر از اتلاف منابع طبیعی غیرقابل بازگشت در اثر وقوع زمین لغزش‌ها، سالیانه صدها میلیارد تومان خسارت‌های مالی بر کشور تحمیل می‌شود (پارسایی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه زمین لغزش نسبت به سایر بلایای طبیعی مدیریت پذیرتر است لذا شناخت این پدیده در جهت جلوگیری از خسارات ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار است. حضور آب در پدایش این پدیده الزامی است و عوامل دیگری نظیر زلزله معمولاً رخداد زمین لغزش را تشدید می‌نمایند. در طبیعت نمونه‌های فراوانی از لغزش در مقیاس‌های بزرگ و کوچک وجود دارد که گاهی به طور طبیعی و گاهی به طور مصنوعی در اثر فعالیت‌های انسانی از قبیل سد سازی، جاده سازی و دیگر پروژه‌های عمرانی ایجاد می‌گردد (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶).

در بررسی ناپایداری دامنه‌ها تحقیقات وسیعی به هدف شناسایی مکانیزم، تعیین عوامل موثر در رخداد، یافتن راهکارهای مناسب برای مهار، و پیش بینی وقوع زمین لغزش در مناطق حساس از جمله سدها، جاده‌ها، در نزدیکی شهرها و روستاها صورت گرفته است. از مطالعات انجام شده در ایران می‌توان به مطالعات کمک‌پناه و منتظرالقائم (۱۳۷۷)، باقری مهرورز و ارومیه‌ای (۱۳۸۸)، پارسایی و همکاران (۱۳۸۸)، بهاروند و همکاران (۱۳۸۸)، ناصری و اکبری (۱۳۹۰)، فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، قنبری و همکاران (۱۳۹۶)، پاشا و

این سنگ‌ها در برخی از نقاط سرپانتینی شده و در محل گسل‌ها خردشدگی شدید در آن دیده می‌شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

در اثر اتصال شاخه‌های گسلی وابسته به گسل‌های اصلی منطقه (که به صورت فشاری - برشی چپگرد عمل کرده‌اند) بلوک‌های گسلی در اندازه‌های متفاوت تشکیل شده‌اند. جابجایی و چرخش بلوک‌ها، ایجاد برش و خردشدگی شدید ناشی از تداوم دگر ریختی باعث افزایش سرعت پدیده‌های دگرسانی گردیده است (غلامی و محمدی، ۱۳۸۱).

لیتولوژی منطقه هاوانان شامل: بازالت اسپلیتی، پریدوتیت‌های دگرسان‌شده، گابرو، فیلیت و لیسونیت است.

**بازالت اسپلیتی:** این سنگ‌ها بخش بالایی سکناس پسته اقبانوسی را تشکیل می‌دهند. معمولاً در محل گسل‌های موجود در اسپلیت رخنمونی از لیسونیت‌ها دیده می‌شود که این پدیده بطور خیلی بارز در ناحیه هاوانان مشاهده می‌گردد. عناصر ساختاری در این سنگ‌ها به سادگی قابل برداشت است.

**گابرو:** گابروها در منطقه هاوانان رخنمون بسیار کمی دارند این سنگ‌ها بخاطر داشتن کانی‌های فرومینزین

اسپلیت بر روی سرپانتینیت) و وجود دو سری شکستگی به موازات گسل‌های هاوانان و مزار را مهمترین عوامل ناپایداری به حساب آوردند. شواهد و گزارش‌های محلی نشان می‌دهد که این زمین‌لغزش همچنان فعال است. با توجه به فرارگیری روستای هاوانان در پائین‌دست این زمین‌لغزش و عدم شناسایی کامل محل تا به حال، انجام یک مطالعه دقیق و جامع ضروری است. در این مقاله با استفاده از وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نقشه‌برداری محلی، برداشت ژئوفیزیکی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی نرم‌افزاری به بررسی تقریباً جامع از زمین‌لغزش هاوانان پرداخته شده است.

ساختار این مقاله به شرح زیر است. در بخش دوم، به بررسی موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی محدوده و زمین‌لغزش مورد مطالعه پرداخته شده است. نتایج برداشت‌های نقشه‌برداری و ژئوفیزیکی در بخش سوم ارائه شده است. در بخش چهارم مدل‌سازی زمین‌لغزش مورد بحث قرار گرفته و در نهایت در بخش پنجم، جمع‌بندی نتایج ارائه شده است.

## ۱- زمین‌شناسی منطقه و توصیف زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه

روستای هاوانان در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند واقع شده است و دارای مختصات  $59^{\circ}10'$  طول شرقی و  $32^{\circ}48'$  عرض شمالی می‌باشد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۲۱۵۰ متری می‌باشد. آب و هوای منطقه معتدل و پوشش گیاهی کم است. میانگین بارندگی ۴۰ ساله منطقه ۱۷۷ میلی‌متر است.

کوه‌های جنوب بیرجند مجموعه‌ای افیولیتی است که بخش عمده آن را واحدهای اولترامافیک تشکیل داده‌اند. سنگ‌های این منطقه از سری افیولیتی شامل هارزبورژیت، پریدوتیت، دیاباز و... تشکیل شده است.

دامنه ای پرشیب را به وضوح مشاهده کرد. زمین لغزش هاوانان در واقع حرکت رو به پایین لایه های ضخیم و سست پریدوتیت سرپانتینیزه واقع بروی دامنه ای پرشیب است که با حرکت خود توده های محکم بازالتی را که متکی به این لایه ها بوده اند نیز متأثر کرده و بعضاً باعث حرکت و حتی ریزش آنها شده است. در شکل ۲ تصویر مربوط به زمین لغزش، جهت حرکت و موقعیت روستای هاوانان مشاهده می شود.

## ۲-۱- شواهد زمین لغزش

شواهد متعددی در منطقه وجود دارد که جهت تشخیص نوع و مکانیزم زمین لغزش می تواند استفاده شود.

### لایه های سست پریدوتیت سرپانتینی شده: این

لایه ها که در سطح زمین بطور کامل هوازده شده اند توانایی تحمل شیب های تند را ندارند. شدت دگرسانی به حدی است که بخش بزرگی از منطقه را خاک حاصل از دگرسانی و هوازدهگی مکانیکی و بخش دیگر را قطعات ریز و درشت سنگی تشکیل می دهند.

### ترک های کششی: این ترک ها با راستای عمود بر

جهت حرکت زمین لغزش در واحدهای سالم بازالتی واقع در غرب هاوانان مشاهده می شوند. ضخامت و عمق ترک ها نشان از حرکت رو به پایین بازالت ها، به احتمال زیاد، بر روی پریدوتیت سرپانتینیزه دارد (شکل ۳).

### توده های بازالتی خرد شده: در غرب روستای

هاوانان بعد از حرکت روبه پایین بروی توده های سالم بازالتی به ناگاه پرتگاهی به ارتفاع ۴۰-۳۰ متر مشاهده می شود که حاکی از تغییر شرایط زمین لغزش است (شکل ۲). در پایین دست این پرتگاه حجم عظیمی از قطعات و بلوک های خرد شده بازالتی مشاهده می شود. این مجموعه خرد شده که در گذشته های دور به صورت سالم در ادامه توده های بازالتی بالادست قرار داشته به

دچار دگرسانی شده اند و همراه پریدوتیت های در حال دگرسانی دیده می شوند.

### پریدوتیت ها: در منطقه هاوانان بخش بزرگی از

لیتولوژی را پریدوتیت ها از گونه های هارزبورژیت و به میزان کمی دونیت تشکیل می دهد. در این سنگ ها دگرسانی به شدت بروی بخش های خرد شده آن تأثیر کرده و فلدسپارهای موجود در این سنگ ها به رس تبدیل شده است. همچنین کانی های فرومینزین آن بویژه الیون ها در اثر دگرسانی به سرپانتین تبدیل شده اند.

### فیلیت: این سنگ ها در بخش جنوب شرق هاوانان

رخنمون دارند که حاصل دگرگونی شیل ها در رخساره فیلیت می باشند.

### لیسونیت: لیسونیت ها در امتداد زون گسلش های

موجود در پریدوتیت ها و سنگ های بازیک تشکیل می گردند. رخنمون لیسونیت ها در بخش های شمال شرق و شمال غرب هاوانان مشاهده می شود.

### رخنمون سنگی بالای ۷۵ درصد منطقه را شامل

می شود. مورفولوژی پست شامل واحدهای پریدوتیتی و مورفولوژی مرتفع و خشن متعلق به اسپیلیت ها است. جهت آبراه ها در واحدهای اسپیلیت و افیولیت ها از شکستگی های منطقه پیروی می نماید (مهندسین مشاور سردود، ۱۳۸۹).

### همانطور که اشاره شد، رشته کوه باقران مجموعه ای

افیولیتی به شدت خرد شده است که از واحدهای سنگی شامل پریدوتیت، بازالت اسپیلیتی و... تشکیل یافته است. در بخش های زیادی از این رشته کوه در اثر فعالیتهای تکتونیکی پریدوتیت ها در سطح زمین ظاهر می شود که در تماس با آبهای سطحی به مرور دگرسان شده و تا درجات مختلف سرپانتینی شده اند. از جمله می توان تشکیل سرپانتینیت در شمال غربی روستای هاوانان بروی



نفوذپذیر باعث آبدار شدن و سست شدن بیشتر توده‌های سرپانتینی زیرین در حجم وسیع شده‌است. از دیگر موارد مؤثر در لغزش همسویی شیب و نشیب در بازالت‌ها و واحد آذرآواری است که باعث ایجاد ناپایدارترین حالت ممکن در بین رخنمون‌های سنگی و تسهیل فرایند زمین لغزش شده‌است.

احتمال زیاد در اثر حرکت ناگهانی ناشی از لغزش لایه‌های زیرین تخریب شده‌است. با توجه به شواهد موجود در محل عامل اصلی در سرعت گرفتن زمین لغزش از این نقطه به بعد، وجود یک گسل احتمالی است که پرتگاه اصلی زمین لغزش هاوانان را تشکیل داده‌است. این گسل هم به صورت مستقیم حرکت رو به پایین کل توده را تسهیل کرده است و هم با فراهم آوردن یک منطقه



شکل ۲. نمایی از زمین لغزش، جهت حرکت اصلی و موقعیت روستای هاوانان (نگاه به شمال)





شکل ۳. تصویر یک شکستگی باز شده در بازالت که نشان از حرکت واحدهای زیرین دارد

روستا بازشدگی‌ها متفاوتند. در ناحیه جنوبی روستا میزان بازشدگی‌ها نسبت به بخش میانی آن بیشتر است و رفته رفته به سمت شمال از میزان بازشدگی شکاف‌ها کاسته می‌شود. یک علت احتمالی این است که خانه‌های بخش جنوبی روستا بیشتر در معرض حرکت زمین قرار دارند.



شکل ۴. تختگاه‌های متعدد (نگاه به شمال شرق)

**تخریب مزارع:** یکی دیگر از پیامدهای پدیده زمین لغزش در روستای هاوانان تخریب زمینهای کشاورزی است. بعلاوه اینکه زمینهای کشاورزی این روستا در کناره دره‌های موجود در منطقه قرار دارد مواد

**پرتگاه‌ها و تختگاه‌های متعدد:** علاوه بر پرتگاه اصلی زمین لغزش، در ادامه حرکت به سمت پایین دامنه و در جهتی که به روستای هاوانان منتهی می‌گردد پرتگاه و تختگاه‌های دیگری مشاهده می‌شود (شکل ۴). این پرتگاه‌ها از ابعاد کوچکتری برخوردار بوده و نشان‌دهنده لغزش‌های جزئی درون زمین لغزش اصلی می‌باشند. در امتداد تختگاه‌ها بازشدگی‌های بزرگی دیده می‌شود (شکل ۵) که هنگام بارندگی آب‌های جاری به سرعت از این فضاهای باز شده به بخش‌های زیرین راه پیدا کرده و موجب تشدید دگرسانی کانی‌های فرومیزین شده و کاهش اصطکاک بین لایه‌ای را موجب می‌شود. در بخش‌هایی که متشکل از خاک‌های نرم هستند در اثر نفوذ آب‌های حاصل از بارندگی در امتداد تخت‌گاه‌ها حفراتی به ابعاد مختلف ایجاد شده که به شناسایی امتداد قوس‌ها کمک می‌کند.

**آسیب‌های وارده به منازل مسکونی:** آسیب به منازل مسکونی بیشتر بصورت شکاف در دیوارها قابل مشاهده است. اندازه این شکاف‌ها از پنج میلیمتر تا چند سانتیمتر است (شکل ۶). در قسمت‌های مختلف این



شکل ۷. تصویری از کج شدن درختان در مزارع روستای هاوانان

**قوس لغزش:** بعلت ناهمگن بودن منطقه و اختلاف موقعیت بخش‌های سنگی بوجود آمدن قوس لغزش امری عادی می‌باشد. معمولاً سطوح ضعیفی که در اثر حرکت اولیه ایجاد گشته‌اند دوباره فعال و حرکات بعدی روی این قوس‌ها انجام می‌شود. در اینگونه لغزش‌ها علاوه بر قوس اصلی، قوس‌های کوچکتری در منطقه وجود خواهند داشت که روند آنها مطابق با روند قوس اصلی خواهد بود (شکل ۸). در منطقه مورد مطالعه نیز همین حالت وجود دارد. یعنی علاوه بر قوس اصلی قوس‌های کوچک دیگری وجود دارند. چون حرکت مواد به طرف شمال شرق است در نتیجه قوس‌های ایجاد شده در جهت شمال شرق کشیده شده و روند اینها عمود بر حرکت یعنی شمال غرب-جنوب شرق است.

در مجموع فاکتورهای مؤثر در تشدید زمین لغزش هاوانان عبارتند از: شیب زیاد منطقه در اثر برخاستگی کلی رشته کوه باقران، وجود پهنه‌های گسلی و شکستگیهای وابسته به آن، وجود دره‌های گسلی در اطراف بخش لغزش کننده، حضور آبهای سطحی و زیرزمینی و سستی واحدهای سنگی.

خاکی تحت شیب تند منطقه در حال حرکت به طرف دره‌ها هستند که سبب کج شدن درختان نیز شده است (شکل ۷). جریان آب سطحی نیز مرتباً دیواره دره‌ها را شسته و این حرکت را تشدید می‌نماید. بخشی از زمین‌های کشاورزی که با ریزش به درون دره‌ها مواجه نیستند، در اثر لغزش مواد از قسمت‌های بالاتر پوشیده شده و نمی‌تواند بکار کشاورزی آید.



شکل ۵. حفره‌های موجود در امتداد تختگاه‌ها



شکل ۶. تصویری از شکاف ایجاد شده در دیوار منازل روستای هاوانان



۳۸۵۰۰۰ مترمربع در نظر گرفت. طبق مطالعات ژئوالکتریک که در این منطقه انجام شده است، عمق متوسط زمین لغزش ۲۵ متر برآورد شد. بنابراین حجم توده جابجا شده معادل  $۹۶۲۵۰۰۰$  مترمکعب و وزن آن با فرض وزن حجمی متوسط  $۲/۷ \text{ t/m}^3$  حدود  $۲۵۹۸۷۵۰۰$  تن تقریب زده می شود.

## ۲- برداشت نقشه برداری و ژئوفیزیکی منطقه

### ۳-۱- نقشه برداری محل

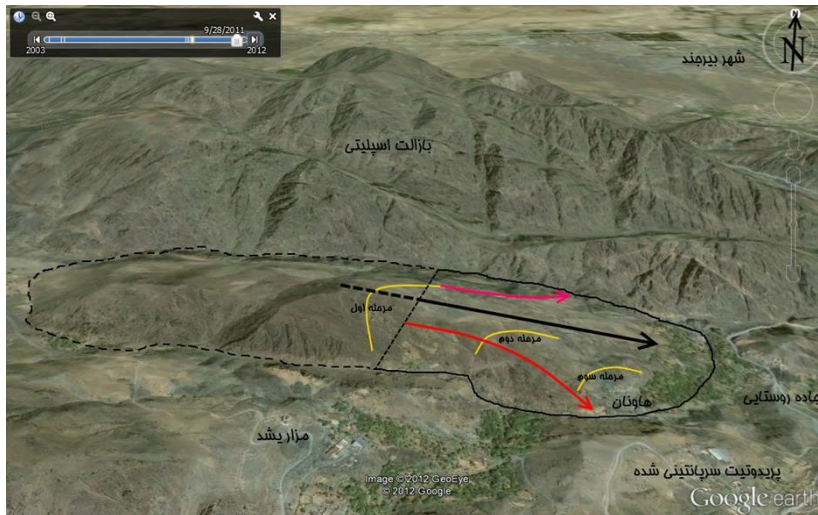
برای اطلاع از وضعیت فعلی زمین لغزش هاوانان، یک عملیات نقشه برداری دو مرحله ای انجام گرفت: مرحله اول در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۱۰ با نصب ۲۰ نقطه بر روی توده گسیخته شده و ۲ نقطه ثابت در خارج از محدوده زمین لغزش برای کنترل حرکات انجام گرفت. مرحله دوم در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۲۳ برای اندازه گیری میزان حرکات نقاط از مرحله اول تا دوم صورت گرفت. نتایج حاصل در شکل ۱۰ و جدول ۱ مشاهده می شود. بطور متوسط ۱۲ میلیمتر جابجایی در عرض ۱۹۵ روز مشاهده شد که معادل تقریبی ۲۳ میلیمتر بر سال است. نکته مهم اینکه با مقایسه شکل های ۸ و ۱۰ مشخص می گردد که حرکت زمین لغزش به سمت روستای هاوانان (فلش قرمز رنگ در شکل ۸) بسیار سریعتر از دیگر جهات در حال انجام است. متوسط حرکت در این جهت ۴۲ میلیمتر در سال برآورد گردید.

با توجه به شواهد فوق زمین لغزش هاوانان یک زمین لغزش انتقالی بزرگ است (شکل ۸) که در طی آن حجم عظیمی از خاک و سنگ بر روی لایه های سست پریدوتیت سرپانتینیزه در حال حرکت به سمت پایین شیب (شمال شرق) هستند.

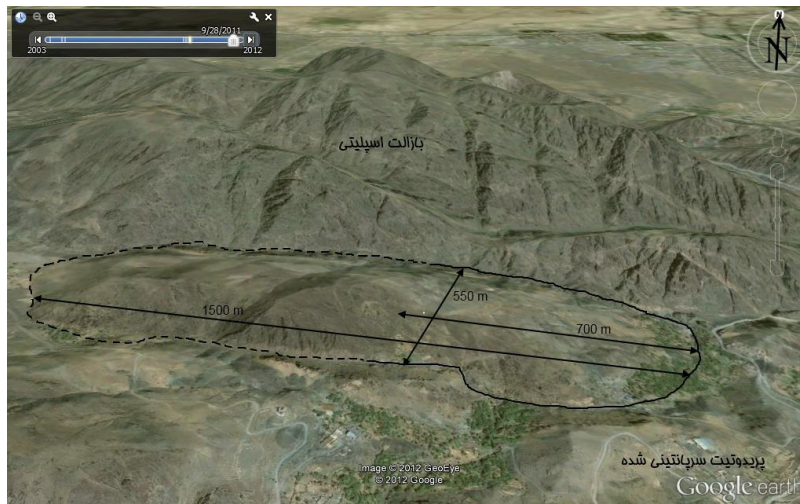
اگر چه زمین لغزش اصلی از نوع انتقالی (صفحه ای) شناسایی شده است ولی وجود پرتگاه های متعدد در بخش های حاکی زمین لغزش حاکی از بروز لغزش های دورانی به صورت موضعی است. در واقع به علت حرکت توده های سست و تجمع آنها در نواحی پایین دست زمین لغزش، چندین لغزش دایره ای یا قوسی شکل درون این توده های سست روی داده است که جهت حرکت زمین لغزش را به صورت موضعی به سمت روستای هاوانان تغییر داده است همین وضعیت را در دره ای که در سمت دیگر زمین لغزش واقع شده در مقیاس کوچکتر می توان مشاهده نمود (شکل ۸).

### ۲-۲- ابعاد زمین لغزش هاوانان: برای تعیین ابعاد

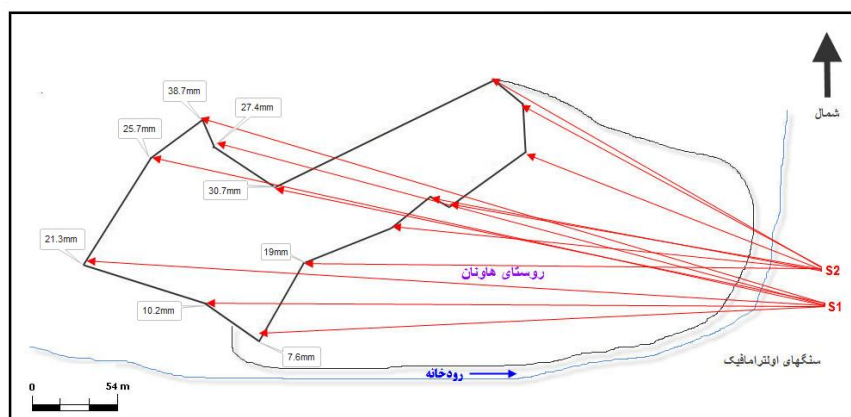
یک زمین لغزش باید پارامترهایی نظیر طول لغزش، پهنای لغزش، مساحت محدوده لغزش کرده و حجم احتمالی مواد جابجا شده را تخمین زد. مطابق شکل ۹، طول احتمالی زمین لغزش ۱۵۰۰ متر و پهنای آن ۵۵۰ متر برآورد می شود. البته طول بخش قطعی زمین لغزش (ناحیه حرکت کرده و خرد شده) معادل ۷۰۰ متر است. بنابراین مساحت محدوده لغزش قطعی را می توان حدوداً



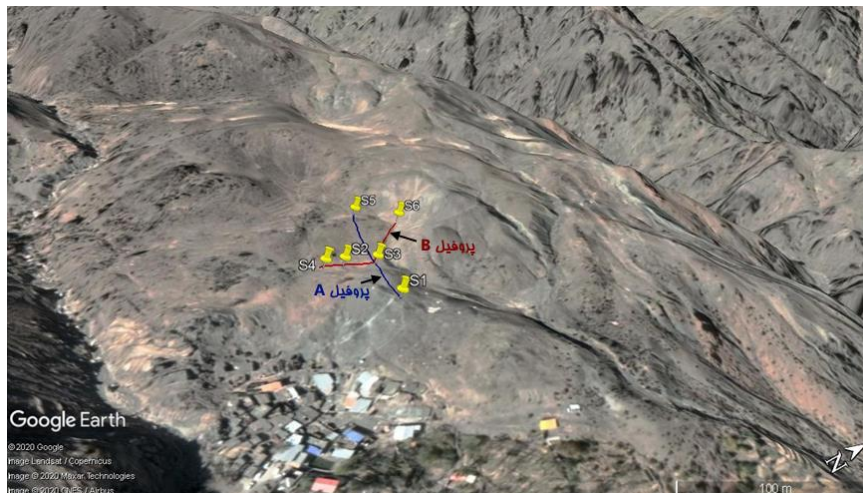
شکل ۸. حرکات اصلی و مراحل زمین لغزش هاوانان (نگاه به شمال)



شکل ۹. ابعاد تقریبی زمین لغزش هاوانان (نگاه به شمال)



شکل ۱۰. موقعیت تقریبی ایستگاه های نقشه برداری



شکل ۱۱. نقشه موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک (نگاه به غرب)

جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری جابجایی در نقاط نقشه‌برداری در بازه تقریبی ۶ ماه

شماره ایستگاه	برداشت در تاریخ 10/10/1390		برداشت در تاریخ 23/04/1391		میزان جابجایی (mm)
	X	Y	X	Y	
1	9783.687045	1068.897546	9783.687045	1068.9742	0.3
2	9765.353964	1053.051533	9765.353964	1053.01533	0.3
3	9765.348962	1053.062121	9765.348960	1053.062121	0.2
4	9752.221469	1059.183228	9752.221469	1059.183224	0.1
5	9727.852045	1038.692293	9727.852045	1038.692296	0.3
6	9668.917733	1015.254579	9668.918421	1015.262312	19
7	9668.922957	1015.255008	9668.921534	1015.262614	18.5
8	9647.985698	1065.837589	9647.984951	1065.809731	30.7
9	9609.043057	1092.607503	9609.093764	1092.353267	27.4
10	9601.282699	1110.7665197	9601.299525	1110.727641	38.7
11	9568.573321	1086.743606	9568.589741	1086.708854	25.7
12	9542.530020	1044.576883	9542.568687	1044.596125	17.8
13	9522.597912	1014.089443	9522.620547	1014.088578	20.7
14	9522.623712	1014.098194	9522.621031	1014.077586	21.3
15	9602.9447985	988.274560	9639.278058	962.704489	10.2
16	9639.269862	962.682998	9639.278045	962.704463	7.6
17	9795.104648	1136.445747	9795.127542	1136.458021	0.8
18	9813.804407	1120.914561	9813.804406	1120.914560	0.2
19	9815.900740	1089.03486	9815.900738	1089.034786	0.3
20	9993.093774	995.182494	9993.093774	195.182494	0.6

استفاده شد. آرایش‌های متنوعی جهت بررسی مطالعات مقاومت ویژه ظاهری وجود دارد. در این مطالعه آرایش شلومبرژه انتخاب گردید. بطور مختصر در این آرایش با زیاد کردن فاصله بین الکترودهای جریان می‌توان عمق

### ۳-۲- مطالعه ساختمان زیرسطحی زمین لغزش به روش ژئوالکتریک:

به منظور تعیین حدود مقاومت ویژه ظاهری لایه‌های آبدار و سنگ کف از روش سونداژ زنی قائم الکتریکی



- سنگ کف دارای مقاومت بین ۲۱۰ تا ۲۴۰ اهم‌متر در سونداژ ۵ و ۳ می‌باشد، که سنگی مقاوم و مقداری دگرسان می‌باشد. در حالی که در سونداژ ۱ مقاومت سنگ کف بیش از ۲۰۰۰ اهم‌متر است که سنگی مقاوم و سالم است.

- تغییر مقاومت بین سونداژ ۱ و ۳ می‌تواند دال بر وجود گسل در این منطقه باشد.

### شبه‌مقطع ژئوالکتریک پروفیل B

شبه‌مقطع ژئوالکتریک پروفیل B در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. در این مقطع نتایج زیر بدست آمده‌است:

- لایه سطحی دارای مقاومتی بین ۵۳ تا ۶۴۰ اهم‌متر می‌باشد. ضخامت این لایه تا ۳ متر می‌رسد.

- سنگ‌های دگرسان شده و سرپانتینی دارای مقاومت ۹۰ تا ۲۴۰ اهم‌متر می‌باشند. در سونداژ ۳ خردشدگی و دگرسانی دیده می‌شود.

- لایه‌ای با مقاومت ۹۰ اهم‌متر در سونداژ ۳ دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل قرارگرفتن بروی سنگ کف مقاوم رطوبت آن بالا باشد اما به درجه اشباع نرسیده است.

- سنگ کف دارای مقاومت بین ۲۱۵ تا ۲۴۰ اهم‌متر در سونداژ ۲ و ۳ می‌باشد، که سنگ مقاوم و مقداری دگرسان می‌باشد. در حالی که در سونداژ ۶ مقاومت سنگ کف بیش از ۱۷۰۰ اهم‌متر است که سنگ مقاوم و سالم است.

نفوذ را افزایش داد. در این مطالعه ۶ سونداژ اندازه‌گیری شده‌است (شکل ۱۱). پروفیل A در راستای سونداژهای S1-S3-S5 و پروفیل B در راستای سونداژهای S2-S4-S6 فرض شده است.

### ۱-۲-۳- تفسیر کیفی داده‌ها:

به منظور تعیین لایه‌های مختلف زمین با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه، نقشه‌های هم‌مقاومت ویژه ظاهری برای اعماق مختلف و شبه‌مقاطع ژئوالکتریک تهیه و تفسیرهای کیفی و کمی با استفاده از آنها انجام شد. مهمترین نتایج بدست آمده به شرح زیر است:

### شبه‌مقطع ژئوالکتریک پروفیل A:

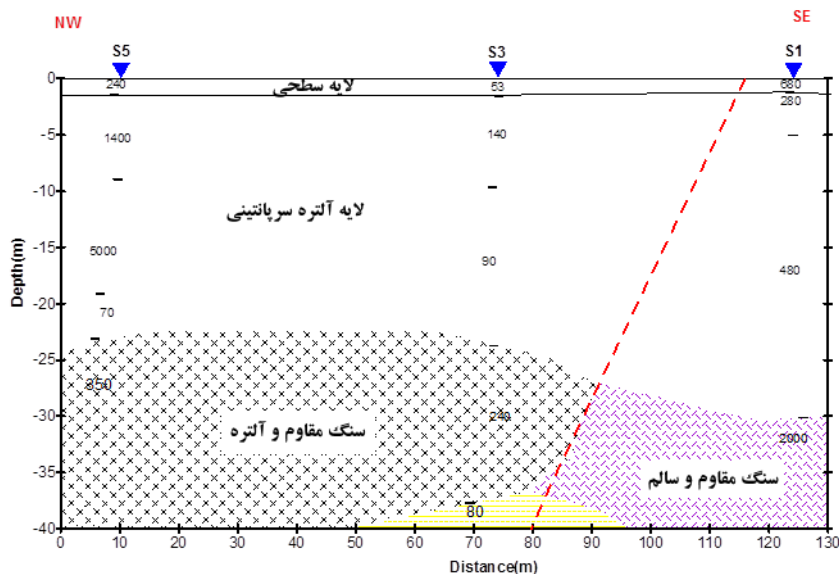
شبه‌مقطع ژئوالکتریک پروفیل A در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. در این مقطع نتایج زیر بدست آمده است:

- لایه سطحی دارای مقاومتی بین ۵۳ تا ۶۸۰ اهم‌متر می‌باشد. ضخامت این لایه تا ۳ متر می‌رسد.

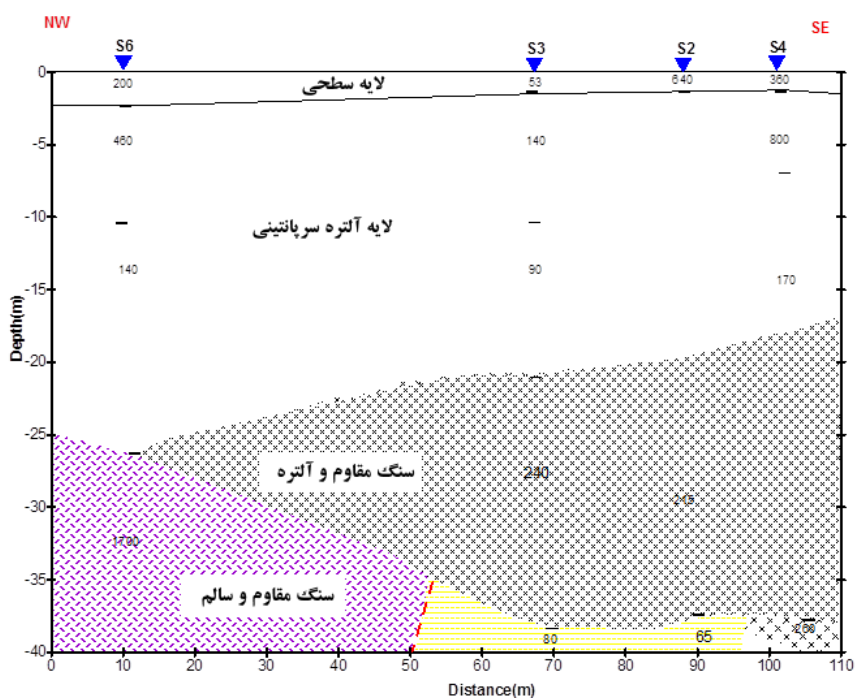
- سنگ‌های دگرسان شده و سرپانتینی دارای مقاومت ۷۰ تا ۱۴۰ اهم‌متر می‌باشند. در سونداژ ۳ خردشدگی و دگرسانی دیده می‌شود.

- لایه‌ای با مقاومت ۷۰ تا ۹۰ اهم‌متر در سونداژ ۵ و ۳ دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل قرارگرفتن بروی سنگ کف مقاوم رطوبت آن بالا باشد اما به درجه اشباع نرسیده است.





شکل ۱۲. شبه مقطع ژئوالکتریک پروفیل A



شکل ۱۳. شبه مقطع ژئوالکتریک پروفیل B

شرح جدول ۲ است. متوسط ضخامت زمین لغزش ۲۳ متر برآورد می شود.

با توجه به مطالعات ژئوالکتریک، زمین شناسی و اطلاعات حاصل از منابع آبی، ضخامت سنگ سست دگرسان شده و زمین لغزش بین ۱۵ تا ۳۰ متر برآورد شد. جنس سنگ کف، سنگ سالم اولترامافیک می باشد. مقدار ضخامت زمین لغزش در سونداژهای مختلف به



## جدول ۲. ضخامت زمین لغزش در سونداژهای

مختلف

شماره سونداژ	مختصات در سیستم UTM		ضخامت زمین لغزش (متر)
	X, m	Y, m	
۱	۷۰۳۶۷۵	۳۶۳۱۷۲۹	۳۰
۲	۷۰۳۶۲۲	۳۶۳۱۷۱۴	۱۹
۳	۷۰۳۶۲۶	۳۶۳۱۷۳۵	۲۳
۴	۷۰۳۶۲۲	۳۶۳۱۷۰۱	۱۷
۵	۷۰۳۵۶۲	۳۶۳۱۷۴۶	۲۳
۶	۷۰۳۵۸۲	۳۶۳۱۷۷۱	۲۷

روش‌ها رفتار تنش - کرنش مصالح را در نظر گرفته و شبیه‌سازی می‌کنند.

در تحقیق حاضر از روش‌های تعادل حدی استفاده شده‌است. در روش‌های تعادل حدی یک سطح گسیختگی دایره‌ای یا غیر دایره‌ای انتخاب و سپس نیروهای محرک و مقاوم به لغزش مقایسه شده و با توجه به شرایط مفروض ضریب اطمینان پایداری محاسبه می‌شود. در چنین شرایطی نیروی محرک لغزش معمولاً شامل نیروی ثقل و نیروی ناشی از فشار آب درون مصالح است. در شرایط زلزله، نیروی ناشی از زلزله و افزایش فشار آب منفذی نیز به عنوان نیروهای محرک لغزش استفاده می‌شوند. نیروهای مقاوم به لغزش شامل مقاومت برشی در سطح لغزش و تاثیر ابزار پایداری‌سازی شیروانی است. از جمله روش‌های رایج تعادل حدی، روش‌های فلیوس، بیشاپ، جانبو، اسپنسر و مورگان اشترن - پرایس هستند.

برای بررسی و تحلیل پایداری شیب‌های طبیعی در برابر بارهای لرزه‌ای، روش‌های مختلفی ابداع و بکار گرفته شده‌است که با توجه به ماهیت و روش کار به دو گروه (۱) روش‌های تحلیل شبه‌استاتیکی و (۲) روش‌های دینامیکی تقسیم می‌شوند.

در تحقیق حاضر از روش‌های شبه‌استاتیکی استفاده شده‌است. در روش شبه‌استاتیکی تاثیر شتاب افقی زلزله به دلیل اینکه سبب کاهش کاهش نیروهای مقاوم و افزایش نیروی مخرب شده و ضریب اطمینان را کاهش می‌دهد، در نظر گرفته می‌شود ولی از شتاب قائم به دلیل تاثیر ناچیزی که بر روی ضریب اطمینان دارد چشم‌پوشی می‌شود. بنابراین نیروهای اعمال شده بر اثر زلزله به صورت یک نیروی افقی معادل در نظر گرفته می‌شود.

## ۴- تحلیل پایداری شیروانی‌های مشرف بر

### روستای هاوانان

تحلیل پایداری شیروانی‌ها در دو حالت استاتیکی و دینامیکی به منظور شناسایی گسیختگی‌های احتمالی انجام می‌پذیرد. منظور از پایداری استاتیکی، حفظ تعادل و جلوگیری از حرکت یک شیروانی در مقابل نیروهای استاتیکی وارد بر آن است. زمانی یک شیروانی در حال تعادل است که در هر قسمت از آن برآیند تنش‌های اعمال شده کوچکتر از مقاومت انباشته در آن قسمت باشد.

در تحلیل پایداری شیب‌هایی که حاوی سنگ و خاک هستند، روش‌های متعددی ارائه شده است که می‌توان آنها را در دو گروه کلی زیر دسته‌بندی کرد: (۱) روش‌های تعادل حدی (۲) روش‌های تنش - کرنش. اساس کار روش تعادل حدی، بر مبنای تعیین تنش‌های اعمال شده و مقاومت بسیج شده در یک سطح گسیختگی فرضی در داخل شیب و سپس تعیین ضریب اطمینان با توجه به نسبت این دو کمیت استوار است. در روش‌های تنش - کرنش، توزیع تنش و کرنش‌های حاصل از آن درون شیروانی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این

شیروانی‌ها فرض گردید. جهت تاثیر زلزله‌های احتمالی مقادیر مختلفی از شتاب‌های افقی در مدل‌ها اعمال گردید. حداکثر شتاب‌های اعمال شده بر طبق نتایج مطالعه لرزه‌ای انجام شده فرض شد.



شکل ۱۴. موقعیت شیروانی‌ها در محدوده روستای هاوانان (نگاه به شمال غرب)

#### ۴-۱- تخمین خصوصیات برشی مواد به روش تحلیل برگشتی

در اکثر تحلیل‌های پایداری شیب، پارامترهای مقاومتی زمین پس از نمونه‌گیری در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود. اما زمانی که زمین لغزش قدیمی در محل رخ داده و هندسه ریزش معلوم باشد در این حالت تعیین پارامترهای مقاومتی زمین به روش تحلیل برگشتی یا معکوس امکان‌پذیر است. در یک تحلیل برگشتی با فرض ضریب ایمنی یک (زیرا شیب دچار ریزش شده‌است)، پارامترهای مقاومتی زمین در یک فرآیند محاسباتی معکوس محاسبه می‌گردد (Duncan and Stark, 1992). نتایج بدست آمده در این روش قابل اتکاتر از نتایج آزمایشگاهی می‌باشد زیرا در این حالت خطاهای نمونه‌گیری و مقیاس وجود ندارد، سطح ریزش مشخص تر از نمونه کوچک آزمایشگاهی است و شرایط محیطی وقوع لغزش در محاسبات منظور می‌شود.

در یک بررسی شبه‌استاتیکی از روش‌های مختلف ارائه شده برای تحلیل پایداری استاتیکی شیروانی‌ها مانند فلیوس، بیشاپ، جانبو و... استفاده می‌شود. تفاوت روش شبه‌استاتیکی با روش تحلیل استاتیکی در این است که در روش شبه استاتیکی علاوه بر نیروهای استاتیکی موجود، یک نیروی ثابت و دائمی دیگر ناشی از زلزله به توده‌ی بالای صفحه لغزش اعمال می‌گردد. در این روش معمولاً ضریب اطمینان کمتری نسبت به حالت تحلیل استاتیکی در نظر گرفته می‌شود.

جهت انجام محاسبات روش‌های شبه‌استاتیکی بکار رفته در این تحقیق از نرم افزار Slide 6 استفاده شد. این نرم‌افزار از روش‌های تعادل حدی جهت تحلیل پایداری استاتیکی و شبه استاتیکی شیب‌های دو بعدی خاکی و سنگی استفاده می‌نماید. تحلیل‌ها را می‌توان به روش قطعی یا احتمالاتی انجام داد. قابلیت مدلسازی توده‌های سنگی و خاکی با مدل‌های رفتاری مختلفی نظیر موهر - کولمب و هوک - براون وجود دارد. شکل سطوح لغزش را می‌توان دایره‌ای، منحنی یا تخت در نظر گرفت.

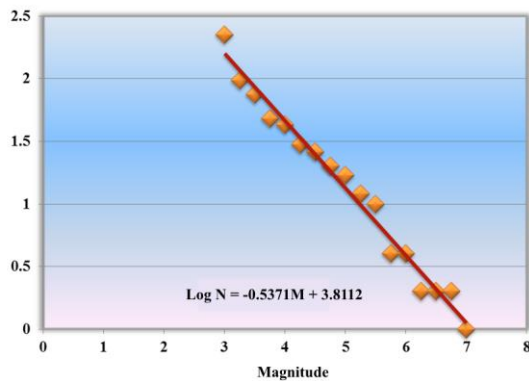
روستای هاوانان در معرض لغزش دو شیروانی A و B قرار دارد (شکل ۱۴). شیروانی A بطول تقریبی ۵۵۰ متر و ارتفاع ۱۹۵ متر در راستای شمال شرق - جنوب غرب و شیروانی B بطول تقریبی ۱۱۴۰ متر و ارتفاع ۲۱۲ متر در راستای شمال غرب - جنوب شرق قرار گرفته‌است.

ابتدا مدل اولیه شیروانی‌ها به کمک داده‌های توپوگرافی منطقه ایجاد شد. سپس بر اساس نتایج مطالعه ژئوالکتریک و وضعیت زمین‌شناسی محل، جنس و ضخامت واحدهای سنگی در عمق زمین به مدل اضافه شد. از مدل رفتاری موهر - کولمب برای تعریف رفتار مصالح زمین استفاده شد و آنگاه ویژگی‌های ژئوتکنیکی مواد مطابق جدول ۳ به آنها اختصاص یافت. انواع سطوح لغزش شامل دایره‌ای و غیردایره‌ای در هر یک از



#### ۲-۴- برآورد لرزه‌خیزی منطقه

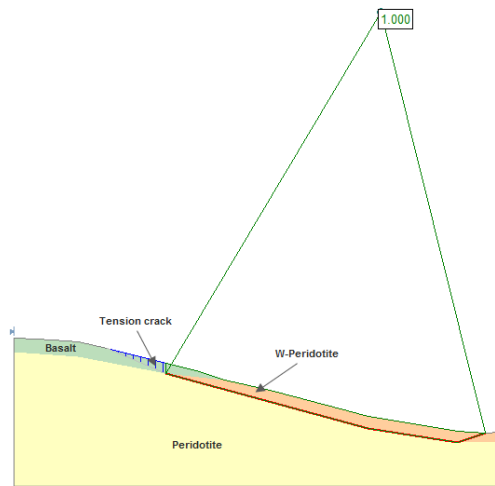
در تحلیل خطر زلزله برای منطقه هاوانان از روش احتمالاتی استفاده گردید. بکارگیری توابع احتمالاتی امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان، مکان و بزرگای زمین‌لرزه‌ها را فراهم می‌نماید. برای اینکار ابتدا گسل‌های اصلی واقع در شعاع ۱۵۰ کیلومتری از محل شناسایی شدند. در ادامه با مطالعه آماری بر روی داده‌های لرزه‌ای موجود، توزیع‌های فراوانی - بزرگی، فراوانی - عمق و فراوانی - سال برای زلزله‌های رویداده در منطقه بدست آمد و رابطه گوتنبرگ - ریشتر برحسب امواج سطحی مطابق شکل ۱۶ محاسبه گردید.



شکل ۱۶. برآورد رابطه گوتنبرگ ریشتر برای منطقه هاوانان

در این تحقیق برای تحلیل خطر از نرم افزار Seisrisk و برای تخمین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها از روش MLE (Kijko and Sellevoll, 1992) استفاده شد. در روش MLE با متغیر گرفتن فواصل زمانی، امکان وارد نمودن نبوده‌های لرزه‌ای در محاسبات ممکن می‌شود. بعلاوه در این روش هر زمین لرزه بر اساس میزان دقت اندازه‌گیری وارد محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب با تغییر در مقادیر پارامترها، بهترین تطابق بین نتایج محاسبات و مشاهدات حاصل شده و خطا به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. رابطه

به منظور تعیین پارامترهای مقاومتی زمین، ابتدا مدل هندسی شیروانی B در زمان قبل از لغزش به کمک شواهد صحرایی و نتایج مطالعه ژئوالکتریک بازسازی گردید. مقادیر چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (φ) واحدهای سنگی در یک محدوده منطقی آنقدر تغییر داده شد تا ضریب ایمنی یک (FS=1) بدست آمده و لغزش در شیروانی اتفاق افتد (شکل ۱۵). در ادامه کار از مقادیر c و φ بدست آمده بعنوان پارامترهای مقاومتی مورد نیاز جهت تحلیل پایداری شیروانی‌های منطقه در شرایط جدید استفاده گردید (جدول ۳).



شکل ۱۵. مدل هندسی تقریبی شیروانی B قبل از وقوع زمین‌لغزش

جدول ۳. پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از تحلیل برگشتی

پارامتر	پریدوتیت	بازالت اسپلیتی	پریدوتیت خردشده و دگرسان‌شده	بازالت خرد شده
چسبندگی c, (kPa)	۱۰۰۰	۲۰۷۰۰	۲۶	۰
زاویه اصطکاک داخلی φ, (°)	۳۵	۴۵	۱۵	۴۰



روش بیشاپ بدست آمد (شکل ۱۷). با فرض شرایط مشابه در صورت وقوع زمین لرزه‌ای با شتاب افقی  $g$  ۰/۱۴ ضریب ایمنی تا ۰/۷ کاهش یافت. افزایش بیشتر شتاب زمین لرزه کاهش بیشتر ضریب ایمنی را سبب شد بطوریکه در صورت وقوع زمین لرزه‌ای با شتاب افقی بیشینه  $g$  ۰/۳۸ با احتمال رویداد ۱۰ درصد ضریب ایمنی تا ۰/۴۰ مطابق شکل ۱۸ کاهش یافت. در مورد شیروانی A علاوه بر لغزش دایره‌ای، حالت لغزش سراسری که کل توده لغزشی قدیمی بر روی بستر سنگی سالم بلغزد نیز بررسی شد (شکل ۱۹). در این حالت ضرایب ایمنی بسیار بزرگی حتی در صورت اعمال شتاب بیشینه افقی بدست آمد. تفاوت بسیار زیاد ضرایب ایمنی در دو حالت لغزش دایره‌ای و لغزش سرتاسری بدین معنی است که هرچند حرکت سرتاسری زمین لغزش هاوانان در راستای شیروانی A منتفی است ولی وقوع لغزش‌های کوچکتر در داخل لغزش قدیمی بزرگ کاملاً محتمل است. نتایج کامل تحلیل پایداری شیروانی A در همه حالت‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

کاهندگی مورد استفاده نیز رابطه کمپبل و بزرگ‌نیا (۲۰۰۳) بود.

مطابق نتایج آنالیز لرزه‌ای بر اساس مدل کیجکو دوره بازگشت رویداد زمین لرزه در منطقه مورد مطالعه، متوسط و برای زمین لرزه‌ای به بزرگی ۶ ریشتر، ۳۲ سال است. همچنین برآورد پارامترهای لرزه‌ای حکایت از آن دارد که در طول عمر مفید ۵۰ ساله با احتمال رویداد ۶۴٪ (زمین لرزه مبنای طرح DBL) حداکثر شتاب گرانش افقی برابر  $g$  ۰/۳۲ خواهد بود. در حالیکه در طول عمر مفید ۵۰ ساله و با احتمال رویداد ۱۰٪ (سطح حداکثر طراحی MDL)، شتاب گرانش افقی برابر  $g$  ۰/۳۸ خواهد بود.

#### ۳-۴- تحلیل پایداری شیروانی A

تحلیل پایداری شیروانی A بدون بارگذاری لرزه‌ای با فرض لغزش دایره‌ای انجام و ضریب ایمنی ۱/۱۵ به

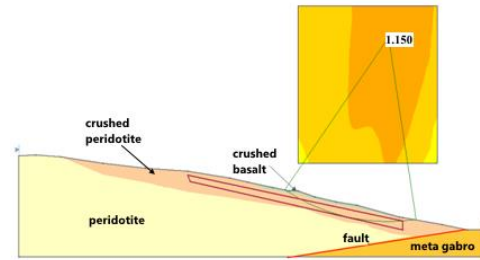
جدول ۴. نتایج تحلیل پایداری شیروانی A در حالت‌های مختلف

مورگان اشتون - پرایس		اسپنسر		جانبو		بیشاپ		
سرتاسری	دایره‌ای	سرتاسری	دایره‌ای	سرتاسری	دایره‌ای	سرتاسری	دایره‌ای	
۲۲/۱۲۷	۱/۱۴۷	۲۲/۳۷۵	۱/۱۴۸	۲۲/۷۴۳	۱/۱۱۴	۲۲/۳۴۲	۱/۱۵۰	بدون بارگذاری لرزه‌ای
۱۲/۴۸۵	۰/۷۰۲	۱۲/۶۵۴	۰/۷۰۱	۱۲/۲۶۳	۰/۶۷۹	۱۲/۶۶۰	۰/۷۰۱	۰/۱۴ g
۸/۶۸۴	۰/۴۹۶	۸/۸۱۴	۰/۴۹۶	۸/۵۳۰	۰/۴۷۹	۸/۸۲۳	۰/۴۹۵	۰/۲۸ g
۷/۱۳۰	۰/۴۰۶	۷/۲۴۲	۰/۴۰۷	۷/۰۰۳	۰/۳۹۲	۷/۲۵۰	۰/۴۰۵	۰/۳۸ g

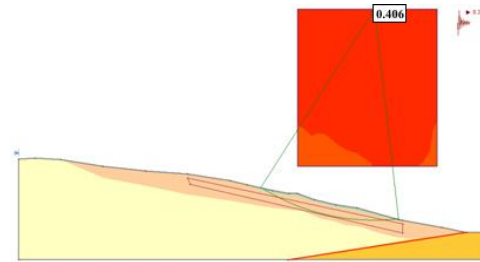


#### ۴-۴- تحلیل پایداری شیروانی B

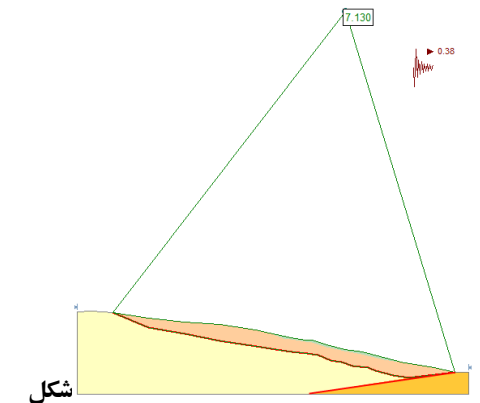
تحلیل پایداری شیروانی B بدون بارگذاری لرزه ای با فرض لغزش دایره ای انجام و ضریب ایمنی ۰/۸۵ به روش بیشاپ بدست آمد (شکل ۲۰). با فرض شرایط مشابه در صورت وقوع زمین لرزه ای با شتاب افقی ۰/۱۴g ضریب ایمنی تا ۰/۵۴ کاهش یافت. افزایش بیشتر شتاب زمین لرزه کاهش بیشتر ضریب ایمنی را سبب شد بطوریکه در صورت وقوع زمین لرزه ای با شتاب افقی بیشینه ۰/۳۸g با احتمال رویداد ۱۰ درصد ضریب ایمنی تا ۰/۳۲ کاهش یافت (شکل ۲۱). در مورد شیروانی B علاوه بر لغزش دایره ای، حالت لغزش غیردایره ای نیز مشابه شکل ۲۲ بررسی شد. در این حالت ضرایب ایمنی تا حدود زیادی مشابه لغزش دایره ای بدست آمد. نتایج کامل تحلیل پایداری شیروانی B در همه حالت ها در جدول ۵ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در حالت بدون بارگذاری لرزه ای برای سطوح لغزش دایره ای و غیردایره ای ضریب ایمنی شیروانی B کمتر از یک است. بنابراین نتیجه گرفته می شود که در راستای شیروانی B زمین لغزش هاوانان کماکان فعال است. نتایج حاصل از عملیات نقشه برداری نیز جابجایی در حدود ۲ سانتی متر را در همین جهت طی یک دوره ۶ ماهه نشان می دهد.



شکل ۱۷. برآورد ضریب ایمنی لغزش دایره ای در توده سست سرپانتینیزه شیروانی A بدون بارگذاری لرزه ای



شکل ۱۸. برآورد ضریب ایمنی لغزش دایره ای در توده سست سرپانتینیزه شیروانی A تحت بارگذاری لرزه ای با شتاب افقی ۰/۳۸g



شکل ۱۹. برآورد ضریب ایمنی لغزش سرتاسری توده سست سرپانتینیزه شیروانی A تحت بارگذاری لرزه ای با شتاب افقی ۰/۳۸g

#### جدول ۵. نتایج تحلیل پایداری شیروانی B در حالت های مختلف

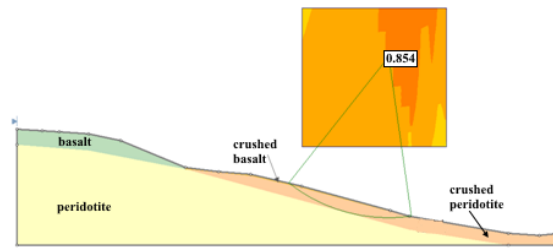
مورگان اشترن - پرایس		اسپنسر		جانوب		بیشاپ		
غیردایره ای	دایره ای	غیردایره ای	دایره ای	غیردایره ای	دایره ای	غیردایره ای	دایره ای	
۰/۸۲۹	۰/۸۵۱	۰/۸۳۳	۰/۸۵۰	۰/۸۰۵	۰/۸۲۵	۰/۸۳۷	۰/۸۵۴	بدون بارگذاری لرزه ای
۰/۵۲۰	۰/۵۴۲	۰/۵۲۵	۰/۵۴۳	۰/۵۰۸	۰/۵۲۳	۰/۵۲۷	۰/۵۴۲	۰/۱۴g
۰/۳۷۱	۰/۳۹۲	۰/۳۷۶	۰/۳۹۳	۰/۳۶۱	۰/۳۷۴	۰/۳۷۶	۰/۳۸۸	۰/۲۸g
۰/۳۰۵	۰/۳۲۶	۰/۳۱۰	۰/۳۲۷	۰/۲۹۵	۰/۳۰۷	۰/۳۰۸	۰/۳۱۹	۰/۳۸g

دست، از جمله مناطق نزدیک به روستای هاوانان، چندین لغزش دایره‌ای درون این توده های سست روی داده است که جهت حرکت زمین لغزش را به صورت موضعی به سمت روستای هاوانان تغییر داده و حتی باعث انحراف مسیر رودخانه فصلی موجود در محل شده است. همین وضعیت را در دره‌ای که در سمت دیگر زمین لغزش واقع شده در مقیاس کوچکتر می‌توان مشاهده نمود.

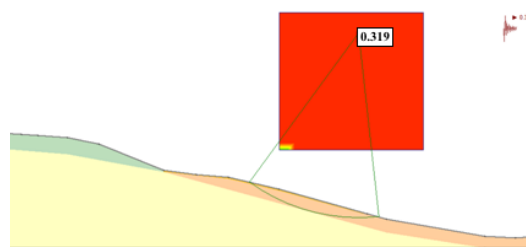
با توجه به مطالعات ژئوالکتریک، زمین شناسی و اطلاعات حاصل از منابع آبی موجود چنین استنباط می‌شود که (۱) ضخامت سنگ دگرسان شده و زمین لغزش بین ۱۰ تا ۳۰ متر است. (۲) جنس سنگ کف سنگ سالم اولترامافیک می‌باشد. (۳) مقاومتهای ظاهری بدست آمده در سونداژهای ۳ و ۵ نشان‌دهنده رطوبت بالا در این منطقه است که به درجه اشباع نرسیده است.

با توجه به دو مرحله برداشت نقشه برداری انجام شده در محل مشخص شد که توده لغزشی به طور میانگین ۲۳ میلیمتر در سال جابجا می‌شود. همچنین بروز ترک‌های جدید در دیوار منازل و صداهای شنیده شده ناشی از حرکت سنگ‌ها بیانگر فعال بودن زمین لغزش هاوانان و حرکت آرام خزشی آن می‌باشد.

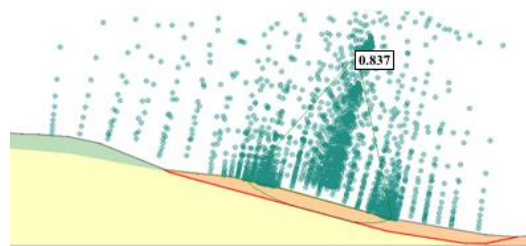
روستای هاوانان تحت تاثیر دو شیروانی A و مطابق شکل ۱۴ قرارداد. نتایج حاصل از تحلیل پایداری این دو شیروانی نشان داد که شیروانی A در حالت بدون بارگذاری لرزه‌ای تقریباً پایدار است. اما وقوع زمین لرزه حتی در شتاب‌های کمتر از حداکثر  $0.38g$  باعث فعال شدن زمین لغزش و تخریب احتمالی منازل مسکونی خواهد شد. تحلیل پایداری شیروانی B نشان داد که این شیروانی در حال حاضر نیز فعال است بطوریکه ضریب ایمنی فعلی آن  $0.85$  بدست آمد. البته نتایج حاصل از نقشه برداری نیز این موضوع را تایید کرده و نشان‌دهنده یک حرکت آرام



شکل ۲۰. برآورد ضریب ایمنی لغزش دایره‌ای در توده سست سرپانتینیزه شیروانی B بدون بارگذاری لرزه‌ای



شکل ۲۱. برآورد ضریب ایمنی لغزش دایره‌ای در توده سست سرپانتینیزه شیروانی B تحت بارگذاری لرزه‌ای با شتاب افقی  $0.38g$



شکل ۲۲. برآورد ضریب ایمنی لغزش غیردایره‌ای در توده سست سرپانتینیزه شیروانی B بدون بارگذاری لرزه‌ای

## ۵- نتیجه گیری و جمع بندی

با توجه به شواهد موجود در محل، زمین لغزش هاوانان از نوع لغزش انتقالی بزرگ است. اگر چه حرکت اصلی توده بصورت لغزش صفحه‌ای است ولی وجود پرتگاه‌های متعدد در بخش‌های خاکی زمین لغزش حاکی از بروز لغزش‌های دورانی بصورت موضعی است. در واقع به علت حرکت توده های سست و تجمع آنها در نواحی پایین



- خزشی به مقدار ۴۰ میلیمتر در سال در راستای شیروانی B است.
۴. پاشا، ا.ج، سربی، ع، بهزادی، س.، ۱۳۹۶. ارزیابی خطر زمین لغزش در منطقه چهارگوش قزوین- رشت (شمال ایران)، علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۶، ۸۹-۹۸.
۵. پور قاسمی، ح. و همکاران، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش آماری frequency ration در حوضه آبخیز صفارود، مجموعه مقالات سومین کنفرانس آبخیز داری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، ص ۱۷۰-۱۷۴.
۶. تاجبخش، م، معماریان، ه، آسیایی، م، ۱۳۹۳. تحلیل پایداری شیب با استفاده از مدل فرآیندی SINMAP (مطالعه موردی: پهنه لغزشی هاوانان، بیرجند). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۲، ص ۱۹-۳۴.
۷. خطیب، م. م، ۱۳۷۸. بررسی ساختاری زمین لغزش هاوانان. بیست و ششمین نشست انجمن زمین‌شناسی ایران.
۸. زندی، ر، امیراحمدی، ا، محمدنیا، م، ۱۳۹۷. استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرچه-درود (مشهد- نیشابور)، جغرافیا و روابط انسانی، ۱(۲)، ۳۷-۵۸.
۹. غلامی، ا، خطیب، م. م، ۱۳۷۹. بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در جنوب بیرجند. چهارمین همایش زمین‌شناسی ایران.
۱۰. غلامی، ا، محمدی، س، ۱۳۸۱. بررسی تاثیر ساختمان‌های زمین‌شناسی و خصوصیات کانی‌شناسی مجموعه سنگی بر تشدید زمین لغزش در جنوب بیرجند، ششمین همایش زمین‌شناسی ایران.
۱۱. فرجزاده، م، ثروتی، م، ر، طاهری، و. ۱۳۹۰. تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک استان گلستان. جغرافیای طبیعی، ۴(۱۱)، ۴۵-۶۲.
- وضعیت لیتولوژی منطقه هاوانان به نحوی است که فرآیند هوازدگی روی سنگها تاثیر زیادی گذاشته است. فعالیت گسل‌ها بر شدت دگرسانی افزوده و در بعضی مناطق سنگها عملاً به خاک تبدیل شده‌اند. واحد های سنگی موجود در سطح اکثراً سرپانتینیت‌ها هستند که در فصول بارندگی با جذب آب متورم شده و حالت بسیار لغزنده ای ایجاد می‌کنند که با توجه به شیب زیاد منطقه مقدمات یک لغزش جدید مهیا می‌گردد. در اثر حرکت مواد به طرف پایین، بافت قدیم روستای هاوانان در حال تخریب تدریجی بوده و مزارع آن بدلیل قرار گرفتن در حاشیه دره در حال از بین رفتن است. با توجه به حجم عظیم توده در حال لغزش، راه های جلوگیری از لغزش مثل ایجاد دیوار حایل، تغییر شیب، کاهش وزن مواد لغزنده و زهکشی سطحی و عمقی در این منطقه عملی و اقتصادی نیست. لذا پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از حوادث ناگوار در آینده بافت قدیم روستای هاوانان به موقعیت امن جدیدی منتقل گردد.

## منابع:

۱. باقری مهرورز، ا، ارومیه‌ای، ع، ۱۳۸۸. پهنه بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در تاقدیس کنگان به روش آنبالاگان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳، ص ۲۰۶-۲۱۲
۲. بهاروند، س، پورکرمانی، م، آرین، م، اجل لوثیان، ر، نوریزدان، ع. ۱۳۸۸. زمین لغزش سیمره و نقش آن در تغییرات زیست محیطی و ژئومورفولوژیکی منطقه پلدختر. فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۴، ۱۳-۲۴.
۳. پارسایی، ل، سالاریان، ف، شراینی، م، ۱۳۸۸. "نگرشی بر زمین لغزشهای استان گلستان". پنجمین همایش ملی





۱۲. قنبری، ا.، کرمی، ف.، سالکی، م.ع.، (۱۳۹۶). ارزیابی استعداد بروز زمین لغزش‌های احتمالی در محدوده شهر تبریز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۱)، ۱-۱۶.
۱۳. کمک پناه، ع.، منتظرالقائم، س.، (۱۳۷۱). پهنه‌بندی زمین لغزه در ایران، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۱۴. مهندسین مشاور سامان سدرو، (۱۳۸۹). بررسی مهم‌ترین زمین لغزش‌ها در خراسان جنوبی.
۱۵. ناصری، ن.، اکبری، م.، (۱۳۹۰). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل مفهومی LNRF، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، شاهرود، ص ۱۶۶-۱۷۵.
۱۶. نوفرستی، ح.، ویسکرمی، ع.، رحیم‌دل، م.ج.، (۱۳۹۸). تحلیل و بررسی زمین لغزش به کمک مدل‌سازی عددی (مطالعه موردی: محور قائن-افین در استان خراسان جنوبی)، پژوهش‌های عمران و محیط زیست، ۵(۱)، ۷۷-۸۸.
۱۷. ویسکرمی، ع.، نوفرستی، ح.، (۱۳۹۷). تحلیل و بررسی زمین لغزش ترانشه در راه ارتباطی خرم‌آباد-پل دختر. مدیریت بحران، ۸(۱)، ۱۱۹-۱۲۶.
18. Campbell, K. W., Bozorgnia, Y. 2003 Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(1), 314-331.
19. Duncan, J.,M., Stark, T.,D., 1992. Soil strengths from back-analysis of slope failures, *Proceedings of specialty conference Stability and Performance of Slopes and Embankments-II*, ASCE, Berkeley, CA, Geotechnical Special Publication, 31(2), 890-904.
20. Kijko, A., Sellevoll, M.A., 1992. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity, Bulletin of the Seismological Society of America 82 (1), 120-134.