تحلیل و بررسی زمین‌لغزش ترانشه در راه ارتباطی خرم آباد - پل‌دختر

علی ویسکرمی*: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج، veiskaramiali@yahoo.com
حسین نوفرستی: استادیار گروه معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

زمین‌لغزش‌ها از جمله حوادثی هستند که در دامنه‌های شیب‌دار به وقوع می‌پیوندند و همواره با خسارات مالی و تلفات جانی همراه‌اند. شیب‌ها سازه‌هایی ژئوتکنیکی هستند که در صورت رعایت نشدن زاویه‌ی مناسب در آن‌ها، لغزش دور از انتظار نخواهد بود. بنابراین همواره دغدغه‌ی اصلی مهندسان تعیین زاویه‌ی مناسب برای یک شیب است، به گونه‌ای که علاوه بر تحمیل نکردن خاک‌برداری بیش از اندازه، پایداری مناسب را برای سازه به همراه داشته باشد. در پروژه‌های راهسازی خصوصاً در مناطق کوهستانی، برای رعایت شیب مناسب جاده‌ی در دست احداث، نیاز به ایجاد ترانشه‌هایی در ناهمواری‌های واقع در مسیر عبور جاده است. در استان لرستان به علت وجود توپوگرافی کاملاً کوهستانی، ترانشه‌های متعددی در طول مسیرهای ارتباطی داخل استان احداث شده است. در این تحقیق، لغزش به وجود آمده در ترانشه واقع در ۳۵ کیلومتری مسیر ارتباطی شهرستان خرم آباد به شهرستان پل‌دختر، با دو روش تعادل حدی و روش عددی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها، نشان می‌دهند که زمین‌لغزش صورت گرفته هنوز کامل نشده است. ترک‌های کششی موجود در محل زمین‌لغزش اثبات کننده‌ی این ادعاست، که در صورت عدم پایدارسازی مناسب این ترانشه باید منتظر فاجعه‌ای بزرگ بود.

واژه‌های کلیدی: *زمین‌لغزش، تعادل‌حدی، روش عددی، خرم‌آباد، پل‌دختر*

Study and analysis slippage in a trenches on Khorramabad-Poldokhtar route

Ali Veiskarami[1]*, Dr. Hossain Noferesti[2]

Abstract

Landslides are among the events occurring on steep slopes and are always accompanied with financial losses and lose of life. Slopes are geotechnical structures, in which slip is expected if the slope angle is not appropriately observed; So it has always been among engineers' concerns to determine the right angle for a dip in a way that not only doesn't it cause excessive excavation, but it also brings about proper stability to the structure. In road projects, especially in mountainous areas, it is necessary to create trenches in the ruggednesses located in the route of the road in order to observe the proper slope of the road. In Lorestan province, a large number of trenches has been created alongeside communication routs due to the mountainous topograghy of the area. In this paper, an occurred slippage in a trench on ۳۵th km in Khoramabad-Poldokhtar rout has been studied by both limit equilibrium and numerical methods. The results of the modeling indicate that the landslide has not yet completely developed. And the tensile cracks in the landslide anticipate that in the absence of an appropriate stabilization of the trenches, a catastrophic event is not uncontemplated.

Keywords: *Landslide, Limit equilibrium, Numerical methods, Khorramabad, Poldokhtar.*

1 Graduate Master of Mining Engineering, Email: veiskaramiali@yahoo.com
2 Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها از جمله مجتمع‌های فرورانش، کمان‌های آتشفشانی، گسل‌های تغییری و محیط‌های درون ورقی به وقوع می‌پیوندند. علاوه بر این، زمین‌لغزش‌ها در هر نقطه از سطح زمین که در آنجا توپوگرافی دارای دامنه‌های شیبدار باشد یا جایی که لایه‌های مواد اشباع از آب در هر زاویه‌ای قابلیت حرکت بر روی دامنه‌ی شیبدار را داشته باشند، اتفاق می‌افتند. تحت چنین شرایطی، حرکت رو به پایین مواد بر روی شیب را با عنوان "حرکت توده‌ای مواد"[1] بیان می‌کنند [۱].

هند دارای یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های جاده‌ای است که بیش از ۴۴۰۰۰ کیلومتر آن از کوهستان هیمالیا می‌گذرد. سیستم ارتباط جاده‌ای تنها ابزار برای حمل و نقل و ارتباط مردمی در منطقه‌ی پر از تپه‌ی همالیا است، بنابراین در رشد اقتصادی ناحیه نقش حیاتی بازی می‌کند و بر توسعه‌ی اقتصادی - اجتماعی ساکنان منطقه تأثیر بسزایی دارد. خطر زمین‌لغزش یکی از وسیع‌ترین خطرات پراکنده‌ای است که موجب بروز خسارات فراوان به جاده‌های کوهستانی هند می‌شود [۲].

در مورد ایران باید گفت با وجود دو رشته‌کوه البرز و زاگرس در شمال، شمال‌غرب و غرب کشور ایران و تمرکز جمعیت در این مناطق، نیاز به احداث مسیرهای ارتباطی بین مناطق مختلف، برای ایجاد رشد اقتصادی و اجتماعی همسان، احساس می‌شود. همچنین، به دلیل توپوگرافی ناهموار منطقه، احداث ترانشه در زمان ایجاد مسیرهای ارتباطی گریز ناپذیر است. استان لرستان به دلیل واقع شدن در رشته کوه زاگرس از نظر راهسازی از این حیث مستثنی نیست. محور ارتباطی خرم‌آباد - پل‌زال به‌منزله‌ی گلوگاه شاهراه ترانزیتی شمال - جنوب کشور، از مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی است که به دلیل گستردگی بیش از حد آن و عبور از واحدهای ژئومورفیک گوناگون همواره در معرض مخاطرات جاده‌ای ناشی از ناپایداری دامنه‌ای است [۳]. البته این محور ارتباطی دارای دو مسیر است که یک محور، آزادراه تازه تأسیسی است که در سال ۱۳۸۹ به بهره‌برداری رسید و محور دوم، مسیر قدیمی است که از شهرستان پل‌دختر عبور می‌کند و نسبت به آزادراه جدیدالاحداث ۶۰ کیلومتر طولانی‌تر است [۴]. با وجود تأسیس مسیر جدید همچنان مسیر قدیمی پررونق است و علاوه بر اهالی محلی، بیشتر کامیون‌داران برای فرار از نپرداختن عوارض آزادراه، تمایل به استفاده از این مسیر را دارند. بنابراین، اهمیت مسیر قدیمی بر کسی پوشیده نیست و نیاز به تعمیر و نگهداری در این مسیر احساس می‌شود.

مطالعه‌ی حاضر بر زمین‌لغزش ایجاد شده در مسیر قدیمی خرم‌آباد - پل زال صورت گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که روند ریزش روندی تدریجی است و با وجود اقدامات پایدارسازی صورت گرفته، اقدامی که شرایط ترانشه را بهینه سازد و باعث توقف کامل ریزش شود صورت نگرفته است. در این مقاله محدوده‌ی مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای، زمین‌شناسی منطقه، تجربیات حاصل از بازدید محلی و نتایج مدل‌سازی نرم‌افزاری به دو روش تعادل حدی[2] و روش عددی[3] مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. Slide برای روش تعادل حدی و Phase برای روش عددی نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش است.

موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین‌شناسی منطقه

زمین‌لغزش مورد مطالعه در منطقه‌ی ویسیان و در فاصله‌ی ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد اتفاق افتاده است (تصویر ۱). منطقه دارای اقلیم نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان معتدل است [۵] بنابراین یخبندان‌های چشمگیری در منطقه وجود ندارد اما بعد از هر بارندگی احتمال وقوع زمین‌لغزش وجود خواهد داشت. زمین‌لغزش مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های هوایی طی چند سال رصد شده است، ولی مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای زمین‌لغزشی است که در پاییز ۱۳۹۴ به وقوع پیوسته است (البته از زمان دقیق وقوع زمین‌لغزش اطلاع درستی در دسترس نیست). میزان بارندگی در منطقه‌ی مورد نظر، طبق گزارش‌های اداره‌ی هواشناسی استان لرستان از ۱ مهر ۱۳۹۴ تا ۴ بهمن ۱۳۹۴ به میزان ۳۹۲,۹ میلی‌متر بوده است که این میزان بارندگی نسبت به دوره‌ی آماری مشابه ۱۱۷,۷ درصد افزایش داشته است[۶]. با توجه به آنچه گفته شد عامل اصلی این زمین‌لغزش می‌تواند ناشی از فشار منفذی آب زیرزمینی باشد.

تصویر ۱: موقعیت زمین‌لغزش بر روی نقشه

تصویر ۲: عکس هوایی سال ۲۰۱۰ از منطقه‌ی زمین‌لغزش، حدوداً یک سال بعد از ایجاد ترانشه

تصویر ۳: عکس هوایی سال ۲۰۱۱ از منطقه‌ی زمین‌لغزش

تصویر ۴: عکس هوایی سال ۲۰۱۳ از منطقه‌ی زمین‌لغزش

از نظر سنگ‌شناسی ترانشه‌ی مد نظر در سنگ‌های آهکی سازند آسماری که لایه‌ی آبرفتی عهد جدید[۴] آن را پوشانده است، ایجاد شده است. جنس لایه‌ی آبرفتی رسی است که جذب و نگهداری آب توسط این لایه شاید عامل مزیدی بر زمین‌لغزش مد نظر باشد.

ضخامت لایه‌ی آبرفتی متفاوت است و بیشتر بر روی دامنه‌های شیب‌دار مشاهده می‌شود و به سمت ستیغ کوه این لایه ناپدید می‌شود. علاه بر این از محل وقوع زمین‌لغزش به سمت شهر خرم‌آباد به صورت یک سراشیبی است که در بالای این سراشیبی خبری از این لایه‌ی آبرفتی نیست. در تصویر ۲ این موارد نشان داده شده‌اند. با توجه به موارد گفته شده به نظر می‌رسد لایه‌ی آبرفتی در محل وقوع زمین‌لغزش از ضخامت چندان زیادی برخوردار نباشد.

توصیف زمین‌لغزش

ترانشه‌ی مورد نظر در راستای طرح تعریض جاده‌ی خرم‌آباد به پل‌دختر، در سال ۱۳۸۸ و توسط اداره‌ی راهسازی شهرستان خرم‌آباد احداث شده است. این ترانشه دارای زاویه‌ی دامنه‌ی ۵۹ درجه و ارتفاع ۳۰ متر از پاشنه تا لبه حفاری شده است. به علت ارتفاع زیاد ترانشه برای جلوگیری از زمین‌لغزش احتمالی و همچنین ایجاد مانع برای جلوگیری از حرکت مواد بالای دامنه به سمت پایین آن اقدام به احداث یک پله‌ی ایمنی در وسط ترانشه نموده‌اند (تصویر ۲).

با بررسی عکس هوایی سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ منطقه، این احتمال می‌رود که پله‌ی ایمنی حفر شده در محدوده‌ی زمین‌لغزش یا احداث نشده است یا اینکه به دلیل حرکات اولیه‌ی دامنه همان سال‌های اول از بین رفته باشد (تصویر ۲، ۳ و ۴).

با توجه به تصویر ۲ وجود خاک آهکی سفید رنگ بر روی دامنه‌ی آبرفتی رسی قرمز رنگ می‌تواند بیان‌کننده‌ی شروع یک زمین‌لغزش در این محدوده باشد (تصویر ۲ در فروردین ۱۳۸۹ گرفته شده است). اما متأسفانه به دلیل عدم توجه به این حرکات اولیه، در تصویر ۳ (این عکس در مرداد ماه ۱۳۹۰ گرفته شده است) تقریباً ۱۵ ماه بعد - به اندازه‌ی یک سال زراعی منطقه- حرکات دامنه گسترش یافته است.

انتظار می‌رفت که حرکات ایجاد شده در دیواره طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در سال‌های بعد باعث ایجاد زمین‌لغزش قابل توجهی شود ولی این اتفاق همان‌طور که در تصویر ۴ (این عکس در خرداد ماه ۱۳۹۲ گرفته شده است) مشاهده می‌شود، نیفتاده است. می‌توان علت عدم ریزش را در کاهش نزولات جوی طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۹۱ بیان کرد.

اما همان‌طور که گفته شد در سال زراعی ۹۴ نزولات جوی نسبت به دوره‌ی آماری مشابه ۱۱۷،۷ درصد افزایش داشته که این افزایش بارندگی باعث ایجاد ریزشی سهمگین در ترانشه‌ی مد نظر شده است (تصویر ۵). برای جلوگیری از زمین‌لغزش و کاهش خسارات ناشی از آن یک دیوار حفاظتی در پاشنه‌ی ترانشه احداث شده است، فونداسیون این دیوار بر روی سنگ بستر قرار

تصویر ۵: نمایی از زمین‌لغزش صورت گرفته در سال ۱۳۹۴

دارد (تصویر ۵). گفتنی است که این دیوار حفاظتی در سال ۱۳۹۳ احداث شد.

تحلیل زمین‌لغزش

برای تحلیل زمین‌لغزش‌ها روش‌های مختلف تجربی، گرافیکی و ریاضی وجود دارد [۷]. روش‌های ریاضی روش‌های تقریباً جامع‌تری است و خود به دو گروه روش‌های تعادل حدی[۵] و تنش-کرنش[۶] تقسیم می‌شوند [۸]. روش‌های تعادل حدی در عین کارایی نسبت به روش‌های تنش-کرنش ساده‌تر و قابل فهم‌تر هستند [۹].

تعادل حدی

معمولاً در تمام روش‌های تعادل حدی توده‌ی خاک بالای سطح لغزش به قطعاتی قائم تقسیم می‌شود [۸]. نیروهای وارده بر هر قطعه جداگانه در تصویر ۶ نشان داده شده است. روش‌های متنوع تعادل حدی در زمینه‌ی فرضیات مربوط به معادلات تعادل نیروها و معادلات تعادل لنگرها حول نقطه‌ی مرکزی O اختلاف نظر دارند [۱۰].

در تحلیل زمین‌لغزش مورد نظر از روش ساده شده‌ی بیشاپ[۷] استفاده شد. در این روش از نیروی برشی ما بین قطعات صرف‌نظر شده و تلاش می‌شود تا با تغییر مابقی نیروهای وارده بر هر قطعه معادلات تعادل لنگرها و تعادل نیروهای قائم برقرار شود. فاکتور ایمنی به روش سعی و خطا و از طریق رابطه‌ی ۱ جستجو می‌گردد [۷].

$$FS = \left(\sum X / \left(1 + Y / FS\right)\right) / \left(\sum Z + Q\right)$$

رابطه‌ی ۱:

$$X = \left[c + \left(\gamma_r h - \gamma_w h_w\right)\tan\varphi\right]\left(\Delta X / \cos\psi_b\right)$$

$$Y = \tan\psi_b \tan\varphi$$

$$Z = \gamma_r h \,\Delta X \sin\psi_b$$

$$Q = \frac{1}{2}\gamma_w Z^2 (\alpha / R)$$

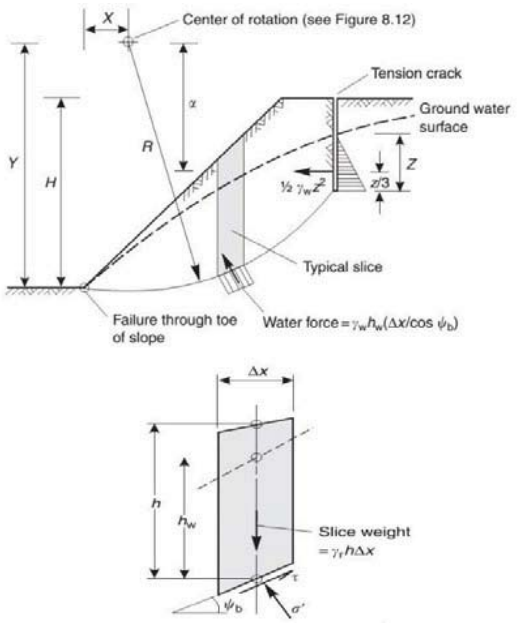
در رابطه‌ی ۱، Q فشار آب منفذی در هر قطعه، c, ϕ پارامترهای مؤثر مقاومت برشی خاک، وزن مخصوص توده‌سنگ، وزن مخصوص آب، ارتفاع آب در قطعه‌ی مورد بررسی، ارتفاع قطعه‌ی مورد مطالعه، شعاع دایره‌ی لغزش بحرانی، فاصله‌ی قائم بین مرکز دایره‌ی لغزش بحرانی و محل اعمال نیروی آب در ترک کششی، ارتفاع آب در ترک کششی، زاویه‌ی شیب قاعده‌ی قطعه و پهنای افقی هر قطعه است [۷]. از آنجایی که پیاده کردن روش‌های تعادل حدی برای دیواره‌های شیب‌دار با هندسه‌های پیچیده به روش دستی بسیار وقت‌گیر است، معمولاً از نرم‌افزارهای تجاری برای این منظور استفاده می‌شود [۷]. در مطالعه‌ی حاضر نیز از نرم‌افزار اسلاید[۸] که توسط شرکت راک‌ساینس[۹] توسعه داده شده است، استفاده گردید.

روش تنش - کرنش

در ارزیابی سازه‌های ژئوتکنیکی اغلب استفاده از روش‌های تعادل حدی برای تحلیل مسئله کافی است و روش‌های عددی پیشرفته[۱۰] صرفاً برای بهبود بخشیدن و تکمیل نمودن این ارزیابی‌ها به کار برده می‌شوند. اما در برخی موارد لازم است که ارزیابی دقیقی از تنش‌ها و کرنش‌های موجود در شیب یا خاکریزهای خاکی[۱۱] صورت پذیرد که در این موارد استفاده از روش‌های عددی نه تنها مطلوب بلکه ضروری است [۱۱].

در این تحقیق از روش عددی المان محدود[۱۲] برای مدل‌سازی استفاده شده است. روش المان محدود نسبت به روش تعادل حدی دارای مزایایی، از جمله مدل کردن شیب‌ها با درجه‌ی واقع‌گرایی بسیار بالا (هندسه پیچیده، بارگذاری‌های متناوب، حضور تقویت‌کننده‌ها، عملکرد آب، قوانینی برای رفتارهای پیچیده‌ی خاک) و بهینه نمودن تصویرسازی تغییر شکل‌های ایجاد شده در شیب است [۹].

در روش المان محدود، مدل به‌منزله‌ی یک محیط پیوسته در نظر گرفته می‌شود و در صورت لزوم ناپیوستگی‌ها به صورت مجزا



تصویر ۶: نمایش شماتیکی (طرح کلی) یک قطعه و نیروهای وارده بر آن

و به تعداد محدود با المان‌های خاص به نام المان فصل مشترک شبیه‌سازی می‌شوند. محدوده‌ی مدل، یعنی زمین دربرگیرنده، به تعداد محدودی المان تقسیم می‌شود که از طریق نقاط گرهی در گوشه‌های المان‌ها به هم متصل هستند [۱۲]. در روش المان محدود، ارتباط هندسی و فیزیکی بین تمام المان‌های یک مدل به صورت یک مسئله‌ی ریاضی با معادلات ماتریسی انجام می‌شود. فرم کلی معادلات ماتریسی به صورت رابطه‌ی ۲ است [۱۳]:

رابطه‌ی ۲: $[K]\ [D] = [F]$

که در آن:

K: ماتریس سختی

D: ماتریس جابه جایی (مجهول مسئله)

F: ماتریس بارهای وارده

این ماتریس برای تک‌تک المان‌ها تشکیل و در نهایت ماتریس کلی مدل تشکیل می‌شود و حل کل معادلات به صورت همزمان انجام می‌شود [۱۳].

ایجاد مدل هندسی دامنه و انتخاب ویژگی‌های ژئوتکنیکی

برای تعیین وضعیت هندسی دامنه‌ی لغزش کرده از تصاویر ماهواره‌ای نرم‌افزار GOOGLE EARTH استفاده گردید. همچنین با مراجعه به محل و با استفاده از GPS برداشت‌های کنترلی صورت پذیرفت. وضعیت دامنه در آستانه و پس از لغزش نیز به کمک اندازه‌گیری‌های انجام شده با GPS ، متر و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مشخص شد. با استفاده از این اطلاعات در ابتدا مدل اولیه‌ی دوبعدی دامنه که مربوط به قبل از انجام هرگونه فعالیت راهسازی است در نرم افزار SLIDE6 ایجاد شد.

برای تکمیل مدل به شیب، امتداد لایه‌بندی وخواص ژئوتکنیکی لایه‌ها نیاز بود. شیب و امتداد لایه‌ها توسط کمپاس و مشاهده‌ی صحرایی تعیین گردید. خواص ژئوتکنیکی نیز بر اساس مشاهدات و برآورد صحرایی و همچنین کمک‌گیری از بانک اطلاعات ژئوتکنیکی نرم‌افزار ROCKDATA انتخاب شدند. شیب، امتداد لایه‌ها و خواص ژئوتکنیکی در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به آنچه در بخش‌های قبل در مورد زمان زمین‌لغزش و بارندگی‌های صورت گرفته در منطقه مورد نظر گفته شد، حضور آب زیرزمینی در دامنه و نقش مؤثر آن در ریزش قطعی است. به همین دلیل ضریب فشار آب زیرزمینی RU در لایه‌های مختلف دامنه معادل ۰,۵ اعمال گردید.

بحث و بررسی نتایج

همان‌طور که در تصویر ۷ مشاهده می‌شود ترانشه‌ی مورد مطالعه کاملاً ناپایدار است و بحرانی‌ترین سطح لغزش تشخیص داده شده توسط نرم‌افزار Slide حجم بزرگی از جابه‌جایی در دیواره را به نمایش گذاشته است. با توجه به تصویر ۵ زمین‌لغزش صورت گرفته در ترانشه دارای عمق نهایی ۱,۲ متر است. در صورتی که با مراجعه به تصویر ۷ عمق زمین‌لغزش اندازه گرفته شده حدوداً ۱۲ متر است. مقایسه‌ی صورت گرفته نشان می‌دهد که زمین‌لغزش رخداده هنوز کامل نشده و احتمال ریزش مجدد در ترانشه وجود دارد. در بازدید حضوری از محل حادثه چندین ترک کششی در ترانشه‌ی موردی مطالعه مشاهده شدند (تصویر ۸) که وجود این ترک‌های کششی مبین کامل نبودن زمین‌لغزش رخداده است و به صورت قطع هشداری برای زمین‌لغزشی بزرگ‌تر در ترانشه خواهد بود.

پله‌های حفاظتی به دو منظور در شیب‌ها ایجاد می‌شوند [۱۴]:

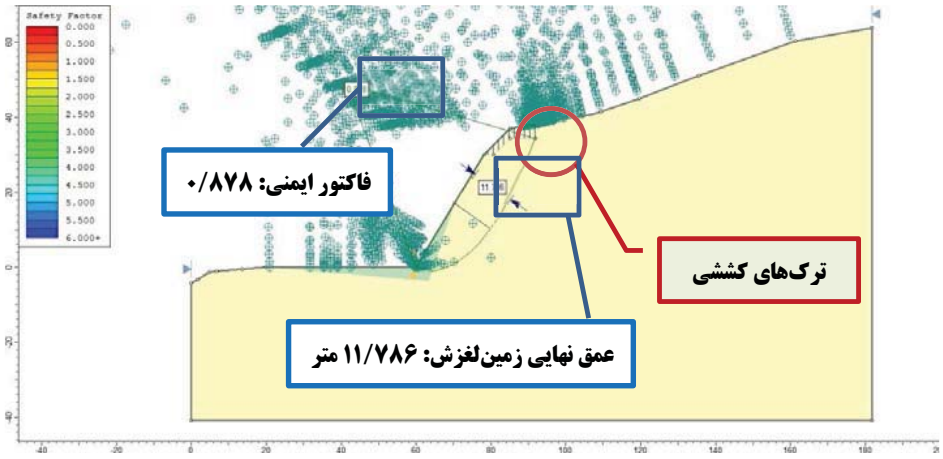
۱. جمع‌آوری موادی که از پله‌های بالایی به سمت پایین می‌لغزند.

۲. متوقف کردن ادامه‌ی حرکت قله‌سنگ‌ها به سمت پایین و کاهش خسارات احتمالی.

البته یک کاربرد عمده‌ی این پله‌ها کنترل شیب سراسری ترانشه است. اصلاح هندسی ترانشه برای دست یافتن به یک فاکتور ایمنی مناسب صورت می‌پذیرد. یکی از راه‌های اصلاح

جدول ۱: مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های منطقه و دیوار حفاظتی

نوع لایه بندی	C (kN/m^2)	φ (درجه)	وزن مخصوص (kN/m^3)	شیب (درجه)	رنگ لایه
آبرفت	۶۸	۲۵	۲۰	۰	سبز
آهک	۱۵۴	۳۶,۶۴	۲۵	۰	زرد
دیوار حفاظتی	۵۰۰۰	۳۵	۳۰	۹۰	نارنجی



تصویر ۷: فاکتور ایمنی، سطح لغزش و عمق نهایی سطح لغزش محاسبه شده برای زمین‌لغزش توسط نرم‌افزار Slide

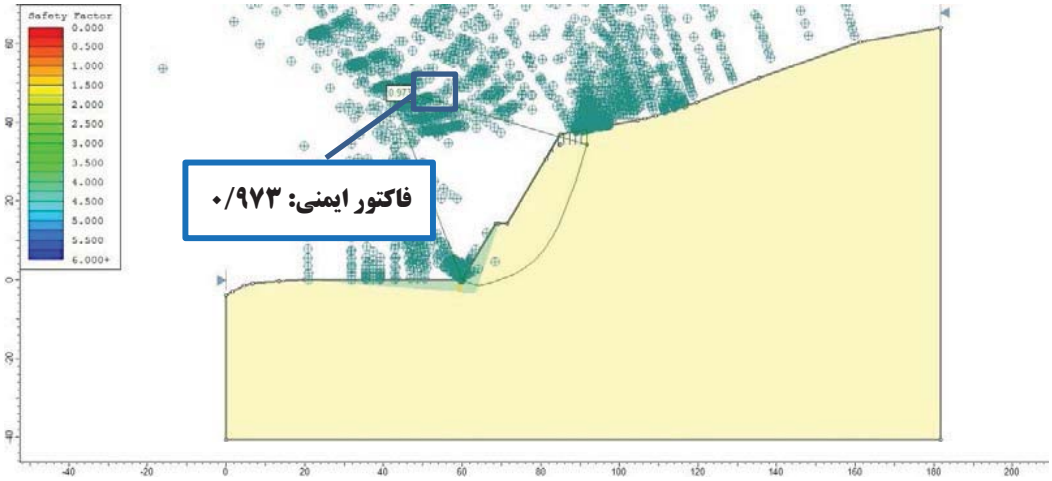
(الف)

(ب)

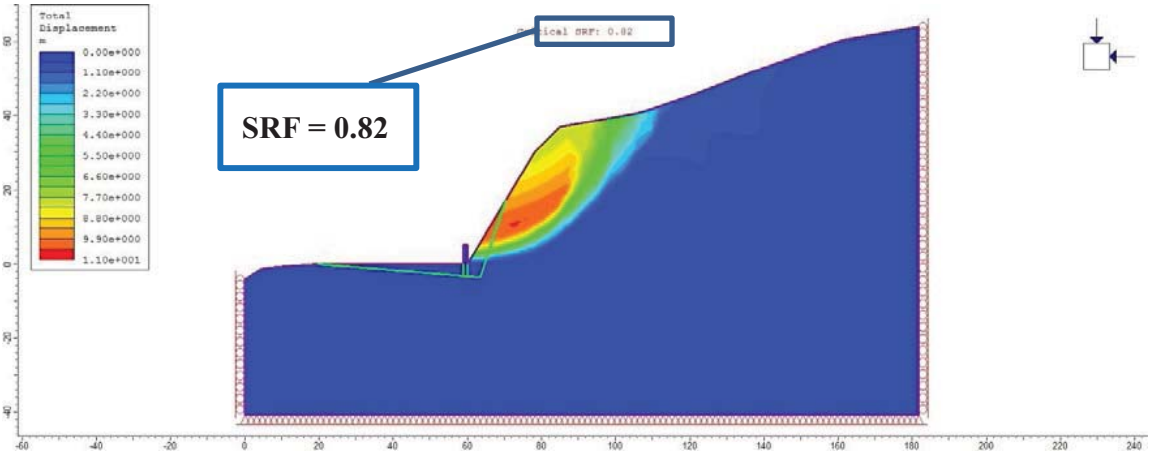
تصویر ۸: ترک‌های کششی مشاهده شده در محدوده‌ی ترانشه. الف. ترک‌های کششی بر روی لبه‌ی ترانشه؛ ب. ترک کششی بالاتر از لبه ترانشه

هندسی ترانشه برداشتن مصالح هوازده‌ی بالادست است که پله‌های حفاظتی راحتی دسترسی به افق‌های بالاتر را امکان‌پذیر می‌سازند.

انتظار می‌رود که در صورت وجود پله‌ی حفاظتی خطر بالقوه زمین‌لغزش کاهش یابد و با تغییر فاکتور ایمنی مانع زمین‌لغزش شود. برای همین در مدل تغییراتی داده شد، به این صورت که یک پله‌ی حفاظتی به عرض ۳ متر در وسط رخساره‌ی ترانشه ایجاد شد



تصویر ۹: تغییر فاکتور ایمنی بعد از اصلاح نمودن ترانشه



تصویر ۱۰: SRF محاسبه شده و سطح لغزش به وجود آمده در مدل

و زاویه‌ی دو رخساره معادل زاویه‌ی در نظر گرفته شده برای مدل بدون پله‌ی حفاظتی، معادل ۵۹ درجه، در نظر گرفته شد. این تغییر در مدل باعث کاهش ۳ درجه‌ای شیب کلی ترانشه‌ی مورد مطالعه گردید. همان‌طور که در تصویر ۹ مشاهده می‌شود تغییرات اصلاحی داده شده در مدل باعث تغییر فاکتور ایمنی از ۰,۸۷۸ به ۰,۹۷۳ شدند.

در ادامه برای ارزیابی نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Slide و تکمیل نمودن تحلیل‌های حرکات دامنه‌ی ترانشه، مدل ساخته شده در نرم‌افزار Slide به نرم‌افزار Phase انتقال داده شده و نتایج آن در تصویر ۱۰ آورده شده‌اند. همان‌طور که در تصویر ۱۰ مشاهده می‌شود نتایج تحلیل عددی معادل با تحلیل تعادل حدی هستند. تشابه جواب‌های هر دو تحلیل دال بر صحت مدل‌سازی است.

نتیجه‌گیری

بررسی عکس‌های هوایی، بازدید از محل حادثه، آمار بارندگی‌های منطقه و نتایج تحلیل‌های نرم‌افزاری، نشان می‌دهند که زمین‌لغزش رخداده در سال ۱۳۹۴ در ترانشه‌ی مورد مطالعه هنوز کامل نشده است. در سال ۱۳۹۴ بارندگی‌ها افزایش ۱۱۷,۸ درصدی نسبت به سال‌های قبل داشته‌اند، که حجم ریزش ترانشه در این سال اهمیت موضوع بارندگی را بیان می‌کند. فاکتور ایمنی ۰,۸۷۸ به دست آمده برای ترانشه مؤید این موضوع است که ترانشه باید در همان سال ۱۳۹۴ به طور کامل ریزش می‌کرد اما شاید به خاطر داشتن پوشش جنگلی در منطقه زمین‌لغزش و مسلح شدن مواد سازنده ترانشه‌ی این ریزش به طور کامل و یکباره صورت نگرفته است. تحلیل‌های ریاضی عمق ریزش را حدود ۱۲ متر نشان می‌دهند اما عمق واقعی اندازه‌گیری شده ۱,۲ متر است، با توجه به وجود ترک‌های کششی موجود در رخساره‌ی ترانشه و تفاوت عمق‌های ریزش این نتیجه حاصل می‌شود که این زمین‌لغزش هنوز کامل نشده و در حال گسترش است.

متأسفانه در پروژه‌ی مورد مطالعه با وجود تمهیداتی که برای پایدارسازی استفاده شده بود، زمین‌لغزش در طی سال‌هایی که از احداث ترانشه می‌گذشت در حال افزایش بوده و هست. عدم توجه به حرکات دامنه در طی سال‌های اولیه‌ی احداث ترانشه، عدم نظارت راهبردی بر پروژه و بی‌اهمیت بودن به واقعه در حال اتفاق باعث شده است که وضعیت زمین‌لغزش در این ترانشه به مرز بحران برسد. چنانچه در این مقاله نشان داده شد، با اعمال یک

پله‌ی حفاظتی به عرض ۳ متر و اصلاح شیب ترانشه به اندازه‌ی ۳ درجه فاکتور ایمنی ترانشه از ۰,۸۷۸ به ۰,۹۷۳ تغییر می‌کند و این به معنی رسیدن به پایداری نسبی است.

مسئله‌ی بعدی ایجاد دیواره‌ای با کمترین کارایی در پاشنه‌ی شیب است که با اولین سقوط جدی مواد از ترانشه دچار خسارت شدید شده است. البته منظور از کارایی کم دیـواره‌ی حفاظتی بیشتر به جلوگیری از سقوط مواد از ترانشه بر می‌گردد، وگرنه احداث دیـواره‌ی حفاظتی در این موارد کاری مرسوم است و در صورت جانمایی درست و رعایت اصول ساختاری مناسب قادر به تغییر وضعیت لغزشی محدوده خواهد شد، بنابراین دیواره‌ی حفاظتی ایجاد شده در ایـن پـروژه به مقدار زیـادی بر روی حرکت لغزشی دامنه‌ی ترانشه تأثیر گذار بوده است.

پی‌نوشت

1. mass wasting
2. Limit Equilibrium Method
3. Numerical Method
4. Alluvium
5. Limit Equilibrium Method
6. Stress-Strain Method
7. Bishop's simplified method
8. SLIDE
9. Rocsience
10. Advancced Numerical Methods
11. Embankments
12. Finite Element Method

منابع

1. G. Girty, (2009). Perilous Earth: Understanding Processes Behind Natural Disasters, California.
2. P. Gupta, D. Mukherjee, P. Sikdar and K. Kumar, (2004). Investigation and Control of Narayanbagar Landslide, District Chamoli, Uttaranchal, India – A Case Study, in *Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York.

۳. م. یمانی؛ ع. ا. شمسی پور؛ ا. گورابی و م. رحمتی (بهار ۱۳۹۳). تعیین مرز پهنه های خطر زمین لغزش در مسیرآزادراه خرم آباد-پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی. *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره‌ی ۳، ۲۷-۴۳.

۴. ف. بیرانوند (۲۴ بهمن ۱۳۹۵). گران‌ترین آزادراه کشور همچنان درگیر حوادث/ آزادراه خرم‌آباد- پل زال امنیت ندارد، شماره خبر:۱۳۲۶۰۶۸،۲۴. بهمن ۱۳۹۵. [درون خطی]. Available: www.tasnimnews.com. [دستیابی در ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۶].

۵. م. لشنی زند؛ ب. پروانه؛ ف. بیرانوند (بهار ۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی استان لرستان با استفاده از روش‌های آماری و تعیین مناسب‌ترین روش تجربی. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال چهارم، شماره‌ی ۱۱، ۸۹-۱۰۶

۶. مرکز تحقیقات اداره کل هواشناسی استان لرستان (پاییز ۱۳۹۴). سوز و سیل. *نشریه داخلی اداره کل هواشناسی استان لرستان*، فصلنامه‌ی شماره ۳۲، ۵-۷

7. D. C Wyllie and C. W Mah (2004). Rock Slope Engineering CIVIL AND MINING, New York: Spon Press.
8. Y. Cheng and C. Lau, (2014). Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight second edition, Boka Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
9. C. Matthews, Z. Farook and P. Helm, (2014). Slope stability analysis - limit equilibrium or the finite element method? *Ground Engineering*, 22-28.
10. O. C. Rickard and N. Sitar, (2012). bSLOPE: A Limit Equilibrium Slope Stability Analysis Code for iOS, Geotechnical Engineering Report No. UCB/GT/12-01, Department of Civil and Environmental Engineering, UC Berkeley, Berkeley, CA, 94720.
11. R. Chowdhury, P. Flentje and G. Bhattacharya, (2010). Geotechnical Slope Analysis, Boca Raton, London, New York, Leiden: CRC Press, Taylor & Francis Group.
12. T. Scheldt, (2002). Comparison of Continuous and Discontinuous Modelling for Computational Rock Mechanics, This thesis has been submitted to Department of Geology and Mineral Resources Engineering Norwegian University of Science and Technology.
13. D. V. Hutton, (2004). Fundamentals Of Finite Element Analysis, New York: MC Graw Hill companies.

۱۴. و. هوسترولید؛ م. کوچتا (۱۳۸۳). طراحی و برنامه ریزی معادن روباز. تهران: دانشگاه صنایع و معادن ایران.