



# تأثیر زمین لغزش بر ایمنی راه‌ها و مناطق روستایی در ایران و راهکارهای پایدارسازی آنها

## مطالعه موردی: زمین لغزش‌های محور ناغان - سد کارون 4

محسن صالحی\*، مجید صفا مهر\*\*، مسعود نصری\*\*، حسین بور\*\*\*

1394/02/30

تاریخ دریافت مقاله:

1394/11/18

تاریخ پذیرش مقاله:

### چکیده

در این پژوهش به بررسی اثرات زمین لغزش‌های رخ داده در استان چهارمحال و بختیاری و آنالیز آماری آنها پرداخته می‌شود و در نهایت جهت مستند شدن موارد بررسی شده، دو مورد از زمین لغزش‌های بزرگ محور ناغان - سد کارون 4، با استفاده از روش‌های نرم‌افزاری و تجربی ارزیابی می‌گردد. جمع‌آوری آمار مربوطه، در گروه بررسی زمین لغزش‌های اداره معاونت آبخیزداری و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، از سال 1365 تا 1392 انجام شده است. طی این مدت، تعداد 319 لغزش شناسایی و مشخصات آنها ثبت گردیده است. با استفاده از اطلاعات این پژوهش، زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در استان چهارمحال، براساس حوضه‌ها و زیرحوضه‌های در برگیرنده و میزان خسارات‌های وارده، مورد مطالعه آماری قرار گرفته‌اند. در نهایت برخی از مهمترین زمین لغزش‌های محور ناغان - سد کارون 4، معرفی و طرح‌های پایدارسازی آنها ارائه می‌گردد. با توجه به قرارگیری این زمین لغزش‌ها در بالادست روستاهای ده کهنه و گندمکار علیا و احتمال وقوع تلفات جانی ناشی از این زمین لغزش‌ها، بررسی کامل و جامعی بر روی حرکات دامنه‌ای و راه‌های کاهش حرکت زمین لغزش انجام شد. عوامل اصلی محرک زمین لغزش‌های محور ناغان - سد کارون 4، نفوذ آب‌های سطحی و روان آب‌های حاصل از بارندگی‌های فصلی و همچنین وجود لایه‌های مارنی و رسی در مصالح دربرگیرنده شیلروانی‌ها می‌باشد. طبق بررسی‌های به عمل آمده تقریباً همه زمین لغزش‌های محور مذکور، روستاها و مراکز جمعیتی را تحت تأثیر قرار داده است. در این پژوهش با تحلیل پایداری برای شیلروانی‌های خاکی (تحلیل‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار Geoslope) و شیلروانی‌های سنگی (تحلیل‌های استریوگرافیک) به طور جداگانه و لحاظ نمودن مشاهدات میدانی، راهکارهای مناسب پایدارسازی براساس مکانیزم این زمین لغزش‌ها ارائه شده است. روش‌های اصلی پایدارسازی ترانشه‌های خاکی و سنگی، مبتنی بر اجرای زهکش‌های سطحی و زیر سطحی در کنار سازه‌های نگهدارنده می‌باشد. با توجه به تحلیل‌های انجام شده عملکرد آب منفذی و نفوذ ناپذیری لایه‌های مارنی از عوامل اصلی حرکت توده خاک هستند. بنابراین ایجاد شبکه‌های زهکشی بهترین راه حل به‌منظور تثبیت زمین لغزش‌های مورد نظر می‌باشند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، ترانشه‌ها، پایدارسازی، زهکشی سطحی، زهکشی زیر سطحی، ناغان.

\* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اردستان. salehi\_m4000@yahoo.com

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

\*\*\* شرکت مهندسی مشاور جامع کار سپاهان.

## مقدمه

ایران کشوری کوهستانی و دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی خاصی در دامنه‌ها و پای کوه‌ها است. مهمترین ویژگی آن به جای ماندن رسوبات ضخیم و منفصل از آخرین دوره یخچالی می‌باشد که مستعد حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین لغزش است (قهرودی 1393). بروز پدیده زمین لغزش می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد، ولی معمولاً در شروع زمین لغزش تنها یک نیروی محرک خارجی (Trigger) نقش محوری دارد. بارندگی شدید، ذوب سریع برف، تغییرات ناگهانی در سطح آب زیرزمینی، زلزله و فرسایش با سرعت زیاد از مهمترین عوامل ماشه‌ای زمین لغزش‌ها برشمرده می‌شوند (Sidle & Ochiai, 2006). کائن و آلن (1985)، کروزیب (1999) و ژیکوب و ویتولی (2003) بارندگی را به‌عنوان متداول‌ترین عامل ماشه‌ای وقوع زمین لغزش‌ها برشمرده‌اند. طالبی و همکاران (2007) هندسه شیب و تغییرات زمانی مقادیر جریان‌های زیرسطحی و عمق آب زیرزمینی را از عوامل تعیین‌کننده در پیش‌بینی زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی می‌دانند. به‌طور کلی، نفوذ آب حاصل از بارندگی در دامنه، سبب بالا رفتن مقدار فشار منفذی، کاهش مکش خاک و افزایش وزن واحد خاک می‌شود و در نهایت از مقاومت برشی خاک می‌کاهد و دامنه را مستعد لغزش می‌کند (Giannecchini, 2006).

اگرچه رخداد لغزش به عواملی مانند بارندگی زیاد، وجود چشمه‌های فراوان، جنس لایه‌های زمین و تأثیر گسل‌ها، هم جهت بودن شیب لایه‌ها و شیب طبیعی زمین و دخالت انسان بستگی دارد (Khazai B. And Sitar 2004)، لیکن شواهد میدانی

نشان می‌دهد زلزله مهمترین محرک ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد (Yin, Y. et al. 2009).

مهمترین چشمه لرزه‌زا در نزدیک ایستگاه شتابنگاری منطقه ناغان، راندگی زاگرس می‌باشد. ساز و کار این گسل، راندگی با روند شمال باختری - جنوب خاوری با طول حدود 1320 کیلومتر می‌باشد.

گسل‌های مهم دیگر عبارتند از گسل اردل که دارای ساز و کار فشاری با روند شمال باختری - جنوب خاوری و طول حدود 80 کیلومتر است که در شمال باختر ناغان قرار دارد. گسل شلمزار با روند شمال باختر - جنوب خاوری با 60 کیلومتر طول از دیگر گسل‌های مهمی است که از 18 کیلومتری شمال خاوری ناغان می‌گذرد (شفیع‌زاده 1389).

خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها بسیار بیشتر از آنچه شناسایی شده، می‌باشد. بسیاری از خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها به ثبت نرسیده است زیرا عموماً در خبرها به‌همراه سیل، طوفان و زلزله اشاره شده‌اند. به‌عنوان مثال خسارت ناشی از زمین لغزش در ایران حدود 500 میلیارد ریال در سال برآورد شده است (حسینی 1387).

پدیده زمین لغزش به‌علت از بین رفتن تعادل بین نیروهای مقاوم در مقابل نیروهای محرکه لغزش در ترائشه‌ها و دامنه‌ها اتفاق می‌افتد. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به‌خصوص در دهه‌های اخیر، توجه بسیاری از مهندسين و محققين را به خود مشغول کرده است.

لغزش و ناپایداری شیروانی‌ها موجب تخریب و انسداد راه‌ها و یا حداقل کاهش کیفیت و ایمنی آن‌ها می‌شود و از جمله پیامدهای آن هزینه‌های هنگفت بازسازی و نگهداری جاده می‌باشد. در موارد بحرانی، ممکن است موجب تلفات جانی برای استفاده‌کنندگان از جاده‌ها و نیز روستاها و آبادانی‌های

منطقه‌ای، با عنایت به موقعیت "جغرافیایی سیاسی" کشور. بنابراین ضروری است که مسائل ناپایداری شیروانی‌ها و نحوه تثبیت آن به‌طور گسترده و منسجم مورد پژوهش قرار گرفته، تا هم از آسیب بیشتر به سرمایه‌های ملی جلوگیری شود و هم موجبات توسعه راه‌ها و سیستم ارتباطی کشور بیش از پیش فراهم شود. در این پژوهش ابتدا یک بررسی آماری با استفاده از داده‌های ثبت شده توسط اداره معاونت آبخیزداری و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است. این بررسی از سال 1372 تا 1392 شامل پراکندگی مکانی زمین لغزش‌ها، مشخصات زیرحوضه‌ها، میزان بارندگی سالانه و خسارت‌های وارده می‌باشد (جدول شماره 1).

واقع در پایین دست شیب‌ها شود (World Bank, United Nations, 2010).

به‌طور کلی زمین لغزه‌ها نسبت به سایر بلایای طبیعی قابل پیش‌بینی‌تر و مدیریت پذیرترند. به‌گونه‌ای که با شناخت پتانسیل زمین لغزش می‌توان استراتژی مناسبی برای مقابله و یا همزیستی با آن فراهم نمود (مردانیان 1386).

بنابراین نیاز به یک سیستم ارتباطی و جاده ای ایمن و روان به دو علت عمده زیر بیش از پیش احساس می‌شود. 1- رشد جمعیت و توسعه و توزیع روستاها و شهرها در اقصی نقاط کشور.

2- نقش ویژه سیستم ارتباطی و جاده‌ای با استاندارد قابل قبول در برقراری سیستم حمل و نقل فراکشوری و

| نام حوضه آبخیز | زیر حوضه      | تعداد زمین لغزش‌ها | تاریخ اولین حرکت | بارندگی سالانه | خسارت‌ها به ریال |
|----------------|---------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|
| کارون          | کوه‌رنگ       | 58                 | 1372             | 1083.5         | 1.153.960.000    |
|                | بازفت         | 61                 | 1374             | 662            | 1.337.580.000    |
|                | بهشت آباد     | 14                 | 1373             | 669.5          | 130.078.920      |
|                | کارون میانی   | 144                | 1365             | 724.5          | 14.904.392.000   |
|                | ونک           | 8                  | 1371             | 575            | 72.558.600       |
|                | لردگان        | 2                  | 1372             | 505.9          | 46.764.000       |
|                | کارون - میهه  | 3                  | 1372             | 1224           | 207.200.000      |
|                | کارون - چوبین | 4                  | 1370             | 1037.3         | 143.000.000      |
| زاینده رود     | کوه‌رنگ       | 25                 | 1368             | 1224           | 291.900.000      |
| جمع کل         |               | 319                |                  |                | 18.287.433.520   |

### ج 1. آمار زمین لغزش‌های رخ داده در استان چهارمحال و بختیاری از سال‌های 1365 تا 1392.

قرار گرفته است. همچنین پس از شناسایی زمین لغزش مذکور، راهکارهای عملی مورد نیاز جهت کاهش آثار حرکتی آن ارائه شده است.

#### آنالیز آماری

براساس مطالعات انجام شده استان چهارمحال و بختیاری یکی از مستعدترین استان‌های کشور در میزان

پس از بررسی آثار مختلف زمین لغزش‌ها بر ترانشه راه‌ها جهت مستند سازی موارد اشاره شده، دو مورد از زمین لغزش‌های محور ناغان - سد کارون 4 مورد بررسی و تحلیل نرم‌افزاری (با استفاده از نرم‌افزار Geoslope-6.02 برای شیروانی‌های خاکی و تحلیل‌های استریوگرافیکی برای شیروانی‌های سنگی)

وقوع زمین لغزش‌ها است. خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها، (319 مورد ثبت شده در استان چهارمحال و بختیاری) شامل تلفات جانی، خسارت‌های مختلف مالی، تخریب زمین‌های کشاورزی، وارد آمدن خسارت به راه‌ها و تلف شدن احشام بوده است. در این رابطه، کل خسارت‌های وارد بر اساس محاسبات ریالی در جدول شماره 1 نشان داده شده است.

از کل 319 مورد زمین لغزش، 172 مورد آن به نوعی مربوط به ترانشه راه‌ها بوده است. با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی این استان، شاید بتوان دو عامل تعیین‌کننده زیر را برای فراوانی‌های زیاد لغزش در این استان، مؤثر دانست:

الف: وجود ناهمواری‌ها و ارتفاعات در مسیر جاده‌ها.  
ب: میزان بارندگی و رطوبت نسبی بالا.

البته این نتیجه‌گیری را نمی‌توان قطعی تلقی کرد، چرا که پارامترهای متعدد دیگری (اعم از پارامترهای ثبت شده در آمارگیری و یا پارامترهای ثبت نشده) از جمله نوع استراتیگرافی خاک‌های محل وقوع لغزش و نحوه طرح هندسی راه‌ها، می‌تواند دخیل بوده باشد (معماریان 1381).

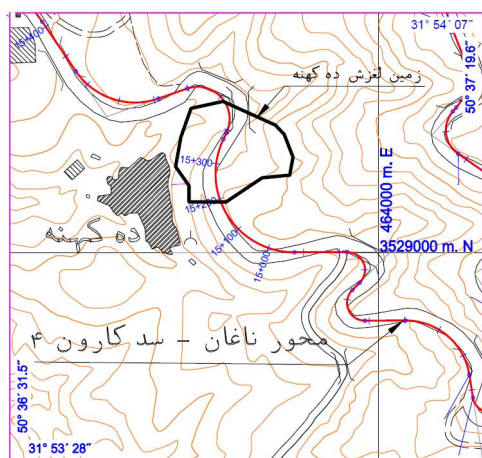
#### مطالعه موردی: محور ناغان - سد کارون 4

بررسی تصاویر ماهواره‌ای در منطقه زاگرس بلند نشان‌دهنده پتانسیل بالای وقوع زمین لغزش در این کمربند کوهستانی می‌باشد (Hashmi et al 2009). راه ارتباطی ناغان - سد کارون 4 به دلیل قرارگیری در زون ساختمانی زاگرس بلند، دارای مشکلات و مخاطرات طبیعی متنوع و فراوانی می‌باشد. از مهمترین موارد مسئله‌ساز و کاهنده ضریب ایمنی راه وجود زمین لغزش‌ها و حرکات دامنه‌ای در طول مسیر راه است. راه اصلی ناغان به سد کارون 4، دارای انواع مختلفی از زمین لغزش‌های سنگی و خاکی می‌باشد. در این

پژوهش زمین لغزش خاکی، واقع در کیلومتر 15+350، (بنای محاسبه کیلومتر از اراکه شده از روستای دهنو ناغان به سمت سد کارون 4 می‌باشد) و راهکارهای پایدارسازی مناسب، برای آن پیشنهاد شده است.

#### زمین لغزش در کیلومتر 15+350 از محور ناغان - سد کارون 4

در کیلومتر 15+350، یک توده خاک با حرکت لغزشی و شواهد موید حرکت آن دیده می‌شود. عمق این توده با توجه به بررسی‌های اولیه حدود 20 متر برآورد می‌شود. تصویر شماره 1 موقعیت این زمین لغزش را نسبت به روستای ده کهنه نشان داده است. موقعیت این توده لغزشی در فاصله یک کیلومتر قبل از روستای گل سفید ناغان و 3 کیلومتر قبل از روستای دوپلان می‌باشد.



ت 1. موقعیت روستای ده کهنه در معرض زمین لغزش بر روی نقشه توپوگرافی منطقه.

در تصاویر آثار حرکت زمین لغزش بر روی تنه درخت در سمت راست و بالای تصویر مشهود است. تنه این درخت بر اثر حرکت توده خاک خمیده شده است (تصویر شماره 2). جنس لایه‌های تشکیل دهنده خاک باعث شده تا امکان وقوع حرکت توده لغزشی

نشان داده شده در تصویر شماره 2، مقادیر پارامترهای مقاومتی خاک به شرح جدول شماره 2 به دست آمده است. نمونه‌های آزمایش شده شامل نمونه‌های دست خورده می‌باشد که در آزمایشگاه بازسازی شده‌اند.

| ردیف | رطوبت % | تنش برشی (Kg/cm <sup>2</sup> ) | تنش نرمال (Kg/cm <sup>2</sup> ) | C (Kg/cm <sup>2</sup> ) | φ° |
|------|---------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|----|
| 1    | 10/3    | 0/65                           | 1                               | 0/14                    | 23 |
| 2    | 10/3    | 1/12                           | 2                               |                         |    |

### ج 2. پارامترهای مقاومتی توده خاک لغزنده.

با استفاده از تحلیل‌های انجام شده به کمک نرم‌افزار Geoslope 7.10 مشخص می‌گردد که توده خاک به‌طور بالقوه ناپایدار است (نمودار شماره 1). کاهش نیروهای محرک و افزایش مقاومت برشی خاک از عوامل اصلی کنترل زمین لغزش هستند. یکی از نیروهای محرک زمین لغزش وجود آب‌های زیرزمینی است. آثار حرکت آب در بالای شیب دامنه لغزشی بصورت آبشستگی و فرسایش رسوبات دیده می‌شود. (تصویر شماره 2). در اثر نفوذ آب به دامنه خاکی وزن توده خاک و جرم حجمی توده لغزشی افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه میزان حرکت توده به سمت جاده و پایین دست محور جاده افزایش پیدا می‌کند.

بر اساس نمودار شماره 1 مشخص می‌شود که سطح لغزش از زیر بستر راه عبور می‌کند که این مطلب در بررسی‌های میدانی با توجه به ترک‌های طولی و نشست آسفالت تأیید می‌گردد (تصویر شماره 2). لازم به توضیح است که تحلیل فوق برای حالت غیر اشباع انجام شده و ضریب اطمینان لغزش توده در این حالت طبق نتایج نرم‌افزار یاد شده برابر 0/957 می‌باشد. در صورت اشباع شدن توده لغزنده در اثر بارندگی فصلی و رواناب‌های سطحی، ضریب اطمینان به 0/749 کاهش می‌یابد که در نتیجه حرکت توده را به دنبال خواهد داشت (نمودار شماره 2). تحلیل‌های انجام گرفته در

بسیار بالا باشد. وجود لایه‌های درشت دانه، نفوذ آب‌های سطحی را تسهیل می‌کند و از طرف دیگر وجود لایه‌های مارن به دلیل اصطکاک پایین به خصوص در حالت اشباع، امکان حرکت توده را تشدید می‌کند.



ت 2. نمایی از آثار حرکت زمین در کیلومتر 15+350 (دید به سمت شمال شرق).

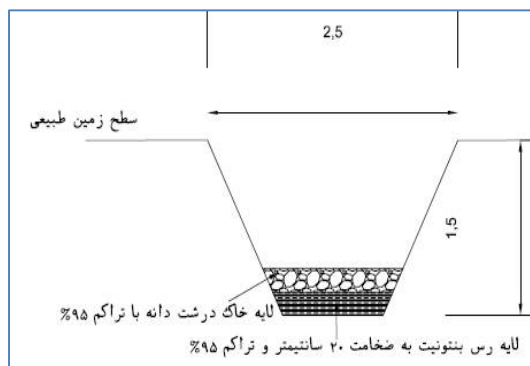
میان لایه‌های مارنی در اثر حضور آب بسیار لغزنده و ناپایدار هستند. به همین دلیل در مواقع بارندگی انتظار می‌رود که حرکت توده و نشست سطح جاده محسوس‌تر باشد. بنابراین لیتولوژی لایه‌های خاک و حضور آب از عوامل اصلی حرکت توده لغزشی مورد اشاره هستند. در آنالیز شیب‌های طبیعی خاک، محاسبه ضریب پایداری (فاکتور ایمنی) در حالت کلی به صورت زیر تعریف می‌شود (طالبی و همکاران 1388).

$$F = \frac{\sigma}{\tau}$$

F=ضریب پایداری،  $\sigma$ =مقاومت برشی،  $\tau$ =تنش برشی

تاکنون روش‌های مختلفی بسته به نوع و وضعیت خاک برای انجام آنالیز پایداری شیب‌ها ارائه شده است که مهمترین آن‌ها روش بیشاپ می‌باشد (Vranken et al 2013). بر اساس نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نمونه‌های خاک مربوط به زمین لغزش





ت 3. جزئیات اجرای زهکش سطحی.

### اجرای گمانه‌های افقی زهکش

چندین روش تحلیلی جهت تعیین فاصله بین زهکش‌های زیرسطحی و همچنین برای تعیین دبی تغذیه / رواناب و تعیین سطح آب زیرزمینی وجود دارد. این روش‌ها در واقع طریقه عملی کنترل زه، زهکشی و انجام عملیات آبیاری است. فرضیات دوطرفی – فورشه‌ایمر امکان ساده‌سازی این‌گونه مسائل را فراهم می‌سازد. اولین روش تحلیلی و قابل قبول برای فاصله یابی گمانه‌های زهکش توسط کرکهام (Lakshmi 2003) ارائه شد (Lakshmi 2003). براساس تحلیل‌های انجام شده به روش کرکهام گمانه‌های افقی زهکش با شیب ملایم به سمت داخل دامنه لغزشی به طول 30 متر و با فاصله 20 متر از یکدیگر، حفاری می‌شود. تعداد گمانه‌های زهکش 10 حلقه برآورد شده است. این گمانه باید از سطح لغزش عبور کند و حفاری آن‌ها تا 10 متر بعد از سطح لغزش ادامه می‌یابد. شیب حفاری این گمانه 5 تا 10 درجه نسبت به افق می‌باشد (نمودار شماره 4).

به‌منظور زهکشی آب‌های زیرزمینی از این گمانه یک لوله پلیکای مشبک داخل آن قرار می‌گیرد و دور لوله پلیکا یک لایه ژئوتکستایل پیچیده می‌شود که از بسته شدن سوراخ‌های لوله توسط ذرات خاک جلوگیری کند. این عملکرد فیلتراسیون توسط ژئوتکستایل می‌تواند عمر

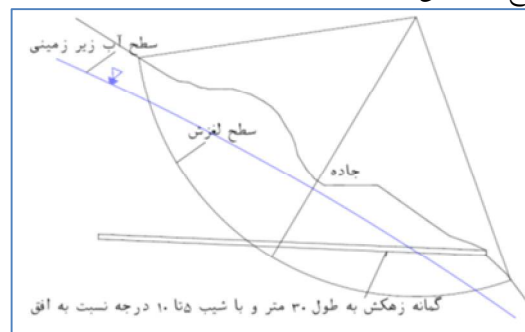
تشدید شود. راهکار اصلی جلوگیری از حرکت توده خاک در این قسمت از مسیر احداث شبکه زهکشی سطحی می‌باشد. شبکه زهکش سطحی شامل یک کانال زهکش در بالادست دامنه لغزشی است. براساس تحلیل‌های انجام شده (Lakshmi 2003) این کانال باید به عمق یک متر و عرض دهانه 2.5 متر با مقطع دوزنقه‌ای در بالای شیب دامنه اجرا شود و کف آن با استفاده از یک لایه رس بنتونیت به ضخامت 20 سانتیمتر با تراکم 95 درصد کوبش آب بند گردد. هدف از اجرای این کانال جمع‌آوری آب‌های سطحی در بالادست توده لغزشی و هدایت آن به سمت خارج از توده می‌باشد. آب‌بندی کف کانال به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به داخل توده لغزشی باید اجرا شود. به‌منظور حفظ لایه بنتونیت یک لایه تونان با تراکم 95 درصد به ضخامت 20 سانتیمتر نیز باید اجرا گردد. جزئیات زهکش مورد نظر در تصویر شماره 3 نشان داده شده است.

| سال آماری | بارندگی روزانه |                |
|-----------|----------------|----------------|
|           | میلیمتر        | بارندگی سالانه |
| 2000      | 31/5           | 265            |
| 2001      | 104            | 746            |
| 2002      | 38             | 791            |
| 2003      | 36             | 507            |
| 2004      | 49             | 530            |
| 2005      | 48/5           | 320            |
| 2006      | 63/1           | 484/8          |
| 2007      | 29             | 349/4          |
| 2008      | 38/5           | 390            |
| 2009      | 82             | 772            |
| 2010      | 39             | 510            |
| 2011      | 87             | 503            |
| 2012      | 53             | 584/6          |
| 2013      | 63             | 597/1          |

ج 3. مقادیر حداکثر بارندگی روزانه و بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه.



این گمانه‌های زهکش را تا حد زیادی افزایش دهد. نمودار شماره 4 جزئیات اجرای این زهکش‌ها را نشان می‌دهد. قطر گمانه‌های زهکش معمولاً بسته به قطر سرمته‌های موجود بین 76 تا 127 میلیمتر می‌تواند متغیر باشد. فاصله جانبی بین گمانه‌های زهکش 10 متر در سطح دامنه می‌باشد.



ن 4. نحوه اجرای گمانه زهکش در دامنه لغزشی.

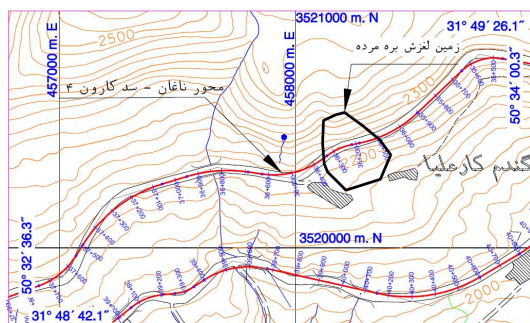
#### لغزش 36+300 کیلومتر از محور ناغان - سد کارون 4 (لغزش گردنه بره مرده ناغان)

لغزش لایه‌های سنگی آهک و مارن در کیلومتر 36+300 گردنه بره مرده (مبنای محاسبه کیلومتر، فاصله از روستای دهنو می‌باشد) در نزدیکی روستای گندم‌کار علیا، باعث جابجایی و سقوط بلوک‌های سنگی شده است. موقعیت این زمین لغزش نسبت به روستای گندم‌کار علیا نشان داده شده است (تصویر شماره 4). در این قسمت از مسیر دو لغزش وجود دارد یکی در لایه‌های سنگی در بالادست جاده و دیگری در دامنه خاکی پایین دست جاده، که حرکت دامنه باعث شکستگی لایه آسفالت و جابجایی گارد ریل شده است (تصویر شماره 3). با توجه به عمق زیاد لغزش و وجود چشمه‌های فراوان در منطقه امکان زهکشی توده لغزشی به صورت طبیعی فراهم شده است. تصویر

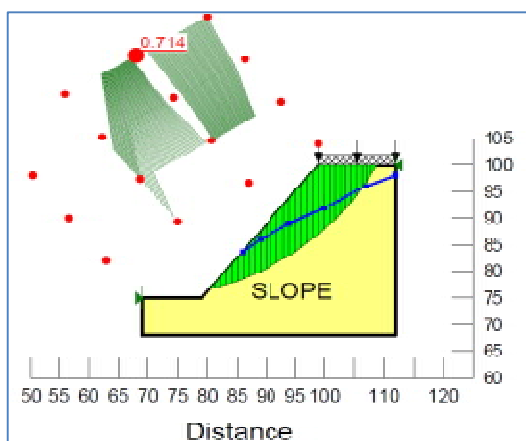
شماره 7 بخشی از شیروانی سنگی را در کیلومتر 36+300 نشان می‌دهد.

#### زمین لغزش پایین دست گردنه بره مرده

با توجه به ابعاد زمین لغزش در مصالح خاکی در حاشیه جاده تحلیل دقیق این زمین لغزش نیازمند اطلاعات زیرسطحی و گمانه‌های ژئوتکنیک به عمق و تعداد کافی می‌باشد. به دلیل نبود داده‌های زیرسطحی با استفاده از تجربیات مشابه و قضاوت مهندسی تحلیل پایداری شیروانی خاکی بوسیله نرم افزار Geoslope 7.10 انجام گردید. نتایج حاصل از تحلیل انجام شده نشان می‌دهد که شیروانی مورد نظر دارای ضریب اطمینان 0.714 می‌باشد و طبیعتاً ناپایدار است (نمودار و تصویر شماره 5).



ت 4. موقعیت زمین لغزش نسبت به روستای گندم‌کار علیا بر روی نقشه توپوگرافی منطقه.



ن 5. نتایج حاصل از تحلیل پایداری بر روی شیروانی خاکی.

کرنش‌های بالا می‌باشد، نظیر آنچه در زمین لغزش اتفاق می‌افتد (صفایی و دیگران 1389).

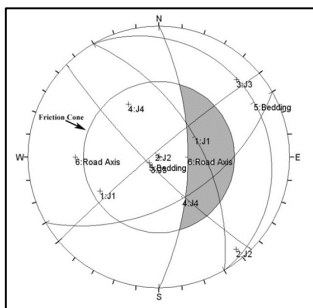
### تحلیل استریوگرافیک شیب

به منظور بررسی و تحلیل موقعیت صفحات و خطوط در امتدادهای مختلف و مقایسه وضعیت نسبی آن‌ها، یکی از روش‌های ساده و معمول در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی، مکانیک سنگ و ژئوتکنیک، استفاده از شبکه استریونت می‌باشد. از آنجا که هر کدام از ویژگی‌های صفحه‌ای یا خطی توده‌های سنگی را می‌توان در تصویر فضایی مشخص نمود، لذا صفحه شیب طبیعی توپوگرافی و نیز صفحات ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ را می‌توان به صورت صفحات مشخص روی صفحه شبکه استریونت نشان داد (Hoek & Bray, 1981). بررسی پایداری شیب با استفاده از سیستم مختصات استریوگرافیک به عنوان یک روش جدید تحلیل عددی، به دلیل آنکه بر اساس روابط ریاضی و هندسه تحلیلی استوار می‌باشد، در مقایسه با سایر روش‌های ترسیمی از دقت بالایی در ارزیابی ناپایداری و پیش‌بینی جهت لغزش بلوک ناپایدار برخوردار است (Priest, 1990). در این روش با داشتن شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ، شیب و جهت شیب توپوگرافی و نیز زاویه اصطکاک سطوح ناپیوستگی، ضمن نوشتن یک برنامه ساده کامپیوتری، می‌توان به بررسی و تحلیل پایداری شیب پرداخت (Goodman, 1989). فاصله بولت‌ها در مهارهای استفاده شده در روش سیم توری، رابطه مستقیمی با میزان ناپایداری دیواره سنگی دارد هر چه شیروانی سنگی تکنیزه‌تر باشد و درزه و شکاف بیشتری داشته باشد، بولت و مهارها باید نزدیک‌تر به هم اجرا شوند. که این فاصله‌ها با استفاده از درزه‌نگاری شیروانی سنگی به دست می‌آید (جدول شماره 4).



ت 5. شکستگی عمیق (به عمق 3 متر و عرض 0.5 تا 0.7 متر) در اثر حرکت دامنه در پایین دست جاده.

به منظور جلوگیری از لغزش دامنه خاکی در پایین دست جاده که دارای عمق نسبتاً زیادی است (حدود 30 متر)، بایستی از روش‌های زهکشی سطحی و زیر سطحی همراه با اجرای دیوارهای خاک مسلح استفاده کرد. دیوارهای خاک مسلح با استفاده از مصالح ژئوگرید، باعث افزایش ظرفیت باربری و مقاومت برشی خاک می‌شوند که در این پژوهش مجالی برای ورود به این بحث نمی‌باشد. در خصوص طراحی دیوارهای خاک مسلح و نحوه اجرای آن‌ها به (صفا مهر و همکاران 1391) در بخش مراجع رجوع شود. با اجرای دیوار خاک مسلح از بروز گسیختگی و لغزش جلوگیری می‌شود. با توجه به ضعف خاک در کشش استفاده از مصالح تسلیح ژئوسینتتیک (ژئوتکستایل، ژئوگرید) تأثیر چشمگیری در افزایش مقاومت خاک دارد و استفاده از آن‌ها در تسلیح شیروانی‌ها باعث افزایش قابل توجه در پایداری شیروانی‌های خاکی می‌شود. بنابراین می‌توان زمین لغزش‌ها را با خاک موجود در محل، مصالح دانه‌ای یا چسبنده مسلح کرد و بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشترین تأثیر ژئوگریدها در



ن 6. تحلیل استریوگرافی شیروانی سنگی بره مرده.

بلوک‌های ناپایدار حاصل از تقاطع دسته درزه‌های J4، J3 و J2 امکان لغزش بر روی سطح ترانشه سنگی را دارند (نمودار شماره 6). همچنین گوه‌های حاصل از تقاطع درزه‌های J1 و J4 به دلیل قرارگیری در محدوده ناپایدار (محدوده هاشور خورده در نمودار شماره 6)، احتمال لغزش خواهند داشت. بنابراین با توجه به مشاهدات میدانی و تحلیل استریوگرافیک دسته درزه‌ها پتانسیل لغزش، در شیروانی سنگی وجود دارد و روش‌های تحلیلی و تجربی یکدیگر را تأیید می‌کنند (نمودار شماره 6).

با توجه به تحلیل‌های انجام شده در خصوص شیروانی سنگی، طرح پایدار سازی شیروانی و اجرای سیم توری‌های مهارکننده، به منظور جلوگیری از لغزش بلوک‌های سنگی ضروری است. در این قسمت از مسیر بایستی شیب ترانشه سنگی در بالادست با استفاده از سیم توری (Wire mesh) مهار گردد. در این روش با استفاده از کاور کردن و مهار شدن سنگ‌های ناپایدار به سنگ مادر و سنگ بستر اجازه حرکت داده نمی‌شود. شایان ذکر است که در این روش که به نام Active مرسوم شده است بازه حرکت توده سنگ بسیار محدود می‌شود قبل از اینکه انرژی زیادی برای محافظت نیاز داشته باشد با انرژی کمتری مهار می‌شود.

| فاصله‌داری (cm) |        |       |            | شیب/جهت شیب | دسته درزه |
|-----------------|--------|-------|------------|-------------|-----------|
| بیش از 100      | 100-50 | 10-50 | کمتر از 10 |             |           |
| 0               | 28     | 48    | 24         | 060/55      | J1        |
| 1               | 41     | 38    | 20         | 320/85      | J2        |
| 14              | 52     | 25    | 9          | 225/80      | J3        |
| 19              | 46     | 30    | 5          | 150/50      | J4        |
| 14              | 40     | 31    | 15         | 060/10      | لایه‌بندی |

ج 4. مقادیر اندازه گیری شده مربوط به سطوح ناپیوستگی (درزه‌ها) در زمین لغزش بره مرده.

بر اساس جدول شماره 4 فاصله اغلب درزه‌ها بین 50 تا 100 سانتیمتر می‌باشد. بنابراین فاصله بولت‌ها نیز بایستی حداکثر 50 سانتیمتر باشد. لازم به توضیح است که تعیین فواصل اجرای این بولت‌ها توسط دستگاه نظارت در هنگام اجرای میل مهارها و سیم توری‌ها می‌باشد و بنا به شرایط درزه‌ها می‌تواند به صورت موضعی نیز تغییر کند. ارزیابی پایداری بلوک‌های سنگی در منطقه نشان می‌دهد که وجود ناپیوستگی‌ها در توده سنگ باعث لغزش بلوک‌ها و گوه‌های سنگی خواهد شد. بر اساس تحلیل‌های استریوگرافی، محدوده هاشور خورده در نمودار شماره 5، منطقه ناپایدار را نشان می‌دهد. فصل مشترک امتداد ترانشه محور راه (Road Axis) و مخروط اصطکاک ( $\omega=30$ ) (Friction Cone) منطقه ناپایدار را نشان می‌دهد. قرارگیری صفحات ناپیوستگی و محل تقاطع درزه‌ها در زون ناپایدار نشان‌دهنده پتانسیل وقوع لغزش و سقوط بلوک‌ها و گوه‌های حاصل از تقاطع دسته درزه‌ها می‌باشد. موقعیت لایه‌بندی در این ترانشه، شرایط نسبتاً مناسبی را دارد و به دلیل شیب کم لایه‌ها و جهت گیری مناسب آن نسبت به محور راه امکان لغزش در امتداد صفحات لایه‌بندی وجود ندارد (نمودار شماره 6).

با توجه به این که در بسیاری از زمین لغزش‌ها، آب نقش عمده ای در حرکت توده خاکی ایجاد می‌کند، بدیهی است برنامه‌ریزی برای جلوگیری از ورود آب به مناطق حساس و یا خارج نمودن آب اضافی توده لغزنده، می‌تواند اثر این عامل فزاینده را کاهش داده و باعث خفیف شدن و یا تثبیت حرکات توده‌ای لغزنده گردد. بنابراین اجرای زهکش‌ها بایستی در اولویت قرار بگیرد. با توجه به عمق سطح لغزش که برای هر کدام از لغزش‌ها به ترتیب حدود 20 تا 30 متر تخمین زده شده اجرای زهکش‌های زیرسطحی در کاهش فشار آب منفذی می‌تواند مؤثر باشد. (به شرح بند " اجرای گمانه‌های افقی زهکش").

در مطالعات موردی زمین لغزش‌های محور راه اصلی ناغان - سد کارون 4، مشخص گردید که روش‌های تحلیلی-نرم‌افزاری و تجربی استفاده شده در خصوص ارزیابی پایداری شیروانی‌های خاکی و سنگی، مکمل و تأیید کننده یکدیگر هستند. بنابراین توصیه می‌شود که این روش‌ها به صورت موازی و در کنار یکدیگر استفاده گردد. جنس مصالح تشکیل دهنده توده‌های لغزشی معمولاً از خاک‌های سست و میان لایه‌های مارنی تشکیل شده و بعد از عامل بارندگی و رطوبت، مؤثرترین عامل در لغزش می‌باشد. لیتولوژی ضعیف و پایین بودن مقادیر C و  $\omega$  خاک‌های منطقه می‌تواند یکی از دلایل عمده وقوع حرکات لغزشی و دامنه‌ای باشد. بنابراین مقاوم سازی و تسلیح خاک که منجر به افزایش ظرفیت باربری خاک می‌گردد، نقش مؤثری در جلوگیری از لغزش‌ها خواهد داشت. جهت شناسایی دقیق‌تر مشخصات هندسی توده‌های لغزشی و ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی خاک، به تعدادی گمانه‌های اکتشافی مورد نیاز است، که امید است این مقوله مورد

توجه دست‌اندرکاران اداره راه و شهرسازی استان چهار محال و بختیاری قرار بگیرد. شناسایی لایه‌های زیر سطحی می‌تواند به تصمیم‌گیری در مورد اجرای خاکبرداری، زهکش‌های سطحی و زیرسطحی و گمانه‌های زهکش کمک کند. با توجه به خسارات زیادی که هر ساله زمین لغزش‌ها به راه‌های کشور وارد می‌کنند، پیشنهاد می‌گردد جهت تکمیل مطالب ارائه شده در این تحقیق، تعدادی گمانه اکتشافی در محل زمین لغزش‌های مورد بررسی، حفاری و نتایج آن در طرح‌های تثبیتی لحاظ گردد.

#### تشکر و سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت مالی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان در اجرای طرح پژوهشی با عنوان: روش‌های مهندسی عمران در پایدارسازی زمین لغزش‌ها براساس مکانیزم لغزش در ارتباط با بهسازی راه‌های اصلی (مطالعه موردی محور ناغان - سد کارون 4) و مطالعه حاضر تشکر و سپاسگزاری نمایند.

#### فهرست منابع

- حسنی، ح. (1387)، "روش‌های نوین مدیریت ترانشه‌ها در راه و راه آهن"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، 184 ص.
- حسین رودی، غ؛ میرقاسمی، ع.ا. (1385)، "استفاده از روش المان‌های مجزا در تحلیل روش‌های مقابله با خطرات طبیعی ناشی از لغزش‌های زمین و تحلیل موردی زمین لغزش گلدیان (رودبار) با به‌کارگیری این روش" دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- حق‌شناس، ا. (1372)، فاکتورهای نشان‌دهنده پتانسیل ناپایداری، نخستین گردهمایی زمین لغزش، معاونت آبخیزداری، وزارت جهاد سازندگی وقت، 145-120 ص.
- شفیع‌زاده، ن. (1389)، "استفاده از روش‌های غیر مخرب لرزه‌ای در برآورد ضرایب فیزیکی و مکانیکی توده سنگ‌ها با

Chi-Chi Earthquake and Comparison with the Northridge and Loma Prieta Events". *Engineering Geology*, 71(1-2), 79-95.

- Keefer, D.K. et al 1987, "Real Time Landslide Warning during Rain Fall" *Am Ass. Forth Advancement of Science*, vol 238, 921-928.

- M. Hashemi, et al, 2009 "Investigation on causes of the Siruyeh Landslide, West Semirrom (Iran)" *Landslides*, vol 6, 101-109.

- Reddi, Lakshmi N., 2003 "Seepage in Soils: Principles and applications" Wiley, ISBN: 978-0-471-35616-5, 416 pages, June 2003.

- R. E. Goodman, 1989, "Introduction to Rock Mechanics", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

- Salder, D. M. and Morton, P. M. 1989 "Landslide in a Semi-Arid Environment with Emphasis on the Inland Valley of Southern California" pub. Of the Inland Geol. Soci. Pp. 118-149.

- S. D. Priest, 1990, "Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics", Allen & Unwin Publisher, London

- Sidle, R.C., and Ochiai, H., 2006, "Landslides: Processes, Prediction, and Land use", *Water Resource Monograph: 18*, AGU books, ISSN: 0170-9600.

- Vranken L, Van Turnhout P, Van Den Eeckhaut M, Vandekerckhove L, Poesen J, 2013 "Economic valuation of landslide damage in hilly regions: a case study from Flanders, Belgium". *Sci Total Environ* 447:323-336

- World Bank, United Nations, 2010 "Natural hazards, unnatural disasters". The economics of effective prevention. World Bank, Washington

- Yin, Y., Wang, F. and Sun, P. 2009 "Landslide Hazards

- Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake", *Sichuan, China, Landslides*, 6(2), 139-151.

نگرشی ویژه بر منطقه ناغان" چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

- صفامهر، مجید؛ صالحی، محسن؛ بور، حسین. (1391)،

"بررسی روش‌های تسلیح خاکریزها با استفاده از مصالح ژئوگرید و مقایسه با روش‌های سنتی (مطالعه موردی پل طاقی ارمغان خانه زنجان)"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان. 195 ص.

- طالبی، ع؛ نفرزادگان، ع. ر؛ ملکی نژاد، ح. (1388)، مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، 70، زمستان. 15 ص.

- صفایی، م؛ براری، ا. (1389)، "استفاده از ژئوتکتایل‌ها در تثبیت زمین لغزش" چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران

- قهرودی تالی، م. (1393)، اثرات زلزله بر رخداد ناپایداری دامنه‌ای مطالعه موردی شهرستان خوی و سلماس، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی زمین پویا، سال دوم شماره اول، ویژه‌نامه سالروز زلزله سراوان، شماره پیاپی 4، فروردین 93، 12 ص.

- مردانیان، ع. ر. (1386)، "آنالیز 400 مورد زمین لغزش در سطح استان چهارمحال و بختیاری و بررسی تأثیر آب‌های زیرزمینی بر سازندهای زمین‌شناسی و ایجاد زمین لغزش" ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه شهرکرد.

- معاریان، ح. (1381)، "اصول زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک" دانشگاه تهران، 954 ص.

- وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری. (1385)، پژوهشکده حمل و نقل "تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها"، 180 ص.

- Cannon, S.H. and Ellen, S.D., 1985, Rainfall Conditions for Abundant Debris Avalanches, San Francisco Bay region, California, *J Calif Geol* 38, 267-272.

- Crozier, M.J., 1999, Prediction of Rainfall-Triggered Landslides: A Test of the Antecedent Water Status Model, *J Earth Surf Proc Land* 24, 825-833.

- E. Hoek & Bray, 1981, "Rock Slope Engineering", Third ed., the Institution of Mining and Metallurgy, London.

- Jakob, M. and Weatherly, H., 2003, Hydroclimatic Thresholds for Landslide Initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia, *J Geomorphology* 54.137-156.

- Khazai, B. and Sitar, N., 2004 "Evaluation of Factors Controlling Earthquake-Induced Landslides Caused by