[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

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***

تاریخ دریافت مقاله: 1394/02/30
تاریخ پذیرش مقاله: 1394/11/18

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 شیروانی‌ها می‌باشد. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده تقریباً همه زمین لغزش‌های محور مذکور، روستاها و مراکز جمعیتی را تحت تأثیر قرار داده است. در این پژوهش با تحلیل پایداری برای شیروانی‌های خاکی (تحلیل‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار Geoslope) و شیروانی‌های سنگی (تحلیل‌های استریوگرافیک) به‌طور 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 نگهبان 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 علمی‌دانشگاه آزاد اسلامی – واحد اردستان. salehi_m4000@yahoo.com
** عضو هیئت علمی‌دانشگاه آزاد اسلامی – واحد اردستان.
*** شرکت مهندسین مشاور جامع کار سپاهان.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

مقدمه

ایـران کشـوری کوهسـتانی و دارای ویژگـی‌هـای ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی خاصـی در دامنـه‌هـا و پای کوه‌ها است. مهمترین ویژگـی آن بـه جـای مانـدن رسـوبات ضـخیم و منفصـل از آخـرین دوره یخچـالی می‌باشد که مستعد حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین لغـزش اسـت (قهـرودی 1393). بـروز پدیـده زمـین لغـزش مـی‌توانـد ناشـی از عوامـل متعـدد زمـین‌شناسـی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسـانی باشد، ولی معمـولاً در شـروع زمـین لغـزش تنهـا یـک نیروی محرک خارجی (Trigger) نقـش محـوری دارد. بارندگی شدید، ذوب سریع برف، تغییرات ناگهـانی در سطح آب زیرزمینی، زلزله و فرسایش با سرعت زیاد از مهمتـرین عوامـل ماشـه‌ای زمـین لغـزش‌هـا برشـمرده مـی‌شـوند(Sidle & Ochiai, 2006). کـانن و آلـن (1985) ، کروزیر (1999) و ژیکوب و ویترلی (2003) بارندگی را به‌عنوان متداول‌ترین عامـل ماشـه‌ای وقـوع زمین لغزش‌ها برشمرده‌اند. طالبی و همکـاران (2007) هندسهٔ شـیب و تغییـرات زمـانی مقـادیر جریـان‌هـای زیرسـطحی و عمـق آب زیرزمینـی را از عوامـل تعیین‌کننده در پـیش‌بینـی زمـین لغـزش‌هـای ناشـی از بارندگی می‌داننـد. بـه‌طـور کلـی، نفـوذ آب حاصـل از بارندگی در دامنه، سبب بالا رفتن مقدار فشـار منفـذی، کاهش مکش خاک و افزایش وزن واحد خاک می‌شـود و در نهایت از مقاومت برشی خاک می‌کاهد و دامنـه را مستعد لغزش می‌کند (Giannecchini, 2006).

اگرچـه رخـداد لغـزش بـه عـواملی ماننـد بارنـدگی زیاد، وجود چشمه‌های فراوان، جنس لایه‌هـای زمـین و تـأثیر گسـل‌هـا، هـم جهـت بـودن شـیب لایـه‌هـا و شـیب طبیعـی زمـین و دخالـت انسـان بسـتگی دارد (Khazai B. And Sitar 2004)، لیکن شـواهد میـدانی نشان می‌دهد زلزله مهمترین محرک ناپایـداری دامنـه‌هـا می‌باشد (Yin, Y. et al. 2009).

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

گسل‌های مهم دیگر عبارتند از گسـل اردل کـه دارای ساز و کـار فشـاری بـا رونـد شـمال بـاختری -جنـوب خاوری و طول حدود 80 کیلومتر اسـت کـه در شـمال باختر ناغان قـرار دارد. گسـل شـلمزار بـا رونـد شـمال باختر- جنوب خـاوری بـا 60 کیلـومتر طـول از دیگـر گسـل‌هـای مهمـی اسـت کـه از 18 کیلـومتـری شـمال خاوری ناغان می‌گذرد (شفیع‌زاده 1389).

خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌هـا بسـیار بیشـتر از آنچه شناسایی شده، می‌باشد. بسیاری از خسـارت‌هـای ناشی از زمین لغزش‌ها به ثبت نرسیده است زیرا عموماً در خبرها به‌همراه سیل، طوفان و زلزله اشـاره شـده‌انـد. به‌عنوان مثال خسارت ناشـی از زمـین لغـزش در ایـران حدود 500 میلیارد ریـال در سـال بـرآورد شـده اسـت (حسنی 1387).

پدیده زمین لغزش به‌علت از بـین رفـتن تعـادل بـین نیروهای مقـاوم در مقابـل نیروهـای محرکـه لغـزش در ترانشه‌ها و دامنه‌ها اتفاق می افتد. پهنه‌بندی خطر زمـین لغزش به‌خصوص در دهه‌های اخیـر، توجـه بسـیاری از مهندسین و محققین را به خود مشغول کرده است.

لغـزش و ناپایـداری شـیروانی‌هـا موجـب تخریـب و انسداد راه‌ها و یا حداقل کاهش کیفیـت و ایمنـی آن‌هـا می‌شود و از جملـه پیامـدهای آن هزینـه‌هـای هنگفـت بازسـازی و نگهـداری جـاده مـی‌باشـد. در مـوارد بحرانـی، ممکـن اسـت موجـب تلفـات جـانی بـرای استفاده‌کنندگان از جاده‌ها و نیز روستاها و آبادانی‌هـای

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

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 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).

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 رخداده در استان چهارمحال و بختیاری از سال‌های 1365 تا 1392.

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) 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

وقـوع زمـین لغـزش‌هـا اسـت. خسـارت‌هـای ناشـی از زمـین لغـزش‌هـا، (319 مـورد ثبـت شـده در اسـتان چهارمحال و بختیاری) شامل تلفات جانی، خسـارت‌هـای مختلف مالی، تخریب زمـین‌هـای کشـاورزی، وارد آمـدن خسارت به راه‌ها و تلف شدن احشام بوده اسـت. در ایـن رابطه، کل خسارت‌های وارد بـراسـاس محاسـبات ریـالی 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 وضـعیت جغرافیایی و اقلیمی این استان، شـاید بتـوان دو عامـل تعیین‌کننده زیر را برای فراوانی‌های زیاد لغزش در ایـن 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 (اعـم از پارامترهـای ثبـت شده در آمارگیری و یا پارامترهای ثبت نشده) از جملـه نوع استراتیگرافی خاک‌های محل وقوع لغـزش و نحـوه طـرح هندسـی راه‌هـا، مـی‌توانـد دخیـل بـوده باشـد (معماریان 1381).

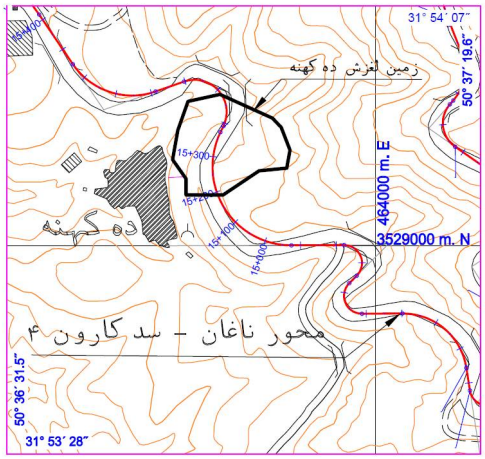
مطالعه موردی: محور ناغان – سد کارون4

بررسی تصـاویر مـاهواره‌ای در منطقـه زاگـرس بلنـد نشان‌دهنده پتانسیل بـالای وقـوع زمـین لغـزش در ایـن کمربند کوهستانی مـی‌باشـد (Hashmi etal 2009). راه ارتباطی ناغان- سد کارون 4 به‌دلیـل قرارگیـری در زون ساختمانی زاگرس بلنـد، دارای مشـکلات و مخـاطرات طبیعی متنوع و فراوانـی مـی‌باشـد. از مهمتـرین مـوارد مسئله‌سـاز و کاهنـده ضـریب ایمنـی راه وجـود زمـین لغزش‌ها و حرکات دامنه‌ای در طول مسیر راه است.

راه اصلی ناغان به سد کارون 4، دارای انواع مختلفـی از زمین لغزش‌های سنگی و خـاکی مـی‌باشـد. در ایـن پژوهش زمین لغزش خاکی، واقع در کیلـومتر 15+350، (مبنای محاسبه کیلومتراژ ارائـه شـده از روسـتای دهنـو ناغان به سمت سد کـارون 4 مـی‌باشـد) و راهکارهـای پایدارسازی مناسب، برای آن پیشنهاد شده است.

زمین لغزش در کیلومتر 15+350 از محـور ناغـان – سد کارون 4

در کیلـومتر 15+350، یـک تـوده خـاک بـا حرکـت لغزشی و شواهد موید حرکت آن دیده مـی‌شـود. عمـق این توده با توجه به بررسـی‌هـای اولیـه حـدود 20 متـر برآورد می‌شود. تصـویر شـماره 1 موقعیـت ایـن زمـین لغزش را نسبت به روسـتای ده کهنـه نشـان داده اسـت. موقعیت این توده لغزشی در فاصله یک کیلومتر قبـل از روستای گل سفید ناغان و 3 کیلـومتر قبـل از روسـتای دوپلان می‌باشد.



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

در تصاویر آثـار حرکـت زمـین لغـزش بـر روی تنـه درخت در سمت راست و بالای تصویر مشـهود اسـت. تنه این درخت بر اثر حرکت تـوده خـاک خمیـده شـده است (تصویر شماره 2). جنس لایه‌های تشـکیل دهنـده خاک باعث شده تا امکان وقـوع حرکـت تـوده لغزشـی

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

بسیار بالا باشد. وجود لایه‌های درشت دانه، نفوذ آب‌های سطحی را تسهیل می‌کند و از طرف دیگر وجود لایه‌های مارن به‌دلیل 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. به‌همین 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 به‌صورت زیر تعریف می‌شود (طالبی و همکاران 1388).

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

F=ضریب پایداری، σ=مقاومت برشی، τ=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). براساس نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نمونه‌های خاک مربوط به زمین لغزش نشان داده شده در تصویر شماره 2، مقادیر پارامترهای مقاومتی خاک به شرح جدول شماره 2 به‌دست آمده است. نمونه‌های آزمایش شده شامل نمونه‌های دست خورده می‌باشد که در آزمایشگاه بازسازی شده‌اند.

ردیف	رطوبت٪	تنش برشی (Kg/cm^2)	تنش نرمال (Kg/cm^2)	C (Kg/cm^2)	φ°
1	10/3	0/65	1	0/14	23
2	10/3	1/12	2		

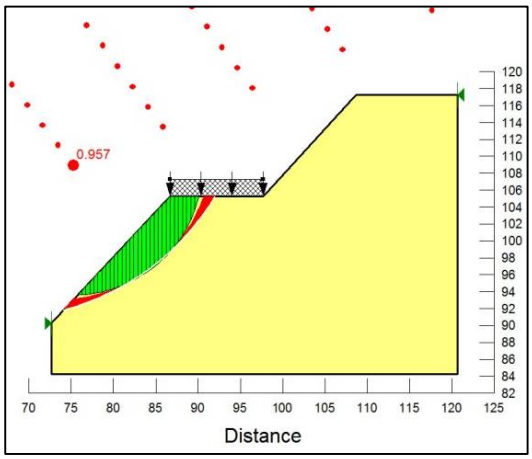
ج 2. پارامترهای مقاومتی توده خاک لغزنده.

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.

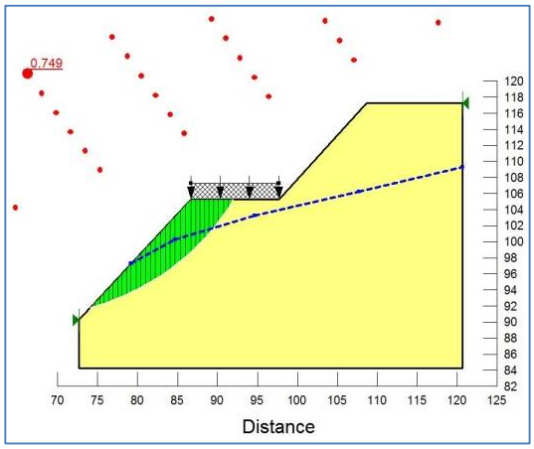
براساس نمودار شماره 1 مشخص می‌شود که سطح لغزش از زیر بستر راه عبور می‌کند که این مطلب در بررسی‌های میدانی با توجه به ترک‌های طولی و نشست آسفالت تأیید می‌گردد (تصویر شماره 2). لازم به توضیح است که تحلیل فوق برای حالت غیر اشباع انجام شده و ضریب اطمینان لغزش توده در این حالت طبق نتایج نرم‌افزار یاد شده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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

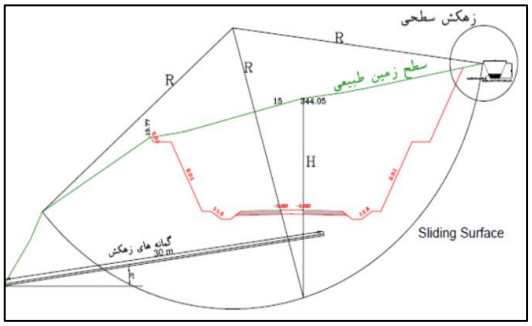
نمودارهای شماره 2 و 3 بدون در نظر گرفتن نیروهای القایی ناشی از زمین لرزه می‌باشد. لازم به توضیح است که به‌منظور ارزیابی خطر زمین لرزه نیاز به تحلیل‌های لرزه زمین ساخت می‌باشد که مجال این پژوهش نیست. فقط در اینجا این مطلب یادآوری می‌گردد که در صورت بروز زمین لرزه، میزان جابجایی توده لغزشی افزایش خواهد داشت.



ن 1. بحرانی‌ترین سطح لغزش شیروانی خاکی در حالت خشک با استفاده از نرم‌افزار Geoslope-7.10.



ن 2. بحرانی‌ترین سطح لغزش در توده لغزنده در حالت اشباع با استفاده از نرم‌افزار Geoslope-7.10.



ن 3. مکانیزم زمین لغزش و طرح پایدارسازی مربوط به آن (H عمق لغزش و R شعاع لغزش).

طرح پایدارسازی توده لغزشی

روش‌های مقابله با پدیده زمین لغزش بسیار متنوع است. ایده کلی در این روش‌ها، افزایش مقاومت خاک و یا کاهش نیروهای محرک است (حسین رودی و دیگران 1385). طبق نتایج تحقیقات ارائه شده از عوامل اصلی وقوع و یا پتانسیل زمین لغزش‌ها، می‌توان زلزله، آب و فرسایش را نام برد(Salder et al ,1989 and keefer et al, 11987). در مطالعات موردی انجام شده در این پژوهش آب نقش اصلی را ایفا می‌کند. بنابراین اجرای زهکش در همه طرح‌های پایدارسازی در نظر گرفته شده است.

اجرای زهکش سطحی

نفوذ آب به داخل دامنه لغزشی می‌تواند باعث کاهش نیروهای مقاوم در برابر لغزش گردد. مقادیر حداکثر بارش در سال‌های مختلف براساس آمارهای ثبت شده به شرح جدول شماره 3 می‌باشد. نیروی اصطکاک داخلی خاک ω و نیروی چسبندگی خاک C در اثر نفوذ آب به شدت کاهش پیدا می‌کند.

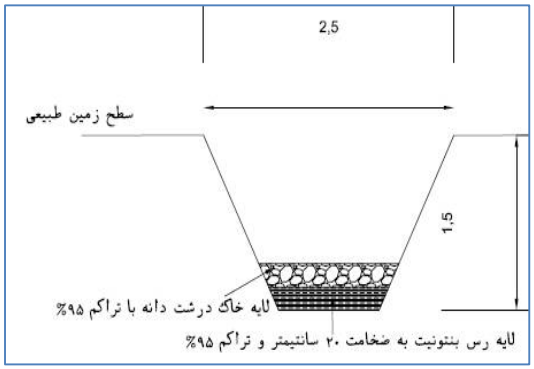
کاهش نیروهای فوق به معنی کاهش مقاومت برشی خاک و کاهش نیروهای مقاوم در برابر لغزش می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود که حرکت توده در اثر نفوذ آب

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

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 ذوزنقه‌ای 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	بارندگی سالانه
	میلیمتر	میلیمتر
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.



ت 3. جزییات اجرای زهکش سطحی.

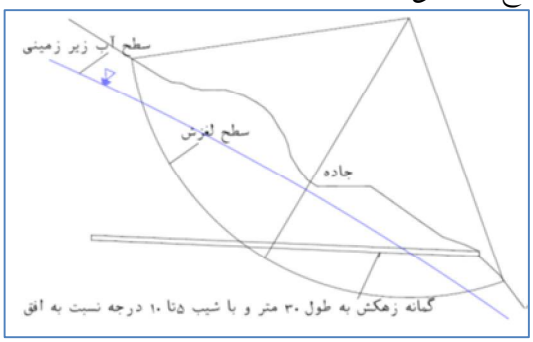
اجرای گمانه‌های افقی زهکش

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 دوپویی – فورشهایمر امکان ساده‌سازی این‌گونه مسائل را فراهم می سازد. اولین روش تحلیلی و قابل قبول برای فاصله یابی گمانه‌های زهکش توسط کرکهام 1985 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 20متر 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 می یابد. 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

این گمانه‌های زهکش را تا حد زیادی افزایش دهد. نمودار شماره 4 جزییات 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.



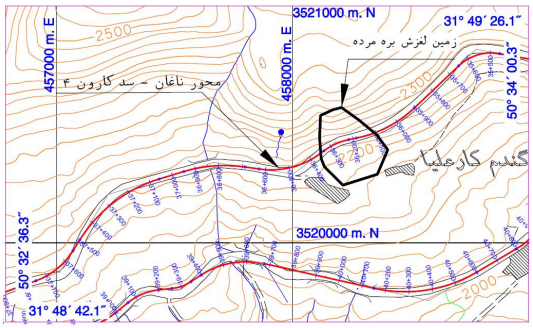
ن 4. نحوه اجرای گمانه زهکش در دامنه لغزشی.

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

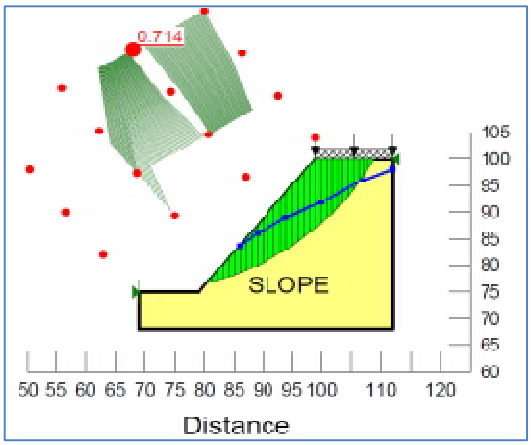
لغزش لایه‌های سنگی آهک و مارن در کیلومتر 36+300 گردنه بره مرده (مبنای محاسبه کیلومتر، فاصله از روستای دهنو می‌باشد) در نزدیکی روستای گندم‌کار علیا، باعث جابجایی و سقوط بلوک‌های سنگی شده است. موقعیت این زمین لغزش نسبت به روستای گندم‌کار علیا نشان داده شده است (تصویر شماره 4). در این قسمت از مسیر دو لغزش وجود دارد یکی در لایه‌های سنگی در بالادست جاده و دیگری در دامنه خاکی پایین‌دست 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 چشمه های 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 پایین‌دست 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. به‌دلیل نبود داده‌های زیرسطحی با استفاده از تجربیات مشابه و قضاوت مهندسی تحلیل پایداری شیروانی خاکی بوسیله نرم‌افزار Geoslope 7.10 انجام گردید. نتایج حاصل از تحلیل انجام شده نشان می‌دهد که شیروانی مورد نظر دارای ضریب اطمینان 0.714 می باشد و طبیعتاً ناپایدار است (نمودار و تصویر شماره 5).



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



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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]



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

به‌منظور جلوگیری از لغزش دامنه خاکی در پایین‌دست 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 کرنش‌های بالا می‌باشد، نظیر آنچه در زمین لغزش اتفاق می‌افتد (صفایی و دیگران 1389).

تحلیل استریوگرافیک شیب

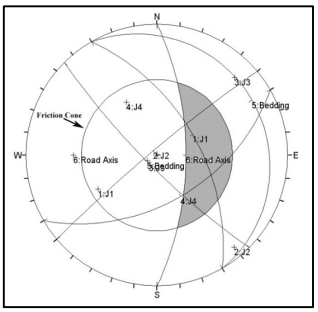
به‌منظور بررسی و تحلیل موقعیت صفحات و خطوط در امتدادهای مختلف و مقایسه وضعیت نسبی آن‌ها، یکی از روش‌های ساده و معمول در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی، مکانیک سنگ و ژئوتکنیک، استفاده از شبکه استریونت می‌باشد. از آنجا که هر کدام از ویژگی‌های صفحه‌ای یا خطی توده‌های سنگی را می‌توان در تصویر فضایی مشخص نمود، لذا صفحه شیب طبیعی توپوگرافی و نیز صفحات ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ را می‌توان به‌صورت صفحات مشخص روی صفحه شبکه استریونت نشان داد (Hoek & Bray, 1981). بررسی پایداری شیب با استفاده از سیستم مختصات استریوگرافیک به‌عنوان یک روش جدید تحلیل عددی، به‌دلیل آنکه براساس 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 تکتونیزه‌تر باشد و درزه و شکاف بیشتری داشته باشد، بولت و مهارها باید نزدیک‌تر به‌هم اجرا شوند. که این فاصله‌ها با استفاده از درزه‌نگاری شیروانی سنگی به‌دست می‌آید(جدول شماره 4).

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

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

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

براساس 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 به‌صورت 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. براساس 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 ((Friction Cone (ω=30) 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 به‌دلیل شیب کم لایه‌ها و جهت گیری مناسب آن نسبت به محور راه امکان لغزش در امتداد صفحات لایه‌بندی وجود ندارد (نمودار شماره 6).



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 به‌دلیل 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، به‌منظور 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 سنگ های 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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

نتیجه

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 هرکدام 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 به‌صورت موازی و در کنار یکدیگر استفاده گردد. جنس مصالح تشکیل‌دهنده 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 ω 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 تصمیم گیری 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 می کنند، 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

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]

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 ژئوتکستایل‌ها در تثبیت زمین لغزش" چهارمین کنفرانس زمین شناسی 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.

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

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

- M. Hashemi, et al, 2009 "Investigation on causes of the Siruyeh Landslide, West Semirom (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 th Inland Valey of Southurn 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.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02]