فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ نهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۳۹۸
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 9, No.2, Serial 32 (Summer 2019)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش

محسن آرمین[۱] و وجیهه قربان‌نیا خیبری[۲]

۱. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی و پژوهشکده منابع طبیعی و زیست محیطی دانشگاه یاسوج ، یاسوج ، ایران. (نویسنده مسئول)
mohsenarmin2007@gmail.com

۲. دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر ،ایران.ghorbannia2008@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: با وجود سابقه چند ساله بحث مدیریت خطر یا بحران در محافل علمی کشور، هنوز برنامه‌ریزی مناسبی جهت برخورد صحیح با بلایای طبیعی ارائه نشده است. عدم نگرش سیستمی به پدیده زمین‌لغزش و نبود برنامه‌های از پیش تعیین شده در مورد مسئولیت سازمان‌های متولی و عدم هماهنگی بین آنها، دست‌یابی به مدیریت جامع را مشکل نموده که معمولاً باعث افزایش پیامدهای سوء بلایای طبیعی نیز می‌شود.

روش: در این مطالعه مروری، بر اساس منابع علمی داخل و خارج کشور و همچین مطالعات موردی که راجع به ابعاد مختلف تحقیقاتی پدیده زمین‌لغزش در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است، بررسی‌های ضروری در خصوص مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش شامل اتخاذ تدابیر و انجام فعالیت‌هایی که موجب پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارات ناشی از زمین‌لغزش می‌شود، به تفصیل ارائه شده است. این مدیریت جامع می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای زیان‌های ناشی از بلایای طبیعی را به حداقل برساند.

یافته‌ها: به طور کلی جهت مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش باید دو جزء ابزار مدیریت و شیوه مدیریت را در نظر داشت. پایش شیب دامنه و تثبیت و کنترل آن را می‌توان به عنوان ابزار مدیریت؛ و جلوگیری از توسعه‌های جدید در نواحی پر خطر، حذف یا تبدیل توسعه فعلی، ایجاد تشویق‌ها یا بدهی‌های مالی و قانونمند کردن توسعه جدید در نواحی مخاطره آمیز را می‌توان به عنوان شیوه‌های مدیریت در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری: بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که در کشورهای پیشرفته برای کاهش خطر زمین‌لغزش بیشتر از شیوه‌های پیشگیری استفاده می‌کنند تا شیوه‌های درمان و در نتیجه چارچوب مدیریت خطر زمین‌لغزش در این کشورها را، قوانین و دستورالعمل‌های کاربری اراضی و برنامه‌های آموزش به عموم تشکیل می‌دهد. اما در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، روش‌های درمانی، اساس برنامه‌های مدیریت کاهش خطر زمین‌لغزش را تشکیل می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، مدیریت جامع، پایش، خطر.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** آرمین، محسن؛ قربانیان خبیری، وجیهه (تابستان، ۱۳۹۸)، مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۹* (۲)، ۱۷۹-۱۹۲.

Comprehensive landslide risk management monitoring

M.Armin[1] & V.Ghorbannia Kheybari[2]

1- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Natural Resources and Environmental Research Institute, Yasouj University of Iran.
2- P.hD of Environmental Science Engineering, Malayer University of Iran.

Abstract

Background and objective: Although the risk management and crisis management issues were discussed during recent years in scientific meetings, but still there is no proper planning to deal with natural disasters. The lack of systematic attitude to landslide phenomenon and also loss of predetermined plans for responsibility of the trusted organizations and lack of coordination between these organizations have made it difficult to achieve comprehensive management, which usually increases the consequences of natural disasters.

Method: this revision study, based on the local and foreign scientific sources, as well as case studies on the various aspects of research in the subject of landslide phenomena in different parts of the world, presents the necessary considerations regarding comprehensive landslide risk management monitoring including decision making and activities to prevent, control and restoration in details. The comprehensive management can reduce the damages due to natural disasters significantly.

Findings: The management tool and management method should generally consider in comprehensive landslide risk management monitoring. The slope parameter monitoring, stabilization and control may consider as management tool to prevent new development, eliminate or transform current development in high risk areas, financial supports and encouragement and regulating new developments in risk areas considered as management method.

Conclusion: The studies show that in developed countries, in order to reduce the risk of landslide, preventive methods are more common than treatment methods and, consequently, the land use rules and guidelines and public education programs make the landslide risk management frameworks in these countries. But in developing countries such as Iran, therapeutic approaches are the basis of landslide risk management reduction program.

Keywords: Landslide, Comprehensive management, Monitoring, Risk.

▶**Citation (APA 6th ed.):** Armin M, Ghorbannia Kheybari V. (2019, Summer). Comprehensive landslide risk management monitoring. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 9*(2),179-192 .

مقدمه

رشد نامتوازن جمعیت موجب افزایش روز افزون فشار بر منابع طبیعی می‌شود که پیامد آن تشدید وقوع خطراتی مانند زمین‌لغزش[1] و سیل است (احمدی، ۱۳۷۸). خطر لغزش به وقوع با اندازه مشخص در یک دوره زمانی معین و در یک ناحیه مشخص اشاره دارد. قبل از آنکه بتوان ریسک لغزش را برآورد کرد، باید خطرات آن را ارزیابی کرد (اونق، ۱۳۸۸). ایران از جمله کشورهایی است که به صورت عام با مشکل زمین‌لغزش روبرو است اما آمار دقیقی حتی از خسارات مستقیم حاصل از زمین‌لغزش به صورت سالانه وجود ندارد. تنها آمار کلی که از خسارات مستقیم زمین‌لغزش در کشور به صورت کلی ارائه شده است. هزینه‌ها و خسارات زمین‌لغزش در کشورهای مختلف با توجه به فراوانی وقوع و وضعیت زیر ساخت‌ها و ساخت و سازها در هر کشور متفاوت می‌باشد. هزینه‌های حاصل از وقوع زمین‌لغزش را می‌توان به هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم نمود. هزینه‌های مستقیم شامل تعمیرات، بازسازی‌ها، تغییر مکان و خسارت‌های حاصل به دارائی‌ها و زیرساخت‌ها در محدوده وقوع زمین‌لغزش است. هزینه‌های غیر مستقیم شامل از دست رفتن درآمد تولیدات صنعتی، کشاورزی و توریستی و در آمدهای ناشی از بسته شدن جاده‌ها در زمان وقوع زمین‌لغزش و پس از آن است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۱۵۹۰ زمین‌لغزش در کشور ایران باعث تخریب ۱۷۶ باب منزل مسکونی، ایجا خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد انباشت‌های رسوبی سالانه به حجم ۹۶۳۸۰۷ متر مکعب شده است (محمودی و کرم، ۱۳۸۰). در بررسی دیگری خسارت‌های ۴۴۸۶ زمین‌لغزش موجود در بانک اطلاعاتی سازمان زمین‌شناسی کشور تا شهریور ۱۳۸۶، ۱۸۷ کشته و بالغ بر ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد شده است که این مقدار بالغ بر ۱۲/۶ میلیارد دلار است (کاردان و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین زمین‌لغزش همه ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد و نقش مؤثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. تا قبل از اعلام دهه ۲۰۰۰-۱۹۹۰ به عنوان دهه کاهش اثرات بلایای طبیعی از سوی سازمان ملل، تشکیلات خاصی مسئولیت مقابله با پدیده زمین‌لغزش را بر عهده نداشت. با تشکیل کمیته مقابله با خطرات زلزله و لغزش لایه‌های زمین در سال ۱۳۷۲ توجه بیشتری به این پدیده معطوف گردید. از سویی، در بعضی وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها، بخش‌هایی جهت بررسی پدیده زمین‌لغزش از جنبه‌های مختلف ایجاد گردید، نظیر گروه بررسی زمین‌لغزش‌ها در حوزه معاونت آبخیزداری در سال ۱۳۷۲ که این گروه برنامه‌هایی را جهت شناسایی و انجام مطالعات پایه به منظور پیشگیری از خسارت و کاهش خطرات ناشی از لغزش‌ها در دستور کار خود قرار داد (مصفایی و همکاران، ۱۳۸۸). امروزه افزایش برنامه‌های عمرانی و توسعه‌ای، باعث افزایش وقوع زمین‌لغزش‌ها و خسارات ناشی از آنها شده است. تأثیر نقش انسان در وقوع زمین‌لغزش، می‌تواند آن را نسبت به سایر بلایای طبیعی مدیریت‌پذیرتر نماید. ولی عواملی نظیر رشد جمعیت، عدم نگرش سیستمی به پدیده زمین‌لغزش و عدم وجود هماهنگی بین سازمان‌های مختلف، دست‌یابی به مدیریت جامع را مشکل نموده است. عملکرد گذشته در کشور ایران نشان از برخورد مکانیکی با پدیده زمین‌لغزش دارد، اما تخریب بسیاری از ابنیه‌های فنی ثابت می‌کند که جهت مقابله اصولی با خطر زمین‌لغزش باید شیوه مدیریتی مناسبی را انتخاب و از یک دیدگاه جامع آن را کنترل کرد که در این مقاله مروری سعی شده تا ابعاد مختلف مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش به تفصیل بررسی گردد.

روش

پژوهش حاضر از نوع مطالعات مروری است که ابتدا منابع علمی موجود در کتابخانه‌ها و وب‌سایت‌های اینترنتی در خصوص موضوع تحقیق و مطالعات موردی مرتبط که محققان در داخل و خارج از کشور انجام داده‌اند، جمع‌آوری و سپس بر اساس هدف تحقیق دسته‌بندی و تفکیک شدند که نتیجه جمع‌بندی این مطالعات به تفصیل در ادامه خواهد آمد.

یافته‌ها

جمع‌بندی بررسی‌ها نشان می‌دهد که کنترل اصولی پدیده زمین‌لغزش در گرو اعمال یک برنامه مدیریتی جامع است که در

1. Landslide

این بسته جامع ، تدابیر و فعالیت‌های ضروری برای پیشگیری، کنترل و ترمیم خسارات ناشی از زمین‌لغزش ارائه می‌گردد. این مدیریت جامع می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای زیان‌های ناشی از زمین‌لغزش را به حداقل برساند. به طور کلی جهت مدیریت خطر زمین‌لغزش باید دو جزء ابزار مدیریت و شیوه مدیریت را در نظر داشت که دسته‌بندی این موضوعات مطابق با جدول ۱ است.

جدول ۱. برنامه مدیریت جامع پایش خطر زمین لغزش

مدیریت جامع پایش خطر زمین‌لغزش	ابزار مدیریت	پایش شیب دامنه	پایش حرکات دامنه
			پایش بار روی دامنه
			پایش آب زیرزمینی
			پایش صدای حرکات دامنه
		تثبیت و کنترل شیب دامنه	کنترل ریزش سنگ‌ها
			تغییر هندسه شیب
			تقویت و استحکام شیب‌ها
			سازه‌های نگه دارنده (جلوگیری‌کننده)
			زهکشی
	شیوه مدیریت	جلوگیری از توسعه‌های جدید در نواحی پر خطر	هشدار و افشای وجود خطر برای زمین‌داران و صاحبان املاک
			هشدار و اطلاع رسانی از وجود خطرات بالقوه
			پذیرش سیاست‌های عام‌المنفعه و عمومی
			اطلاع دادن و آموزش عموم
			ثبت خطرات در اسناد و مدارک عمومی
		حذف یا تبدیل توسعه فعلی	تبدیل یا تغییر ویژگی‌ها یا خصوصیات مخاطره‌آمیز
			جلوگیری از تداوم و استمرار کاربری‌ها ناسازگار با شرایط منطقه
			ساخت دوباره نواحی خسارت دیده بعد از لغزش‌ها
			حذف سازه‌های ناایمن و نامطمئن
			پاک‌سازی و حذف و توسعه دوباره نواحی تخریب شده بعد از لغزش‌ها
		ایجاد تشویق‌ها یا بدهی‌های مالی	تعیین کمک‌های مالی ملی و منطقه‌ای
			مشخص کردن بدهی‌های قانونی مالکان سرمایه
			پذیرش سیاست‌های وامی و قرض‌الحسنه‌ای که منعکس کننده ریسک تلفات باشد
			نیاز به بیمه مرتبط با مقدار خطر
			بستانکاری مالیات برای مالکان سرمایه
		قانونمند کردن توسعه جدید در نواحی مخاطره‌آمیز	وضع شبکه احکام و قوانین
			پذیرش توسعه قوانین حفاظت خاک
			اصلاح بخش‌ها و مقررات کاربری اراضی
			وضع قوانین بهداشتی
			ایجاد زون‌ها و مقررات کاهش خطرات ویژه
			وضع قوانین و احکام زیر بخشی
			وضع مهلت قانونی درباره ساخت و ساز دوباره

۱- پایش شیب دامنه

دانی کلف[1] (۱۹۹۲) تأکید کرد که برنامه پایش برای زمین‌لغزش‌ها باید با تعریف و شناسایی اهداف شروع شود و با طراحی اینکه چطور نتایج برنامه اجرا شود، خاتمه پیدا کند. ایشان تعداد مراحلی را که باید در طراحی و اجرای چنین برنامه‌هایی طی کرد، بیان کردند. یکی از نیازهای اولیه، ارزیابی شرایط موجود است، به‌ویژه اینکه آیا لغزش فعال است یا خیر؟ و اگر فعال است کجا حرکت می‌کند و سرعت حرکت آن چقدر است؟

اگر روش کنترل رضایت‌بخشی باید اجرا شود، دلایل حرکت باید به طور واضح تعیین شود. اگر ارزیابی مشخص کرد که لغزش فعال است یا شیب به طور بالقوه ناپایدار است، سه گزینه وجود دارد:

- اینکه هیچ اقدامی انجام ندهیم و اثرات و خسارات شکستگی شیب را بپذیریم.
- اینکه یک برنامه پایش برای هشدار در مورد ناپایداری طراحی کرد که بتوان قبل از وقوع شکستگی شیب اقدامات و روش‌های علاج بخش و کنترلی را پیاده کرد.
- اینکه شیب را تثبیت و پایدار کرد و یک برنامه پایش برای تأیید اینکه شیب پایدار است، نیز اجرا کرد.

معمولاً پیش از شکستگی شیب بویژه یک شکستگی خطرناک و فاجعه‌آمیز، حرکت‌های کوچکی ایجاد می‌شود و غالباً پیش از فروریختگی شیب جابجایی شدیدی ایجاد می‌شود. اگر این حرکت‌های کوچک اولیه در زمان مناسب تشخیص داده شوند، می‌توان اقدامات علاج‌بخش برای جلوگیری از حرکت یا کنترل حرکت‌های بیشتر را انجام داد. یک سیستم پایش شیب ابزارهایی برای هشدار زود هنگام فراهم می‌کند و شامل استفاده از ابزار و وسایل حساس است. دیگر شرایط مضر مثل فشار آب منفذی اضافی قابل توجه که باعث ناپایداری شیب می‌شوند، نیز باید ثبت گردند. هنگامی که با کمبود داده کافی مواجه هستیم، احتمال وجود عدم قطعیت در طراحی وجود دارد. اقدامات علاج‌بخش به دنبال تشخیص شکستگی اولیه شیب عملی است و هزینه پایش و عملیات علاج بخشی کمتر از هزینه در حالتی است که شکستگی شیب اتفاق افتاده است (فرانکلین و دنتن، ۱۹۷۳)[2]. حتی اگر تصویر کاملی

1. Dunnicliffe
2. Franklin & Denton, 1973

از شرایط زمین وجود داشته باشد، روش‌های تحلیلی ممکن است قادر نباشند پیچیدگی وضعیت واقعی را بررسی کنند. در نتیجه داده‌ها باید در یک مدل مطلوب و ایده‌ال ساده‌سازی شوند. یکی از نخستین گام‌ها در برنامه‌ریزی و طراحی یک سیستم پایش ارزیابی وسعت و عمق مواد سنگی بالقوه ناپایدار و تعیین فاکتور ایمنی در برابر لغزش برای انواع گوناگون شکستگی است. در این مرحله مشخص می‌شود که آیا مشکل پایداری شیب وجود دارد یا نه؟ پایش همچنین در انتخاب تجهیزات و تعیین محل آنها در داخل شیب نیز به ما کمک می‌کند.

۱-۱- پایش حرکات دامنه

پایش حرکات بررسی مستقیمی در مورد پایداری شیب فراهم می‌کند. تجهیزات مورد استفاده، محل، جهت و حداکثر عمق حرکات را مشخص می‌کند و نتایج آنها به تعیین وسعت و عمق روش‌های ضروری نیز کمک می‌کند. تأکید می‌شود که بعداً می‌توان از این تجهیزات برای تعیین اثر این روش‌ها نیز استفاده کرد. پایش حرکات سطحی را می‌توان بوسیله تکنیک‌های مطالعاتی مرسوم انجام داد. استفاده از اندازه‌گیری‌های الکترونیکی مسافت و تجهیزات لیزری نتایج دقیق و صحیحی را ارائه می‌دهد. بررسی‌ها باید برای پایش توپوگرافی و جهت‌های مورد انتظار حرکات طراحی شوند و همچنین تا محدوده احتمالی حرکات در نزدیکی محیط پایدار انجام گیرند. در این روش توسعه هر گونه شیار سطحی و در نوع پیشرفته آن ظاهر شدن شکاف‌های کششی و یا هر نوع برآمدگی در دامنه را می‌توان تشخیص داد. می‌توان دستورالعمل‌های اتوماتیک پایش شیب با استفاده از تجهیزات مطالعاتی ایستگاهی برای انجام اندازه‌گیری‌های گوناگون در عرض یک شیب طراحی کرد (ترن- دوک و همکاران، ۱۹۹۲)[1]. نقشه‌بندی سه بعدی سطح زمین و روش‌های فتوگرامتری با مختصات ثابت عموماً دقت کمتری نسبت به مطالعات مرسوم یا اندازه‌گیری‌های الکترونیکی مسافت دارند، اما به جای یک مجموعه اهداف از پیش تعیین شده تصویر کاملی ارائه می‌دهند (پلنیکا و نزک، ۱۹۷۰)[2]. به هر حال هنگامی که عکس‌هایی از ایستگاه‌های زمینی برداشته می‌شود و در سنجش‌گر استریو اندازه‌گیری می‌شوند، نتایج دقیقی را از آنها می‌توان بدست آورد. ممکن است با بررسی عکس‌های متوالی که در فواصل زمانی مناسب برداشته می‌شوند، حرکات تشخیص داده شوند. تصاویر را می‌توان برای ارزیابی توپوگرافی اولیه زمین، برای پس آنالیزهای لغزش‌های قبلی و به عنوان مبنایی برای نقشه‌بندی زمین‌شناسی مهندسی مورد استفاده قرار داد. ظاهرشدن شکاف‌های کششی در تاج یک شیب ممکن است اولین شاخص ناپایداری شیب باشد. اندازه‌گیری شکاف‌ها که شامل اندازه‌گیری عرض و ارتفاع عمودی آنها است باید زمانی انجام شود که این اندازه‌گیری‌ها بتوانند شاخصی از رفتار شیب را ارائه دهند.

۱-۲- پایش بار روی دامنه

لنگرها، پیچ‌های سنگی و دیواره‌های نگه‌دارنده اگر چه برای تحمل یک بار از قبل تعیین شده طراحی شده‌اند ولی در مقابل حرکات ایجاد شده روی دامنه مقاومت می‌کنند. پایش بارها و فشارها مشخص می‌کند که آیا سیستم حمایتی و نگه‌دارنده به طور کامل و دقیق طراحی شده است و همچنین می‌تواند نشان دهد که آیا شیب به طور تدریجی به سمت یک حالت پایدارتر یا یک شرایط ناپایدار حرکت می‌کند. بارهای روی لنگرهای سنگی و پیچ‌های سنگی را می‌توان بوسیله سلول‌های بار پایش کرد. فشار تماسی روی دیواره‌های نگه دارنده را می‌توان بوسیله سلول‌های فشار ثبت کرد (توماس و وارد، ۱۹۶۹)[3].

۱-۳- پایش آب زیرزمینی

آب زیرزمینی یکی از مؤثرترین عوامل بر پایداری شیب است. مشکلات ناپایداری شیب ممکن است مربوط به دبی مازاد یا فشار آب منفذی مازاد باشند. فشار آب منفذی بوسیله یک پیزومتر ثبت می‌شود. اختلاف معنی‌داری بین پایش فشار آب در سنگ و خاک وجود دارد. معمولاً در سنگ جریان به جای حرکت در فضای منافذ بین دانه‌ای خاک اغلب در ناپیوستگی‌ها و شکاف‌های سنگ اتفاق می‌افتد. فراوانی جریان شکاف‌ها و درزها بدین معنی است که هد پیزومترها در شیب‌های سنگی اغلب به طور قابل ملاحظه‌ای از یک نقطه به نقطه دیگر متفاوت است و بنابراین برای تعریف شرایط کلی تعداد کافی از پیزومترها باید نصب شود. پیزومترها باید با توجه به زمین‌شناسی منطقه و بویژه با توجه به تقاطع ناپیوستگی‌های

1. Tran-Duc et al, 1992
2. Planicka & Nosek, 1970
3. Thomas & Ward, 1969

اصلی در توده‌های سنگی قرار گیرند.

۱-۴- پایش صدای حرکات

حرکت در توده‌های سنگ یا خاک همراه با تولید صداهایی است. تعیین صداها هنگامی که دامنه سیگنال‌ها بلند باشد خیلی مؤثر است. از این رو تعیین آنها در توده‌های سنگی یا خاک‌های با چسبندگی کم نسبت به خاک‌های چسبنده محتمل‌تر است. هنگام فروریختگی شیب صداهایی واضح قابل شنیدن است اما مراحل اولیه ایجاد ناپایداری صداهای قابل شنیدنی نیز تولید می‌شود. به طور طبیعی میزان این صداها به سرعت با توسعه ناپایداری افزایش پیدا می‌کند. چنین صداهایی را می‌توان با یک ردیفی از ژئوفون‌های قرارگرفته در نزدیک شیب یا در گودال‌های کم عمق ثبت کرد. بیشتر حرکات صداهایی تولید می‌کنند که منشأ آنها نزدیک یا در امتداد صفحه شکستگی است، بنابراین کشف صداها به تعیین عمق و محدوده سطح لغزش کمک می‌کند.

۲- روش‌های کنترل و تثبیت شیب

هنگامی‌که کارهای پیشگیری کننده و اصلاحی یکسان را همیشه نمی‌توان برای انواع مختلف لغزش‌ها به کار برد، شناسایی و تعریف انواع لغزش‌هایی که احتمالاً اتفاق افتاده یا خواهد افتاد، مهم است. به هر حال در این زمینه مهم است به خاطر داشته باشیم که لغزش‌ها ممکن است از نظر خصوصیات تغییر کند و اینکه آنها معمولاً پیچیده هستند و غالباً خصوصیات فیزیکی آنها در طی گذشت زمان تغییر می‌کند. هنگام اصلاح یک لغزش، برعکس حالت پیشگیری از آن، مرزها و وسعت لغزش معمولاً به خوبی مشخص هستند که شدت مشکل یا مسئله را می‌توان ارزیابی کرد. با وجود این در چنین مواردی بررسی‌ها باید برای پایداری نواحی مجاور به منطقه لغزشی نیز انجام گیرد. به طور واضح هر یک از روش‌های اصلاحی نباید اثر معکوسی روی پایداری نواحی و سطوح اطراف منطقه لغزشی داشته باشد. اگر بخواهیم از وقوع لغزش‌ها جلوگیری کنیم در ابتدا باید نواحی که به طور بالقوه لغزشی هستند از نظر نوع حرکت و میزان حرکت احتمالی شناسایی و تعریف شوند. سپس اگر امکان وقوع خطر جدی و واقعی است، مهندس می‌تواند در مورد یک روش پیشگیری کننده تصمیم بگیرد. با این حال بررسی‌های اقتصادی را نمی‌توان نادیده گرفت. در این زمینه طراحی پیشگیری کننده‌ها در شیب‌های کاملاً صاف برای جلوگیری از احتمال وقوع لغزش‌ها به ندرت اقتصادی است و در حقیقت شناسایی نواحی بالادست مسیر بسیاری از جاده‌ها بدون قبول مقداری ریسک وقوع لغزش با بودجه موجود امکان‌پذیر نیست.

پیشگیری از لغزش ممکن است با اقدامات زیر حاصل شود:

- کاهش نیروهای فعال کننده لغزش،
- افزایش نیروهای مقاومت در برابر حرکت،
- جلوگیری یا حذف لغزش‌ها.

در حالت اول، با برداشت مواد از آن قسمت لغزش که باعث ایجاد حرکت می‌شود و یا با زهکشی که باعث کاهش فشار آب منفذی و وزن مخصوص توده لغزشی می‌شود، می‌توان نیروهای فعال کننده لغزش را کاهش داد. زهکشی همچنین باعث افزایش مقاومت برشی می‌شود.

عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تثبیت شیب شامل موارد زیر است:

- سیستم‌های حفاظت و نگه‌داشت،[1]
- شمع کوبی،[2]
- اصلاح و زهکشی شیب.[3]

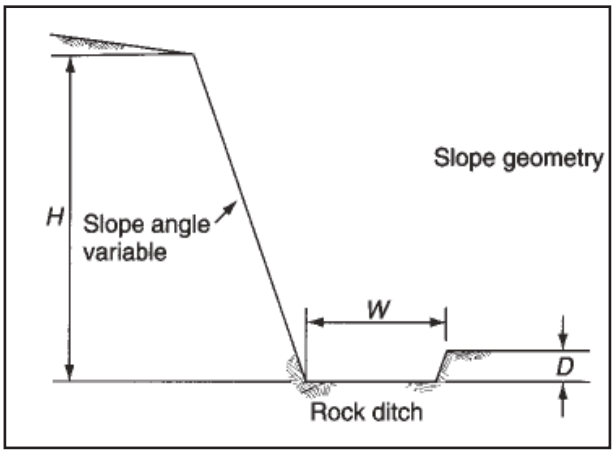
سیستم‌های حفاظت و نگه‌داشت طراحی شده دقیق برای تثبیت اغلب شیب‌هایی که حجم زیادی مواد ندارند و در جایی که کمبود فضا برای اصلاح یا تغییر شیب است، مورد استفاده قرار گیرند. کنترل آب زیر سطحی غالباً یک جزء مهم در کارهای تثبیت شیب است (والکر و موهن، ۱۹۸۷)[4].

۲-۱-کنترل ریزش سنگ‌ها

طراحی پروژه در یک شیب سنگی که هیچگونه ریزش سنگی در آن اتفاق نیفتد، به ندرت اقتصادی است. بنابراین به استثناء در جایی که امنیت مطلق ضروری است، کنترل شیب‌ها باید طوری طراحی شود که ریزش‌های کوچکی از سنگ‌ها تحت شرایط کنترل شده، رخ دهد. برای یک طرح اقتصادی ممکن است حدود ۱۰ درصد از مساحت شیب نیاز به روش‌های کنترلی و اصلاح در زمان دیرتری را داشته باشد. کنترل و

1. Retention Systems
2. Buttresses
3. Slope Modification and Drainage
4. Walker & Mohen, 1987

اصلاح بعدی شیب ممکن است شکلی از کاهش زاویه شیب کلی برای افزایش فاکتور ایمنی باشد. برای جلوگیری از خسارت و تخریب شیب، هنگامی که تحت تأثیر تخریب‌های بیشتر قرار می‌گیرد، باید مراقبت به وضوح صورت گیرد؛ همچنین مراقبت برای نگهداری از یک خط ثابت شیب لازم است. یکی از پیش‌نیازها برای داشتن یک شیب سنگی ایمن محکم کردن بلوک‌ها و قطعات سست و کنده‌شدنی است. طراحی یک سیستم برای جلوگیری از ریزش‌های سنگی نیازمند داده‌ها و اطلاعات مربوط به مسیر (ارتفاع سقوط)، سرعت، انرژی مؤثر و حجم کل توده ریزشی است. برنامه‌های کامپیوتری وجود دارند که می‌توان با استفاده از آنها رفتار ریزش‌های سنگی یک شیب را مدل‌سازی کرد (پفایفر و همکاران، ۱۹۹۰)[1]. محصورکردن شیب‌های سنگی با شبکه‌های سیمی منفذدار یکی از مؤثرترین روش‌های جلوگیری از ریزش‌های سنگی شیب‌های تند است. قاب‌های سیمی با استفاده از سیم‌های اتصالی به هم بسته می‌شوند. اگر نوع خیلی قوی از قاب‌های سیمی متصل نیاز است، می‌توان کابل‌های استیل عمودی و افقی به منافذ بست و به قلاب‌ها و گیره‌های چوبی متصل کرد. در این روش یک شبکه ۲*۳ متری از کابل‌های قوی ایجاد می‌شود که مقاومت بیشتری در مقابل حرکت قطعات سنگی بزرگ‌تر نشان می‌دهند. استفاده از تسمه‌های کابلی یا شبکه‌های کابلی برای متوقف کردن بلوک‌ها و قطعات سنگی سست بوسیله پیتیاو و پکوور[2](۱۹۷۸) توضیح داده شد. نواحی که به طور بالقوه ناپایدار هستند را می‌توان با یک شبکه منفذداری از کابل‌های سبک پوشاند و سپس کابل‌های افقی با مقاومت بالا با استفاده از روش‌های لنگری و کششی در عرض بلوک‌های سنگی کشید و آنها را سفت و محکم کرد. تله‌های سنگی به شکل گودال و یا موانع را می‌توان در انتهای یک شیب ایجاد کرد (جدول ۲). ریتچی[3] (۱۹۶۷) دستورالعمل تعیین ابعاد چنین گودال‌هایی را ارائه داد (شکل ۱). در صورتی که ته گودال با گراول پر شود و یک مانع نیز مورد استفاده قرار گیرد و یا دیوارهای گودال توربندی شوند و یا اگر گودال را در سنگ‌های نرم حفر کنیم می‌توان ابعاد آن را کاهش داد. همچنین محل‌های نشست به عنوان تله‌هایی برای نگه داشتن و متوقف‌کردن ریزش‌های سنگی عمل می‌کنند، بخصوص اگر یک مانع در کنار آنها قرار بگیرد. تورهای سیمی آویزان از بالای رخنمون شیب، روش دیگری از کنترل ریزش‌های سنگی است. در مناطقی که یک شبکه جاده یا راه آهن در امتداد پایین یک شیب تند عبور می‌کند، برای حفاظت آنها در مقابل ریزش‌های سنگی، دیواری از پوشش متراکم ایجاد می‌شود.



شکل ۱. طراحی گودال برای حفاظت در مقابل ریزش‌های سنگی (ریتچی، ۱۹۶۷)[4].

جدول ۲. متغیرها در طراحی گودال برای مناطق ریزش سنگی

زاویه شیب سنگی (درجه)	ارتفاع (متر)	عرض گودال (متر)	عمق گودال (متر)	ملاحظات
۹۰	۱۰-۵	۳	۱	
	۲۰-۱۰	۵	۱/۵	۱
	۲۰<	۷	۱/۵	۱
۷۵	۱۰-۵	۳	۱	
	۲۰-۱۰	۵	۱/۵	۱
	۳۰-۲۰	۷	۲	۲
	۳۰<	۸	۲	۲
۶۵	۱۰-۵	۳	۱/۵	۱
	۲۰-۱۰	۵	۲	۲
	۳۰-۲۰	۷	۲	۲
	۳۰<	۸	۲/۵	۲
۵۵	۱۰-۰	۳	۱	
	۲۰-۱۰	۵	۱/۵	۱
	۲۰<			
۴۵	۱۰-۰	۳	۱	
	۲۰-۱۰	۳	۲	۱
	۲۰<	۵	۲	۲

1. Pfeiffer et al, 1990
2. Piteau & Peckover
3. Ritchie
4. Ritchie, 1967

ملاحظات:

۱. اگر عمق گودال بزرگ‌تر از ۱ متر باشد و گودال نزدیک به یک بزرگراه باشد، دیوار نگه‌دارنده سنگ باید مورد استفاده قرار بگیرد.

۲. اگر دیوار سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ابعاد گودال ممکن است تا ۱/۵ برابر کاهش داده شوند.

۲-۲- تغییر هندسه شیب

تغییر هندسه یک شیب اغلب مؤثرترین روش افزایش فاکتور ایمنی به‌ویژه در لغزش‌های عمیق است (لونتال و ماستین، ۱۹۸۷)[1]. با این حال اتخاذ چنین روشی ممکن است برای لغزش‌های انتقالی طولانی در جایی که پنجه یا تاج واضح نیست یا در جایی که هندسه شیب بوسیله محدودیت‌های مهندسی تعیین شده یا نواحی ناپایدار به اندازه‌ای پیچیده است که تغییر در توپوگرافی که پایداری یک منطقه را بهبود می‌بخشد، اثر معکوسی روی پایداری یک ناحیه دیگر نداشته باشد، آسان نیست. می‌توان مواد ناپایدار را برداشت کرد و اگر ضروری است می‌توان مواد مقاوم‌تر جایگزین آنها نمود. راه دیگر اینکه می‌توان مواد ناپایدار را از نزدیک تاج شیب برداشت و آنها را به پنجه شیب اضافه کرد. در واقع معمولاً سنگین‌کردن پنجه عملی‌تر است. مواد مورد استفاده برای اضافه‌کردن به پنجه باید زهکشی آزاد یا زهکشی درونی کافی انجام گیرد. اگر چه انجام برداشت جزئی در اغلب حرکت‌های توده‌ای مناسب است اما برای بعضی از آنها نامناسب بوده؛ به عنوان مثال، برداشت مواد از رأس توده تأثیر کمی روی جریان‌ها و لغزش‌های ورقه‌ای دارد. به عبارت دیگر این روش کنترلی برای لغزش‌های چرخشی فوق العاده مناسب است (بیل و مود، ۱۹۹۶)[2]. به هر حال صاف کردن و پهن کردن شیب به ندرت برای لغزش‌های ورقه‌ای یا چرخشی کاربردی است. کاهش شیب ممکن است به منظور تثبیت پنجه یک شیب و بنابراین جلوگیری از تخریب تدریجی همراه با گستردگی بعدی، شکستگی شیب بالادست ضروری است. به طور واضح اندازه لغزش روی روش حفر تأثیر می‌گذارد و فقط لغزش‌های نسبتاً کوچک را می‌توان به طور کامل و به صورت اقتصادی برداشت و حذف کرد.

ایجاد محل‌های نشست روی یک شیب با تقسیم آن به قطعاتی پایداری کمی را ایجاد می‌کند. محل‌های نشست به طور ایده‌آل باید عرض بیشتر از ۵ متر داشته باشند تا دسترسی برای بازرسی داشته باشند و بتوان آنها را پاک و تمیز نگه داشت. اگر رخنمون‌ها و رخساره‌های سنگی به طور کافی و در مقیاس وسیعی هستند، محل‌های نشست نباید بیش از ۱۲ متر باشد. می‌توان سیستم‌های زهکشی را روی محل‌های نشست نصب کرد.

۲-۳- تقویت و استحکام شیب‌ها

اگر شکلی از استحکام و تقویت برای ایجاد تکیه‌گاه شیبی نیاز است، بهترین حالت این است که در سریع‌ترین زمان ممکن بعد از حفاری شیب آن را ایجاد کرد، به عبارت دیگر قبل از اینکه مقاومت موجود در مراحل اولیه عریض‌شدن درزها در طی برآمدگی شیب از بین رفته است، باید نسبت به استحکام و تقویت شیب شتاب کرد. گودبرداری و پرکردن، به سنگ‌کاری یا با سیمان پرکردن شیارها یا حفره‌ها در یک شیب سنگی اشاره دارد.

استفاده از موادی از جنس سنگ مادر به عنوان فرم دهنده شیب سیمای جذاب‌تر و جالب‌تری را ایجاد می‌کند. غالباً ضروری است که قبل از شروع به گودبرداری و پر کردن، مواد نرم را از داخل شیارها برداشت و فضاهای خالی را با مواد نرم نفوذپذیر مسدود کنیم. زهکشی باید در تمام مدت بعدی صورت گیرد. سنگ‌های با لایه‌های نازک تا متوسط موازی با شیب را می‌توان با قطعات استیل که طول آنها بیش از ۲ متر است در سر جای خود نگه داشت. منافذ و سوراخ‌ها در نزدیک سطح لغزشی حفر می‌شوند و وجود آنها برای لایه‌ها طبیعی است. این قطعات استیل نباید تحت فشار قرار گیرند و آنها را باید در جایی که بار کمتری برای افزایش پایداری نیاز است، مورد استفاده قرار داد؛ همچنین در جایی که سطوح شیارها حداقل زبری متوسطی داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر شکل در توده سنگ باعث کشیده شدن قطعه غیرکششی می‌شود تا اینکه تنش کافی برای جلوگیری از کشیدگی بیشتر توسعه پیدا کند. می‌توان برای افزایش پایداری شیب‌ها در توده‌های سنگی درزدار، پیچ‌های سنگی را به عنوان استحکام دهنده مورد استفاده قرار داد. این پیچ‌ها باعث افزایش مقاومت سطوح ضعیف بحرانی در داخل توده‌های سنگی می‌شوند. پیچ‌های سنگی

1. Leventhal & Mostyn, 1987
2. Bell & Maud, 1996

که به سمت سطوح شکستگی تمایل پیدا می‌کنند نسبت به آنهایی که به طور نرمال و طبیعی روی سطوح شیب نصب می‌شوند، مقاومت بیشتری ایجاد می‌کنند. از این رو طراحی سیستم پیچ‌های سنگی بستگی به شناخت قبلی از نوع شکستگی بالقوه شیب دارد. برای برآورد مقدار تقویت ایجاد شده بوسیله نصب پیچ‌های سنگی، طراحی نقشه‌ها و نمودارها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پیچ‌های سنگی ممکن است بیش از ۸ متر طول داشته باشند و بار کششی آنها بیش از ۱۰۰ کیلو نیوتن باشد. این پیچ‌های سنگی در محل تنش‌ها قرار داده می‌شوند که تراکم و فشردگی ایجاد شده در توده‌های سنگی مقاومت برشی سطوح شکستگی پتانسیل را بهبود می‌بخشد. ورقه‌های محکم، مقاطع استیل سبک یا تورهای استیل ممکن است برای حفظ و تقویت سطح سنگ بین پیچ‌ها مورد استفاده قرار گیرند. پیچ‌های سنگی کششی روی سطوح شکستگی پتانسیل سنگ قرار داده می‌شوند و به قسمت پایدار زیر سنگ وصل می‌شوند. کشش به کار رفته برای پیچ‌ها، تنش نرمال را در جهت پیچ‌ها افزایش می‌دهد و تنش برشی روی سطوح شکستگی را کاهش می‌دهد. در هنگام استفاده از پیچ‌های سنگی، باید راجع به اثر بالاآمدگی و فشار آب منفذی ناشی از دخول آب در شکستگی‌ها بررسی‌هایی انجام گیرد و اثر یخ زدگی نیز بررسی شود. به منظور خنثی‌کردن اثر این فاکتورها، شکستگی‌ها باید پر شوند و بوسیله یک گودال حفر شده شیب‌دار یا مایل شیب زهکشی شود. ساروج فشرده شده[1] و سیمان فشرده[2] غالباً برای حفاظت و نگهداری و سلامت یک رخنمون سنگی با پوشاندن سطح و جلوگیری از عمل هوازدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیروی تأثیر روی سطوح سنگ مواد را فشرده می سازد. ساروج فشرده شده و سیمان فشرده با اشکال سطحی هماهنگ و مطابقت داده می‌شوند و می‌توان برای هماهنگ بودن با رنگ محیط، سنگ‌های اطراف آنها را رنگ کرد. روکش‌ها ممکن است با تورهای سیمی مستحکم شوند و یا در ترکیب با پیچ‌های سنگی مورد استفاده قرار گیرند. باید اجازه داده شود که آب زیرزمینی در داخل پوشش حفاظتی زهکش شود، در غیر این صورت ممکن است تحت تأثیر عمل یخ زدگی آب زیرزمینی فشارهایی در داخل توده سنگ ایجاد کند. به طور کلی مشخص شده که چنین روش‌های سطحی حمایت و استحکام ناچیزی برای ساختار کلی شیب ایجاد می‌کنند؛ ممکن است سنگ‌های خیلی شکسته را به منظور تثبیت و پایداری با موادی پر کرد.

۲-۴- سازه‌های نگه‌دارنده (جلوگیری کننده)

سازهای نگه‌دارنده با افزایش مقاومت در برابر حرکت توده، لغزش‌ها را کنترل می‌کنند. این سازه‌ها شامل دیوارهای حفاظتی، سدها، گابیون‌ها و شمع‌کوبی هستند. حداقل اطلاعات زیر برای تعیین نوع و اندازه یک سازه نگه‌دارنده نیاز است:

- مرز، حدود، عمق ناحیه ناپایدار، مقدار رطوبت و پایداری نسبی آن. به عنوان مثال فشار آب منفذی اضافی احتمالاً مشکلاتی در طراحی دیوارهای حفاظتی ایجاد می‌کند.
- نوع لغزشی که احتمالاً رخ خواهد داد.
- شرایط فونداسیون هنگامی که سازه‌های متوقف کننده به یک لنگرگاه مناسب نیاز دارند.

دیوارهای حفاظتی اغلب در جایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که کمبود فضا برای توسعه کامل شیب وجود دارد. به عنوان مثال در امتداد بسیاری از جاده‌ها و بزرگراه‌ها این نوع سازه را احداث می‌کنند. زمانی‌که دیوارهای حفاظتی باید در مقابل وزن و بار منفی قرار بگیرند، برای افزایش پایداری شیب، یک دیوار بزرگ و عریض ضروری است و این بدین معنی است که ساخت دیوار گران و هزینه‌بر تمام می‌شود. سازه‌های نگه‌دارنده باید برای یک بار از پیش تعیین شده طراحی شوند که برای انتقال بار نیازمند یک فونداسیون با ظرفیت تحمل مشخص هستند. دیوارهای حفاظتی در انتهای یک شیب قرار می‌گیرند و باید پیش‌بینی کافی برای زهکشی صورت بگیرد؛ به عنوان مثال، گودال‌های تراوش و زهکشی در داخل دیوارها و لوله زهکش در هر چاله. این موضوع نه تنها از افزایش فشار آب منفذی جلوگیری می‌کند، بلکه اثرات یخ‌زدگی را کاهش می‌دهد. با وجود این محدودیت‌های مشخصی وجود دارد که باید قبل از احداث دیوارهای حفاظتی به عنوان یک روش کنترل لغزش آنها را بررسی کرد. این بررسی‌ها شامل توانایی سازه برای مقاومت در مقابل عمل برش، واژگونی و لغزش روی یا زیر پایه سازه است. استفاده از دیوارهای وزنی برای پایداری یک شیب عموماً بر حسب ارتفاع محدود می‌شوند که در آن دیوارهای با وزن

1. Gunit
2. Shutcrete

آزاد ثابت حداکثر ارتفاع حدود ۱۰ متر دارند و با استفاده از این نوع سازه‌ها فقط لغزش‌های با ابعاد نسبتاً کم را می‌توان جلوگیری یا آنها را تثبیت کرد (مورگنسترن، ۱۹۸۷)[1]. معمولاً نیاز است که فونداسیون سنگ بستر دیواره‌های وزنی آزاد در عمق کمی قرار داشته باشد. از این رو تثبیت شیب در جایی که سطح شکستگی عمیق است یا در جایی که نیروها بزرگ‌تر از آن مقداری است که بوسیله یک دیواره وزنی منتقل شوند، می‌توان انتقال نیرو را با نصب لنگرهایی زیر سطح شکستگی انجام داد. دیواره‌های لنگری تحت فشار به طور فعالانه در مقابل حرکت خاک یا توده‌های سنگی مقاومت می‌کند؛ همچنین دیواره‌ها را می‌توان به صورت دسته‌ها یا مجموعه‌های مجاور شکل داد. خاک‌های مقاوم را می‌توان برای حفاظت شیب‌های خاکی مورد استفاده قرار داد.

سازه‌های خاک‌های مقاوم نسبت به دیوارهای حفاظتی سنتی و مرسوم مزیت‌هایی دارند به طوری‌که آنها انعطاف‌پذیرتر هستند و می‌توانند تغییر شکل بیشتری را تحمل کنند، همچنین نسبت به بارهای زلزله‌ای مقاوم‌تر هستند و ساخت آنها اغلب هزینه کمتری دارد. چنین سازه‌هایی درجه بالایی از رطوبت ساختمانی را ایجاد می‌کنند که انرژی دینامیکی مرتبط با زمین‌لرزها را جذب می‌کنند؛ بنابراین سازه‌های خاک‌های مقاوم را می‌توان روی خاک‌های سستی مورد استفاده قرار داد که گزینه‌های مرسوم فونداسیون‌های گران و پرخرجی را مستلزم خواهد کرد. سازه‌های خاک‌های مقاوم با بنا کردن قالب‌های نمایی به صورت دیوار ساخته می‌شوند. نوارهایی از استیل گالوانیزه به قالب‌های خاکی نصب می‌شود. به هر حال استیل گالوانیزه در طی زمان تحت تأثیر خورندگی قرار می‌گیرد و بنابراین گنجایش آن نسبت به گودال‌های با خاک دانه‌ای که زهکش‌های آزاد هستند محدود می‌شود. استحکام دهنده‌های استیل پوشیده با سریش مقاومت بیشتری نسبت به خورندگی نشان می‌دهند. مواد ژئوسینتتیک بویژه ژئوگریدها در سازه‌های استحکام دهنده خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. به هر حال آنها دشواری و سختی کمتری نسبت به استیل‌ها دارند، بنابراین مقدار تغییر شکل مورد نیاز برای توسعه یا تکامل مقاومت برشی حداکثر ممکن است بیشتر از تغییر شکل مجاز ساختمان خاک باشد. سیستم‌های استحکام دهنده شبکه‌ای مرکب از عناصر پلی‌مر و فلزی مرتب شده در شبکه‌های مستطیل شکلی با تورها و شمش‌های فلزی هستند (میتچل و کریستوفر، ۱۹۹۰)[2]. میخ‌های خاکی برای حفاظت شیب‌ها مورد استفاده قرار می گیرند، این میخ‌ها از شمش‌های استیل، میله‌های فلزی یا لوله‌های فلزی که در داخل خاک اصلی (طبیعی) یا سنگ نرم یا در داخل گودال‌ها قرار می‌گیرند، ساخته شده‌اند. به طور طبیعی هر میخ برای هر ۱ تا ۶ متر مربع از سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح زمین بین میخ‌ها با یک سیمان فشرده استحکام یافته با تور سیمی پوشیده می‌شود. میخ‌های خاکی در خاک‌های دانه‌ای متراکم و رس‌های سیلتی نرم با پلاستیسیته کم مؤثرتر هستند. بر اساس مطالعات میتچل[3] و کریستوفر[4] (۱۹۹۰) در خاک‌های دانه‌ای لسی، خاک‌های کم شیب، خاک‌های چسبنده نرم و رس‌های با پلاستیسیته زیاد عموماً استفاده از میخ خاکی هزینه زیادی ندارد. سیستم کپه‌ای اطراف ریشه برای شکل دهی یک بلوک یکپارچه از خاک‌های مستحکم که تا زیر سطح شکستگی توسعه پیدا کند، از توده‌ها و کلوخ‌های کوچک خاک استفاده می‌کنند (ایزی، ۱۹۷۷)[5]. استحکام ایجاد شده بوسیله توده‌های کوچک خاک به مقدار زیادی تحت تأثیر ابعاد آنها و ترتیب هندسی شبیه ریشه آنها است. توده‌ها یا کپه‌های اطراف ریشه مثل توده‌های سیمانی مستحکم هستند که از لحاظ قطری از ۷۵ تا ۳۰۰ میلی‌متر متفاوت هستند. دیوارهای قفسه مانند ممکن است از قالب‌های سیمان از پیش ساخته یا واحدهای استیل ساخته شوند که به صورت سلول‌هایی که با گراول یا سنگ‌ریزه پر می‌شوند، نصب شوند. دیوارهای قفسه مانند چوبی بویژه در ایالات متحده مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیوارهای قفسه مانند چوبی حتی در زمین‌های سخت و مشکل‌دار نیز به سرعت و به سادگی ایجاد می‌شوند. سیستم به طور منطقی به دلیل ماهیت تکه تکه بودن عناصر تشکیل دهنده دیواره‌ها انعطاف‌پذیر است و بنابراین بخصوص به نشت‌های متفاوت حساس نیست. رشد گیاهان می‌تواند روی سطح دیوارها صورت گیرد که باعث پوشیده شدن دیوارها و پنهان کردن آنها می‌شود. این دیوارها فقط برای کنترل لغزش‌های انتقالی کم

1. Morgenstern, 1987

2. Mitchell & Christopher,1990
3. Mitchell
4. Christopher
5. Lizzi, 1977

عمق به کار می‌روند. گابیون‌ها از تورهای سیمی قوی تشکیل شده‌اند که در اطراف سنگ‌ها قرار می‌گیرند. همانند دیواره‌های قفسه مانند، گابیون‌ها نیز همچنین بویژه در زمین‌های سخت و مشکل‌دار به سادگی ساخته می‌شوند و انعطاف‌پذیر هستند. گابیون‌های پر شده برای شرایط زهکشی زیر سطحی خوب در نزدیکی دیوارها آماده می‌شوند و فیلتر حفاظتی بین گابیون‌ها و دیوار یا خاک می‌تواند با استفاده از ژئوتکستال‌ها ایجاد شود. شمع کوبی‌های سیمانی گاهی اوقات برای کنترل قطعات بزرگ یا سنگ معمولاً در جایی که آنها روی دامنه معلق هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تیرها به عنوان یک روش کنترل لغزش به‌ویژه در ایالات متحده مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما آنها همیشه موفقیت آمیز نیستند. در حقیقت شاید آنها بحث برانگیزترین روش حفاظتی مورد استفاده باشند. تیرها می‌توانند مقاومت برشی توده خاک را افزایش دهند اما از طرف دیگر آنها ممکن است غیر مؤثر باشند؛ اگر خاک بین آنها حرکت کند در حقیقت آنها ممکن است واژگون شوند یا ترک بردارند. به طور واضح، تیرها نباید در داخل خاک‌هایی قرار بگیرند که به سرعت تحت تأثیر لغزش قرار می‌گیرند. بارگذاری روی پایه یک شیب با استفاده از سنگ‌های ریزش یافته باعث ایجاد مقاومت در برابر لغزش خواهد شد و ممکن است به عنوان یک فیلتر زهکشی عمل کنند. انتقال و ایجاد پل دو ابزار برای جلوگیری از ورود به سطح لغزشی هستند. در بعضی حالات انتقال مسیر یک جاده از منطقه لغزشی ممکن است از اصلاح حرکت‌های توده ای بزرگ مقیاس اقتصادی‌تر باشد. در مقابل ایجاد پل در منطقه لغزشی به دلیل هزینه‌های زیاد به ندرت عملی است و پل‌ها فقط در روی شیب‌های تندی که نسبت شیب آنها بیشتر از ۲ به ۱ است که عمل انتقال عملی نیست، ایجاد می‌شوند؛ همچنین ابعاد لغزش نیز مهم است، به عنوان مثال فواصل بیشتر از ۱۰۰ متر عموماً غیر اقتصادی هستند. اگر در مواد لغزشی از ستون‌ها استفاده می‌شود آنها باید تا سطح سنگ‌های پایدار فرو شوند. ستون‌ها نباید حرکت در داخل توده را به عقب بیاندازند که بنابراین در ضربه‌های افقی زیاد سطحی در برابر آنها نیست. پایه پل باید در مواد محکم قرار داده شود. برای جلوگیری از شکستگی شیب‌های مستعد، می‌توان تونل‌ها را حفر کرد.

۲-۵- زهکشی

زهکشی عموماً عملی‌ترین روش برای بهبود پایداری شیب‌ها یا برای اصلاح لغزش‌ها بدون توجه به نوع آنها است زیرا که تأثیر یکی از دلایل اصلی ناپایداری یعنی فشار آب منفذی اضافی را کاهش می‌دهد. در توده‌های سنگی، آب زیرزمینی منجر به کاهش مقاومت برشی در امتداد ناپیوستگی‌ها می‌شود. بعلاوه انجام زهکشی تنها روش اقتصادی در لغزش‌هایی است که حجم توده حرکت یافته چندین میلیون متر مکعب است. سطح یک لغزش عموماً تحت تأثیر شکاف‌های عمیق ناهموار، زبر و شیار شیار است. این حالت بویژه زمانی است که نواحی لغزش یافته مرکب از تعدادی سطوح برش یافته باشند. آب در داخل سطوح چاله‌ها، شکاف‌ها، آبگیرها و باتلاق‌های شکل گرفته جمع می‌شود. در چنین مواردی اولین اقدام علاج بخشی انجام زهکشی سطحی است. نباید اجازه داده شود رواناب سطحی روی یک شیب جریان پیدا کند. این موضوع معمولاً با ایجاد یک گودال زهکشی در بالای یک شیب خاکبرداری شده برای جمع آوری آب زهکشی یافته از بالا انجام می‌شود. سطوح گودال بخصوص در خاک‌ها باید برای جلوگیری از فرسایش پوشیده شوند، در غیر این صورت به عنوان یک شکاف کششی عمل خواهد کرد. این گودال را می‌توان با خرده سنگ و قلوه سنگ پر کرد. گودال زهکشی جناغی معمولاً برای انتقال آب از سطح شیب‌ها به کار برده می‌شوند. این گودال‌های زهکشی به سمت یک زهکش جمع آوری کننده در پای شیب کشیده می‌شوند.

با پوشیدن شکاف‌های روی یک شیب با استفاده از سیمان، قیر یا رس می‌توان نفوذپذیری را کاهش داد. با استفاده از یک میان‌بر می‌توان از نفوذ آب به یک زون بالقوه ناپایدار جلوگیری کرد. میان‌بر می‌تواند به شکل یک کانال یا خندق باشد و می‌توان آن را با آسفالت یا سیمان، توده‌های ورقه‌ای خاک پر کرد. با استفاده از یک پرده یا دیافراگم چاه، آب از یکسری از چاه‌های عمودی یا افقی پمپ می‌شود. گمانه‌های اکتشافی را بعداً می‌توان به عنوان چاه‌های پمپ شده مورد استفاده قرار داد. چنین سازه‌هایی ممکن است در جایی مورد بررسی قرار گیرند که احتمال وقوع فرسایش داخلی در نتیجه افزایش جریان آب قابل ملاحظه برای اقدامات زهکشی وجود دارد. گودال‌های زهکشی با مواد با زهکشی آزاد پر می‌شوند

و ممکن است با استفاده از ژئوتکستال‌ها سطوح آنها را پوشش داد. این گودال‌ها برای زهکشی زیر سطحی کم عمق مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیو[1] و گراهام[2] (۱۹۸۸) استفاده از زهکش‌های ماسه‌ای با قطر ۰/۸۵ میلی‌متر که برای تثبیت یک شیب در زیر پایه یک گودال زهکشی توسعه می‌یابند را تشریح کرد. حفاظت و زهکشی ممکن است با استفاده از زهکش‌های کنترفرت[3] انجام شود که یک حفر در کنار زمین برای تحمل لغزش‌های احتمالی مواد کم عمق انجام می‌شود. گودال‌های عمیق در داخل شیب‌ها کشیده می‌شوند، سطوح آنها با فیلتر پوشیده می‌شود و با استفاده از مواد فیلتری دانه‌ای پر می‌شوند. مواد پرکننده دانه‌ای در هر گودال به عنوان یک شمع حفاظتی یا کنترفرت عمل می‌کنند و بعلاوه باعث انجام عمل زهکشی می‌شوند. به هر حال زهکش‌های کنترفرت باید در زیر زون بالقوه ناپایدار توسعه پیدا کنند، در غیر این صورت آنها صرفاً وزن ناخواسته‌ای به توده لغزشی اضافه می‌کنند. چاه‌های عمیق برای زهکشی شیب‌ها در جایی که عمق لازم برای ساخت زهکش‌های گودالی خیلی زیاد هست، مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عنوان مثال بیاکو[4] و بروس[5] (۱۹۹۸) استفاده از چاه‌های عمودی با قطر زیاد (بیش از ۲ متر قطر) و با فاصله ۵ تا ۲۰ متری از همدیگر و با عمق ۵۰ متری را تشریح کردند. چاه‌ها بوسیله حفره‌های افقی کنده شده در ته آنها با همدیگر مرتبط هستند. بعلاوه با لوله‌های PVC با قطر ۱۰۰ میلی‌متر پوشیده می‌شوند که این لوله‌ها به عنوان زهکش‌های جمع‌آوری کننده ثقلی هستند. از هر ۳ لوله ۲ تای آنها با موادی پر می‌شود و لوله سومی برای پایش سرعت آب باز است. معمولاً آب جمع‌آوری شده از ته چاه‌های زهکشی تحت نیروی ثقل جریان پیدا می‌کند اما گاهی اوقات ممکن است برای برداشت آب پمپ‌هایی در ته چاه نصب شود. کاربرد موفقیت آمیز زهکشی زیر سطحی بستگی به شناخت منابع آب، وجود مواد قابل نفوذ که به زهکشی آزاد کمک می‌کند، محل زهکشی روی مواد نسبتاً کم وزن برای اطمینان از عملکرد مداوم و نصب یک فیلتر برای به حداقل رساندن نشست در کانال‌های زهکشی دارد. ساخت دالان‌ها و راهروه‌ی زهکشی و گالری‌ها خیلی هزینه‌بر است و عموماً با استفاده از تکنیک‌های تونل سازی ایجاد می‌شوند و در نواحی لغزش ممکن است ریزش پیدا کنند. اغلب گالری‌های زهکشی با استفاده از نیروی ثقل زمین طراحی می‌شوند. در موارد مشخصی گالری‌های جمع کننده‌ای ممکن است نیاز باشد که از آن برای پمپ آب استفاده می‌شود. بر اساس مطالعات زاروبا[6] و منسل[7] (۱۹۸۲) باید برای اطمینان از ظرفیت زهکشی گالری‌ها آنها را از سنگ پر کرد، هر گاه به طور جزئی در اثر حرکت‌های بعدی تغییر پیدا کنند. این محققین یادآور شدند که ساخت گالری‌ها در مواردی که توده‌های لغزشی بزرگ وجود دارد در جایی که زهکشی در امتداد یک طول ۲۰۰ متر یا بیشتر باید انجام گیرد، لازم الاجرا و ضروری هستند. چاله‌های زهکشی ممکن است در اطراف محدوده یک گالری برای افزایش زهکشی ایجاد شوند. ساخت چاله‌های زهکشی زیر سطحی افقی ارزان‌تر از گالری‌ها هستند و ساخت آنها با طول‌های کوتاه رضایت‌بخش است اما بسیار سخت است که لایه‌های حاوی آب را توسط آنها قطع کنیم. زهکش‌های زیر سطحی افقی را می‌توان از سطح زمین یا با حفر از گالری‌های زهکشی به صورت چاه‌های با قطر بزرگ ایجاد کرد. چاله زهکشی معمولاً ۱۲۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر قطر دارد (سمبنلی، ۱۹۸۸)[8]. چاله‌های زهکشی را با لوله‌های PVC شکاف‌دار می‌پوشانند که به عنوان یک فیلتر عمل می‌کنند. هنگامی که محل مشخصی بوسیله چاله‌های افقی زهکشی می‌شود، آخرین چاله باید در درون یک گودال کاملاً شیب‌دار کشیده شود که سطح آن با مواد نفوذناپذیر پوشیده شود. اسچوستر[9] (۱۹۹۲) زهکشی سیفونی را به عنوان تکنیک‌هایی ذکر کرد که برای پایداری و تثبیت شیب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به هر حال کاربرد آنها خیلی فراوان است. جنگل‌کاری ممکن است به تثبیت لغزش‌های کم عمق کمک کند اما نمی‌تواند از وقوع حرکت بیشتر ایجاد شده در سطوح لغزشی بزرگ جلوگیری کند. به هر حال می‌تواند باعث کاهش نفوذ شود. بهترین درخت‌ها برای این عمل آنهایی هستند که آب بسیار زیادی مصرف می‌کنند و میزان تعریق بالایی دارند و این بدین معنی است که درختان خزان کننده بهتر از درختان سوزنی

1. Lew
2. Graham
3. Counterfort
4. Bianco
5. Bruce
6. Zaruba
7. Mencel
8. Sembenelli, 1988
9. Schuster

برگ هستند. سیستم ریشه به اتصال ذرات خاک به همدیگر کمک می‌کند و علوفه و باقیمانده گیاهان باعث کاهش اثر قطرات باران می‌شود.

۳- شیوه مدیریت کنترل خطر زمین‌لغزش

تکنیک‌های حل مشکلات و مسائل لغزش‌های موجود و بالقوه در ترکیب‌های متنوعی مورد استفاده قرار گیرند. تکنیک‌ها عموماً برای همه انواع شکستگی‌های سطحی زمین مثل جریان‌ها، لغزش‌ها و ریزش‌ها قابلیت کاربرد دارند. اثر بخشی هر تکنیک کاهش خطر با زمان، مکان و اشخاص درگیر در طراحی و اجرای برنامه‌های کاهش خطر متغیر است. کنترل سیستم خطر زمین‌لغزش برای مناطق کمتر توسعه یافته زمانی‌که بتوان آسیب‌پذیری را محدود کرد، آسان‌تر است. چندین روش برای جلوگیری از توسعه و ساخت و ساز در مناطق پر خطر وجود دارد. این روش‌ها شامل آگاهی خریدارن املاک از وجود خطر، هشدار و آگاهی از خطرات، پذیرش سیاست‌های عام‌المنفعه و عمومی، اطلاع دادن و آموزش عموم و ثبت خطرات در اسناد و مدارک عمومی است. می‌توان با ترک و تخلیه دائمی مناطقی که به طور مداوم در معرض شکستگی شیب هستند از خسارات تکراری لغزش جلوگیری کرد. اگر در یک منطقه شاخص‌های ناپایداری مشخص هستند، باید تخلیه منطقه مورد توجه قرار گیرد. اگر اجرای این گزینه فقط در یک مقیاس خاص باشد، ممکن است اجرای آن آسان‌تر باشد؛ اما فشارها و اجبارهای سیاسی- اجتماعی مثل درک و احساس خطر ممکن است تمام سکنی‌گزینی ناشی از انتقال را محدود کند؛ اگرچه ضروری است اما آن را نیز باید اجباری کرد. ساختمان‌ها و سازه‌های موجود ممکن است حذف و یا تبدیل به کاربری شوند که در مقابل خسارات لغزش کمتر آسیب‌پذیر باشند. تکنیک‌های حذف یا تبدیل شامل معاوضه و تبدیل نواحی پر خطر و انتقال تصرف‌کنندگان آنها، ترکیب کاربری‌های ناسازگار در منطقه تحت نفوذ، پاک‌سازی و توسعه دوباره نواحی خسارت دیده، حذف سازه‌های نامطمئن و ناایمن و بلاهای عمومی و توسعه شهری است. تکنیک‌های مالی برای تشویق یا جلوگیری از توسعه در نواحی لغزشی شامل اصلاح برنامه‌های کمک‌رسانی دولت، افزایش هشدار تعهدات قانونی، پذیرش سیاست‌های وامی مناسب، نیاز به بیمه و ایجاد بستانکاری مالیات یا مالیات‌های کم است. انواع گوناگون کاربری اراضی و قوانین توسعه زمین می‌تواند برای کاهش خطرات لغزش مورد استفاده قرار گیرد. این روش اغلب اقتصادی ترین و مؤثرترین ابزار موجود برای یک دولت است. غیر واقع بینانه است اگر فرض کنیم که توسعه می‌تواند به طور غیر مستقیم برای یک دوره طولانی جلوگیری شود و دیگر تکنیک‌ها مثل حفظ توسعه موجود یا خریداری نواحی پر خطر نیز می‌تواند خیلی هزینه‌بر باشد. می‌توان توسعه را در نواحی لغزشی جلوگیری، محدود یا قانونمند کرد. باید از نواحی لغزشی به عنوان فضاهای باز همگانی استفاده نکرد یا اینکه برای کاهش اثرات یا توان ایجاد خسارت، تراکم توسعه در حد حداقل حفظ شود. برای رسیدن به این اهداف می‌توان از قوانین و مقررات زیر بخشی و ناحیه‌ای و همچنین اعمال‌های قانونی روی ساخت و ساز دوباره استفاده کرد. خسارات ناشی از وقوع لغزش‌ها به سرمایه اغلب منجر به یک تقاضا برای کارهای عمومی هزینه‌بر برای ایجاد حفاظت برای توسعه‌های موجود می‌شود. معمولاً این تقاضا در نواحی با لغزش‌های کوچک‌تر به دلیل میزان خسارت ایجاد شده و عدم نیاز به طرح‌های مهندسی دقیق، ساخت و ساز و نگهداری محدود می‌شود. می‌توان زمین‌هایی که به طور بالقوه ناپایدار هستند را پایش کرد که بنابراین ساکنین می‌توانند آگاه شوند و اگر ضروری است انتقال داده شوند. امداد فوری اطلاع‌رسانی در نواحی که لغزش‌های ناگهانی به سرعت اتفاق می‌افتد، ضروری و حیاتی است.

کنترل زمین‌لغزش در مناطق مسکونی و کاهش خطر در این مناطق

روش‌های مکانیکی و بیولوژیکی: عملیاتی که در این بخش می‌توان انجام داد عبارت‌اند از:

- زهکشی سطحی و خروج آب در بالادست مناطق مسکونی.
- تسطیح منطقه لغزشی جهت استقرار پوشش گیاهی مناسب: با کوددهی و کاشت بذور یونجه می‌توان به مقدار زیادی آب توده را توسط سیستم عمیق ریشه‌های یونجه کاهش و مقاومت برشی خاک را افزایش داد.
- احیاء پوشش مرتعی و ایجاد شرایط مناسب جهت کشت نهال‌های بومی مناسب در روی خطوط تراز.
- جنگل‌کاری در بالادست منطقه لغزشی: لازم به ذکر است

که جهت کنترل مناطق لغزشی گونه‌های درختی باید دارای ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت رشد در اراضی بایر، مقاومت در برابر خشک، سیستم ریشه‌ای توانا جهت تثبیت خاک، توانایی بالای تولید جوانه و شاخه‌زایی باشد که با توجه به این موارد گونه‌های زربین، کاج حلب، اقاقیا، اوکالیپتوس و توسکا مناسب به نظر می‌رسند.

- سد نکردن آبراهه‌هایی که باعث خروج آب از منطقه می‌شوند.
- افزایش گیاهان با مصرف بالای آب و پوشش دهنده سطح زمین در تمامی سال.
- تغییر آبیاری سنتی غرقابی به آبیاری مدرن تحت فشار که آب کمتری به منطقه وارد می‌گردد.
- کاشت گیاهان پوشاننده و میان‌کاری برای درختان مثمر.

نتیجه‌گیری

ناپایداری دامنه‌ها یا زمین‌لغزش در کشوری با شرایط متنوع زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب و هوایی و کاربری اراضی چون ایران که از لحاظ لرزه‌خیزی نیز یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین‌خوردگی آلپ - هیمالیا است، اهمیت ویژه‌ای دارد. معمولاً پس از وقوع هر بلای طبیعی، گروه‌های زیادی به‌ویژه سازمان‌های متولی هیجان‌زده شده و به بررسی موضوع می‌پردازند و پس از چندی تب و تاب آنان فرو نشسته و همه چیز فراموش می‌شود. در توسعه پایدار اینگونه برخوردهای مقطعی و احساساتی با مسائل، قطعاً جایگاه مناسبی نخواهد داشت.

مقابله با خطر زمین‌لغزش می‌تواند به صورت فرار از مناطق لغزشی، اعمال اقدامات علاج بخشی و یا اعمال اقدامات کنترلی و پیشگیری انجام گیرد. بدون شک اتخاذ شیوه‌های مناسب مدیریتی در انتخاب گزینه یا گزینه‌های صحیح برخورد با زمین لغزش بسیار مؤثر می‌باشد. داشتن اطلاعات پایه، کسب و بکارگیری دانش و فنون لازم، وضع قوانین مناسب و تدوین برنامه‌های آموزشی و ترویجی به عنوان ابزارهای اولیه مدیریت خطر زمین‌لغزش محسوب می‌گردند که پایه و اساس اجرای شیوه‌های مدیریتی را به صورت اجتناب از خطر، کاهش و کنترل خطر زمین‌لغزش تشکیل می‌دهند. وجود اطلاعات پایه، آگاهی عموم مردم نسبت به پدیده مورد نظر، قانونمند کردن کاربری‌ها و مشخص نمودن نقش وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها در ارتباط با نحوه برخورد با پدیده زمین‌لغزش از اجزاء مهم مدیریت خطر زمین‌لغزش می‌باشد که کمبود و فقدان آنها کاملاً محسوس می‌باشد. لذا ضروری است که نسبت به جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های پایه، تدوین برنامه‌های آموزشی، تنظیم قوانین لازم جهت اعمال کاربری‌ها، تهیه آئین‌نامه‌های اجرایی و تعیین وظایف وزارتخانه‌ها اقدامات اساسی صورت گیرد.

جهت مقابله با زمین‌لغزش معمولاً سه گزینه ۱. فرار از مناطق لغزشی بدون انجام فعالیتی در این مناطق، ۲. پذیرش خطر و در نظر گرفتن هزینه‌هایی برای اقدامات علاج‌بخشی و امداد رسانی بعد از وقوع زمین لغزش و ۳. پیشگیری و انجام عملیاتی جهت کنترل قبل از وقوع مطرح است. فقدان دانش فنی جهت شناسایی مناطق لغزشی و عدم توجه به گزینه علاج قبل از وقوع، موجب شده گزینه دوم بیشتر مورد توجه قرار گیرد. این در حالی است که برای مجریان و تصمیم‌گیران عواقب بعدی این گزینه به وضوح مشخص نیست؛ اما امروزه این نگرش بوجود آمده است که گزینه سوم نه تنها سبب جلوگیری از هدر رفت منابع مادی جهت عملیات ترمیم و بازسازی می‌شود، بلکه با پیشگیری از وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان سرمایه‌ها و منابع ملی را حفظ کرد.

موفقیت برنامه‌های کاهش خطر زمین‌لغزش بستگی به داشتن اطلاعات پایه در مورد زمین‌لغزش، افزایش کارایی و توان علمی کارشناسان اجرایی و تصمیم‌گیران در مورد این پدیده، درک اهمیت موضوع توسط مسئولین محلی و افزایش آگاهی و علاقه مردم و در نتیجه همکاری آنها در ارتباط با برنامه‌های کاهش خطر دارد.

منابع

۱. احمدی، حسن. (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد۱(فرسایش آبی). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۸۸ ص.
۲. اونق، مجید (۱۳۸۸). الزامات آمایشی مدیریت پایدار خطرات طبیعی در مقیاس آبخیز، یک مدل خطر مدار پیشنهادی. پنجمین همایش علوم و مهندسی آبخیزداری ایران- گرگان، ۱۰۳ ص. بازیابی از :
https://www.civilica.com/Paper-WATERSHED05-WATERSHED05_307.html
۳. کاردان، رحمت الله؛ یادگارزایی، محمد حسن. (۱۳۸۶). زمین‌لغزش در استان سیستان و بلوچستان (مطالعه موردی: زمین لغزش شهرستان خاش). همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی اسلام

شهر. باز یابی از:
https://www.civilica.com/Paper-CAGE03-CAGE03_057.html

۴. مصفایی، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور؛ شریعت جعفری، محسن. (۱۳۸۸). مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خا ک، شماره ۴، دوره ۱۶، ص ۴۳ - ۶۱. بازیابی از:
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?FID=37513880403

5. Bell, F.G., & Maud, R.R. (1996). Landslides associated with the Pietermaritzburg Formation in the greater Durban area. South Africa. Environmental and Engineering Geosciences, 2, 557-573. Retrieved from:
https://pubs.geoscienceworld.org/aeg/eeg/article-abstract/II/4/557/136953/landslides-associated-with-the-pietermaritzburg?redirectedFrom=fulltext

6. Bianco, B., & Bruce, D.A. (1991). Large landslide stabilization by deep drainage wells. Proceedings International Conference on Slope Stability Engineering: Developments and Applications, Isle of Wight, Thomas Telford Press, London, 319-326. Retrieved from:
https://webapps.unitn.it/Biblioteca/it/Web/EngibankFile/1311043.pdfDunnicliff, J. (1992). Monitoring and instrumentation of landslides. Proceedings Sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, Bell, D.H. (ed.), Balkema, Rotterdam, 3, 1881-1886.

7. Franklin, J.A., & Denton, P.E. (1973). The monitoring of rock slopes. Quarterly Journal Engineering Geology, 6, 259-286. Retrieved from:
http://dx.doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1973.006.03.10

8. Leventhal, A.R., & Mostyn, G.R. (1987). Slope stabilization techniques and their application. Proceedings Extension Course on Soil Slope Stability and Stabilization, Sydney, Walker, B.F. and Fell, R. (ed.), Balkema, Rotterdam, 121-181.

9. Lew, K.V., & Graham, J. (1988). Riverbank stabilization by drains in plastic clays. In Proceedings Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, Bonnard, C. (ed.), 2, 939-944.

10. Morgenstern, N. R. (1963). Stability charts for earth slopes during rapid downdraw. Geotecbnique, 13, 121-131. Retrieved from:
https://doi.org/10.1680/geot.1963.13.2.121

11. Pfeiffer, T.J., Higgins, J.D., & Turner, A.K. (1990). Computer aided rockfall hazard analysis. Proceedings Sixth Congress International Association Engineering Geology, Amsterdam, Balkema, Rotterdam, 93-103.

12. Piteau, D.R., & Peckover, F.I. (1978). Rock slope engineering. In Landslides: Analysis and Control, Schuster, R.I. and Krizek, R.J., (ed.). Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington, DC, 192-228.

13. Planicka, A., & Nosek, I. (1970). Terrestrial Photogrammetry in measurement of deformations in rockfill dams. Proceedings Tenth International Congress on Large Dams, Montreal, 3, 207-215.

14. Ritchie, A.M. (1963). The evaluation of rockfall and its control. Highway Research Board, Record No. 17, Washington, DC, 13-28.

15. Schuster, R.L. (1992). Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council, Washington, DC, 129-177.

16. Sembenelli, P. (1988). Stabilization and drainage. Proceedings Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, Bonnard, C. (ed.), Balkema, Rotterdam, 2, 813-819.

17. Thoma, H.S.H., & Ward, W.H. (1969). The design, construction and performance of a vibrating wire earth pressure cell. Geotechnique, 19, 39-51. Retrieved from: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/geot.1969.19.1.39

18. Tran-duc, P.O., Ohno, M., & Mawatari, Y. (1992). An automated landslide monitoring system. Proceedings Sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, Bell, D.H. (ed.). Balkema, Rotterdam, 2, 1163-1166.

19. Walker, B.F., & Mohen, F.J. (1987). Groundwater prediction and control, and negative pore pressure effects. Program Extension Course on Soil Slope Stability and Stabilization, Sydney.

20. Zaruba, Q., & Mencl, V. (1982). Landslides and Tbeir Control, second edition. Elsevier, Amsterdam. 198-203.