

تعیین مناسب‌ترین روش کنترل زمین لغزش با استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم

(DSS)، مطالعه موردی زمین لغزش "باریکان"، طالقان

نویسنده: دکتر سید محمود فاطمی عقدا*، دکتر جعفر غیومیان**، ام البنین عطائی*،

دکتر محمد هادی داودی** و علی اکبر نوروزی**

Selection of Suitable Landslide Stabilization Method using DSS, Case Study Barikan Landslide

By:, Dr. S.M. Fatemi Aghda*, Dr. J. Ghayoumian**, O.Ataee*,
Dr. M.H. Davoudi** & A.A. Norouzi**

چکیده

سامانه پشتیبان تصمیم (DSS: Decision Support System) ارائه شده در این تحقیق، انجام عملیات برنامه ریزی برای کنترل زمین لغزش‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. هدف از این سامانه، ارائه روش بهینه کنترل زمین لغزش است. بدین منظور، در این سامانه تلاش شده با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از منابع متعدد و بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های ایران تصمیم‌های مفیدی برای مقابله با این معضل گرفته شود. پس از گردآوری اطلاعات لازم، الگوریتم‌ها و مدل نهایی با استفاده از یکی از نرم افزارهای سامانه پشتیبان تصمیم، به نام آلس (ALES: Automated Land Evaluation System) نوشته شده است. برنامه به گونه‌ای تهیه شده است تا کاربر بتواند به آسانی و با وارد کردن ویژگی‌های زمین لغزش مورد نظر، مناسب‌ترین گزینه کنترل را مشخص کند. بررسی موردی زمین لغزش باریکان، توسط این مدل صورت گرفته است؛ زهکشی سطحی و زیرسطحی به عنوان مناسب‌ترین گزینه کنترل برای این زمین لغزش معرفی شده‌اند. این گزینه با روش‌های ارائه شده که پس از بررسی جامع زمین لغزش صورت پذیرفته، تطابق دارد.

کلید واژه‌ها: زمین لغزش، روش‌های کنترل زمین لغزش، سامانه پشتیبان تصمیم، نرم افزار آلس، باریکان.

Abstract

In this research a DSS (Decision Support System) is presented for selection of a suitable method for landslide stabilization. The goal of the system is to propose the optimal landslide stabilization method. For this purpose, the main landslide stabilization methods, their limitations, and advantages were reviewed using several references and Iran's landslide databank. Algorithms and final model were written, using a kind of DSS called ALES (Automated Land Evaluation System). The model developed in such a way that user can identify the most appropriate landslide characteristics. To verify the model, Barikan landslide characteristics were imported to the system. Surface and subsurface drainage was introduced as appropriate control alternatives for this landslide. These methods show good agreement with the results presented after detailed field investigation and analysis.

Keywords: Landslide, Landslide Stabilization Methods, Decision Support System, ALES Software, Barikan.

مقدمه

می‌تواند باعث تخریب و یا خسارت به انواع سازه‌های مهندسی و فعالیت‌های بشری از جمله مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی مانند راه‌ها،

زمین لغزش از جمله بلاهای طبیعی است که همه ساله زیان‌های جانی و مالی هنگفتی را در کشورهای مختلف به بار می‌آورد. این پدیده طبیعی

میرصانعی، ۱۳۷۶). مطالعه زمین لغزش‌ها در ایران بسیار نوباست. تا پیش از سال ۱۳۶۹، تحقیقات بسیار محدودی در زمینه زمین لغزش‌ها در کشور انجام گرفته است، اما خسارتهای سنگین ناشی از زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته در اثر زلزله ۱۳۶۹ رودبار- منجیل توجه مسئولان و محققان را به این پدیده جلب کرد (گروه بررسی زمین لغزشها، ۱۳۷۹).

به رغم اجرای طرح‌های تحقیقاتی و مطالعاتی متعدد در جهان و به تعداد محدودتر در ایران، برای تصمیم‌گیری در خصوص ارائه روش تثبیت یک دامنه ناپایدار در هر منطقه، حضور کارشناسان متخصص شرط لازم بوده و از سامانه‌های مدیریتی برای تصمیم‌گیری در این موارد استفاده نشده است.

تاریخچه کاربرد سامانه‌های پشتیبان تصمیم (DSS) از سال ۱۹۶۵ شروع می‌شود؛ در اواخر دهه ۱۹۷۰ تعدادی از محققان و شرکتهای متفاوت، سامانه‌های اطلاعاتی را توسعه دادند که داده‌ها و مدل‌هایی را برای کمک به مدیران در تجزیه و تحلیل مشکلات نیمه ساختاری استفاده می‌کردند. این سامانه‌های متنوع، سامانه‌های پشتیبان تصمیم نام گرفتند. از آن زمان به بعد معلوم شد که DSS می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که تصمیم‌گیرندگان را در هر سطحی حمایت نماید (Power, 2003).

سامانه‌های تصمیم توسط محققان مختلف مورد توجه قرار گرفته است. فرمز چشمه و دیگران (۱۳۸۱)، از DSS در مکان‌یابی پخش سیلاب استفاده کرده‌اند. Sharifi (1996) و Timmerman (1997) به ترتیب کاربرد این سامانه را در مدیریت منابع طبیعی و مدیریت شهری مورد توجه قرار داده‌اند. کاربرد این روش در مدیریت زیست‌محیطی (برای مثال مکان‌یابی جایگاه دفن زباله) و تعیین مسیر حمل نیز مورد توجه محققان بوده است (Van western & Sharifi, 1997).

برای تعیین روش و فن پایدار سازی یک دامنه ناپایدار، باید از تخصص کارشناسان خبره بهره گرفت. حضور این متخصصان در مناطق مختلف، بویژه شهرها و استانهای دورافتاده همواره ممکن نیست. برای جبران این خلأ، تلاش شده تا از سامانه پشتیبان تصمیم برای تصمیم‌گیری و ارائه راه حل بهینه در این موارد استفاده شود. در این تحقیق سعی شده با بررسی جامع روش‌های کنترل زمین لغزش‌ها و شرایط لازم برای بهره‌گیری از هر فن و استفاده از نظرات کارشناسان و افراد با تجربه در زمینه مسائل زمین لغزش مدلی برای ارائه روش بهینه کنترل طراحی گردد. برای اجرای مدل، وارد کردن اطلاعات مربوط به ویژگیهای زمین لغزش که با بررسیهای میدانی منطقه و توده لغزشی به دست می‌آید، ضروری است.

روش تحقیق

به منظور طراحی مدل انتخاب گزینه بهینه کنترل زمین لغزش‌ها، ابتدا روش‌های کنترل زمین لغزشها، مزایا و محدودیت‌های هر روش با استفاده

لوله‌های انتقال گاز، آب، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها و مراتع، زمین‌های کشاورزی و معادن شود. افزون بر آن، اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند اثرهای سوء اجتماعی و افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها را نباید نادیده گرفت.

زمین لغزش یکی از مسأله‌سازترین پدیده‌ها در زمینه امور عمرانی است. کشور ایران نیز با توجه به ویژگیهای زمین‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی و اقلیمی، همواره تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته و موارد متعددی از خسارتهای ناشی از این پدیده در کشور گزارش شده است (گروه بررسی زمین لغزشها ۱۳۷۹)، مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی ایران (۱۳۸۱)، (Ghayoumian et al. 1998). بسیاری از مسیرهای ترابری کشور در معرض خطر رانش قرار دارد؛ بسیاری از روستاهای کشور در استان‌های مختلف مانند استانهای چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان، خراسان، لرستان و شمال خوزستان روی زمین لغزش واقع شده‌اند؛ در مسأله توسعه شهری در کشور موضوع رانش از جمله موارد محدود کننده گسترش شهرهای بزرگ به شمار می‌آید (قبادی، ۱۳۸۱).

با توجه به خسارات ناشی از رخداد زمین لغزش و با مدنظر قرار دادن این موضوع که افزون بر دوری از خطر، ارائه روش‌های بهینه کنترل این پدیده طبیعی باید مورد توجه قرار گیرند، در نقاط مختلف جهان، بسته به شرایط توپوگرافی، اقلیمی، نوع مصالح در دسترس، واز همه مهم‌تر مشخصات سازه مهندسی، روشها و تمهیدات متنوعی برای مقابله با این مشکل ابداع شده است (معماریان، ۱۳۷۴). در هر دامنه با توجه به مشخصاتی که دارد، ترکیبی از دو یا چند روش مختلف ممکن است بهترین نتیجه را به همراه داشته باشد. این روشها به دو صورت: کاهش نیروهای متمایل به ایجاد حرکت و افزایش نیروهای مقاوم در برابر حرکت، پایداری دامنه را تأمین می‌کنند.

روش‌های تغییر در شیب و ارتفاع، زهکشی سطحی، زهکشی زیرسطحی و کاهش وزن، از اقداماتی هستند که کاهش نیروهای محرک را موجب می‌شوند. روش‌های مسلح سازی مصالح خاکی، تثبیت بیوتکنیکی، مهار کردن خاک و استفاده از سامانه‌های ساختمانی، تثبیت به روشهای شیمیایی، الکترواسمزی و گرمایی، و زهکشی زیرسطحی، باعث افزایش نیروهای مقاوم می‌شوند (Turner et al., 1996).

بررسی تاریخچه مطالعه زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که تهیه بانکهای اطلاعاتی، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، استفاده از ابزارهای مدیریتی برای محدود ساختن فعالیت‌های بشری در مناطق پرشیب، رفتارنگاری، آموزش و سرانجام ارائه روش‌های مقابله با خطر وقوع زمین لغزش، از مواردی هستند که در بسیاری از کشورها برای کمینه کردن خسارات ناشی از این پدیده مورد توجه قرار گرفته‌اند (نیک اندیش و

- ۲) بیان LUT بر حسب مهمترین LUR ها
(LUR: Land Use Requirement) مجموعه‌ای از LURها، فاکتورهای اصلی تعیین کننده LUT ها می‌باشند.
- ۳) تعیین LC های (Land Characteristics) که برای تعیین وضعیت LUR ها قابل استفاده هستند.
- ۴) ساختن شاخه‌های تصمیم‌گیری برای ارتباط دادن LC ها و LUR ها
- ۵) ایجاد شاخه‌های تصمیم‌گیری بین LUR ها و LUT ها (مرحله پایانی طراحی مدل)
- ۶) انتخاب برخی واحدهای نقشه (MU: Map Unit)
- ۷) جمع‌آوری و ورود داده‌های LC ها برای این واحدها (MU)

کاربرد سامانه پشتیبان تصمیم در انتخاب روش بهینه تثبیت زمین لغزش‌ها

همان‌گونه که گفته شد، آلس یکی از نرم‌افزارهای سامانه پشتیبان تصمیم است که کاربران را در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی یاری می‌کند. در این تحقیق، هدف انتخاب روش بهینه تثبیت یک زمین لغزش با کمک این نرم افزار است. نخستین گام برای رسیدن به هدف مطلوب، شناسایی روش‌های مختلف تثبیت زمین لغزش‌ها و شرایط کاربرد هر روش است؛ بدین دلیل، روش‌های مختلف تثبیت زمین لغزش‌ها از راه بررسی منابع مختلف مورد بررسی قرار گرفت (Hunt (1984), Schuster & Tunner (1996), Abramson et al. (2001) و ...). کاربرد هر روش، مزایا، محدودیتها و مناسب‌ترین شرایط برای به کارگیری هر روش مشخص شدند. در ادامه روشهایی که با امکانات و تجهیزات متداول در کشور همخوانی داشته و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، تفکیک شدند. جدول ۱، روش‌های تثبیت و بهترین شرایط کاربرد آنها را ارائه می‌کند. این روشها در مدلی که در قالب نرم افزار طراحی گردید، جای گرفتند. روشهای استفاده شده در مدل به ترتیب اولویت عبارتند از: روش زهکشی سطحی، زهکشی زیرسطحی، اصلاح هندسی شیب، سامان دهی رودخانه و احداث دیوار حایل.

در این راستا، مطالعه آماری انجام گرفته روی داده‌های استخراج شده از بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور (۱۳۸۱) نیز نشان داد که با توجه به مهم‌ترین عوامل مسبب زمین لغزش در کشور، کاربرد پنج روش فوق، بیش از روش‌های دیگر ضرورت دارد (عطایی، ۱۳۸۲).

طراحی مدل و فرایند ارزیابی

مهم‌ترین مرحله در ساخت مدل، انتخاب و تعریف LUT یا LUR های مدل است؛ LUT در پروژه حاضر، روش بهینه تثبیت زمین لغزش می‌باشد

از مرور گسترده منابع بررسی گردید. در این خصوص، از بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور نیز استفاده شد. مدل آلس با استفاده از اطلاعات گردآوری شده به منظور ارائه روش بهینه کنترل زمین لغزش طراحی شد. برای تعیین کارایی مدل، زمین لغزش باریکان واقع در منطقه طالقان مورد آزمون قرار گرفت.

معرفی سامانه پشتیبان تصمیم (DSS) و نرم افزار آلس (ALES)

سامانه‌های پشتیبان تصمیم، نوعی از سامانه‌های اطلاعات مدیریتی هستند که تحلیل‌گران، طراحان و مدیران را در فرایند تصمیم‌گیری حمایت می‌کند.

از مزایای این سامانه، توانایی حمایت از کاربر در حل مشکلات پیچیده، پاسخ سریع به وضعیتهای پیش‌بینی نشده که در اثر تغییر شرایط به وجود می‌آیند، ارتباط آسان، کنترل و اجرای مدیریت بهینه، صرفه جویی در هزینه، اتخاذ تصمیمات مبنی بر واقعیت و بهبود تأثیر مدیریت و ... را می‌توان ذکر کرد. فرایند تصمیم‌گیری با این سامانه شامل سه مرحله است:

- مرحله شناخت و تفهیم
- مرحله طراحی مدل
- مرحله انتخاب گزینه برتر

در مرحله اول، تصمیم‌گیرنده محیط را مورد بررسی قرار می‌دهد تا مشکل را شناسایی و اهداف مربوط به آن را تعریف نماید. در مرحله بعد، یک مدل تصمیم‌گیری از وضعیت مشکل که نشان‌دهنده اثرات یک تصمیم بر روی سامانه است، ساخته و آزمایش می‌شود و در مرحله آخر که مهم‌ترین بخش و مرحله نهایی فرایند تصمیم‌گیری است، گزینه‌های طراحی شده در مرحله پیش با استفاده از شاخص‌هایی ارزیابی می‌شوند و در پایان، گزینه بهینه که بهترین و قابل قبول‌ترین راه حل آن مشکل است، انتخاب و نمایش داده می‌شود (عطایی، ۱۳۸۲).

سامانه خودکار ارزیابی زمین یا آلس، برنامه‌ای رایانه‌ای است که به تحلیل‌گران این امکان را می‌دهد تا سامانه‌های تخصصی را برای ارزیابی زمین بر طبق روش ارائه شده در سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) بسازند. نرم افزار به خودی خود یک سامانه تخصصی نیست و هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد زمین و کاربری زمین ندارد، اما چارچوبی است که تحلیل‌گران می‌توانند سامانه‌های تخصصی مورد نیاز خود را با استفاده از آن و با مد نظر قرار دادن شرایط و اهداف محلی و منطقه‌ای بسازند. فرایند ارزیابی مدل توسط Wambeke & Rossiter (1995) به صورت خلاصه زیر ارائه شده است.

۱) انتخاب و تعریف نوع کاربری زمین

(LUT: Land Utilization Type)

تراوایی مناسب باشند، زهکشی زیرسطحی توصیه می‌شود. در شرایطی که آب در ناپایداری دامنه بی تأثیر باشد، ضرورتی به زهکشی زیرسطحی نخواهد بود. لذا سامانه، روش بعدی تثبیت را که اصلاح هندسی است را مورد توجه قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که روشهای کنترل از روشهای ساده و ارزان به طرف روشهای گران و پیچیده اولویت بندی شده‌اند. بدین ترتیب، این سامانه طراحی شد. برای ارزیابی کارایی سامانه طراحی شده، زمین لغزش باریکان مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی موردی زمین لغزش باریکان

روستای باریکان در منطقه طالقان و در ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی واقع شده است. این روستا در طول $36^{\circ}25'$ شمالی و عرض $50^{\circ}44'01''$ خاوری قرار داشته و مساحتی در حدود $5/5$ هکتار را شامل می‌شود. منطقه دارای آب و هوای نیمه کوهستانی است؛ میزان متوسط بارندگی در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به روستای باریکان (ایستگاه گلینک) $424/5$ میلی‌متر در سال است. پوشش گیاهی آن در تپه ماهورها بوته‌های کوتاه و علف و در مناطق مسکونی، باغ و زمینهای کشاورزی است. رودخانه باریکان که در بهار سیلابهای زیادی را از ارتفاعات جنوب، جنوب‌باختر و جنوب خاور روستا به طرف رودخانه طالقان هدایت می‌کند، در پایین دست روستا واقع شده و چشمه‌ها و آبهای مصرفی و زهابهای ناشی از نفوذ آبهای کشاورزی و آبهای بالادست روستا در آن تخلیه می‌شود. منطقه از دیدگاه زمین شناسی کاملاً در زون ترشیری مرکزی قرار می‌گیرد، مارنها و رسوبات سرخ رنگ مربوط به سازند سرخ بالایی (U.R.F) به طور پراکنده در حاشیه رودخانه باریکان دیده می‌شوند و در بقیه قسمتهای اطراف روستا، این سازند رخمون ندارد و با رسوبات درشت دانه پوشیده شده است (مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۰).

این روستا بر روی یک توده لغزشی قرار گرفته است. حرکت دامنه باریکان یک حرکت چرخشی است. لغزش باریکان از نظر ابعادی دارای عرضی برابر 300 متر و طولی برابر 700 متر است. شیب سطحی بلوک لغزنده بین 10 تا 20 درجه متغیر است و جهت حرکت لغزش به سمت شمال باختر (NW) است (شکل ۳). این لغزش یک لغزش قدیمی و دوباره فعال شده است و قسمت اعظم روستا را در بر گرفته است؛ به گونه‌ای که ساختمانهای نزدیک رودخانه باریکان خسارتهای بسیار زیادی را متحمل شده‌اند (مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۰).

بررسی زمین شناسی مهندسی زمین لغزش باریکان از راه بررسی عکسهای هوایی، مطالعه نقشه زمین شناسی و گزارشهای موجود در مورد منطقه، بازدیدهای صحرائی و بررسی نیمرخ چاههای حفر شده در محدوده

ورده‌های LUT را روشهای تثبیت تشکیل می‌دهند. در این مدل، شش رده شامل همان پنج روش تثبیت اشاره شده و یک رده با عنوان تثبیت با روش‌های پیچیده برای LUT وارد شد. همه روش‌های تلفیقی ممکن نیز به عنوان زبرده‌های LUT در مدل وارد و با یک کد شناسایی معرفی شدند.

در گام بعد، LUR های مدل یعنی همان پارامترهایی که کاربر را به سمت انتخاب هر یک از رده‌های LUT هدایت می‌کند، با رجوع به منابع متعدد مشخص شدند و رده‌های هر کدام تعریف شد. این پارامترها فهرست وار عبارتند از:

عوامل طبیعی و انسانی مؤثر در تزریق آب به توده، وضعیت سطح آب زیرزمینی، تراوایی مصالح، مقیاس لغزش، نوع حرکت، امکان انجام خاکبرداری، امکان احداث خاکریز در پنجه لغزش، موقعیت پنجه لغزش نسبت به مسیر رودخانه، نقش زیرسویی رودخانه در ناپایداری دامنه، وضعیت سطح لغزش نسبت به دیوار حایل و نقش عامل انتقال تکیه گاههای جانبی و زیرین.

برای تعیین وضعیت هر کدام از LUR های بالا، خصوصیات ساده‌ای از دامنه و منطقه لغزشی که به راحتی قابل اندازه‌گیری و برآورد باشند مشخص شد که LC های مدل نام دارند. در ادامه شاخه‌های تصمیم‌گیری بین LC ها و LUR ها و در مرحله بعد بین LUR ها و LUT ها ساخته شد و الگوریتم تصمیم‌گیری تکمیل گردید. بخشی از این الگوریتم که تنها برای زهکشی زیرسطحی نوشته شده است در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

شکل ۱، شاخه‌های تصمیم‌گیری بین LC ها برای تعیین وضعیت یکی از LUR ها (وضعیت آب زیرزمینی) را نشان می‌دهد.

ابتدا لازم است وضعیت سطح ایستابی نسبت به سطح لغزش مشخص شود. در صورتی که سطح ایستابی پایین‌تر از سطح لغزش باشد، آب زیرزمینی تأثیری در ناپایداری توده ندارد.

در شرایطی که سطح ایستابی بالای سطح لغزش باشد، لازم است شیوه ورود آب به توده مورد بررسی قرار گیرد. ورود آب به توده از مناطق مجاور یا در اثر ذوب برف و یا بارش بارانهای دراز مدت بر روی توده رخ می‌دهد. در هر دو صورت، کلاس LUR به تأثیر آب زیرزمینی بر ناپایداری می‌انجامد. چگونگی ورود آب به توده از آن جهت حائز اهمیت است که در نهایت مدل علاوه بر ارائه گزینه مناسب تثبیت، جزئیات مربوط به حضور آب در توده ناپایدار را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

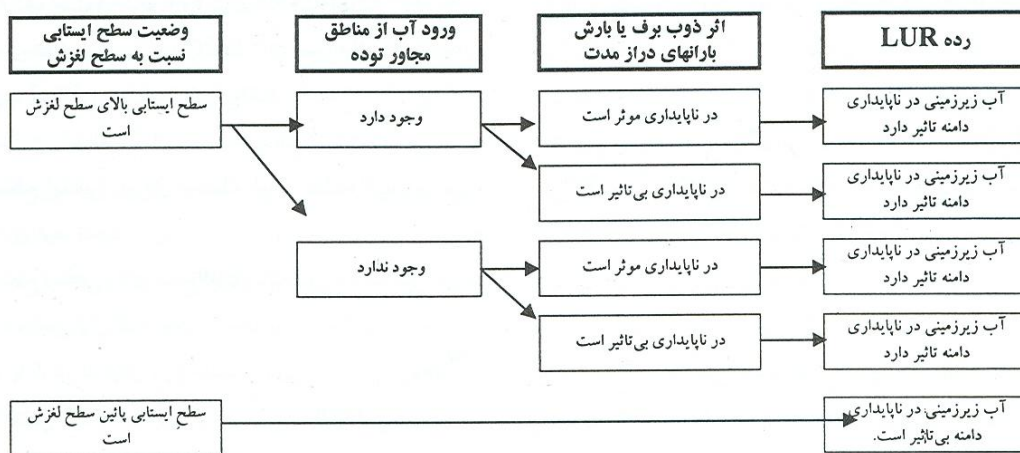
در ادامه، همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است در صورتی که رده LUR نشان دهنده تأثیر آب زیرزمینی در ناپایداری باشد لازم است تراوایی مصالح نیز مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که مصالح دارای

تأمین نکند. مدل علاوه بر ارائه روش مناسب تثبیت، محدودیت‌های موجود را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد و کاربر می‌تواند با تغییر برخی از شرایط در صورت امکان، گزینه‌های مناسب بعدی را از سامانه دریافت کند.

نتیجه گیری

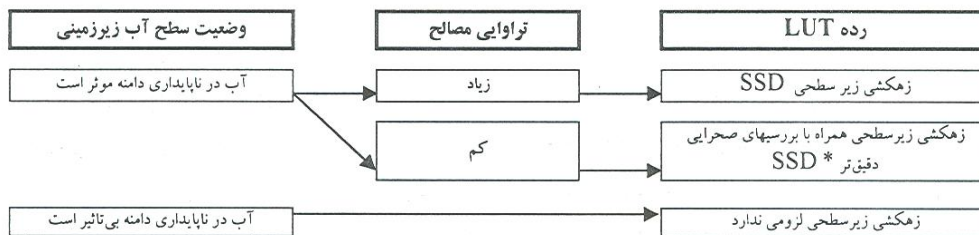
تصمیم‌گیری برای کاهش خطر بلایای طبیعی بسیار پیچیده است، چرا که شمار زیادی از عوامل و اطلاعات باید مورد توجه قرار گرفته و تحلیل شوند. بنابراین برای توسعه یک سامانه پشتیبان تصمیم برای انواع بلایای طبیعی و از جمله زمین لغزش، کار زیادی مورد نیاز است. در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار سامانه پشتیبان آلس مدل انتخاب گزینه بهینه کنترل زمین لغزش‌ها تهیه شده است. مطالعه موردی زمین لغزش باریکان توسط مدل نشان می‌دهد که روش‌های زهکشی سطحی و زیرسطحی مناسب‌ترین گزینه‌های کنترل می‌باشند. نتایج مدل با دستاوردهای محققان که بر اساس بررسی‌های میدانی گسترده صورت پذیرفته، تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهد. بنابراین، سامانه طراحی شده برای ارائه روش بهینه زمین لغزش در این تحقیق نشان داد که می‌توان از این سامانه برای مدیریت خطر زمین لغزش استفاده نمود.

زمین لغزش صورت پذیرفت. نوع زمین لغزش، عوامل مؤثر در رویداد، ابعاد هندسی، ویژگی‌های مهندسی مصالح تشکیل دهنده توده، وضعیت سطح ایستابی، موقعیت جاده دسترسی به قله و امکان خاکبرداری، و ... در پرسش‌نامه‌ای که به همین منظور تهیه شده بود، ثبت گردیدند. (مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی ایران، ۱۳۸۲). عوامل مؤثر در گسیختگی دامنه باریکان را می‌توان به دو دسته عوامل ذاتی (ترکیب مصالح و توپوگرافی) و عوامل محیطی (عامل آب و عامل زیرشویی رودخانه باریکان) تقسیم کرد که عامل آب نقش اصلی و اساسی را در ناپایداری این دامنه ایفا می‌کند. برای آزمون مدل طراحی شده در بخش پیش، اطلاعات ثبت شده در خصوص زمین لغزش باریکان وارد سامانه شد (شکل ۴)، و تحلیل انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل در یک ماتریس ارزیابی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. روش پیشنهاد شده برای این لغزش زهکشی سطحی همراه با زهکشی زیر سطحی می‌باشد. برای اطمینان از کارایی این روش در افزایش ضریب اطمینان و پایداری دامنه تحلیل پایداری با روش دوم هوانگ، پیش و پس از اعمال روش تثبیت انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که این روش ضریب اطمینان را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. بدیهی است در مواردی که روش ارائه شده ضریب اطمینان را

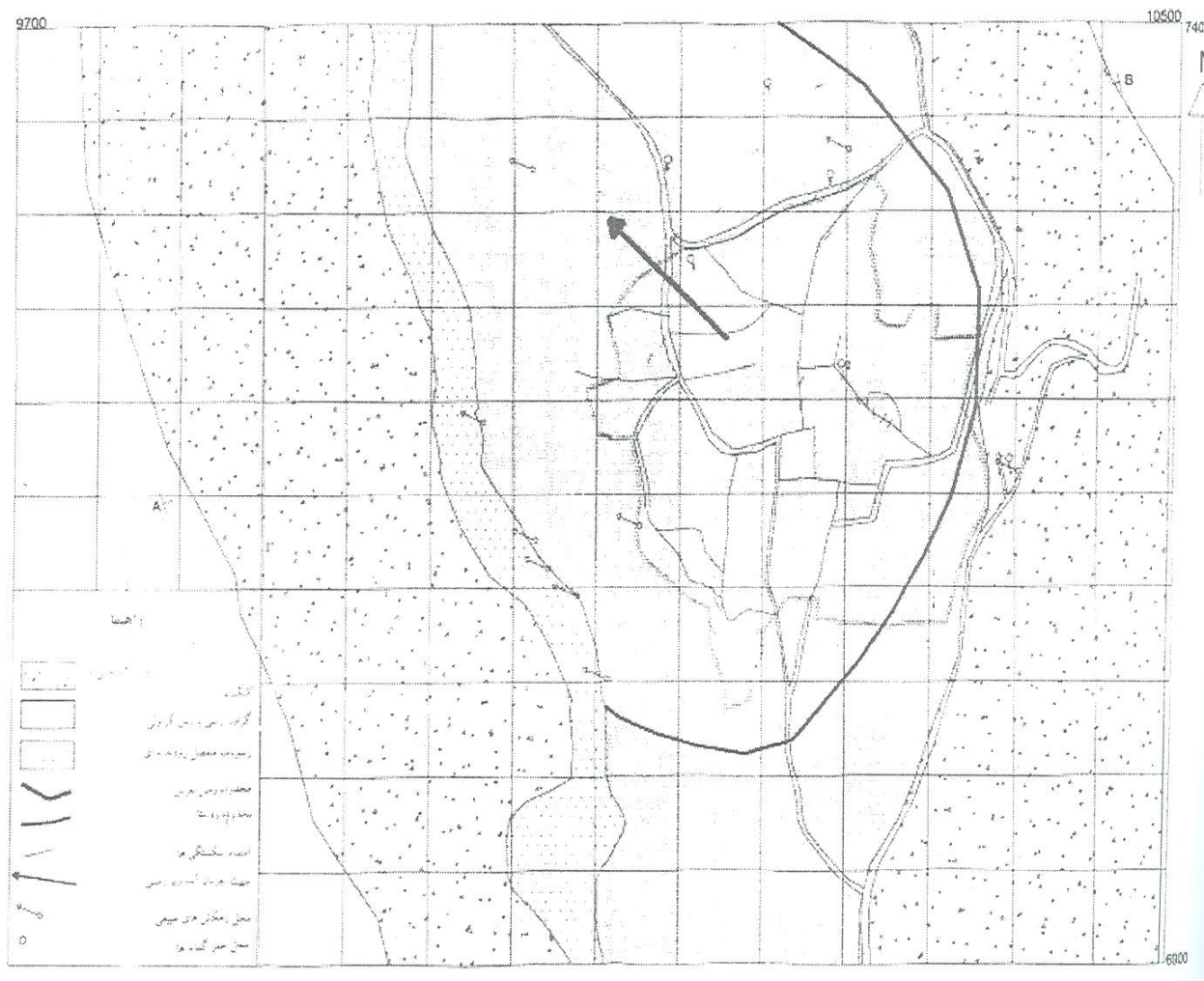


* نیاز به بررسی دقیق‌تری در خصوص تغذیه توده وجود دارد.

شکل ۱- شاخه‌های تصمیم‌گیری بین LC ها برای تعیین وضعیت LUR (وضعیت آب زیرزمینی)



شکل ۲- ارتباط LUR ها برای تعیین رده LUT



شکل ۳- نقشه زمین شناسی مهندسی روستای باریکان و محدوده لغزش باریکان

LS (LAND SLIDE STABILIZATION)	
LS	
BARIKAN	1.022
ata	1
hoseinabad	1.0224

Automated Land Evaluation System		LS (LAND SLIDE STABILIZATION)
Data for land mapping unit 'ata'		
1.	area (Existence of an area to placing toe embankment)	: e
2.	em (Excavation and mining in toe of landslide)	: o
3.	iaa (Infiltration by agricultural activity & defores...)	: h
4.	ica (Infiltration by civil activity)	: h
5.	ice (Infiltration through tension cracks & swamps...)	: l
6.	ila (Infiltration through lateral area)	: ex
7.	icm (Influence of snow melting and longitudinal rain)	: o
8.	itmc (Infiltration through trench & mines & chanelo...)	: l
9.	ra (road accessibility)	: ne
10.	re (River erosion)	: ue
11.	ss/r (The position of slide surface to river coarse)	: ss/r
12.	ssd (Depth of slide surface)	: d
13.	ssrw (situation of slide surface to retaining wall)	: ss-rw
14.	st (soil texture)	: up
15.	tm (type of movement)	: R
16.	wt-co (water table condition to slide surface)	: wt>ss

شکل ۴- انتخاب یک واحد (زمین لغزش باریکان) برای انجام ارزیابی

شکل ۵- ماتریس ارزیابی که نتیجه تحلیل با آکس را نشان می‌دهد

Why?	
LMU: BARIKAN (BARIKAN LANDSLIDE) (50,000.00 ha)	
LUT: LS (Landslide Stabilization)	
Physical Suitability Subclass: 1.022 (SD + SSDx) [1-6]	
Land Use Requirements and their severity levels :	
(LURs used by the maximum limitation method are marked with a ♦)	
L_scale1 (Landslide scale 1)	= 2 [1-2]
L_scale2 (Landslide scale 2)	= 2 [1-2]
NM_activ (Natural & man activity in water infiltra)	= 1 [1-2]
Pexcavat (Possibility of excavation)	= 2 [1-2]
Ptoebarm (Possibility of toe berm construction)	= 1 [1-2]
R_suppot (Role of removing lateral & ...supports i)	= ? [1-2]
Riverero (Role of river erosion)	= 2 [1-2]
Soilperm (Soil permeability)	= 2 [1-2]
Ss_river (Situation of slide surface to river)	= 2 [1-2]
Ss_rwall (Situation of slide surf to retaining wal)	= 1 [1-2]
Type_mov (Type of movement)	= 1 (rotational) [1-3]
...<more>... ↓	
↑	
Ss_river (Situation of slide surface to river) = 2 [1-2]	
Ss_rwall (Situation of slide surf to retaining wal) = 1 [1-2]	
Type_mov (Type of movement) = 1 (rotational) [1-3]	
wt_condi (Water table condition) = 1 [1-2]	
Physical Suitability Subclass decision tree (# 12):	
NM_activ (Natural & man activity in water infiltra) = 1	
>wt_condi (Water table condition) = 1	
>>Soilperm (Soil permeability) = 2	
>>>L_scale1 (Landslide scale 1) = 2	
>>>>Type_mov (Type of movement) = 1 (rotational)	
>>>>>Ss_river (Situation of slide surface to river) = 2	
>>>>>>Ss_rwall (Situation of slide surf to retaining wal) = 1	
>>>>>>>L_scale2 (Landslide scale 2) = 2	
--> 1.022 (SD + SSDx) [1-6]	
Land Use Requirements that were maximally limiting:	
** none	

شکل ۶- توضیحات بیشتر برای روش تثبیت انتخاب شده

جدول ۱- روشهای مختلف تثبیت و بهترین شرایط کاربرد هر روش

روش تثبیت	بهترین شرایط کاربرد
انتقال کامل یا جزئی مواد ناپایدار	<ul style="list-style-type: none"> - زمین لغزش کوچک باشد - حجم خاک برداری کم است و گودبرداری پرخرج نباشد - خاکهای ضعیف در عمق کم قرار داشته باشند - برای تمام انواع حرکتها (لغزش ها، ریزشها و جریانهها) - انتقال خاک از قله امکان پذیر باشد - موقعیت سازه های اطراف یا بالای توده لغزشی در معرض خطر قرار نگیرند - شیب باقیمانده در زیر مصالح ناپایدار (بعد از انتقال مواد) پایدار باشد
اصلاح هندسی شیب (باربرداری در رأس لغزش)	<ul style="list-style-type: none"> - سطح لغزش شکل قوسی داشته باشد (در رأس دارای شیب تند و در پنجه بالا می آید) - در لغزشهایی که قبلاً اتفاق افتاده کاربرد دارد - زمین لغزش حجیم نباشد - انتقال خاک از قله امکان پذیر باشد - محلی برای استقرار باطله های حاصل از خاک برداری موجود باشد (اگر در محل نیاز به منابع قرضه وجود داشته باشد این روش معقول و منطقی است) - رأس لغزش در نزدیکی سازه ها قرار نمی گیرد - از این روش در مرحله طراحی استفاده شود - شیب رویه برداشت شده بسیار کم باشد (15H:1V) - برای جریان ها و لغزش های دارای سطح گسیختگی مستقیم پیشنهاد نمی شود
اصلاح هندسی شیب (خاکریزی در پنجه)	<ul style="list-style-type: none"> - در لغزشهای چرخشی عمیق کاربرد دارد - فضای کافی برای استقرار خاکریز پنجه ای موجود باشد (رودخانه، راه آهن، جاده، خانه، و..... در پایین دست شیب موجود نباشد) - منابع قرضه در نزدیکی محل لغزش موجود باشد - اگر دامنه طبیعی پرشیب و طویل باشد، به کارگیری این روش مشکل است - اگر سطح ایستایی بالا باشد، خاکریز می تواند نقش زهکش را هم بازی کند - اگر همراه با عملیات خاکبرداری از قله انجام شود روشی مقرون به صرفه است
اصلاح هندسی شیب (مسطح سازی شیب و پلکان بندی)	<ul style="list-style-type: none"> - در همه انواع حرکات دامنه ای کاربرد دارد - روی زمین لغزشهای احتمالی یا موجود - در مجموع روشی اقتصادی است و یکی از بیشترین روشهای استفاده شده برای پایدارسازی شیب می باشد - هم در خاکهای چسبنده و هم در خاکهای غیرچسبنده قابل اجراست - مسطح سازی در تپه های خاکی روی خاکهای اصطکاکی موثرتر است - علاوه بر کاهش نیروی محرک سطح گسیختگی را به عمق بیشتر می کشاند و با طول سطح گسیختگی را در داخل طبقه ضعیف افزایش می دهد تا مقاومت بیشتری در برابر لغزش ایجاد کند
ساماندهی رودخانه	<ul style="list-style-type: none"> - اگر فرسایش و زیرشویی رودخانه عامل اصلی ناپایداری توده باشد - زمین لغزش کوچک باشد - سطح لغزش بالاتر از سطح رودخانه باشد - در جاهایی که ایجاد میان بر یا تغییر مسیر رودخانه به خاطر هزینه و محدودیتهای سایت غیرممکن باشد
زهکشی سطحی (انواع مختلف)	<ul style="list-style-type: none"> - وجود آب عامل اصلی ایجادکننده حرکت باشد - ترکهای کششی در بخشهای بالایی و میانی محدوده لغزش وجود دارد - حرکت توده لغزنده به بازندگی های کوتاه مدت بستگی دارد - کانالهای آبیاری بدون پوشش، آبگیرها، ماندهاها و چشمه ها روی توده لغزنده وجود دارد (تجمع آبهای سطحی در روی توده به هر نحوی) - دامنه خاکی است یا از سنگهای هوازده تشکیل شده است - حرکت هنوز اتفاق نیفتاده یا در مراحل اولیه پیشرفت است

ادامه جدول ۱

روش تثبیت	بهترین شرایط کاربرد
زهکشی زیرسطحی (تونلهای زهکشی، گالریها)	<ul style="list-style-type: none"> - زمین لغزش بزرگ مقیاس است - سطح لغزش غالباً قوسی شکل است - نقش آب در رخداد زمین لغزش به اثبات رسیده است - وجود آبهای زیرزمینی به بارندگیهای طولانی مدت یا ذوب برف وابسته است - حرکت اتفاق نیفتاده یا در مراحل اولیه است - تحقیق کافی در مورد شرایط زمین شناسی و سازوکارهای افت و خیز آب صورت گرفته است - لایه ای که باید زهکشی شود بسیار عمیق است و نفوذپذیری آن قابل توجه است - عمق آب زیرزمینی بسیار زیاد است به گونه‌ای که حفر ترانشه و چاههای زهکشی بسیار پرهزینه می شود - سطح ایستایی بالای سطح برشی است
زهکشی زیرسطحی (زهکشیهای نیمه افقی)	<ul style="list-style-type: none"> - منطقه پهناور است - آب زیرزمینی به طور وسیعی گسترده است و عمق آن بسیار زیاد است - دامنه شامل شامل ماسه های سیلنی ریز و خاکهایی که حاوی قطعات سنگی، ترکهای باز و حفره‌های خالی نمی باشد (در غیر این صورت، نصب زهکش مشکل می شود) - نفوذپذیری مواد پایین نیست - حرکت اتفاق نیفتاده یا در مراحل اولیه است - سطح آب زیرزمینی بالای سطح برشی است
آب زدایی الکترواسمزی	<ul style="list-style-type: none"> - عموماً در دامنه های خاکی که از لای تشکیل شده باشند کاربرد دارد - ضمن تسهیل تخلیه آب، بر مقاومت خاک می افزاید - برای زهکشی خاکهای سیلنی با ذرات در اندازه بین $0.002/0.002$ تا $0.002/0.002$ اینج مناسبترین است - این روش برای ماسه ریز حتی اگر نفوذپذیری اش به اندازه $10^{-4} \times 3$ سانتیمتر بر ثانیه کم باشد به کار نمی رود - هزینه این روش بالاست، در نتیجه کاربرد وسیعی ندارد - از نقاط ضعف آن هزینه بالا و نیاز به اجرای دائم است - در ریزشها عملی نیست، در لغزشها و جریانهها هم به ندرت استفاده می شود
افزایش نیروهای مقاوم خارجی (دیوارهای حایل)	<ul style="list-style-type: none"> - زمین لغزش کوچک مقیاس باشد - مصالح مورد نیاز در دسترس باشند - ارتفاع دیوار مورد لزوم کم باشد (از ۴ تا ۵ متر تجاوز نکند) - حرکت اتفاق نیفتاده یا در مراحل اولیه پیشرفت است - خاک نسبتاً مقاوم است
افزایش مقاومت داخلی (مسلح سازی خاک)	<ul style="list-style-type: none"> - دامنه احتمالاً ناپایدار است و حرکت کمی داشته است یا اینکه هیچ حرکتی نداشته اما ضریب اطمینان به قدری پایین است که احتمال زیاد حرکت یا گسیختگی را نشان می دهد - شیب خزشی که در آن حرکت در حال اتفاق افتادن است - دامنه حاوی خاکهای دانه ای متراکم و رس سیلنی سفت با پلاستیسیته پایین یا رسوبات نامتجانس می باشد - خاک دامنه از نوع خاکهای دانه ای سست و رس بسیار نرم نیست - در سایت مشکل راه دسترسی و محدودیت فضای کم وجود دارد

کتابنگاری

عطائی، ا.، ۱۳۸۲- "مدیریت مهندسی مناطق لغزشی استراتژیک با استفاده از سیستم DSS، مطالعه موردی زمین لغزش باریکان"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت معلم.

قبادی، ۱۳۸۱- "زمین‌شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان عمران)"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ۲۳۵ صفحه.

قرمزچشمه، ب.، غیومیان، ح.، فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۱- "کاربرد DSS و GIS در مکانیابی پخش سیلاب در منطقه میمه اصفهان"، مجله علوم، دانشگاه تربیت معلم.

گروه بررسی زمین لغزشها، ۱۳۷۹- "فهرست زمین لغزش های ایران (گزارش اول)"، معاونت آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی.

مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی ایران، ۱۳۸۱- "گزارش های مطالعات پایدارسازی زمین لغزش روستای حسین آباد (شهرستان نکا)".

مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی ایران، ۱۳۸۳- "گزارش طرح جامع پایدارسازی یا جابجایی روستاها بر اساس شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مناطق لغزشی".

مرکز تحقیقات آبخیزداری و حفاظت خاک کشور، ۱۳۸۰- "پروژه شیوه‌های تثبیت زمین لغزش‌ها" (پروژه زمین لغزش باریکان).

معماریان، ح.، ۱۳۷۴- "زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک"، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۵۳ صفحه.

نیک‌اندیش، ن. و میرصانعی، ر.، ۱۳۷۶- "مدیریت خطر زمین لغزش"، سمینار زمین لغزه و کاهش خسارتهای آن، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

References

- Abramson, L.W., Lee., T.S., Sharma, S., Boyce, G.M., 2001- Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons Inc.
- Ghayoumian, J., Shoaie, Z., Shariat Jafari, M., 1998- Social and Economical Extent of Landslides in Iran, Proc. 8th Congress of the Int. Assoc. Of Engineering Geology and the Environment, Vancouver, Canada.
- Hunt, R.E., 1984- Geotechnical Engineering Investigation Manual, McGraw- Hill Book Company.
- Power, D.J., 2003- A Brief History of Decision Support Systems, DSS Resources.COM.
- Rossiter, D.G. & Van Wambeke, A.R., 1995- Automated Land Evaluation System (ALES) version 4.5 user's Manual. SCAS Teaching Series 2. Ithaca, NY, Cornell University, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences.
- Sharifi, M.A., 1996- Introduction to Decision Support Systems for Natural Resource Management.
- Sharifi, M.A. & Westen, C.J. van., 1997- Lecture Notes, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), The Netherlands.
- Timmerman, H., 1997- Decision Support Systems in Urban Planning.
- Turner A.K. & Schuster R.L. (eds.), 1996- Landslides Investigation and Mitigation, National Academy of Sciences, USA, Special Report 247.

*دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران

**پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

* Teacher Training university, Tehran, Iran

**Soil Conservation & Watershed Research Institute, Tehran, Iran