بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران (گرایش سازه‌های هیدرولیکی)

تعیین ضریب پایداری سد خاکی با استفاده از شبکه عصبی

به کوشش

رضا مدرس

استاد راهنما

دکتر ناصر طالب بیدختی

مهر ماه ۹۱

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب رضا مدرس دانشجوی رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهارمی کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: رضا مدرس

تاریخ و امضا:

سپاسگزاری

اکنون که این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می‌دانم که با نهایت خضوع از جناب آقای دکتر ناصر طالب بیدختی که به عنوان استاد راهنما در تمامی مراحل این پایان نامه، نهایت همکاری را با اینجانب داشته‌اند ونیز از آقایان دکتر نادر هاتف و دکتر غلامرضا رخشنده رو که به عنوان استاد مشاور با اینجانب همکاری داشته‌اند و همچنین از سایر اساتید محترم گروه مهندسی عمران دانشگاه شیراز که از راهنمایی ها و مشاوره‌های ایشان در طول انجام این پایان نامه استفاده کرده‌ام تقدیر و تشکر نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از خانواده عزیزم که با حمایت همه جانبه خود پیمودن این راه دشوار را بر من آسان نموده و از کلیه دانشجویانی که در پیشبرد این پایان نامه با اینجانب همکاری داشته‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

چکیده

تعیین ضریب پایداری سد خاکی با استفاده از شبکه عصبی

به کوشش

رضا مدرس

هدف از انجام این پژوهش بررسی ۶ پارامتر مهم و تأثیر گذار در پایداری سدهای خاکی شامل ارتفاع سد، عرض تاج سد، شیب دامنه سد، ضریب اصطکاک داخلی، وزن مخصوص خاک و ضریب چسبندگی خاک می‌باشند. پس از جمع آوری اطلاعات، آن‌ها به نرم افزار Plaxis انتقال داده و شاخص‌های فوق مورد بررسی قرار گرفت سپس آن‌ها را وارد نرم افزار آماری spss19 نموده و در ابتدا با استفاده از شاخص‌های آمار توصیفی مانند میانگین، انحراف معیار، کمترین و بیشترین میزان اقدام به توصیف متغیرها نموده و در مرحله بعد به منظور به‌کارگیری آزمون‌های پارامتریک (آزمون‌های رگرسیون خطی ساده و چندگانه) پیش فرض‌های لازم همچون آزمون کولموگورف-اسمیرنوف جهت ارزیابی نرمال بودن مشاهدات، آزمون دوربین واتسون برای بررسی مستقل بودن خطاها از شاخص VIF استفاده شد. پس از تایید مفروضه‌های مذکور، آزمون در یک مرحله با استفاده از روش رگرسیون خطی ساده به بررسی تأثیر هر کدام از متغیرهای مستقل بر ضریب پایداری پرداخته و در مرحله دیگر با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه با ورود یک‌جای همه متغیرها به مدل، اقدام به بررسی تأثیر متغیرها بر ضریب پایداری شده است. همچنین برای معرفی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی مناسب مشاهدات با تغییر تعداد لایه‌ها و نرون‌های لایه پنهان، یک مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون یک لایه معرفی شد؛ و در پایان میزان کارایی دو روش رگرسیون ساده و چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی با هم مورد مقایسه قرار گرفتند و روش برتر معرفی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد میزان حساسیت شبکه عصبی مصنوعی برابر ۹۸٪ است که میزانی بسیار بالا می‌باشد. همچنین به ترتیب سه متغیر شیب خاکریز با ضریب اهمیت ۱۰۰٪، ضریب اصطکاک داخلی سد با ضریب اهمیت ۳۱/۵٪ و ارتفاع سد با ضریب اهمیت ۲۸٪، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر روی ضریب پایداری هر مدل و متغیرهای عرض تاج سد با ضریب اهمیت ۸/۳٪، وزن مخصوص خاک ۹/۴٪ و چسبندگی خاک ۱۴/۴٪ به ترتیب کمترین ضریب اهمیت را بر ضریب پایداری سد داشته‌اند.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... و

فهرست جدول‌ها ..... ي

فهرست تصاویر ..... ك

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲- اهداف این پژوهش ٤

۲-۱- تعریف اصطلاحات ناپایداری شیب و زمین لغزش ٦

۲-۲- عوامل عمده موثر در وقوع لغزش‌ها ۷

۲-۲-۱- تغییرات ساختاری ۷

۲-۲-۲- حرکات تکتونیکی ۸

۲-۲-۳- زلزله و لرزش ۸

۲-۲-۴- اثر باران و ذوب برف ۸

۲-۲-۵- تأثیر اثرات فصلی ۹

۲-۲-۶- افت سریع سطح آب ۹

۲-۲-۷- تغییر در شیب دامنه ۹

۲-۲-۸- تغییر در ارتفاع سطوح شیب‌دار ۹

۲-۲-۹- تأثیرات پوشش گیاهی ۱۰

۲-۲-۱۰- تغییر کاربری زمین ۱۰

۲-۲-۱۱- شرایط ژئوتکنیکی و سنگ شناسی ۱۱

۲-۲-۱۲- شدت هوازدگی ۱۲

۲-۳- معیارهای طبقه بندی حرکت‌های توده‌ای خاک ۱۲

۲-۳-۱- تیپ یا نوع حرکت ۱۳

۲-۳-۲- سرعت نسبی حرکت ۱۳

۲-۳-۳- علل و مکانیسم شروع حرکت (مکانیسم‌های فعال کننده) ۱۳
۲-۳-۴- مورفولوژی مواد نهشته شده و سطح گسیختگی ۱٤
۲-۴- طبقه بندی حرکت‌های توده‌ای خاک بر اساس طبقه بندی وارنس ۱۵
۲-۴-۱- ریزش‌ها ۱٦
۲-۴-۲- **واژگونی‌ها** ۱۸
۲-۴-۳- لغزش‌ها ۱۸
۲-۴-۳-۱ لغزش چرخشی ۱۸
۲-۴-۳-۱-۱- لغزشی چرخشی ساده ۱۹
۲-۴-۳-۱-۲- لغزش چرخشی مرکب ۲۰
۲-۴-۳-۱-۳- لغزش چرخشی متوالی ۲۰
۲-۴-۳-۲- لغزش انتقالی ۲۰
۲-۴-۳-۲-۱- لغزش‌های ورقه‌ای ۲۱
۲-۴-۳-۲-۲- لغزش‌های خرده سنگی یا لغزش‌های تخته‌ای ۲۱
۲-۴-۳-۲-۳- لغزش‌های سنگی یا بلوکی ۲۲
۲-۴-۳-۲-۴- لغزش واریزه‌ای ۲۳
۲-۴-۳-۲-۵- لغزش‌های انتقالی مکرر یا مرکب ۲۳
۲-۴-۴- حرکت با گسترش جانبی ۲۳
۲-۴-۵- سیلان‌ها یا جریان ها ۲٤
۲-۴-۵-۱- خاکروانه ۲٤
۲-۴-۵-۲- گلروانه یا جریان گلی ۲٤
۲-۴-۵-۳- جریان‌های واریزه‌ای ۲٤
۲-۴-۵-۴- لغزش‌های جریانی ۲٤
۲-۴-۵-۵- جریان سولیفلوکسیون ۲۵
۲-۴-۶- زمین لغزش‌های مرکب ۲۵
۲-۴-۷- خزش ۲۵

۳-۱- پژوهش‌های مرتبط داخلی ۲۷
۳-۲- نمونه‌ای از پژوهش‌های مشابه در سایر کشورها ۳۰
۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- حد تعادل خمیری ۳۳
۴-۳- روش‌های آنالیز پایداری در حالت کلی ۳٤
۴-۳-۱- روش‌های آنالیز از نظر شکل سطوح گسیختگی ۳٤
۴-۳-۲- روش‌های آنالیز از نظر خطی و غیرخطی بودن ۳٤
۴-۴- روش‌های ساده شده برای گسیختگی صفحه‌ای ۳۷
۴-۴-۱- مقطع عرضی مثلثی با صفحه گسیختگی منفرد ۳۷
۴-۵- روش گوه‌ای (بلوک لغزشی) ۳۸
۴-۶- روش معمولی قطعات یا روش سوئدی ٤۰
۴-۷- روش‌های غیر خطی – روش قطعات ٤۱
۴-۸- روش کلی قطعات ٤۲
۴-۹- روش ساده شده بیشاپ ٤٥
۴-۱۰- روش ساده شده جانبو ٤۷
۴-۱۱- آنالیز دقیق جانبو ٤۹
۴-۱۲- روش اسپنسر ٥۲
۵-۱- مقدمه ٥۷
۵-۲- قابلیت‌های مدل سازی رفتار خاک با نرم افزار **Plaxis** ٥۷
۵-۳- تعاریف کلی تنش و کرنش ٥۸
۵-۴- تحلیل لایه به لایه در**Plaxis** ٥۹
۵-۵- المان‌های بکار گرفته شده نرم افزار در مدل سازی ٥۹
۵-۶- المان‌های اثر متقابل مورد استفاده در نرم افزار ٦۰
۵-۷- محاسبات نفوذپذیری و جریان آب در خاک با استفاده از **Plaxis** ٦۲
۵-۸- معیار خمیری موهر-کولمب ٦۳

۵-۹- تحلیل پایداری با نرم افزار Plaxis ٦٥
۵-۱۰- پارامترهای اساسی مدل در مقایسه با رفتار حقیقی خاک ٦٦
۵-۱۱- نحوه مدل کردن سد خاکی ٦٦
۵-۱۲- آزمون کولموگورف – اسمیرنوف ۷۱
۵-۱۳- روش‌های *تجزیه و تحلیل اطلاعات* ۷۱
۵-۱۳-۱- روش رگرسیون خطی چندگانه ۷۲
۵-۱۳-۱-۱- رگرسیون ۷۲
۵-۱۳-۱-۲- آزمون دوربین- واتسون (Durbin-Watson) ۷۳
۵-۱۳-۱-۳- مفهوم همخطی ۷۳
۵-۱۳-۲- روش شبکه عصبی مصنوعی ۷٤
۵-۱۳-۲-۱- مدل شبکه عصبی پرسپترون ۷۵
۵-۱۳-۳- مقایسه مدل‌ها ۷٦
۶-۱- مقدمه ۷۸
۶-۲- نتایج پایداری شیروانی ۷۹
۶-۳- بررسی نرمال بودن متغیر اهرم مالی ۸٦
۶-۴- بررسی میزان حساسیت هر کدام از متغیرهای مستقل بر ضریب پایداری هر مدل ۸۸
۶-۵- رگرسیون خطی چندگانه ۹۱
۶-۶- ارائه مدل شبکه عصبی مصنوعی ۹۲
۶-۷- نتایج شبکه عصبی مصنوعی ۹۳
۶-۸- مقایسه نتایج سه روش ۹۸
۷-۱- نتیجه گیری ۱۰۰
۷-۲- پیشنهادات ۱۰۲
فهرست منابع ۱۰۳

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره صفحه

جدول (۴-۱) اختلاف روش‌های آنالیز از نظر معادلات ارضا شده ۳۶

جدول (۴-۲) تعداد معادلات و مجهولات در روش‌های قطعات ۴۲

جدول (۶-۱) خروجی برنامه Plaxis برای انواع مختلف سدها ۸۱

جدول (۶-۲) نتایج آمار توصیفی شاخص‌های مربوط به سد ۸۷

جدول (۶-۳) نتایج آزمون کولموگورف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن متغیر اهرم مالی به تفکیک هرسال ۸۸

جدول (۶-۴) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر ارتفاع سد بر ضریب پایداری هر مدل ۸۹

جدول (۶-۵) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر عرض تاج سد بر ضریب پایداری هر مدل ۸۹

جدول (۶-۶) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر شیب خاکریز سد بر ضریب پایداری هر مدل ۹۰

جدول (۶-۷) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر شیب خاکریز سد بر ضریب پایداری هر مدل ۹۰

جدول (۶-۸) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر وزن مخصوص خاک سد بر ضریب پایداری هر مدل ۹۱

جدول (۶-۹) نتایج آزمون رگرسیون برای بررسی تأثیر چسبندگی خاک سد بر ضریب پایداری هر مدل ۹۱

جدول (۶-۱۰) نتایج آزمون رگرسیون خطی چندگانه برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر ضریب پایداری هر مدل ۹۲

جدول (۶-۱۱) نمایش خطاها در هر مرحله ۹۳

جدول (۶-۱۲) خلاصه فرآیند شبکه ۹۴

جدول (۶-۱۳) اطلاعات مربوط به شبکه عصبی مصنوعی بکار گرفته شده ۹۵

جدول (۶-۱۴) خلاصه اطلاعات مدل ۹۶

جدول (۶-۱۵) رابطه بین مقادیر پیش بینی شده در شبکه پرسپترون و رگرسیون چندگانه ۹۷

جدول (۶-۱۶) تأثیر متغیرهای غیر وابسته ۹۸

جدول (۶-۱۷) مقایسه نتایج سه روش رگرسیون خطی ساده، رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی ۹۹

فهرست تصاویر

عنوان و شماره صفحه

شکل (۲-۱) اصطلاحات در مورفولوژی زمین لغزش ۱۴
شکل (۲-۲) انواع زمین لغزش‌ها ۱۵
شکل (۲-۳) مثال‌هایی از سنگ افت‌ها ۱۶
شکل (۲-۴) انواع ناپایداری ۱۷
شکل (۲-۵) انواع لغزش‌های چرخشی ۱۹
شکل (۲-۶) انواع لغزش‌های انتقالی ۲۱
شکل (۲-۷) بلوک دیاگرامی مربوط به یک کانال در رسوالدرانو ۲۲
شکل (۴-۱) گسیختگی صفحه‌ای خاکریز مثلثی ۳۷
شکل (۴-۲) آنالیز گوه‌ای ۳۹
شکل (۴-۳) تصویر نیروهای بین قطعه‌های روش معمولی یا سوئدی ۴۰
شکل (۴-۴) سطح لغزش غیر دایره‌ای ۴۳
شکل (۴-۵) دیاگرام ضریب m_a در مقابل زاویه شیب سطح تحتانی قطعه ۴۴
شکل (۴-۶) نیروهای وارده به قطعه در روش ساده شده بیشاپ ۴۵
شکل (۴-۷) سطح لغزش غیر دایره‌ای روش ساده شده جانبو ۴۸
شکل (۴-۸) ضریب اصلاحی fo در روش جانبو ۴۹
شکل (۴-۹) سطح لغزش غیر دایره‌ای در آنالیز دقیق جانبو ۵۰
شکل (۴-۱۰) نیروهای وارد بر قطعه در روش جانبو ۵۱
شکل (۴-۱۱) سطح لغزش دایره‌ای اسپنسر ۵۳
شکل (۴-۱۲) نیروهای وارد بر قطعه در روش اسپنسر ۵۴
شکل (۵-۱) روش تحلیل لایه به لایه در نرم افزار ۵۹
شکل (۵-۲) شکل المان تنش ۶۰
شکل (۵-۳) المان‌های اثر متقابل ۶۱
شکل (۵-۴) المان بندی در گوشه‌ها ۶۱
شکل (۵-۵) شبکه جریان در خاکریز ۶۳
شکل (۵-۶) سطح تسلیم موهر – کولمب ۶۴

شکل (۵-۷) منحنی‌های نمونه تنش-کرنش ۶۶
شکل (۵-۸) پنجره CREATE/OPEN PROJECT ۶۷
شکل (۵-۹) پنجره GENERAL SETTING ۶۷
شکل (۵-۱۰) صفحه کار نرم افزار ۶۸
شکل (۵-۱۱) نمایی از سد ترسیم شده در نرم افزار ۶۸
شکل (۵-۱۲) تعریف خصوصیت خاک در منوی MATERIAL SETS ۶۹
شکل (۵-۱۳) خروجی محاسبات تولید فشار آب ۷۰
شکل (۵-۱۴) محیط محاسباتی نرم افزار ۷۰
شکل (۵-۱۵) سطح لغزش شیروانی و نمودار ضریب پایداری شیروانی ۷۱
شکل (۵-۱۶) نمای یک نرون مصنوعی ۷۴
شکل (۵-۱۷) مدل شبکه عصبی پرسپترون با یک نرون (سمت چپ) و S لایه (سمت راست) ۷۵
شکل (۶-۱) نمایی از سد ترسیم شده در نرم افزار ۷۹
شکل (۶-۲) نمودار بررسی نرمال بودن مشاهدات ۸۷
شکل (۶-۳) یک شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه پنهان و ۷ نرون در لایه پنهان ۹۵
نمودار (۶-۴) نمودار پراکنش مقادیر واقعی و پیش بینی شده ضریب پایداری سد به وسیله شبکه عصبی ۹۶
نمودار (۶-۵) ترتیب متغیرهای با اهمیت بر ضریب پایداری سد در شبکه عصبی یک لایه ۹۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

آب از بدو پیدایش حیات، نقش اساسی در ادامه زندگی و طبیعتاً در موجودیت انسان‌ها ایفا نموده است و نقش آن در پیدایش و رشد حیات در نظریه‌های علمی مورد تایید قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در طول تاریخ آب عامل مهمی در شکل‌گیری تمدن‌ها، روش زندگی بشر، توسعه تکنولوژی، زبان و فرهنگ بوده است و همچنین بشر را به ایجاد شاهکارهای فوق‌العاده مهندسی سوق داده است که از آن جمله می‌توان به ساخت سدهای کوچک، چاه‌ها و قنات‌ها و لوله‌کشی‌های سفالینی باقیمانده که مصداقی از شاهکارهای مهندسی در گذشته می‌باشد، اشاره نمود. پیدایش و بقای گروه‌های مختلف انسانی در طول تاریخ به قدری با وجود آب عجین بوده است که جایگاه آب در فرهنگ‌های گوناگون بشری به تناسب شرایط اقلیمی، موقعیت طبیعی و چگونگی و مقدار منابع آب در دسترس، میزان پیشرفت فناوری و نیز شیوه معیشت در سرزمین‌های مختلف به نحو مشهودی قابل مشاهده است. آب و مدیریت منابع آب به عنوان یک اصل اساسی در زندگی بشری همواره مطرح بوده و هست به شکلی که در ادیان الهی، آب را اولین پدیده‌ای میدانند که خداوند خلق نموده و معتقد هستند که سایر موجودات نیز به نحوی از آب ایجاد شده‌اند.

آب از جمله مؤثرترین و کاراترین عوامل در بقای بشر محسوب می‌شود که اهمیت آن در نگرش جدید جهانی، به عنوان یک کالای مهم اقتصادی- اجتماعی و نیاز اولیه انسان مرتباً در حال افزایش است. محدودیت مطلق این ماده حیاتی به عنوان یک منبع تجدید شونده و قرار گرفتن بخش قابل توجهی از اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه خشک، موجب گردیده بخش کشاورزی هر روز با محدودیت بیشتر منابع آبی مواجه باشد؛ لذا با توجه به شرایط اقلیمی خشک ایران، پژوهش و برنامه ریزی در زمینه حفظ و نگهداری از منابع آب برای توسعه کشور امری حیاتی محسوب می‌شود.

به طور کلی بخش آب در ایران با سه مشکل اساسی توزیع نامناسب مکانی، توزیع نامناسب زمانی و خشکسالی‌های پی در پی مواجه است. بنابراین با نگاهی به عدم تعادل عرضه و تقاضا و قرار گرفتن آب در یک وضعیت بحرانی، شواهد موجود بازگوی آن است که از آب موجود چه در بخش آب‌های سطحی و چه زیرزمینی، بهره برداری مناسب انجام نمی‌گیرد.

یکی از بهترین راه‌ها برای ذخیره سازی آب و بهره‌وری مناسب از آن احداث سد خاکی می‌باشد. سد خاکی به علت منعطف بودن و ارزان بودن آن بسیار مناسب برای دره‌های گسله کشورمان می‌باشد.

با وجود عملیات‌های عمرانی کشور و کمبود منابع مالی، طراحی بهینه و سریع می‌تواند صرفه جویی بسیار مناسب در منابع مالی و زمانی برای کشور به وجود آورد. طراحی بهینه و مناسب خاکریز بدنه سد خاکی باعث کاهش عملیات خاکریزی و کاهش هزینه و زمان ساخت می‌شود.

در این پایان نامه سعی شده است که دو موضوع علمی روز یعنی پایداری شیروانی و شبکه عصبی بحث شود در فصل دوم این پژوهش به مفاهیم و تعاریف لغزش شیروانی اشاره شده است.

در فصل سوم به تعدادی از مطالعات پیشین مرتبط با این پژوهش اشاره شده است. مطالعه تحقیقات قبلی می‌تواند نشان دهنده میزان پیشرفت تحقیقات تخصصی در این زمینه باشد.

در تحلیل پایداری شیروانی‌ها، محاسبه ضریب اطمینان برای سطح لغزش معین، سابقه‌ای بیش از ۷۰ سال دارد. تحلیل پایداری شیروانی به منظور تعیین ضریب اطمینان در سطح لغزش مورد نظر و تعیین محتمل‌ترین فرآیند گسیختگی و کمترین ضریب اطمینان مربوط به آن انجام می‌گیرد.

در روش‌های تعادل حدی به منظور تحلیل پایداری شیروانی معمولاً لازم است تا سطح لغزش بحرانی که کمترین ضریب اطمینان را دارد، اغلب روش‌های تعادل حدی برای تحلیل پایداری شیروانی، سطح لغزش را با شکل‌های مشخصی مانند دایره‌ای و یا اسپیرال لگاریتمی در نظر می‌گیرند. این فرضیات به منظور سادگی کار و دوری از پیچیدگی‌های سطح لغزش خواه است. کلیه روش‌هایی که تا به حال برای تعیین بحرانی‌ترین سطح لغزش غیر دایره‌ای ارائه شده است به سه دسته کلی روش‌های عددی، روش‌های بهینه سازی و روش‌های توده خاکی تقسیم بندی می‌شوند که در فصل چهارم این پژوهش به بررسی جامع این روش‌ها پرداخته شده است.

در فصل پنجم به معرفی نرم افزار مدل سازی پرداخته شده است، محدودیت استفاده از معادلات کلی تغییر شکل‌های استاتیکی خاک در قالب مکانیک محیط‌های پیوسته این است که تغییر شکل‌ها باید در مقایسه با هندسه اولیه سازه کوچک باشند تا بتوان روابط را نسبت به هندسه اولیه سازه فرمول بندی کرد. روش اجزاء محدود روشی عددی برای حل معادلات دیفرانسیل است. در این مقوله ابتدا نرم افزار المان محدود Plaxis را معرفی کرده سپس به قابلیت‌ها، امکانات و محدودیت‌های آن اشاره شده است.

و بالاخره در فصل ششم ابتدا نتایج حاصل از این پژوهش ارائه شده است و در ادامه به بررسی تأثیر ۶ پارامتر مهم و تأثیر گذار بر پایداری سدهای خاکی پرداخته شده است. که این تجزیه تحلیل با استفاده از آزمون‌های آماری انجام شده است.

۱-۲- اهداف این پژوهش

سدهای خاکی از جمله سازه‌های ژئوتکنیکی هستند که گسیختگی در آن‌ها می‌تواند منجر به خسارات جبران ناپذیری گردد از این‌رو در طراحی آن‌ها لازم است تمامی کنترل‌ها و حساسیت‌های لازم به عمل آید. هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی تأثیر ۶ پارامتر چسبندگی خاک، وزن مخصوص خاک، ضریب اصطکاک داخلی، عرض تاج سد، ارتفاع سد و شیب خاکریز بر پایداری سدهای خاکی می‌باشد. در واقع ما در این پژوهش به دنبال آن هستیم که میزان تأثیر هر کدام از این پارامترهای شش‌گانه را مورد بررسی قرار داده و در نهایت بالاترین و پایین‌ترین فاکتورهای تأثیر گذار بر پایداری سد خاکی را معرفی نماییم. به این منظور ابتدا اطلاعات مورد نیاز به نرم افزار Plaxis انتقال داده و دیتاهای خروجی نرم افزار را به منظور تحلیل آماری وارد نرم افزار آماری spss19 خواهد شد. تأثیر متغیرهای مستقل با به‌کارگیری روش‌های رگرسیون ساده و چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی محاسبه گردیده و در انتها میزان کارایی این روش‌ها محاسبه شده است.

فصل دوم

مفاهیم و تعاریف لغزش شیروانی

۲-۱- تعریف اصطلاحات ناپایداری شیب و زمین لغزش

تعاریف و طبقه‌بندی‌های زیادی با وجود اشتراک قابل توجه و یا یکسان از نظر مفهوم با محدوده‌های کاربردی کم و بیش مشابه توسط مؤلفین و محققین بکار برده شده است. که در زیر به بعضی از آن‌ها اشاره می‌شود:

ترزاقی[۱] این زمینه بیان می‌کند: «همان‌طور که تنش تحمیل شده به توده، به مقاومت برشی متوسط نزدیک می‌شود میزان خزش[۲] افزایش می‌یابد و مقاومت برشی کاهش می‌یابد تا جایی که عاقبت‌الامر اشکالی از شکستگی سریع به طور نسبی ظاهر می‌شوند. برای این حالت به طور زایشی (Generic) اصطلاح لغزش[۳] بکار برده شده است» در جایی دیگر بیان شده:

«اصطلاح لغزش عبارت از کلیه حرکات توده‌ای در شیب‌ها و شامل افتان‌ها[۴]، واژگونی‌ها[۵] و سیلان‌های واریزه ای[۶] نیز می‌شود»

برای روشن شدن وسعت معانی اصطلاح زمین لغزش، کوتز Coates 1977 نکات اصلی و مثبت موجود در بین تعاریف ارائه شده در ۲۸ مقاله را به شرح زیر لیست کرده است: [۱]

۱- زمین لغزش نشان دهنده یک رده از پدیده‌ای هستند که به طور کلی تحت عنوان حرکت توده‌ای[۷] مطرح می‌شود.
۲- وزن، نیروی اصلی ناپایداری شیب در پدیده مورد بحث است.
۳- حرکت توده گسیخته شده معمولاً سریع می‌باشد.
۴- حرکت توده‌ای می‌تواند شامل افتادن[۸]، لغزش[۹] باشد.
۵- صحنه یا پهنه لغزش یا صفحه گسل یکی نیست.
۶- حرکت باید رو به پایین به سمت خارج باشد.
۷- مواد جابجا شده داری مرزهای تعریف شده هستند.
۸- مواد جابجا شده ممکن است بخشی از رگولیت[۱۰] و یا سنگ بستر را نیز در بر گیرند.
۹- پدیده ذوب و حرکت زمین یخ زده[۱] معمولاً استثنا می‌شود.

---

[1] Terzaghi 1950
[2] Creep
[3] Slide
[4] Rock Falls
[5] Topples
[6] Debris Flows
[7] Mass Movement
[8] Falling
[9] Sliding
[10] Regolith

تعریف ارائه شده در زیر می‌تواند تکمیل کننده این بخش از بحث باشد:
لغزش‌ها عبارت است از کلیه حرکات و گسیختگی‌های شیبی یا دامنه‌ای (Slope movement) نسبتاً سریع که با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان[۲] به سطح پایین‌تر از یک تحت تأثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک یا مهاجم بر نیروهای مقاوم در سطوح شیب‌دار به وقوع می‌پیوندند. مضافاً اینکه در زمین لغزش‌ها، مرزهای گسیختگی بارز و مشخصند . حتی در زمین لغزش‌های قدیمی، منطقه لغزشی، مورفولوژی خاص خود را دارد و کاملاً قابل متمایز است [۲].

۲-۲- عوامل عمده موثر در وقوع لغزش‌ها

عوامل ایجاد کننده حرکات توده‌ای یا لغزش را می‌توان به دو دسته عوامل درونی و بیرونی تقسیم بندی نمود.
عوامل بیرونی عبارتند از آن عواملی که باعث افزایش متوسط تنش برشی در طول سطوح گسیختگی بالقوه یا سطوح ضعیف موجود در سنگ و خاک می‌گردند.
عوامل درونی عواملی هستند که باعث کاهش متوسط مقاومت برشی می‌شوند. علاوه بر این دو گروه عامل عمده، ممکن است یک گروه حد وسط با ترکیبی از هر دو نوع علت‌های درونی و بیرونی نیز وجود داشته باشند، لذا ممکن است تعدادی از نیروهای درونی و بیرونی وارد عمل شوند و مقاومت برشی را کاهش دهند و یا تنشی برشی را افزایش دهند، که در هر دو حالت با کاهش ضریب اطمینان با ناپایداری و نهایتاً لغزش شیب روبرو خواهیم بود. عوامل ذکر شده در زیر هر کدام به نحوی می‌توانند در ایجاد ناپایداری و وقوع لغزش موثر باشند [۲].

۲-۲-۱- تغییرات ساختاری

بسیاری از لغزش‌ها در طی ترانشه زنی در بزرگراه‌ها، راه آهن یا کانال‌ها اتفاق می‌افتند، به علاوه این چنین لغزش‌هایی در معادن و پیت‌ها[۳] عمومیت دارند. این گسیختگی‌ها ممکن است در حین عملیات و یا بعد از اتمام پژوه اتفاق بیافتند.
غالباً ساختمان‌های سنگین اگر در نزدیک لبه شیب قرار گیرند به طور محسوسی می‌توانند در ایجاد زمین لغزش موثر باشند. اثر تغییرات ساختاری در ناپایداری شیب‌ها در مناطق لغزش قدیمی بیشتر محسوب است. ساختمان سازی گسترده در کوی ولیعصر تبریز بر روی شیبی که بخشی از

---
[1] Frozen ground
[2] Safty Factor
[3] pite

آن را خاک‌های دست ریز و نا برجا تشکیل می‌دهند باعث ایجاد گسیختگی و حرکت شیب شده است.

تحت شرایط معین، تغییر فشار تحمیل شده از لایه‌های فوقانی در نتیجه حفاری ممکن است باعث تورم بعضی خاک‌ها یا سنگ‌ها شود. به طوری که نتیجه‌اش کاهش مقاومت برشی این خاک‌ها می‌باشد. به بیانی دیگر همان‌طور که بارگذاری روی شیب می‌تواند ایجاد کننده ناپایداری باشد، باربرداری در نتیجه حفاری نیز می‌تواند در بعضی خاک‌ها یا سنگ‌ها باعث ناپایداری شود. گاهی گسیختگی‌ها در رس‌های نرم، به وسیله کاهش متوسط مقاومت برشی در نتیجه شمع کوبی ایجاد می‌گردند.

۲-۲-۲- حرکات تکتونیکی

حرکات تکتونیکی در پوسته زمین، می‌تواند باعث افزایش زاویه شیب شده و در دراز مدت به ایجاد لغزش‌ها کمک کنند. حرکت‌های تکتونیکی یکی از مهم‌ترین عوامل محرک لغزش‌ها هستند. از نمونه‌های بارز، به لغزش‌های تحریک زلزله‌ی گیلان در طی زلزله (۳۱ خرداد ۶۹) می‌توان اشاره کرد. بهمن‌های سنگی اتفاق افتاده در طی این زلزله در تشکیلات‌های آهکی و کنگلومرایی شمال غرب رودبار (منطقه لاکه) نمونه‌های شاخص از این مورد هستند [۲].

۲-۲-۳- زلزله و لرزش

لغزش‌ها همچنین می‌توانند به وسیله زلزله یا لرزش ناشی از شمع کوبی یا انفجار ایجاد شوند. وقوع بیش از صد لغزش کوچک و بزرگ در پی زلزله ۳۱ خرداد ۶۹ گیلان نمونه‌های بارز از لغزش‌های متأثر از این عامل است. خاک‌هایی که معمولاً به وسیله لرزش تحت تأثیر واقع نمی‌شوند، رس‌هایی با حساسیت پایین و ماسه متراکم در بالا یا در زیر سطح آب زیر زمین می‌باشند [۲].

۲-۲-۴- اثر باران و ذوب برف

یک مثال از یک عامل درونی که می‌تواند باعث کاهش متوسط مقاومت برشی شود عبارت از تغییر فشار آب در خاک است. افزایش فشار آب حفرهای، تأثیر فشار نرمال و مقاومت برشی را کاهش می‌دهد. تعدادی از مهم‌ترین گسیختگی‌ها بعد از ریزش باران‌های سنگین یا در طی بهار موقعی که برف‌ها ذوب می‌شوند و آب داخل ترک‌ها و شکاف‌ها نفوذ می‌کند، رخ می‌دهند.

لغزش بزرگ روستای چلو در استان چهارمحال و بختیاری (با طولی بالغ بر ۳۰۰ متر و عرض ۱۲۰۰-۷۰۰ متر) که به دنبال بارندگی‌های استثنایی اواخر سال ۷۱ و اوایل سال ۷۲ اتفاق افتاد نمونه دیگری از این نوع لغزش است. یخزدگی آب در شکاف و ترک‌ها ممکن است در طول زمان