

تحلیل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی حداکثر مقدار تنش بر روی شیب‌های رسی تثبیت شده با سیمان و آهک و الیاف به روش‌های آزمایشگاهی و مدلسازی عددی

مقاله علمی - پژوهشی

سید مصطفی حقیقت‌جو، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

سید یعقوب ذوالفقاری^{*}، استادیار، گروه مهندسی عمران و معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: syzoalfeghary@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

صفحه ۴۲۴-۴۱۵

چکیده

امروزه پیش‌بینی رفتار پایداری شیب‌های خاکی از جمله کارهای روزمره تمامی مهندسين ژئوتکنیک به حساب می‌آید. مکانیزم تثبیت خاک بوسیله تثبیت کننده‌های سنتی نظیر سیمان و آهک در کنار تثبیت کننده‌های فیزیکی نظیر الیاف طبیعی و مصنوعی همواره از موضوعات مورد علاقه محققین بوده است. این تحقیق به بررسی رفتار پایداری شیب‌های رسی تثبیت شده با سیمان و آهک و الیاف می‌پردازد. در این تحقیق تثبیت خاک بوسیله ترکیب بهینه‌ای از الیاف و تثبیت کننده‌های سنتی و همچنین بکارگیری نتایج حاصله در تحلیل پایداری شیروانی‌ها و در نهایت شبیه‌سازی نتایج در محیط برنامه‌نویسی ژنتیک انجام شده است. در محیط نرم افزار OptumG2 با شبیه‌سازی شیب‌ها مدل عددی بدست آمد. از محیط مدلسازی شبیه‌سازی عددی توسط دو شبکه عصبی مصنوعی مشهور پیشخور و برنامه‌نویسی ژنتیک استفاده گردید. برای شیب‌های با زاویه ۷۵ درجه حداکثر تنش قائم اعمالی بر روی شالوده‌ها برابر با مقدار ۸، ۲۸۵، ۴۹۹، ۸۰۸ و ۱۵۱۶ کیلوپاسکال برای خاک‌هایی با مقاومت برشی ۲۵ کیلو پاسکال (یا خاک تثبیت نشده)، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال بوده است. شایان ذکر است که رابطه میان مقاومت چسبندگی زهکشی نشده و ضریب اطمینان شیب (برای یک شرایط ثابت هندسه شیب و محل شالوده نسبت به تاج شیب) یک رابطه خطی می‌باشد. الیاف فلزی در مقاومت نمونه‌های تثبیت شده بیشترین تاثیر را نشان دادند. تثبیت کننده‌های سیمانی نتایج بیشتری نسبت به تثبیت کننده‌های آهکی از خود نشان دادند. میزان افزایش مقاومت زهکشی نشده خاک می‌تواند بصورت بسیار زیادی بر روی پایداری این شیب‌ها و همچنین حداکثر مقدار تنشی که می‌توان بر بخش تاج این شیب‌ها اعمال نمود اثر بگذارد. در پیش‌بینی حداکثر مقدار تنش بر روی شیب‌ها، تحلیل شبکه عصبی مصنوعی بخوبی نمایش‌گر اثر این موضوع بود.

واژه‌های کلیدی: الیاف طبیعی، الیاف مصنوعی، خاک رس، شبکه عصبی مصنوعی، نرم افزار OptumG2

۱- مقدمه

رفتار پایداری شیب‌های خاکی نیز از جمله کارهای روزمره تمامی مهندسين ژئوتکنیک به حساب می‌آید. به مقاومت سطوح شیب‌دار در برابر شکست (لغزش یا ریزش)، پایداری

مسأله پایداری شیب‌های طبیعی و یا ساخته شده به دست انسان از جمله مخاطرات مهندسی در اکثر پروژه‌های مهندسی عمران شناخته می‌شود. پایدار سازی و پیش‌بینی

بالا، رعایت جنبه‌های اقتصادی و طراحی گزینه‌های احتمالی برای مقاوم‌سازی شیب است. به طور کلی، روش‌های مرسوم تحلیل پایداری شیب به سه گروه تحلیل سینماتیک، تحلیل تعادل حدی و شبیه‌سازهای ریزش سنگ تقسیم می‌شوند. اکثر برنامه‌های کامپیوتری تحلیل پایداری شیب بر اساس مفهوم تعادل حدی برای مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی توسعه یافته‌اند. (لی و همکاران، ۲۰۱۴) در تحلیل‌های دوبعدی از فرض کرنش صفحه‌ای استفاده می‌شود. اجرای تحلیل پایداری شیب‌های دوبعدی با استفاده از رویکردهای تحلیلی ساده می‌تواند اطلاعات مهمی را برای طراحی اولیه و ارزیابی ریسک فراهم کند. روش تعادل حدی یا اصطلاحاً «LEM»، ساده‌ترین و متداول‌ترین گزینه برای اجرای تحلیل پایداری شیب است. (چیان و همکاران، ۲۰۱۴) نوع حرکت سطح لغزش شیب‌های سنگی یا خاکی در روش تعادل حدی به صورت انتقالی یا دورانی در نظر گرفته می‌شود. ضریب ایمنی به عنوان یکی از خروجی‌های اصلی تحلیل‌های تعادل حدی به حساب می‌آید. این ضریب به صورت نسبت مقاومت برشی به تنش برشی تعریف می‌شود. اگر مقدار ضریب ایمنی کمتر از ۱ باشد، شیب ناپایدار خواهد بود. نرم‌افزارهای معمولی تحلیل پایداری شیب می‌توانند شیب‌های خاکی لایه‌ای، خاک‌ریزها، گودبرداری‌ها و سازه‌های مقاوم شده را مورد ارزیابی قرار دهند. علاوه بر این، تأثیرات زمین‌لرزه، بارگذاری‌های خارجی، آب‌های زیرزمینی، نیروهای مقاوم‌ساز (کابل‌های مهار و دیگر نگهدارنده‌ها) نیز در این نرم‌افزارها قابل محاسبه است. بسیاری از ابزارهای تحلیل پایداری شیب، از نسخه‌های مختلف روش قطعات نظیر بیشاپ ساده شده، روش معمولی قطعات، اسپنسر، سارما و غیره استفاده می‌کنند. روش قطعات، محبوب‌ترین رویکرد در بین روش‌های تعادل حدی است. در این رویکرد، توده خاک به چندین قطعه عمودی تقسیم می‌شود. (پانتلیدیس و گریفیتس، ۲۰۱۵) در روش قطعات (OMS) یا فلنیوس، توده در حال لغزش (توده بالای سطح شکست) به چندین قطعه تقسیم می‌شود. نیروی اعمال شده به هریک از این قطعات با در نظر گرفتن تعادل مکانیکی (نیرو و گشتاور) آن قطعه به دست می‌آید. تعیین و پیشنهاد روش‌های مناسب جهت تثبیت و پایدارسازی شیب،

شیب گفته می‌شود. (ویمر و کوپف، ۲۰۱۷) بدلیل کاربرهای مهم و اثرگذاری‌های بسیار زیاد پایداری شیب‌ها بر زندگی روزمره مردم، پایدار سازی شیب‌ها بویژه در دو دهه اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. در شرایطی که تحلیل شیب‌های خاکی از نقطه نظر پایداری دچار ضعف باشد و احتمال گسیختگی شیب وجود داشته باشد به منظور افزایش ایمنی شیب‌ها از روش‌های تثبیت شیب‌های خاکی شیمیایی و فیزیکی استفاده می‌گردد. (مه‌دیار و همکاران، ۲۰۱۷) بکارگیری روش‌های تحلیل تعادل حدی یکی از مقبول‌ترین روش‌های ارزیابی پایداری شیب‌ها می‌باشد. (وندویلی و پراتیهار، ۲۰۰۹) در این بین افزودن الیاف (طبیعی و مصنوعی) باعث افزایش مقاومت برشی خاک‌های چسبنده تحت بارگذاری استاتیکی می‌گردد. (کومار و داس، ۲۰۱۸) محققین بسیاری در زمینه افزودن چنین الیاف‌هایی تاکنون مطالعه نمودند. (ژو و همکاران، ۲۰۱۵) تقریباً تمامی آنها ثابت نمودند که وجود الیاف موجب تقویت خاک و اتصال بهتر ذرات خاک با یکدیگر شده است. تحقیقات فراوانی به منظور دست‌یابی به یک روش قابل اطمینان برای تحلیل پایداری شیب‌ها (خاک‌های دانه‌ای و چسبنده) صورت پذیرفته است. (کوسیتچ و همکاران، ۲۰۱۶) محققین به منظور بررسی مقاومت خاک تثبیت شده بوسیله تثبیت‌کننده سیمانی و آهکی از آزمون‌های مقاومت برشی نظیر آزمون فشاری تک محوری، آزمون سه محوری و یا آزمون استاندارد مقاومت برشی (محاسبه زاویه اصطکاک داخلی) استفاده نموده‌اند. (سونگ و همکاران، ۲۰۱۷) در تحقیقی که توسط کاووسی و صائبی (۱۳۹۵) صورت پذیرفت سیمان به عنوان ماده اصلی تثبیت‌کننده و الیاف درخت خرما به عنوان بهبود دهنده خصوصیات مقاومت کششی خاک بکار گرفته شده است. (جورجیدیس، ۲۰۱۰) تحلیل‌های پایداری شیب، روش‌هایی هستند که به منظور ارزیابی شرایط تعادل و ایمنی شیب‌های طبیعی و ساخته دست بشر (خاک‌ریزها، معادن روباز، گودبرداری‌ها و غیره) مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی این تحلیل‌ها، یافتن نواحی بحرانی (مستعد ریزش)، بررسی مکانیسم شکست احتمالی، تعیین حساسیت شیب به مکانیسم‌های مختلف، طراحی شیب‌های بهینه با توجه به رعایت ایمنی، دستیابی به قابلیت اطمینان

گرفت تاثیر همزمان میزان مصالح تثبیت کننده و فیبر بر رفتار مکانیکی خاک نرم بایکسو ماندگو بررسی گردید. (کوریا و همکاران، ۲۰۱۵) در تحقیق دیگری که توسط لی و همکاران (۲۰۱۴) صورت پذیرفت یک دستگاه کششی جدید برای تعیین مشخصات مقاومت کششی خاک مسلح شده ساخته شد. (لی و همکاران، ۲۰۱۴) از جمله خصوصیات مهم آهک تغییر در خصوصیت شاخص خمیری خاکها می باشد، که توسط محققین بسیاری به آن اشاره شده است. هر دو پارامتر حد روانی و حد خمیری که تعیین کننده خصوصیات خمیری خاک هستند با افزودن آهک تحت تاثیر قرار می گیرند. علت اصلی آن تغییرات در ضخامت لایه مضاعف مجاور ذرات رسی می باشد. حد روانی خاکهای رسی با افزایش میزان آهک مصرفی، تمایل زیادی به کاهش یافتن دارد، در حالی که حد خمیری با افزایش مقدار آهک افزایش نشان می دهد (داس و حسین، ۲۰۱۲) در این تحقیق به بررسی رفتار پایداری شیبهای رسی تثبیت شده با سیمان و آهک و الیاف مصنوعی پرداخته ایم.

۲- روش

در طی آزمونهای آزمایشگاهی ابتدا خاک منطقه مورد مطالعه (منطقه مورد مطالعه سقلاتون در نزدیکی منطقه آب شیرین (گجساران)) به محیط آزمایشگاه منتقل می گردد و پس از اینکه به مدت یک هفته در معرض هوا قرار گرفت و رطوبت نمونه خاک بصورت یکسان در معرض هوا خشک گردید، آزمونهای اولیه نظیر درصد رطوبت، دانه بندی، هیدرومتری، حد روانی، حد خمیری، برش مستقیم بر روی خاک صورت می پذیرد. آزمایش الک را می توان بر روی تمام مواد آلی و غیر آلی دانه ای شامل ماسه، تکه سنگهای خرد شده و حتی رس نیز استفاده کرد. آزمون دانه بندی خاک مورد آزمایش در این تحقیق بر اساس استاندارد ASTM-D422 انجام گردید. حدود اتربرگ اولین بار توسط شیمیدان سوئدی، آلبرت اتربرگ مطرح شدند و سپس توسط آرتور کاساگراند در قالب مقاله ای در سال ۱۹۳۲ در مکانیک خاک استانداردسازی شدند. این حدود یک معیار تعریف شده برای میزان رطوبت خاک است. آزمون حدود اتربرگ با توجه به استاندارد ASTM-

تا حد زیادی بستگی به نتایج حاصل از مطالعات، بنیه مالی و اقتصادی و اهداف پروژه دارد. با توجه به هزینه های زیاد مطالعه و تثبیت شیبهای ناپایدار، استفاده از این شیوه ها البته به استثنای روش های سطحی و کم هزینه، جز در موارد بسیار ضروری، حیاتی و حساس توصیه نمی شود و در این موارد دوری از حریم خطر بهینه تر است. (لی و همکاران، ۲۰۱۴) تثبیت شیبها به وسیله استفاده توأم گیاه کاری و عناصر ساختمانی متنوعی که باهم دیگر به صورت ترکیبی عمل می نمایند، به عنوان پایدارسازی بیوتکنیک شیب شناخته می شوند. این راهکار نسبتاً جدید در مقایسه با ساختمانهای پایدار کننده، از نظر هزینه مقرون به صرفه است. (رجیبیان و همکاران، ۲۰۱۲) پوشش گیاهی مناسب را می توان از انواع بومی مانند توسکا، بلوط و دیگر گونه های بومی که به آسانی پرورش داده می شوند تامین کرد. به علاوه سیستم های زیست مهندسی خاک، معمولاً طی فرایند ساخت با محیط سازگارند. چراکه به کمترین تجهیزات و کارگر نیازمند بوده و آشفته گی اندکی بوجود می آورند. روش های زیست مهندسی خاک بیشتر بر پایه استفاده از مواد بومی مانند: ساقه یا شاخه گیاهان، سنگ، چوب یا خاک استوار است یکی از روش های بهسازی و تقویت (و یا تسلیح) خاک، استفاده از مصالح تقویت کننده برای پایداری خاکریزی ها به منظور ساخت می باشد. مصالح ژئوستتیکی یکی از این مصالح تقویت کننده می باشند که با توجه به ویژگی های مکانیکی، هیدرولیکی و ... خود در این زمینه دارای کاربردهای فراوانی می باشد. (روزن، ۲۰۱۳) روش های حرارتی پایدار سازی شیبها در موارد معدودی برای خشک کردن و زهکشی آب دامنه های روسی استفاده می شود. این تحقیق به ارزیابی رفتار پایداری دامنه های دارای لایه هایی از خاک های رس پرداخته شد. موادی که برای استفاده احتمالی در حال بررسی بوده اند شامل الیاف مصنوعی، الیاف مصنوعی ممتد، الیاف فلزی پودرها و الیاف طبیعی (نیها و دیگر گیاهان) هستند. همچنین بکارگیری نتایج حاصله در تحلیل پایداری شیروانی ها (توسط شبیه سازی شیبها در نرم افزارهای عددی) و در نهایت شبیه سازی نتایج در محیط برنامه نویسی ژنتیک انجام شده است. در تحقیقی که توسط کوریا و همکاران (۲۰۱۵) انجام

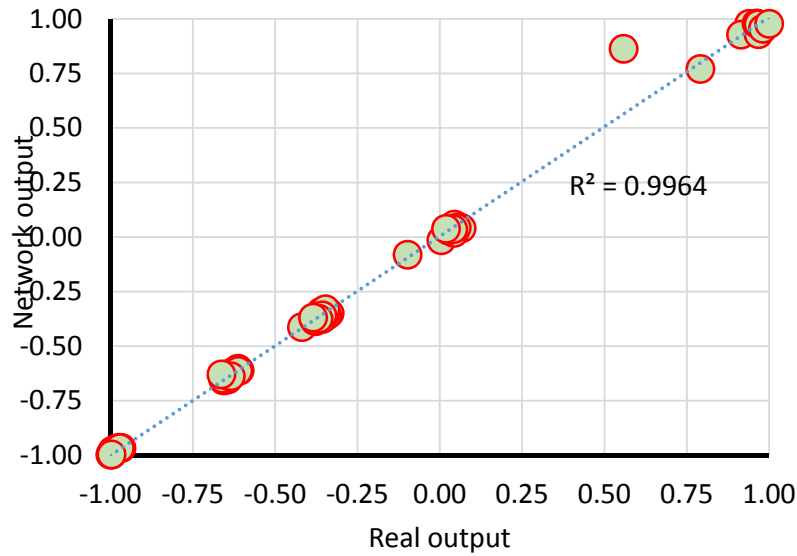
D4318 انجام شد. آزمون تحکیم خاک مورد آزمایش در این تحقیق بر اساس استاندارد ASTM-D2435 انجام گردید. آزمون میزان اسیدیته خاک مورد آزمایش در این تحقیق بر اساس استاندارد ASTM-D4972 انجام گردید. به منظور بررسی تاثیر الیاف در انواع و مقادیر مختلف بر روی مقاومت برشی خاک‌های رسی مجموعه‌ای از آزمون‌های آزمایشگاهی فشاری تک محوری صورت پذیرفت. روش آماده‌سازی نمونه خاکی تثبیت شده در آزمایشگاه بر اساس روش استاندارد ارایه شده در برخی از مقالات پژوهشی نظیر گوللو و همکاران در سال ۲۰۱۷ می‌باشد. تثبیت کننده‌های سنتی سیمان و آهک نیز در این تحقیق استفاده گردید. مدل عددی در این تحقیق در محیط نرم‌افزار OptumG2 که یکی از جدیدترین و همچنین دقیق‌ترین نرم افزارهای مدل عددی می‌باشد ارایه شد. (جورجیدیس، ۲۰۱۰) در ادامه نتایج این محاسبات با توجه به پارامترهای کلیدی ورودی و نتیجه محاسبه نهایی به منظور تحلیل شبکه عصبی مصنوعی در محیط نرم افزار متلب وارد شد و اطلاعات بدست آمده از محیط مدلسازی شبیه سازی عددی توسط دو شبکه عصبی مصنوعی مشهور پیشخور و برنامه نویسی ژنتیک به منظور دست‌یابی ارتباط میان پارامترهای کلیدی و نتایج محاسبه شده خروجی آموزش داده شدند.

۳- یافته‌ها

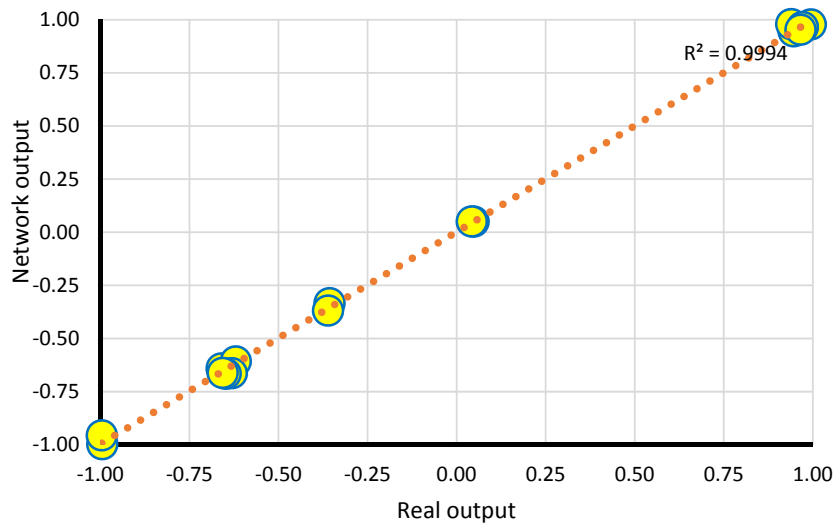
آزمون‌های فشاری تک محوری تثبیت خاک مینا به همراه سیمان بدون حضور الیاف و آزمون‌های فشاری تک محوری تثبیت خاک مینا بوسیله ۵٪ سیمان و با حضور الیاف انجام گردید. مقدار چسبندگی زهکشی نشده حاصل از آزمون فشاری تک محوری از حاصل تقسیم مقدار نهایی مقاومت فشاری تک محوری به مقدار ۲ ($C_u = q_u/2$) بدست آمد. نمونه‌های تثبیت شده با ۵٪ تا ۲۵٪ سیمان بترتیب دارای چسبندگی زهکشی نشده برابر با ۲۰۱ و ۱۱۰۴ کیلو پاسکال بودند. لازم به ذکر است ارقام مذکور مربوط به زمان عمل آوری ۲۸ روزه می‌باشند. نتایج نشان می‌دهند که به جز خاک

تثبیت شده با ترکیب سیمان و الیاف فلزی که تا حداکثر چسبندگی زهکشی نشده نزدیک به ۱۰۰۰ کیلو پاسکال افزایش یافته است در بقیه موارد خاک تثبیت شده با الیاف در محدوده بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلو پاسکال مقاومت برشی کسب کرده‌اند. بدیهی است در مقایسه با رقم اولیه ۲۵ کیلو پاسکال خاک تثبیت نشده، نتایج مقاومت خاک‌های تثبیت نشده، با تنها ۵ درصد مقدار سیمان، قابل قبول می‌باشند. در این تحقیق ۵ نوع خاک با چسبندگی‌های زهکشی نشده برابر با ۲۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال در نرم افزار تعریف گردید و سپس تحت تغییر شکل‌های اجباری قائم و تا حداکثر ۱۰ درصد عرض فونداسیون (برابر با یک متر لحاظ گردید) بارگذاری گردید. پس از انجام مدلسازی شیب‌های مختلف تحت سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال (بصورت تصادفی انتخاب شده است و معادل تنش یک ساختمان ۱۰ طبقه می‌باشد) و با تغییر در خصوصیات خاک مینا مورد استفاده، گوه‌های گسیختگی تقریبی و تغییر شکل جانبی مختلف (به سمت پایین شیب و ناشی از بارگذاری و شرایط مرزی مدل) محاسبه گردید. نتایج بدست آمده از مقدار ضریب همبستگی مدل‌های آموزش دیده توسط شبکه عصبی می‌توان دریافت که شبکه آموزش با یک لایه پنهان در صورتی که داری ۴ عصب باشد می‌تواند به عنوان ساده‌ترین ساختار و همزمان با دقت بالا نتایج را پیش بینی نماید. با توجه به اینکه حداکثر تنش سربار روی شالوده برای نشست حداکثر معادل ۱۰٪ عرض پی برداشت شده است و در صورتی که این مقدار نشست به عنوان عدد مناسب حداکثر تنش اعمالی بر روی شالوده برداشت شود می‌توان F_y را نیز به عنوان عدد ظرفیت باربری نهایی معرفی نمود. نتایج شبکه عصبی بهینه با ۴ عصب در تنها یک لایه پنهان در (شکل ۱ الف) در پیوست) برای شبکه آموزش، (شکل ۲ ب) در پیوست) برای شبکه آزمون ارایه شده است. همچنین رابطه نهایی شبکه عصبی بهینه مصنوعی بصورت رابطه ۱ ارایه شده است. این رابطه می‌تواند برای هر دو پایگاه اطلاعاتی آموزش و آزمون مورد استفاده قرار گیرد.

$$F_y = -0.3883 \times Y_1 + 1.2875 \times Y_2 - 0.0592 \times Y_3 - 0.0717 \times Y_4 + 0.4244 \quad (1)$$



(الف) شبکه آموزش



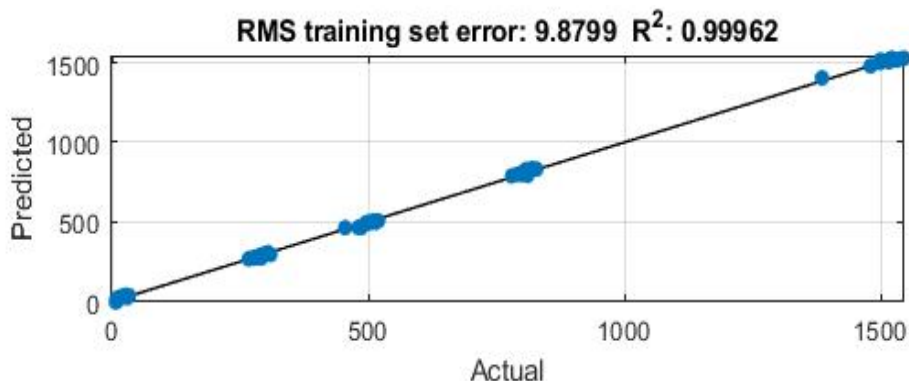
(ب) شبکه آزمون

شکل ۱. نتایج شبکه عصبی بهینه با ۴ عصب در تنها یک لایه پنهان (الف) شبکه آموزش، (ب) شبکه آزمون

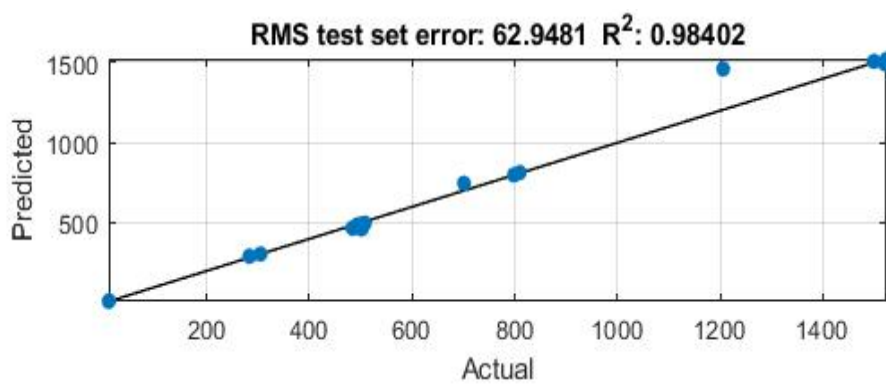
۴- بحث

ضریب همبستگی بترتیب برابر با ۰/۹۹۹۶۲ و ۰/۹۸۴۰۲ بدست آمد. نتایج پیش‌بینی الگوریتم برنامه نویسی ژنتیک برای دو شبکه آموزش و آزمون در شکل ۲ ارایه شده است.

نتایج پیش‌بینی الگوریتم برنامه نویسی ژنتیک بیانگر دقت بسیار بالا و قابلیت پیش‌بینی شبکه حاصل شده از این روش می‌باشد بطوری که برای شبکه‌های آموزش و آزمون مقدار



(الف) نتایج شبکه آموزش



(ب) نتایج شبکه آزمون

شکل ۲. نتایج شبکه برنامه نویسی ژنتیک

روش برنامه نویسی ژنتیک تنها از طریق برقراری روابط ریاضی ساده می‌تواند پیش‌بینی قابل قبولی از نتایج را ارائه دهد.

رابطه نهایی به منظور محاسبه حداکثر تنش اعمالی بر روی شیب‌های ساخته شده از خاک تثبیت شده حاصل از روش الگوریتم ژنتیک به صورت معادله زیر می‌باشد. خروجی

$$F_y = \frac{344203709152977 \times x_3}{70368744177664} + \frac{8271274608496061 \times \cos(\cos(\cos(x_3)))}{4398046511104} + \frac{4719091863948529 \times \cos(x_2 + x_3) \times (2 \times x_2 - 36.2217339 \times x_1 + x_3)}{36028797018963968} + \frac{7208477041824935 \times x_1^{0.5} \times x_2 \times (x_2 - 31.74871716 \times x_1 + x_3)}{4611686018427387904} - 1712.99 \quad (2)$$

۵- نتیجه گیری

تثبیت شده ۲۸ روزه با ۵٪ تا ۲۵٪ سیمان بترتیب دارای چسبندگی زهکشی نشده برابر با ۲۰۱ و ۱۱۰۴ کیلو پاسکال بودند. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌باشد که وجود الیاف باعث بهبود مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه‌های تثبیت شده خاک شده است. الیاف فلزی بیشترین

بطور کلی با مقایسه نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی بطور مشخص تثبیت کننده‌های سیمانی نتایج بیشتری نسبت به تثبیت کننده‌های آهکی از خود نشان دادند. در مقایسه با مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه تثبیت نشده اولیه که دارای مقاومت تنها ۲۵ کیلو پاسکال بوده است، نمونه‌های

داده شده) خروجی‌های حاصله از مدل نرم افزاری را پیش‌بینی نمایند. بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی دیگر نظیر الگوریتم ژنتیک و ... در پیش‌بینی نتایج آزمایشگاهی ساخت مدل بزرگ مقیاس از شیب‌های تثبیت شده بوسیله ترکیب بهینه اشاره شده از این پژوهش استفاده شده است.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان پژوهش از کلیه اساتید، همکاران، مسئولین آزمایشگاههای دانشگاههای آزاد اسلامی واحدهای نجف آباد و یاسوج که در این تحقیق مشاوره و راهنمایی و همکاری نمودند، نهایت تقدیر و سپاسگزاری را دارند.

تاثیر را در افزایش مقاومت نمونه‌های تثبیت شده داشتند. نتایج تحلیل مدلسازی عددی بر روی شیب‌های ساخته شده از نمونه خاک‌های تثبیت شده مرحله آزمایشگاهی (دارای مقاومت برشی زهکشی نشده ۲۵ تا ۴۰۰ کیلوپاسکال بترتیب از خاک ضعیف تا بسیار قوی) نشان داد که مقدار افزایش مقاومت زهکشی نشده خاک می‌تواند بصورت بسیار زیادی بر روی پایداری این شیب‌ها و همچنین حداکثر مقدرا تنشی که می‌توان بر بخش تاج این شیب‌ها اعمال نمود اثر بگذارد. با توجه به نوع شبکه انتخابی عصبی (پیش‌خور و برنامه نویسی ژنتیک) دو معادله محاسباتی بوجود آمد. لازم به ذکر است این دو معادله قادر بودند با دقت بسیار زیاد (ضریب همبستگی نزدیک به عدد یک برای هر دو شبکه آموزش

۷-مراجع

- B.M. Marrapu, R.S. Jakka, (2017). Assessment of slope stability using multiple regression analysis, *Geomechanics and Engineering*, 13, 237-254.
- C. B. Zhang, L.-H. Chen, J. Jiang, (2014). Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability, *Geomorphology*, 206, 196-202.
- C.Q. Wu, H. Zhang, D.G. Huang, J.X. Xu, J.L. Lei, Y.Y. Xu, (2012). Study on Screening Suitable Ecological Protection Woody Plants of Highway Slopes, in: G. Groening (Ed.) *Xxviii International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People, Int Soc Horticultural Science*, Leuven 1, 1193-1200.
- E. Uncuoglu, M. Laman, A. Saglamer, H.B. Kara, (2008). Prediction of lateral effective stresses in sand using artificial neural network, *Soils and Foundations*, 48, 141-153.
- F.G. Bell, (1989). Lime Stabilisation of Clay Soils, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 39, 67-74.
- F. Kang, B. Xu, J. Li, S. Zhao, (2017). Slope stability evaluation using Gaussian processes with various covariance functions, *Appl. Soft. Comput.*, 60, 387-396.
- G. Wiemer, A. Kopf, (2017) Influence of diatom microfossils on sediment shear strength and slope stability, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 333-345.
- G. Wiemer, A. Kopf, (2017). On the role of volcanic ash deposits as preferential submarine slope failure planes, *Landslides*, (2017). 14, 223-232.
- A. Chakraborty, D. Goswami, (2017). Prediction of slope stability using multiple linear regression (MLR) and artificial neural network (ANN), *Arabian Journal of Geosciences*.
- A. Mahdiyar, M. Hasanipanah, D.J. Armaghani, B. Gordan, A. Abdullah, H. Arab, M.Z. Abd Majid, A. (2017). Monte Carlo technique in safety assessment of slope under seismic condition, *Engineering with Computers*, 33, 807-817.
- A. Rajabian, B.V.S. Viswanadham, H. Ghiassian, H. Salehzadeh, (2012). Centrifuge model studies on anchored geosynthetic slopes for coastal shore protection, *Geotextiles and Geomembranes*, 34,144-157.
- A.A. Correia, P.J.V. Oliveira, D.G. Custódio, (2015). Effect of polypropylene fibres on the compressive and tensile strength of a soft soil, artificially stabilised with binders, *Geotextiles and Geomembranes*, 43, 97-106.
- A.J. Li, S.Y. Khoo, Y. Wang, A.V. Lyamin, (2014) Application of neural network to rock slope stability assessments, *Crc Press-Taylor & Francis Group*, Boca Raton.
- A.K. Singh(2010). Bioengineering techniques of slope stabilization and landslide mitigation, Disaster Prevention and Management, *An International Journal*, 19, 384-397.
- B. Gordan, D.J. Armaghani, A.B. Adnan, A.S.A. Rashid, (2016). A New Model for Determining Slope Stability Based on Seismic Motion Performance, *Soil Mech. Found. Eng.*, 53, 344-351.

- Energy Equipment Engineering Research Conference*, Atlantis Press, Paris, 413-416.
- L. Pantelidis, D.V. Griffiths, (2015). Footing on the Crest of Slope: Slope Stability or Bearing Capacity? *Springer Int Publishing Ag*, Cham.
- M. Strupler, M. Hilbe, F.S. Anselmetti, A.J. Kopf, T. Fleischmann, M. (2017). Strasser, Probabilistic stability evaluation and seismic triggering scenarios of submerged slopes in Lake Zurich (Switzerland), *Geo-Mar. Lett.*, 37, 241-258.
- Massih, A.H. Soubra, B.K. Low, (2008). Reliability-based analysis and design of strip footings against bearing capacity failure, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134, 917-928.
- N. Kumar, D. Das, (2018). Nonwoven geotextiles from nettle and poly(lactic acid) fibers for slope stabilization using bioengineering approach, *Geotextiles and Geomembranes*, 46, 206-231.
- P.R. Vundavilli, D.K. Pratihar, (2009). Soft computing-based gait planners for a dynamically balanced biped robot negotiating sloping surfaces, *Appl. Soft. Comput.*, 9, 191-208.
- Kostić, S., Vasović, N., & Sunarić, D. (2016). Slope stability analysis based on experimental design. *International Journal of Geomechanics*, 16(5), 04016009.
- S.K. Dash, M. Hussain, (2012). Lime Stabilization of Soils – A Reappraisal, *Journal of Materials in Civil Engineering* (ASCE), 24, 707-714.
- Qian, Z. G., Li, A. J., Merifield, R. S., & Lyamin, A. V. (2015). Slope stability charts for two-layered purely cohesive soils based on finite-element limit analysis methods. *International Journal of Geomechanics*, 15(3), 06014022.
- Z. Song, B. Shi, H. Juang, M. Shen, H. Zhu, (2017). Soil strain-field and stability analysis of cut slope based on optical fiber measurement, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76, 937-946.
- X. Zhao, Z. Li, M.D. Robeson, J. Hu, Q. Zhu, (2018). Application of erosion-resistant fibers in the recovery of vegetation on steep slopes in the Loess Plateau of China, *Catena*, 160, 233-241.
- G. Wiemer, A. Reusch, M. Strasser, S. Kreiter, D. Otto, T. Morz, A. Kopf, (2012) Static and Cyclic Shear Strength of Cohesive and Non-cohesive Sediments, *Springer*, Dordrecht.
- H. Güllü, H. Canakci, I.F. Al Zangana, (2017). Use of cement based grout with glass powder for deep mixing, *Constr. Build. Mater.*, 137, 12-20.
- Zhu, H. H., Shi, B., Yan, J. F., Zhang, J., & Wang, J. (2015). Investigation of the evolutionary process of a reinforced model slope using a fiber-optic monitoring network. *Engineering Geology*, 186, 34-43.
- H. H. Zhu, B. Shi, J. Zhang, J.-F. Yan, C. C. Zhang, (2014). Distributed fiber optic monitoring and stability analysis of a model slope under surcharge loading, *J Mt. Sci.*, 11, 979-989.
- H. Niroumand, K. Faizi, R. Nazir, K. Kassin, H. Moayedi, (2012). Slope Stability of the Design Concept of the Sheet Pile and Contiguous Bored Pile Walls, *Archives Des Sciences*, 65, 2-17.
- I. Chang, Y. Shin, G.C. Cho, (2015). Optimum thickness decision of biopolymer treated soil for slope protection on the soil slope, *Crc Press-Taylor & Francis Group*, Boca Raton.
- J. Ji, C.S. Zhang, Y.L. Gui, Q. Lue, J. Kodikara, (2017). New Observations on the Application of LS-SVM in Slope System Reliability Analysis, *J. Comput. Civil. Eng.*, 31, 9-10.
- J. Li, C. Tang, D. Wang, X. Pei, B. Shi, (2014). Effect of discrete fibre reinforcement on soil tensile strength, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, 133-137.
- K. Georgiadis, (2010). Undrained Bearing Capacity of Strip Footings on Slopes, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 677-685.
- L. Bai, F.Q. Chen, I. Destech Publicat, (2015). Effects of Soil-fibrous Root System of *Leucaena Leucocephala* Community on Soil Conservation and Slope Protection in Shallow Soil Layer, *International Conference on Energy and Environment Engineering* (Iceee 2015), 7727-7731.
- L. Bai, F.Q. Chen, Y. Huang, (2015). Temporal Variation of *Leucaena Leucocephala* Seedlings in Soil Conservation and Slope Protection, in: J. Carl (Ed.) *Proceedings of the 2015 Asia-Pacific*

فصلنامه علمی جاده، سال بیست و دوم، دوره چهارم، شماره ۱۲۱، زمستان ۱۴۰۳

پیوست

جدول ۱. جدول آنالیز حساسیت به منظور تعیین ساختار بهینه آموزش شبکه عصبی - نتایج R^2

Model number	Nodes in hidden layer	network result																
		R^2														Average Ranking		Total ranking
		Iteration 1		Iteration 2		Iteration 3		Iteration 4		Iteration 5		Iteration 6		Average		TR	TS	
		TR1	TS1	TR2	TS2	TR3	TS3	TR4	TS4	TR5	TS5	TR6	TS6	TR	TS	TR	TS	
1	1	0.99068	0.99443	0.99068	0.98504	0.99199	0.98049	0.99177	0.98696	0.99111	0.99350	0.99210	0.98736	0.99139	0.98796	1	1	2
2	2	0.99021	0.99218	0.99028	0.99301	0.99129	0.99220	0.99055	0.98335	0.99115	0.99542	0.99748	0.99984	0.99183	0.99267	2	3	5
3	3	0.99792	0.99939	0.99808	0.99768	0.99513	0.99529	0.99041	0.97846	0.99692	0.99864	0.99934	0.98997	0.99630	0.99324	4	4	8
4	4	0.99750	0.99619	0.99918	0.99336	0.99599	0.99760	0.99818	0.99970	0.99740	0.99715	0.99633	0.99638	0.99743	0.99673	6	6	12
5	5	0.99765	0.99849	0.99907	0.99951	0.99704	0.99030	0.99705	0.99741	0.98801	0.96061	0.99930	0.99414	0.99635	0.99008	5	2	7
6	6	0.99503	0.99446	0.99675	0.99872	0.98464	0.98175	0.99682	0.99967	0.99784	0.99881	0.99785	0.99560	0.99482	0.99484	3	5	8

جدول ۲. جدول آنالیز حساسیت به منظور تعیین ساختار بهینه آموزش شبکه عصبی - نتایج RMSE

Model number	Nodes in hidden layer	network result														Average Ranking		Total ranking
		RMSE																
		Iteration 1		Iteration 2		Iteration 3		Iteration 4		Iteration 5		Iteration 6		Average		TR	TS	
		TR1	TS1	TR2	TS2	TR3	TS3	TR4	TS4	TR5	TS5	TR6	TS6	TR	TS	TR	TS	
1	1	0.089	0.068	0.094	0.090	0.086	0.078	0.086	0.078	0.085	0.083	0.085	0.084	0.087	0.080	1	2	3
2	2	0.092	0.083	0.088	0.089	0.082	0.097	0.082	0.097	0.081	0.086	0.047	0.027	0.079	0.080	2	3	5
3	3	0.043	0.032	0.045	0.030	0.066	0.062	0.066	0.062	0.053	0.033	0.025	0.086	0.050	0.051	6	6	12
4	4	0.047	0.062	0.027	0.071	0.059	0.055	0.059	0.055	0.050	0.049	0.056	0.055	0.050	0.058	5	5	10
5	5	0.046	0.036	0.029	0.023	0.062	0.115	0.062	0.115	0.110	0.153	0.025	0.074	0.056	0.086	4	1	5
6	6	0.067	0.071	0.050	0.039	0.116	0.129	0.116	0.129	0.040	0.046	0.044	0.054	0.072	0.078	3	4	7

Analysis of Artificial Neural Network in Predicting the Maximum Amount of Stress on Clay Slopes Stabilized With Cement, Lime and Fibers by Laboratory Methods and Numerical Modeling

Seyed Mostafa Haghghatjou, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Sayyed Yaghoub Zolfegharifar, Assistant Professor, Department of Civil Engineering and Architecture, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

E-mail: syzoalfeghary@gmail.com

Received: Jan 2024- Accepted: Jun 2024

ABSTRACT

Today, predicting the stability behavior of soil slopes is one of the daily tasks of all geotechnical engineers. The mechanism of soil stabilization by traditional stabilizers such as cement and lime, along with physical stabilizers such as natural and artificial fibers, has always been one of the topics of interest to researchers. This research examines the stability behavior of clay slopes stabilized with cement, lime and fibers. In this research, soil stabilization has been done by an optimal combination of fibers and traditional stabilizers, as well as using the results obtained in the analysis of the stability of the roofs and finally simulating the results in the environment of genetic programming. A numerical model was obtained by simulating slopes in the OptumG2 software environment. Numerical simulation modeling environment was used by two famous artificial neural networks, the feed forward and genetic programming neural networks. For slopes with an angle of 75 degrees, the maximum vertical stress applied on the foundations is equal to 8, 285, 499, 808 and 1516 kilopascals for soils with a shear resistance of 25 kilopascals (or unstabilized soil), 100, 200, 300 and it was 400 kilopascals. It is worth mentioning that the relationship between the undrained bond strength and the slope reliability factor (for a constant condition of the slope geometry and the location of the foundation relative to the crest of the slope) is a linear relationship. Metal fibers showed the greatest effect on the strength of the fixed samples. Cement stabilizers showed more results than lime stabilizers. The increase in undrained soil resistance can greatly affect the stability of these slopes and also the maximum stress that can be applied to the crest of these slopes. In predicting the maximum amount of stress on the slopes, the artificial neural network analysis was a good representative of this issue.

Keywords: Natural Fiber, Artificial Fiber, Clay, Artificial Neural Network, Optumg2 Software