

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - گرایش خاک و پی

مدل سازی رفتار مقاومت برشی خاک های تقویت شده با الیاف طبیعی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

استاد راهنما:
دکتر رضا پورحسینی

اساتید مشاور:
دکتر سید مهدی ابطحی
دکتر داریوش سمنانی

پژوهش و نگارش:
نشاط اخوت

اسفند ماه ۱۳۸۸

تقدیم به همسر

به خاطر عشق، حمایت و فداکاری‌هایش

- خدای را سپاس گذارم که همواره لطف بی‌پایان خود را شامل حال من نموده و لحظه لحظه بودنم با یاد او روشنی یافته است.

- نهایت احترام و قدردانی از پدر و مادر بزرگوام که اگر نبودند، من در جایی که اینک هستم نبودم.

- بالاترین سپاس‌ها از همسر مهربانم که با اعتقاد و اعتمادی که به من داشت حتی در سخت‌ترین لحظات مرا به ادامه راه امیدوار می‌ساخت.

- به ثمر رساندن این تحقیق، بدون زحمات و حسن توجه استاد گرامی جناب آقای دکتر رضا پورحسینی که در تمامی مراحل با پی‌گیری دقیق و مجدانه باعث تحقق اهداف مورد نظر گردیدند، ممکن نمی‌نمود. همچنین در این جا از تلاش‌ها و کمک‌های بی‌شائبه آقایان دکتر سید مهدی ابطحی و دکتر داریوش سمنانی، استادان مشاور اینجانب، کمال تشکر و سپاس‌گزاری را دارم. راهنمایی و کمک ایشان و مدت زمانی که جهت پیش‌برد این پایان‌نامه صرف نمودند بسیار راهگشا و مفید بود.

- از آقای مهندس سید مهدی حجازی تشکر ویژه دارم که در تمام مراحل این رساله و در ارزیابی مقالات حاصل از این تحقیق با من همراهی و همکاری نمودند.

- از تمامی دوستان دوره تحصیل، به ویژه خانم‌ها مهندس اعظم طباطبایی و شیما بارزی، همچنین آقای مهندس محمد آهور که همراهی و همفکری آن‌ها سختی‌ها را برایم هموار و این راه را برایم خاطره‌انگیز ساخت، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

یکی از روش‌های فیزیکی اصلاح خاک، استفاده از المان‌های گسسته با توزیع تصادفی یا جهت‌دار، همچون الیاف است. تحقیقات زیادی بر روی خاک‌های مسلح شده با الیاف طبیعی و مصنوعی انجام شده است. اما در سال‌های اخیر، کاربرد مصالح کم هزینه‌ای همچون الیاف طبیعی، بیشتر مورد توجه جهانی قرار گرفته است. در این تحقیق، ابتدا رفتار برشی دو نوع خاک چسبنده و غیرچسبنده مسلح شده با الیاف انتخابی کاه‌جو و کنف، توسط آزمایش برش مستقیم تعیین شده است. در این آزمایشات از سه درصد وزنی با توزیع تصادفی و سه طول متفاوت در یک درصد وزنی معین از الیاف استفاده شده است. مشاهدات حاصل از آزمایشات بیان می‌کند که تحت شرایط مختلف، استفاده از الیاف طبیعی با درصدهای متفاوت ضمن کاهش دانسیته نمونه‌ها، در بعضی حالات باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌گردد. این تأثیر سبب بهبود مشخصات ژئوتکنیکی خاک‌های ضعیف برای استفاده به عنوان یک سازه خاکی خواهد شد. جهت تشخیص معنی‌دار بودن تأثیر افزودن الیاف و تغییرات رطوبت در اصلاح رفتار مقاومتی خاک، از تحلیل آماری ANOVA بر روی نتایج حاصل از آزمایشات استفاده شده است. همچنین به دلیل اهمیت تعیین نحوه و میزان ارتباط بین پارامترهای یک تسلیح کننده بر روی مقاومت کامپوزیت‌های خاکی، از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با الگوریتم پس انتشار خطا در پیش‌بینی رفتار برشی خاک مسلح شده با الیاف طبیعی تحت تأثیر این پارامترها، استفاده شده است. پارامترهای لیفی مورد نظر شامل چگالی، ازدیاد طول تا حد پارگی، مدول الاستیک کششی و میزان جذب آب الیاف است. در این مدل‌سازی توابع فعال-سازی سیگموئید، تانژانت هیپربولیک و خطی برای شبکه عصبی MLP به کار گرفته شده است. همچنین نحوه تأثیرگذاری پارامترهای مختلف توسط تحلیل حساسیت بررسی شده است. نتایج شبکه عصبی نشان داده است که از میان الگوهای معرفی شده، شبکه دو لایه که شامل تابع سیگموئیدی به عنوان تابع محرک در هر دو لایه و ۱۶ نرون در لایه مخفی بوده است، دارای رضایت‌بخش‌ترین پیش‌بینی است. همچنین مقایسه بین نتایج شبکه عصبی مصنوعی و نتایج آزمایشگاهی، نشان‌دهنده ارتباط قطعی پارامترهای لیفی و خواص مقاومتی خاک است.

فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|------------------|
| I..... | فهرست مطالب..... |
| V..... | فهرست جداول..... |
| VIII..... | فهرست اشکال..... |

فصل اول: مقدمه و کلیات

| | |
|--------|----------------------------|
| ۱..... | ۱-۱- مقدمه..... |
| ۲..... | ۲-۱- خاک مسلح..... |
| ۳..... | ۳-۱- مصالح تسلیح..... |
| ۵..... | ۴-۱- اهداف پایان نامه..... |

فصل دوم: مروری بر خصوصیات و کاربرد الیاف در خاک مسلح

| | |
|---------|---|
| ۷..... | ۱-۲- مقدمه..... |
| ۸..... | ۲-۲- الیاف به عنوان مصالح تسلیح..... |
| ۹..... | ۱-۲-۲- خصوصیات الیاف..... |
| ۱۷..... | ۲-۲-۲- الیاف مصنوعی..... |
| ۱۸..... | ۳-۲-۲- الیاف طبیعی..... |
| ۲۳..... | ۴-۲-۲- نحوه آماده‌سازی نمونه خاک مسلح شده با الیاف..... |
| ۲۴..... | ۵-۲-۲- استفاده از ضد آب در خاک مسلح شده با الیاف طبیعی..... |
| ۲۵..... | ۳-۲- کاربرد الیاف در خاک..... |

فصل سوم: روش‌ها و آزمایشات

| | |
|----|---|
| ۳۶ | ۱-۳- مقدمه |
| ۳۷ | ۲-۳- معرفی مصالح |
| ۳۷ | ۱-۲-۳- خاک |
| ۳۹ | ۲-۲-۳- الیاف |
| ۳۹ | ۱-۲-۲-۳- کاه جو |
| ۴۴ | ۲-۲-۲-۳- کنف |
| ۴۷ | ۳-۳- آزمایش تراکم |
| ۴۹ | ۴-۳- آزمایش برش مستقیم |
| ۴۹ | ۱-۴-۳- گسیختگی در خاک‌ها |
| ۵۳ | ۲-۴-۳- شرح دستگاه برش مستقیم و روش آزمایش |
| ۵۶ | ۳-۴-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها |
| ۵۸ | ۵-۳- نتایج آزمایشات برش مستقیم |
| ۵۸ | ۱-۵-۳- تأثیر میزان الیاف بر مقاومت برشی ماسه مسلح شده با الیاف |
| ۶۱ | ۲-۵-۳- تأثیر میزان الیاف بر مقاومت برشی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف |
| ۶۴ | ۳-۵-۳- تأثیر درصد رطوبت بر مقاومت برشی ماسه مسلح شده با الیاف |
| ۶۷ | ۴-۵-۳- تأثیر درصد رطوبت مقاومت برشی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف |
| ۷۰ | ۵-۵-۳- تأثیر میزان الیاف بر شکل‌پذیری خاک مسلح شده با الیاف |
| ۷۷ | ۶-۵-۳- تأثیر طول الیاف بر مقاومت برشی ماسه مسلح شده با الیاف |
| ۸۱ | ۷-۵-۳- تأثیر طول الیاف بر مقاومت برشی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف |
| ۸۴ | ۶-۳- آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری |
| ۸۶ | ۱-۶-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری |

فصل چهارم: تحلیل آماری

- ۹۲-۱-۴- مقدمه.....
- ۹۳-۲-۴- آنالیز واریانس.....
- ۹۶-۳-۴- طرح آزمایشات و نتایج تحلیل ANOVA.....
- ۹۶-۱-۳-۴- تحلیل ANOVA بر روی نتایج ماسه مسلح شده با الیاف.....
- ۱۰۲-۲-۳-۴- تحلیل ANOVA بر روی نتایج خاک طبیعی مسلح شده با الیاف.....
- ۱۰۸-۳-۳-۴- تحلیل ANOVA بر روی نتایج تسلیح با طول‌های متفاوت الیاف.....

فصل پنجم: شبکه‌های عصبی مصنوعی

- ۱۱۲-۱-۵- مقدمه.....
- ۱۱۳-۲-۵- ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی.....
- ۱۱۴-۳-۵- کاربردهای شبکه عصبی.....
- ۱۱۷-۴-۵- ساختار نرون‌های محاسباتی در شبکه‌های عصبی.....
- ۱۱۹-۵-۵- توابع محرک.....
- ۱۱۹-۱-۵-۵- تابع محرک سیگموئید.....
- ۱۲۰-۲-۵-۵- تابع محرک تانژانت هیپربولیک.....
- ۱۲۱-۳-۵-۵- تابع محرک خطی.....
- ۱۲۲-۶-۵- پس انتشار خطا.....
- ۱۲۳-۷-۵- نگاشت زوج‌های آموزشی.....
- ۱۲۵-۸-۵- لایه‌های میانی.....
- ۱۲۶-۹-۵- میزان یادگیری و عملکرد شبکه.....
- ۱۲۶-۱-۹-۵- میانگین مربع خطاها.....
- ۱۲۸-۲-۹-۵- ضریب همبستگی.....

- ۱۰-۵- تعمیم‌پذیری شبکه ۱۲۹
- ۱۱-۵- الگوریتم ایجاد شبکه عصبی بر روی داده‌ها ۱۳۱
- ۱۲-۵- تحلیل حساسیت ۱۳۹
- ۱۳-۵- تخمین روابط مقاومت برشی بر اساس روش شبکه عصبی مصنوعی ۱۴۶

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱-۶- مقدمه ۱۵۰
- ۲-۶- نتیجه‌گیری ۱۵۱
- ۳-۶- پیشنهادات ۱۵۴

پیوست ۱: نتایج تحلیل XRF و تجزیه شیمیایی آب ۱۵۴

مراجع ۱۵۶

فهرست جداول

| | | |
|-------|---|-----------|
| ۳۱ | پیشینه علمی کاربرد الیاف در خاک | جدول ۱-۲ |
| ۳۸ | خصوصیات خاک ریزدانه طبیعی | جدول ۱-۳ |
| ۳۸ | خصوصیات خاک ماسه‌ای | جدول ۲-۳ |
| ۴۱ | قطر و ضخامت الیاف کاه‌جو | جدول ۳-۳ |
| ۴۲ | خصوصیات استحکامی الیاف کاه‌جو | جدول ۴-۳ |
| ۴۶ | خصوصیات استحکامی الیاف کنف | جدول ۵-۳ |
| ۴۶ | پارامترهای لیفی مورد استفاده در تحقیق | جدول ۶-۳ |
| ۴۹ | مقادیر رطوبت بهینه و چگالی خشک حداکثر با درصد وزنی‌های متفاوت الیاف | جدول ۷-۳ |
| ۸۶ | مقاومت فشاری نهایی و کرنش گسیختگی خاک ریزدانه مسلح شده با الیاف کنف | جدول ۸-۳ |
| ۹۷ | نتایج آزمایشات ماسه مسلح شده با الیاف | جدول ۱-۴ |
| ۹۹ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_1 | جدول ۲-۴ |
| ۹۹ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_2 | جدول ۳-۴ |
| ۹۹ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_3 | جدول ۴-۴ |
| ۱۰۰ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کنف برای چسبندگی | جدول ۵-۴ |
| ۱۰۰ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کنف برای زاویه اصطکاک داخلی | جدول ۶-۴ |
| داخلی | | |
| ۱۰۰ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_1 | جدول ۷-۴ |
| ۱۰۱ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_2 | جدول ۸-۴ |
| ۱۰۱ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_3 | جدول ۹-۴ |
| ۱۰۱ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای چسبندگی | جدول ۱۰-۴ |

| | | |
|-----|--|-----------|
| ۱۰۱ | نتایج تحلیل ANOVA بر روی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای زاویه اصطکاک داخلی | جدول ۴-۱۱ |
| ۱۰۲ | نتایج آزمایشات خاک طبیعی مسلح شده با الیاف | جدول ۴-۱۲ |
| ۱۰۵ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_1 | جدول ۴-۱۳ |
| ۱۰۵ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_2 | جدول ۴-۱۴ |
| ۱۰۵ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف برای حالت T_3 | جدول ۴-۱۵ |
| ۱۰۵ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف برای چسبندگی | جدول ۴-۱۶ |
| ۱۰۶ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف برای زاویه اصطکاک داخلی | جدول ۴-۱۷ |
| ۱۰۶ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_1 | جدول ۴-۱۸ |
| ۱۰۶ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_2 | جدول ۴-۱۹ |
| ۱۰۷ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای حالت T_3 | جدول ۴-۲۰ |
| ۱۰۷ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای چسبندگی | جدول ۴-۲۱ |
| ۱۰۷ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاه‌جو برای زاویه اصطکاک داخلی | جدول ۴-۲۲ |
| ۱۰۸ | طرح آزمایشات خاک‌های مسلح شده با الیاف کنف و کاه‌جو با طول‌های متفاوت | جدول ۴-۲۳ |
| ۱۰۹ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک‌های مسلح شده با طول‌های متفاوت الیاف برای حالت T_1 | جدول ۴-۲۴ |
| ۱۱۰ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک‌های مسلح شده با طول‌های متفاوت الیاف برای حالت T_2 | جدول ۴-۲۵ |
| ۱۱۰ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک‌های مسلح شده با طول‌های متفاوت الیاف برای حالت T_3 | جدول ۴-۲۶ |

| | | |
|-----|---|-----------|
| ۱۱۱ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک‌های مسلح شده با طول‌های متفاوت الیاف برای چسبندگی | جدول ۴-۲۷ |
| ۱۱۱ | نتایج تحلیل ANOVA روی خاک‌های مسلح شده با طول‌های متفاوت الیاف برای زاویه اصطکاک داخلی | جدول ۴-۲۸ |
| ۱۳۵ | میانگین مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش، تعیین اعتبار و تست شبکه جهت تعیین بهترین مدل | جدول ۵-۱ |
| ۱۴۰ | ضرایب وزنی ورودی‌های مدل شبکه عصبی بهینه | جدول ۵-۲ |
| ۱۴۱ | ضرایب وزنی خروجی‌های مدل شبکه عصبی بهینه | جدول ۵-۳ |
| ۱۴۱ | اهمیت نسبی متغیرهای ورودی شبکه بر اساس الگوریتم گارسون | جدول ۵-۴ |
| ۱۴۲ | آنالیز حساسیت بر اساس الگوریتم وزن‌های ارتباطی | جدول ۵-۵ |
| ۱۴۴ | میانگین مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش، تعیین اعتبار و تست شبکه کاهش یافته | جدول ۵-۶ |

فهرست اشکال

| | | |
|----|---|----------|
| ۳۷ | منحنی دانه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه | شکل ۱-۳ |
| ۳۹ | سطح الیاف کاه جو | شکل ۲-۳ |
| ۴۰ | سطح مقطع الیاف کاه جو | شکل ۳-۳ |
| ۴۰ | کاه مورد استفاده در آزمایشات | شکل ۴-۳ |
| ۴۲ | دستگاه زوئیک جهت اندازه‌گیری مقاومت کششی | شکل ۵-۳ |
| ۴۳ | دستگاه Sartoriou برای اندازه‌گیری رطوبت بازیافتی | شکل ۶-۳ |
| ۴۳ | بزرگنمایی (a) ۴۰ برابر و (b) ۱۰۰ برابر سطح الیاف کاه‌جوی مورد مطالعه | شکل ۷-۳ |
| ۴۴ | سطح مقطع الیاف کنف | شکل ۸-۳ |
| ۴۵ | الیاف کنف مورد استفاده در تحقیق | شکل ۹-۳ |
| ۴۸ | نمونه خاک ریزدانه مخلوط با کاه‌جو در آزمایش تراکم | شکل ۱۰-۳ |
| ۵۱ | پوش گسیختگی موهر-کولمب | شکل ۱۱-۳ |
| ۵۱ | معیار گسیختگی موهر-کولمب در دستگاه تنش‌های اصلی | شکل ۱۲-۳ |
| ۵۳ | (a) دستگاه برش مستقیم و (b) جعبه برش | شکل ۱۳-۳ |
| ۵۵ | حلقه نیروسنج و گیج اندازه‌گیری دستگاه برش مستقیم | شکل ۱۴-۳ |
| ۵۵ | دستگاه اندازه‌گیری کرنش افقی | شکل ۱۵-۳ |
| ۵۸ | تغییرات مقاومت برشی ماسه با درصد الیاف کنف در رطوبت (a) ۱۱-۱۲ درصد، (b) ۱۴- ۱۳ درصد، (c) ۱۵-۱۶ درصد و (d) ۱۷-۱۸ درصد | شکل ۱۶-۳ |
| ۵۹ | تغییرات مقاومت برشی ماسه با درصد الیاف کاه‌جو در رطوبت (a) ۱۱-۱۲ درصد، (b) ۱۳-۱۴ درصد، (c) ۱۵-۱۶ درصد و (d) ۱۷-۱۸ درصد | شکل ۱۷-۳ |
| ۶۱ | تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با درصد الیاف کنف در رطوبت (a) ۲۰-۲۱ درصد، (b) ۲۲-۲۳ درصد، (c) ۲۴-۲۵ درصد و (d) ۲۶-۲۷ درصد | شکل ۱۸-۳ |

- شکل ۳-۱۹ تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با درصد الیاف کاه‌جو در رطوبت (a) ۲۱-۲۰ درصد، (b) ۲۳-۲۲ درصد، (c) ۲۵-۲۴ درصد و (d) ۲۷-۲۶ درصد ۶۲
- شکل ۳-۲۰ تغییرات مقاومت برشی ماسه با درصد رطوبت ۶۴
- شکل ۳-۲۱ تغییرات مقاومت برشی ماسه با درصد رطوبت در (a) ۱ درصد الیاف کنف، (b) ۱/۵ درصد الیاف کنف و (c) ۲ درصد الیاف کنف ۶۵
- شکل ۳-۲۲ تغییرات مقاومت برشی ماسه با درصد رطوبت در (a) ۱ درصد الیاف کاه‌جو، (b) ۱/۵ درصد الیاف کاه‌جو و (c) ۲ درصد الیاف کاه‌جو ۶۶
- شکل ۳-۲۳ تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با درصد رطوبت ۶۷
- شکل ۳-۲۴ تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با درصد رطوبت در (a) ۱ درصد الیاف کنف، (b) ۱/۵ درصد الیاف کنف و (c) ۲ درصد الیاف کنف ۶۸
- شکل ۳-۲۵ تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با درصد رطوبت در (a) ۱ درصد الیاف کاه‌جو، (b) ۱/۵ درصد الیاف کاه‌جو و (c) ۲ درصد الیاف کاه‌جو ۶۹
- شکل ۳-۲۶ نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ماسه مسلح شده با الیاف کنف در (a) $\sigma_n = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ، (b) $\sigma_n = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ ، (c) $\sigma_n = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ و (d) نمودار تنش برشی-تنش نرمال در درصدهای متفاوت از الیاف کنف با رطوبت ۱۴-۱۳ درصد ۷۱
- شکل ۳-۲۷ نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ماسه مسلح شده با الیاف کاه‌جو در (a) $\sigma_n = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ، (b) $\sigma_n = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ ، (c) $\sigma_n = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ و (d) نمودار تنش برشی-تنش نرمال در درصدهای متفاوت از الیاف کاه‌جو با رطوبت ۱۴-۱۳ درصد ۷۳
- شکل ۳-۲۸ نمودار تنش برشی-جابجایی افقی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کنف در (a) $\sigma_n = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ، (b) $\sigma_n = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ ، (c) $\sigma_n = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ و (d) نمودار تنش برشی-تنش نرمال در درصدهای متفاوت از الیاف کاه‌جو با رطوبت ۲۳-۲۲ درصد ۷۴

- شکل ۳-۲۹ نمودار تنش برشی-جابجایی افقی خاک طبیعی مسلح شده با الیاف کاهجو در (a) $n=0.5$ و (b) $\sigma_n=1.0 \text{ kg/cm}^2$ ، (c) $\sigma_n=1.5 \text{ kg/cm}^2$ و (d) نمودار تنش برشی-تنش نرمال در درصدهای متفاوت از الیاف کاهجو با رطوبت ۲۲-۲۳ درصد
- شکل ۳-۳۰ تغییرات مقاومت برشی ماسه (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۱۳-۱۴ درصد
- شکل ۳-۳۱ تغییرات زاویه اصطکاک داخلی ماسه (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۱۳-۱۴ درصد
- شکل ۳-۳۲ تغییرات چسبندگی ماسه (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۱۳-۱۴ درصد
- شکل ۳-۳۳ مقایسه تغییرات مقاومت برشی ماسه با توزیع تصادفی الیاف و طولهای متفاوت از الیاف
- شکل ۳-۳۴ مقایسه تغییرات (a) چسبندگی و (b) زاویه اصطکاک داخلی ماسه با توزیع تصادفی الیاف و طولهای متفاوت از الیاف
- شکل ۳-۳۵ تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۲۳-۲۴ درصد
- شکل ۳-۳۶ تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک طبیعی (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۲۳-۲۴ درصد
- شکل ۳-۳۷ تغییرات چسبندگی خاک طبیعی (a) با طول الیاف کنف، (b) با طول الیاف کاهجو، در ۱ درصد وزنی و رطوبت ۲۳-۲۴ درصد
- شکل ۳-۳۸ مقایسه تغییرات مقاومت برشی خاک طبیعی با توزیع تصادفی الیاف و طولهای متفاوت از الیاف
- شکل ۳-۳۹ مقایسه تغییرات (a) چسبندگی و (b) زاویه اصطکاک داخلی خاک طبیعی با توزیع تصادفی الیاف و طولهای متفاوت از الیاف

- شکل ۳-۴۰ (a) نمودار تنش محوری-تغییر شکل محوری و (b) تغییرات مقاومت فشاری با درصد الیاف
- شکل ۳-۴۱ نمونه‌های خاک ریزدانه غیرمسلح و مسلح با الیاف کنف قبل از شکست (a) خاک غیرمسلح، (b) خاک مسلح شده با ۱ درصد الیاف، (c) خاک مسلح شده با ۱/۵ درصد الیاف و (d) خاک مسلح شده با ۲ درصد الیاف
- شکل ۳-۴۲ نحوه گسیختگی نمونه خاک غیرمسلح
- شکل ۳-۴۳ نحوه گسیختگی نمونه خاک مسلح شده با ۱ درصد الیاف کنف
- شکل ۳-۴۴ نحوه گسیختگی نمونه خاک مسلح شده با ۱/۵ درصد الیاف کنف
- شکل ۳-۴۵ نحوه گسیختگی نمونه خاک مسلح شده با ۲ درصد الیاف کنف
- شکل ۵-۱ ساختار یک نرون ساده خطی
- شکل ۵-۲ شبکه پرسپترون چند لایه
- شکل ۵-۳ تابع محرک سیگموئید
- شکل ۵-۴ تابع محرک تانزانت هیپربولیک
- شکل ۵-۵ تابع محرک خطی
- شکل ۵-۶ الگوریتم ایجاد شبکه عصبی بر روی داده‌ها
- شکل ۵-۷ شکل ۵-۷- مقایسه مقادیر MSE، (a) شبکه LL (سیگموئیدی در هر دو لایه)، (b) شبکه LP، (c) شبکه LT، (d) شبکه TL، (e) شبکه TP، (f) شبکه TT
- شکل ۵-۸ نمودار خروجی‌های پیش بینی شده توسط مدل شبکه عصبی نسبت به خروجی‌های واقعی برای کل داده‌ها

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

روش‌های بهبود و تقویت خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در خاکریزها، پی‌ها، لایه‌های اساس، زیراساس و خاک بستر روسازی‌ها و حتی گاهی اوقات به عنوان یک لایه رویه را تثبیت یا تسلیح خاک می‌نامند. یک روش فیزیکی برای چنین تقویتی، استفاده از المان‌های گسسته با توزیع جهت‌دار یا تصادفی مانند الیاف می‌باشد. اخیراً استفاده از خاک‌های تسلیح شده با توزیع تصادفی از الیاف بسیار مورد توجه مهندسان ژئوتکنیک قرار گرفته است. اگرچه محققان زیادی رفتار کامپوزیت‌های تسلیح شده با الیاف را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند، اطلاعات محدودی راجع به تسلیح خاک با الیاف گسسته با توزیع تصادفی موجود است. یک نکته مهم در این موضوع استفاده از الیاف طبیعی در پروژه‌های خاکی است و علت آن خصوصیات منحصر به فرد آن‌ها از جمله هزینه کم و زیست تجزیه‌پذیر بودن است. اما نحوه تأثیر خصوصیات این الیاف بر رفتار خاک کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. شبکه عصبی مصنوعی به عنوان سیستمی توانا در تعریف روابط پیچیده غیرخطی بین ورودی و خروجی، بدون تلاش در جهت

درک طبیعت یک پدیده معرفی شده است. در نتیجه با آموزش شبکه با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، می‌توان با ایجاد مدلی رفتار برشی انواع مختلف خاک‌های مسلح را پیش‌بینی نمود و نحوه تأثیرگذاری پارامترهای لیفی را مشخص ساخت.

۱-۲- خاک مسلح

اساس تسلیح یک ماده توسط یک ماده دیگر، توأم کردن خصوصیات دو ماده جهت ارتقاء و تکمیل محصول نهایی از نظر بهبود خواص مورد انتظار می‌باشد [۲۱]. اهم اهداف تثبیت خاک تأمین یک یا تعدادی از موارد زیر است:

۱. استفاده مؤثر از قرضه‌های مجاور
۲. اصلاح خاک‌های نرم و کم مقاومت
۳. افزایش دوام خاک
۴. افزایش ظرفیت باربری خاک
۵. کاهش نفوذپذیری
۶. کاهش تورم و انقباض خاک
۷. کاهش رطوبت خاک
۸. کاهش دامنه خمیری خاک
۹. جلوگیری از فرسایش خاک
۱۰. کاهش ضخامت لایه‌های روسازی
۱۱. ایجاد لایه‌های اساس و زیراساس با قابلیت باربری بیشتر
۱۲. بازسازی روسازی‌های فرسوده با استفاده از مصالح موجود
۱۳. آماده سازی محوطه‌ای برای اجرای آسان‌تر عملیات ساختمانی
۱۴. کاهش گرد و غبار
۱۵. صرفه جویی در مصرف مصالح