دانشکده مهندسی
گروه عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

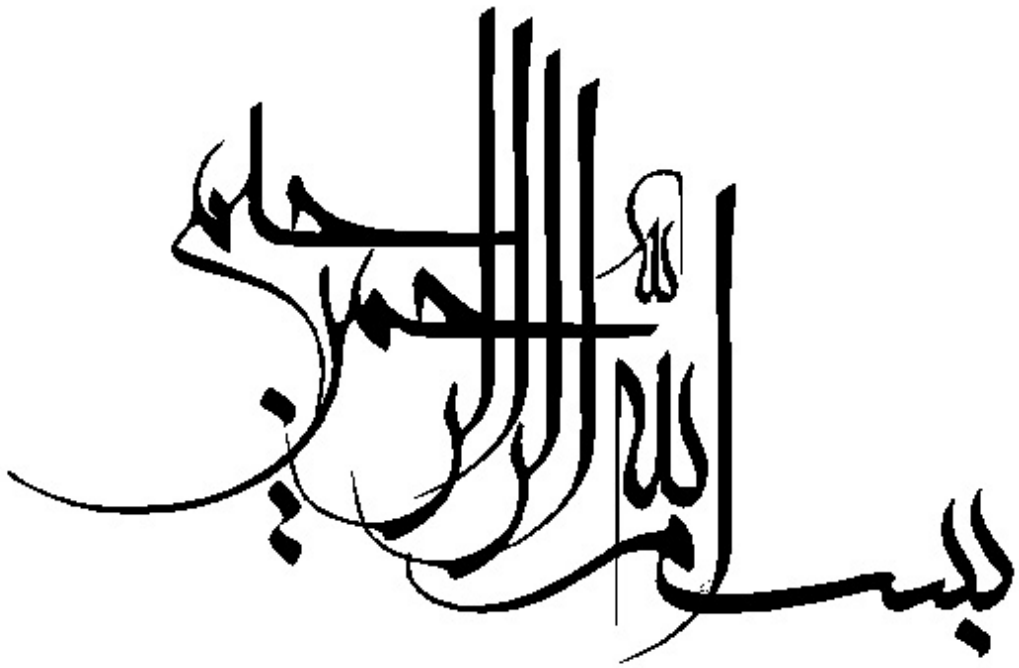
بررسی پتانسیل روان‌گرایی در خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان (SVM)

استاد راهنما: دکتر فریدون پویانژاد

دانشجو:

بهمن قاسم‌زاده

تیر ۱۳۸۹


بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

سپاس خدایی را که همواره بزرگ‌ترین یاری‌گرم بوده است و با لطف بی‌کرانش مسیر زندگی‌ام را روشن نموده است. تمام آن‌چه دارم و هستم وامدار چشمان مهربان و دستان پرتلاش پدر و مادر عزیزم است که هرگز قادر به سپاس‌گذاری نخواهم بود.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر فریدون پویانژاد که از راهنمایی‌های ارزنده و نظرات سودمندشان در تهیه و ارائه این پایان‌نامه بهره بردم، سپاس‌گذاری و قدردانی می‌نمایم و از کمک‌های دلسوزانه ایشان کمال تشکر را دارم. بزرگ‌ترین افتخار من شاگردی ایشان است.

در پایان از تمام دوستانی که به نحوی این‌جانب را در تدوین این مجموعه یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

بهمن قاسم‌زاده

تیر ۸۹

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ روان‌گرایی ۲

فصل دوم: روان‌گرایی

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ اثرات روان‌گرایی بر روی سازه‌ها ۷

۲-۲-۱ جاری شدن ۷

۲-۲-۲ گسترش جانبی ۷

۲-۲-۳ ایجاد ترک و جوشش ماسه ۸

۲-۲-۴ کاهش ظرفیت باربری ۹

۲-۲-۵ نشست ۹

۲-۲-۶ افزایش فشارهای جانبی در دیوارهای حائل ۱۰

۲-۳ پیش‌گیری و مقاوم‌سازی در برابر روان‌گرایی ۱۰

۲-۴ پارامترهای موثر در روان‌گرایی ۱۱

۲-۵ روش عمومی ارزیابی قابلیت روان‌گرایی خاک ۱۲

۲-۶ روش ساده شده تعیین تنش‌های ایجاد شده توسط زلزله ۱۴

۲-۷ تعیین ترازهای تنش دوره‌ای ایجاد کننده روان‌گرایی از داده‌های آزمایش‌های آزمایشگاهی ۱۹

۲-۷-۱ آزمایش‌های دوره‌ای برش ساده ۲۰

۲-۷-۲ آزمایش‌های دوره‌ای فشار سه محوری ۲۲

۲-۷-۳ اثرات دست خوردگی نمونه بر داده‌های آزمایش‌های بارگذاری دوره‌ای ۲۵

۲-۸ ارزیابی قابلیت روان‌گرایی نهشته‌های ماسه‌ای بر اساس مشاهدات زلزله‌های گذشته ۲۶

۲-۸-۱ استفاده از داده‌های محلی برای ارزیابی ویژگی‌های خاک در بارگذاری دوره‌ای ۲۷

۲-۸-۲ آزمایش‌های شاخص برای تعیین ویژگی‌های روان‌گرایی خاک ۲۸
۲-۸-۳ آزمایش‌های صحرایی (CPT و SPT) ۳۱
۲-۸-۳-۱ آزمایش نفوذ استاندارد SPT ۳۳
۲-۸-۳-۲ آزمایش نفوذ مخروط CPT ۳۵
۲-۸-۳-۳ مزایا و معایب آزمایش CPT ۳۸
۲-۹ روش تفسیر داده‌های محلی و ارزیابی قابلیت روان‌گرایی ۳۹
۲-۹-۱ روابط همبستگی برای زلزله‌های با بزرگی مختلف ۴۱
۲-۹-۲ استفاده از نمودارهای همبستگی SPT با CPT ۴۳
۲-۱۰ تحقیقات انجام شده ۴۵
۲-۱۱ خلاصه فصل ۴۶

فصل سوم: شبکه‌های عصبی مصنوعی

۳-۱ مقدمه ۴۷
۳-۲ شبکه عصبی بیولوژیکی ۴۸
۳-۳ قابلیت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۱
۳-۴ مدل یک سلول عصبی ۵۴
۳-۴-۱ مدل تک ورودی ۵۵
۳-۴-۲ مدل چند ورودی ۵۶
۳-۵ توابع فعالیت ۵۸
۳-۶ الگوریتم طراحی شبکه عصبی ۶۱
۳-۷ روش‌های آموزش ۶۳
۳-۷-۱ آموزش با نظارت ۶۳
۳-۷-۲ آموزش بدون نظارت ۶۴
۳-۸ قوانین آموزش ۶۵
۳-۸-۱ قانون آموزش دلتا ۶۵
۳-۸-۲ قانون کاهش گردایان ۶۷

۳-۸-۳ قانون آموزش Hebb ۶۸
۳-۹ ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۸
۳-۹-۱ شبکه‌های پیش‌خور ۶۹
۳-۹-۲ شبکه‌های پس‌خور ۶۹
۳-۱۰ پرسپترون ۶۹
۳-۱۰-۱ پرسپترون تک لایه ۷۰
۳-۱۰-۲ پرسپترون چند لایه (MLP) ۷۱
۳-۱۰-۳ الگوریتم پس انتشار خطا ۷۳
۳-۱۰-۴ بیش برازش ۷۷
۳-۱۰-۵ توقف زود هنگام ۷۸
۳-۱۱ خلاصه فصل ۷۹

فصل چهارم: ماشین بردار پشتیبان

۴-۱ مقدمه ۸۱
۴-۲ ایده‌ی ماشین بردار پشتیبان ۸۲
۴-۳ طبقه‌بندی کننده خطی با داده‌های جدایی‌پذیر به صورت خطی ۸۴
۴-۳-۱ حل مساله بهینه‌سازی ۸۶
۴-۴ طبقه‌بندی کننده خطی با داده‌های جدایی ناپذیر به صورت خطی ۹۱
۴-۵ طبقه‌بندی کننده غیرخطی ۹۵
۴-۶ انتخاب کرنل ۱۰۰
۴-۶-۱ کرنل‌های چند جمله‌ای ۱۰۰
۴-۶-۲ کرنل‌های شبکه عصبی ۱۰۰
۴-۶-۳ کرنل‌های گوسی ۱۰۱
۴-۷ ماشین بردار پشتیبان چند کلاسی ۱۰۲
۴-۸ مزایا و معایب ماشین بردار پشتیبان ۱۰۳
۴-۹ خلاصه فصل ۱۰۳

فصل پنجم: مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی روان‌گرایی

۵–۱ مقدمه ۱۰۴

۵–۲ جمع‌آوری و آماده‌کردن داده‌ها ۱۰۴

۵–۳ انتخاب داده‌های اطلاعاتی ۱۰۶

۵–۴ بررسی پارامترهای موثر از دیدگاه مهندسی ۱۰۷

۵–۵ مجموعه داده‌ها ۱۰۹

۵–۶ معرفی نرم‌افزار NeuroSolutions ۱۱۱

۵–۷ روش‌های موجود برای آموزش MLP ۱۱۲

۵–۷–۱ روش Conjugate Gradient Descent ۱۱۳

۵–۷–۲ روش Levenberg-Marquardt ۱۱۳

۵–۷–۳ روش Quick Propagation ۱۱۴

۵–۷–۴ روش Delta Bar Delta ۱۱۴

۵–۸ روش مورد استفاده برای آموزش شبکه‌های عصبی ۱۱۴

۵–۸–۱ روش پس انتشار (Back Propagation) ۱۱۵

۵–۹ بیش‌آموزش و تعمیم‌دهی ۱۱۶

۵–۱۰ پیش پردازش و پس پردازش داده‌ها ۱۱۸

۵–۱۱ مجموعه داده‌های آموزشی، آزمایشی و ارزیابی ۱۱۸

۵–۱۲ شاخص‌های ارزیابی ۱۲۳

۵–۱۳ طراحی شبکه‌های عصبی ۱۲۴

۵–۱۴ تحلیل نتایج آموزش شبکه‌ها ۱۳۵

۵–۱۵ پردازش داده‌ها با استفاده از ماشین بردار پشتیبان ۱۳۷

۵–۱۶ مقایسه نتایج مدل‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان با دیگر تحقیقات و همچنین روش (ساده شده) ۱۴۲

۵–۱۷ بحث و نتیجه‌گیری ۱۴۵

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶–۱ مقدمه ۱۴۶

۶-۲ نتیجه‌گیری ۱۴۸
۶-۳ پیشنهادات ۱۴۹

ضمائم

ضمیمه الف- مجموعه داده‌های اطلاعاتی مورد استفاده (مجموعه داده‌های CPT) ۱۵۱
ضمیمه ب- مجموعه داده‌های اطلاعاتی مورد استفاده (مجموعه داده‌های SPT) ۱۶۲
ضمیمه ج- محاسبه اهمیت نسبی پارامترها ۱۷۶
ضمیمه د- نتایج مربوط به تعیین پتانسیل روان‌گرایی با استفاده از روش سنتی برای دسته ارزیابی مجموعه داده‌های SPT . . ۱۷۹

منابع و مراجع ۱۸۱

فهرست اشکال

صفحه

فصل دوم: روان‌گرایی

شکل ۲-۱ مکانیسم روان‌گرایی خاک در حین زلزله ۵

شکل ۲-۲ جاری شدن در اثر روان‌گرایی ۸

شکل ۲-۳ گسترش جانبی در اثر روان‌گرایی ۸

شکل ۲-۴ جوشش ماسه و ترک‌های سطحی در اثر روان‌گرایی ۹

شکل ۲-۵ کاهش ظرفیت باربری و واژگونی سازه‌ها در اثر روان‌گرایی ۱۰

شکل ۲-۶ روش ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی ۱۳

شکل ۲-۷ روش تعیین تنش برشی حداکثر $(\tau_{\max})_r$ ۱۵

شکل ۲-۸ محدوده مقادیر r_d در نیمرخ‌های مختلف خاک ۱۶

شکل ۲-۹ تاریخچه زمانی تنش‌های برشی در هنگام زلزله ۱۷

شکل ۲-۱۰ نتایج نمونه از آزمایش‌های بارگذاری دوره‌ای برش ساده بروی ماسه سست ۲۰

شکل ۲-۱۱ شکل نمونه رابطه میان تنش دوره‌ای برشی و تعداد دوره‌های ایجاد کننده روان‌گرایی در آزمایش برش ساده .. ۲۱

شکل ۲-۱۲ تنش وارده به المان خاک در حین زلزله ۲۳

شکل ۲-۱۳ نحوه شبیه‌سازی زلزله در آزمایش سه محوری دینامیکی ۲۳

شکل ۲-۱۴ رابطه میان نسبت تنش دوره‌ای متوسط و دانسیته نسبی در محل‌های مشخص از وقوع یا عدم وقوع روان‌گرایی ۲۹

شکل ۲-۱۵ نمودار مقادیر C_N ۳۱

شکل ۲-۱۶ شکل شماتیک دستگاه SPT ۳۴

شکل ۲-۱۷ دستگاه CPT ۳۶

شکل ۲-۱۸ مقایسه نتایج آزمایش CPT در دو حالت قائم و حالت انحراف از راستای قائم ۳۷

شکل ۲-۱۹ همبستگی میان نسبت تنش ایجاد کننده روان‌گرایی در محل و مقاومت نفوذ استاندارد ۴۰

شکل ۲-۲۰ رابطه نمونه میان τ/τ_1 و تعداد دوره‌های مورد نیاز برای ایجاد روان‌گرایی ۴۲

شکل ۲-۲۱ نمودار تعیین قابلیت روان‌گرایی در ماسه‌ها در زلزله‌های با بزرگی مختلف ۴۳

شکل ۲-۲۲ همبستگی میان رفتار روان‌گرایی محلی ماسه‌ها تحت شرایط زمین و مقاومت نفوذ استاتیکی مخروط ۴۵

فصل سوم: شبکه‌های عصبی مصنوعی

شکل ۳-۱ نواحی اصلی یک سلول عصبی بیولوژیک ۴۹
شکل ۳-۲ جزئیات سیناپسی ۵۰
شکل ۳-۳ ساختار نرون تک ورودی ۵۵
شکل ۳-۴ مدل یک نرون چند ورودی ۵۷
شکل ۳-۵ تابع فعالیت آستانه دو مقداره حدی ۵۹
شکل ۳-۶ تابع فعالیت سیگموئید ۶۰
شکل ۳-۷ تابع فعالیت تانژانت هیپربولیک ۶۰
شکل ۳-۸ فرآیند آموزش با نظارت ۶۳
شکل ۳-۹ فرآیند آموزش بدون نظارت ۶۵
شکل ۳-۱۰ تاثیر نرخ یادگیری در همگرایی یا واگرایی ۶۷
شکل ۳-۱۱ حداقل محلی و حداقل مطلق در روند آموزش شبکه ۶۸
شکل ۳-۱۲ ساختار کلی شبکه پرسپترون تک لایه ۷۰
شکل ۳-۱۳ ساختار کلی شبکه پرسپترون چند لایه ۷۲
شکل ۳-۱۴ موقعیت اتصال دارای وزن W_{ji} مربوط به لایه آخر شبکه عصبی ۷۴
شکل ۳-۱۵ موقعیت اتصال دارای وزن W_{ji} مربوط به لایه پنهان شبکه عصبی ۷۵
شکل ۳-۱۶ تقریب داده‌های تابع $h(x)$ توسط دو نوع تابع $g(x)$ ۷۸
شکل ۳-۱۷ نمودار بیش برازش – کارایی بهینه شبکه در زمان t ۷۹

فصل چهارم: ماشین بردار پشتیبان

شکل ۴-۱ جدا کننده‌های مختلف برای دو کلاس ۱+ و ۱− ۸۳
شکل ۴-۲ مفهوم حاشیه ۸۳
شکل ۴-۳ فوق صفحه جدا کننده در حالت جدایی‌پذیر به صورت خطی ۸۴
شکل ۴-۴ نمونه‌های صفحه جدا کننده دو کلاس: صفحه جدا کننده بهینه، صفحه جدا کننده غیربهینه ۸۶

شکل ۴-۵ تعبیر هندسی بردارهای پشتیبان ۹۰
شکل ۴-۶ فوق صفحه جدا کننده برای حالت جدایی ناپذیر به صورت خطی ۹۱
شکل ۴-۷ نگاشت داده‌های آموزشی غیرخطی به فضایی از ویژگی‌ها با ابعاد بالاتر با تابع ϕ ۹۶
شکل ۴-۸ مثالی از تبدیل فضای ورودی به فضای ویژگی ۹۶
شکل ۴-۹ مثالی از تقسیم‌بندی غیرخطی با کرنل گوسی ۱۰۲

فصل پنجم: مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی روان‌گرایی

شکل ۵-۱ پارامترهای مورد استفاده به ترتیب اهمیت ۱۳۵

فهرست جداول

صفحه

فصل دوم: روان‌گرایی

جدول ۲-۱ رابطه بزرگی زلزله و تعداد سیکل مهم معادل ۱۸
جدول ۲-۲ رابطه بزرگی زلزله و تعداد دوره‌های معرف اعمال تنش ۴۲

فصل پنجم: مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی روان‌گرایی

جدول ۵-۱ زلزله‌های مربوط به داده‌های CPT ۱۰۹
جدول ۵-۲ زلزله‌های مربوط به داده‌های SPT ۱۰۹
جدول ۵-۳ جزئیات تعداد نمونه‌ها ۱۱۰
جدول ۵-۴ بازه پارامترهای داده‌های CPT ۱۱۱
جدول ۵-۵ بازه پارامترهای داده‌های SPT ۱۱۱
جدول ۵-۶ مقادیر ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف معیار پارامترهای CPT ۱۱۹
جدول ۵-۷ مقادیر ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف معیار پارامترهای SPT ۱۲۰
جدول ۵-۸ نمونه‌ای از دسته‌بندی داده‌های CPT ۱۲۱
جدول ۵-۹ نمونه‌ای از دسته‌بندی داده‌های SPT ۱۲۲
جدول ۵-۱۰ نتایج شبکه‌های با تعداد نرون‌های لایه میانی مختلف برای داده‌های گروه CPT ۱۲۷
جدول ۵-۱۱ نتایج تغییرات نرخ آموزش در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه CPT ۱۲۷
جدول ۵-۱۲ نتایج تغییرات عدد مومنتم در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه CPT ۱۲۷
جدول ۵-۱۳ نتایج انواع توابع فعالیت در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه CPT ۱۲۸
جدول ۵-۱۴ نتایج شبکه‌های با تعداد نرون‌های لایه میانی مختلف برای داده‌های گروه SPT ۱۲۸
جدول ۵-۱۵ نتایج تغییرات نرخ آموزش در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT ۱۲۹
جدول ۵-۱۶ نتایج تغییرات عدد مومنتم در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT ۱۲۹
جدول ۵-۱۷ نتایج انواع توابع فعالیت در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT ۱۲۹
جدول ۵-۱۸ مشخصات شبکه‌های مورد استفاده ۱۳۰

جدول ۵-۱۹ نتایج شبکه بهینه مدل CPT ۱۳۰
جدول ۵-۲۰ نتایج شبکه بهینه مدل SPT ۱۳۰
جدول ۵-۲۱ نتایج شبکه‌های بهینه ۱۳۱
جدول ۵-۲۲ اهمیت نسبی پارامترهای مدل SPT ۱۳۱
جدول ۵-۲۳ نتایج شبکه‌های با تعداد نرون‌های لایه میانی مختلف برای داده‌های گروه SPT-8input ۱۳۲
جدول ۵-۲۴ نتایج تغییرات نرخ آموزش در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT-8input ۱۳۲
جدول ۵-۲۵ نتایج تغییرات عدد مومنتم در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT-8input ۱۳۳
جدول ۵-۲۶ نتایج انواع توابع فعالیت در شبکه‌های مربوط به داده‌های گروه SPT-8input ۱۳۳
جدول ۵-۲۷ مشخصات شبکه بهینه SPT-8input ۱۳۳
جدول ۵-۲۸ نتایج شبکه بهینه SPT-8input ۱۳۴
جدول ۵-۲۹ نتایج شبکه بهینه SPT-8input ۱۳۴
جدول ۵-۳۰ اهمیت نسبی پارامترهای مدل CPT ۱۳۴
جدول ۵-۳۱ اهمیت نسبی پارامترهای مدل SPT-8input ۱۳۵
جدول ۵-۳۲ خلاصه نتایج دسته‌بندی داده‌های CPT ۱۳۸
جدول ۵-۳۳ خلاصه نتایج دسته‌بندی داده‌های SPT-8input ۱۳۹
جدول ۵-۳۴ موارد غلط دسته‌بندی شده مدل CPT ۱۴۰
جدول ۵-۳۵ موارد غلط دسته‌بندی شده مدل SPT-8input ۱۴۰
جدول ۵-۳۶ خلاصه نتایج دسته‌بندی داده‌های SPT-6input ۱۴۱
جدول ۵-۳۷ مقایسه نتایج مدل بهینه شبکه عصبی و مدل بهینه ماشین بردار پشتیبان پیشنهادی برای داده‌های CPT ۱۴۳
جدول ۵-۳۸ مقایسه نتایج مدل بهینه شبکه عصبی‌ومدل بهینه ماشین بردار پشتیبان پیشنهادی برای داده‌های SPT-8input ۱۴۴

فهرست نمادها

AI	هوش مصنوعی
ANN	شبکه عصبی مصنوعی
a_{max}	حداکثر شتاب زلزله
a_t	شتاب آستانه
b	آستانه خارجی (بایاس) نرون
BP	الگوریـتم پس انتشار خطا
C	پارامتر جریمه
CI	هوش محاسباتی
CPT	آزمایش نفوذ مخروط
CSR	نسبت تنش تناوبی
C_2	ضریب اصلاحی نسبت تنش تناوبی
C_5	ضریب اصلاحی نسبت تنش تناوبی
C_N	ضریب اصلاحی عدد نفوذ استاندارد
C_q	ضریب اصلاحی مقاومت نفوذ مخروط
C_r	ضریب تبدیل تنش دوره‌ای آزمایش سه محوری به نسبت تنش تناوبی
d_w	سطح آب زیرزمینی
f	تابع فعالیت نرون
F<75μm	درصد ریزدانه کوچکتر از ۷۵ میکرومتر
FC	درصد ریزدانه
f_s	مقاومت اصطکاک جانبی
g	شتاب ثقل زمین
K	تابع کرنل
KKT	شرایط کاروش–کوهن–تاکر
K_o	ضریب فشار جانبی خاک

M	بزرگی زلزله
MLP	شبکه پرسپترون چند لایه
MSE	میانگین مربعات خطا
Net	ورودی خالص نرون
N_1	عدد نفوذ استاندارد
$(N_1)_{60}$	تعداد ضربات نفوذ استاندارد اصلاح شده
N_c	تعداد دورهای مهم اعمال تنش
q_c	مقاومت نفوذ مخروط
q_{cl}	مقاومت نفوذ اصلاح شده مخروط
R	ضریب همبستگی
RBF	شبکه تابع پایه شعاعی
RI	اهمیت نسبی
RMSE	جذر میانگین مربعات خطا
r_d	ضریب کاهش تنش
SPT	آزمایش نفوذ استاندارد
SSR	نسبت تنش برشی
SV	بردار پشتیبان
SVM	ماشین بردار پشتیبان
V_s	سرعت موج برشی
w	وزن اتصال بین نرون‌ها
Z	عمق نمونه
δ	میزان خطا
φ'	زاویه اصطکاک داخلی خاک
γ	وزن مخصوص خاک
η	نرخ آموزش
σ_o	تنش کل

σ'_o تنش موثر

τ_{ave} تنش برشی متوسط

τ_{av} / σ'_o نسبت تنش تناوبی

$\tau_{\max}$ تنش برشی حداکثر

$(\tau_{\max})_d$ تنش برشی واقعی

$(\tau_{\max})_r$ تنش برشی حداکثر

چکیده

پیش‌بینی پتانسیل روان‌گرایی در خاک‌های ماسه‌ای سست اشباع در طول چهل سال گذشته بسیار مورد توجه مهندسین ژئوتکنیک قرار گرفته است. توسعه ابزارهای محاسباتی منجر به ظهور روش‌های جدید علمی در ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی شده است. از جمله این روش‌ها روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) می‌باشد. در چند سال اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری توانمند در مدل‌سازی مسائل پیچیده در بسیاری از رشته‌های مهندسی کاربردهای فراوانی یافته است. هم‌چنین روش ماشین بردار پشتیبان نیز به عنوان یک روش تشخیص الگوی جدید در مسائل دسته‌بندی در علوم مختلف دارای کاربرد رو به گسترشی می‌باشد. تحقیق حاضر یکی از اولین کاربردهای این روش در مهندسی ژئوتکنیک و به خصوص پدیده روان‌گرایی می‌باشد.

در تحقیق حاضر پس از جمع‌آوری مجموعه معتبر و نسبتا بزرگ از داده‌های صحرایی گزارش شده از زلزله‌های مختلف جهان بر اساس آزمون‌های نفوذ استاندارد (SPT) و نفوذ مخروط (CPT) که در آن‌ها پدیده روان‌گرایی مشاهده شده بود، مدل‌های مجزایی برای هر دو مجموعه داده‌ها و با استفاده از هر دو روش ذکر شده برای ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی ارائه گردید. پس از بررسی مدل‌های مختلف با پارامترها و خصوصیات متفاوت، مدل‌های بهینه شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان برای هر دو گروه داده‌ها ارائه شده‌اند.

با انجام تحلیل حساسیت، اهمیت نسبی پارامترها در دو گروه داده‌ها مشخص و با حذف پارامترهای با اهمیت نسبی پایین در داده‌های SPT نتایج مدل‌ها بهبود داده شد.

مقایسه نتایج با روش‌های معمول و مشابه در بررسی پتانسیل روان‌گرایی حاکی از افزایش دقت تخمین در مدل‌های پیشنهادی است. به ویژه مدل ماشین بردار پشتیبان ارائه شده نتایج بهتری را نسبت به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که در چند سال اخیر بسیار پر کاربرد بوده است، نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: زلزله، روان‌گرایی، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه پرسپترون چند لایه، الگوریتم پس‌انتشار خطا، ماشین بردار پشتیبان، آزمون نفوذ استاندارد (SPT)، آزمون نفوذ مخروط (CPT)

۱

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

گستره وسیعی از محدوده قاره‌ها را مناطقی تشکیل می‌دهند که در معرض مخاطرات ناشی از زمین لرزه قرار دارند. تمرکز جمعیت در این نواحی خسارت‌های ناشی از این پدیده را بیش از پیش روشن می‌سازد.

یکی از عوامل مهم در طراحی سازه‌ها، مقاوم‌سازی آن‌ها در برابر زلزله می‌باشد. این مقاوم‌سازی علاوه بر ملاحظاتی که بر روی اسکلت سازه‌ها صورت می‌گیرد شامل طراحی شالوده مناسب و بررسی منطقه به لحاظ ژئوتکنیکی نیز می‌باشد به طوری‌که در بعضی موارد علی‌رغم طراحی صحیح سازه‌ای، زلزله باعث نشست، واژگونی و نهایتا غیرقابل استفاده شدن سازه شده است. از جمله مسائل مهم در بررسی توأم ژئوتکنیکی و لرزه‌ای، پدیده روان‌گرایی[1] می‌باشد.

تنش‌های زلزله در مناطق با ساختار خاک دانه‌ای (ماسه و لای) اشباع، موجب بالا رفتن فشار آب منفذی و از دست رفتن مقاومت خاک شده و در نتیجه خاک حالت روان به خود می‌گیرد.

این پدیده به صورت کاهش ظرفیت باربری، نشست قابل توجه در سطح زمین، ایجاد ترک و بازشدگی در سطح زمین، فوران گل و آب، جوشش ماسه و تراوش آب از خلل و فرج موجود در سطح زمین، ظاهر می‌شود. از طرف دیگر این پدیده باعث شناور شدن سازه‌های سبک درون زمین مثل مخازن می‌شود [۳].

---

[1] Liquefaction

با توجه به اثر تخریبی این پدیده که به خصوص در زلزله‌های اخیر از قبیل زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و زلزله ۱۹۹۸ ترکیه نیز بسیار نمود پیدا کرد، یافتن روشی برای پیش‌بینی روان‌گرایی، مطالعه بر روی پارامترهای موثر و هم‌چنین روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر روان‌گرایی کمک شایانی به کاهش هرچه بیشتر اثرات تخریبی این پدیده خواهد کرد.

۱-۲ روان‌گرایی

لغت روان‌گرایی برای اولین بار توسط Hazen استفاده شد تا شکست سد Calaveras کالیفرنیا را در سال ۱۹۱۸ توضیح دهد. از آن به بعد پدیده روان‌گرایی به عنوان یک موضوع مهم برای خیلی از محققین مهندسی ژئوتکنیک مطرح بوده است [۲].

اگر چه این عبارت به وسیله Hazen به‌کار برده شد تا شکست یک سد را تحت بارهای وزنی توضیح دهد اما این پدیده بعدها برای رفتار خاک تحت بارهای دینامیکی نیز به‌کار برده شد. وقوع پدیده روان‌گرایی تحت بارهای غیر لرزه‌ای به وسیله تعدادی از محققین مانند Casagrande (1936)، Castro (1969) و Kramer & Seed (1988) مطالعه شده است. با این وجود به‌دلیل وقوع روان‌گرایی متعدد در اثر بارهای لرزه‌ای، این موضوع توجه خیلی از محققین را به خود جلب کرده است. بهبود وسایل آزمایشگاهی به‌خاطر توسعه وسایل الکترونیک جدید وکامپیوترهای پیشرفته، توانایی محقیین زلزله و ژئوتکنیک را جهت بررسی این پدیده افزایش داده است. استفاده از وسایل بسیار پیشرفته در زمینه اندازه‌گیری و هم‌چنین توسعه روش‌های عددی، موجب شده است تا پدیده روان‌گرایی بهتر شناخته شود [۲].

قبل از رایج شدن آزمایش‌های صحرایی و درجا محققان سعی می‌کردند با شبیه‌سازی روان‌گرایی در آزمایشگاه، این پدیده را مورد بررسی قرار دهند. به این منظور آزمایش‌های مختلفی نظیر آزمایش سه محوری دینامیکی، آزمایش برش ساده متناوب و ... به‌کار گرفته شد. پس از آزمایش‌های فراوان اکثر محققان به این نتیجه رسیدند که برای پیش‌بینی روان‌گرایی باید از آزمایش‌های صحرایی استفاده کرد و عملا شبیه‌سازی روان‌گرایی در آزمایشگاه با واقعیت این پدیده اختلافاتی دارد. رایج‌ترین آزمایش‌های صحرایی برای پیش‌بینی روان‌گرایی آزمایش نفوذ استاندارد[1]

[1] Standard Penetration Test

(SPT) و آزمایش نفوذ مخروط[1] (CPT) می‌باشند. به علت قدمت بیشتر آزمایش SPT حجم اطلاعات ثبت شده این آزمایش نسبت به آزمایش CPT بسیار گسترده است. اما با توجه به مزیت‌های آزمایش CPT در پیش‌بینی روان‌گرایی، امروزه اکثر دانشمندان به استفاده از این آزمایش روی آورده‌اند.

ابزارهای محاسباتی به‌کار رفته برای پیش‌بینی روان‌گرایی اکثرا در قالب ارائه نمودارهایی بر اساس خصوصیات خاک و خواص لرزه‌ای و با استفاده از روش‌های آماری می‌باشد. به علت پیچیدگی پدیده روان‌گرایی و تعدد متغیرهای دخیل در آن و به جهت در نظر گرفتن اثر همه متغیرها، پیش‌پردازش آن‌ها قبل از استفاده از نمودارها الزامی است. اگرچه در این روش‌ها موفقیت نسبی در پیش‌بینی و ارائه مرز وقوع روان‌گرایی حاصل شده است ولی نقاط ضعف آن‌ها را نیز نباید فراموش کرد. برخی از این اشکالات به شرح زیر می‌باشد:

۱. به علت نیاز به پیش‌پردازش متغیرها قبل از استفاده از نمودارها، محاسباتی هر چند ساده باید صورت گیرد و لذا پیش‌بینی روان‌گرایی به این شیوه اندکی وقت‌گیر می‌باشد.
۲. با پیش‌پردازش متغیرها به وسیله روابط تجربی، اثر آن‌ها در یکدیگر ادغام خواهد شد. بنابراین در این روش‌ها نمی‌توان میزان اهمیت متغیرها را با یکدیگر مقایسه کرد. این مقایسه می‌تواند باعث شناخت بیشتر پدیده روان‌گرایی و احتمالا یافتن متغیرهای موثر واقعی شود.
۳. اکثر نمودارهای ارائه شده به وسیله روش‌های آماری به صورت تابعی ساده پیشنهاد شده‌اند، که این مساله نیز باعث ایجاد محدودیت در ارائه مرز دقیق وقوع و عدم وقوع روان‌گرایی می‌شود.

در دهه‌های گذشته پیشرفت‌های زیادی در علم الکترونیک و به دنبال آن در کامپیوترها صورت گرفته است. با پیشرفت کامپیوترها و به وجود آمدن کامپیوترهای قوی و با سرعت بالا، شاخه محاسبات عددی گسترش زیادی پیدا کرده و انسان را قادر ساخت که به وسیله کامپیوتر محاسبات پیچیده عددی را انجام دهد. با مطرح شدن ایده هوش مصنوعی[2] و پردازش موازی[3] شاخه‌ای جدید در محاسبات عددی ایجاد شد. یکی از ابزارهای مفیدی که از این ایده برگرفته شده است شبکه‌های عصبی مصنوعی[4] می‌باشد. این ابزار که در واقع به وسیله الگوبرداری از مغز انسان به وجود آمده است قادر به حل مسائل پیچیده و با پارامترهای زیاد می‌باشد. در دهه گذشته این ابزار کاربرد بسیار گسترده-

[1] Cone Penetration Test
[2] Artificial Intelligence (AI)
[3] Parallel Proccesing
[4] Artificial Neural Networks (ANNs)