بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مظاهر برنتی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان: **تعیین ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی در خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی** در تاریخ ۱۳۹۰/۰۳/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی تأیید می‌کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر علی اکبر گلشنی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر سید شهاب الدین یثربی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود یزدانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر ابراهیم اصغری	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمود یزدانی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

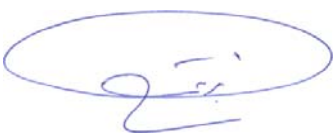
ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب مظاهر برنتی دانشجوی رشته عمران - خاک و پی ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: .....



آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی عمران- خاک و پی** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده **مهندسی عمران و محیط زیست** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **علی اکبر گلشنی** و مشاوره جناب آقای دکتر **سید شهاب الدین یثربی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **مظاهر برنتی** دانشجوی رشته **مهندسی عمران- خاک و پی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مظاهر برنتی

تاریخ و امضا: ۹۰/۳/۱۱

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی

عنوان

تعیین ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی در خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

نگارنده

مظاهر برنتی

استاد راهنما

دکتر علی اکبر گلشنی

استاد مشاور

دکتر سید شهاب الدین یثربی

بهار۹۰

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانی زندگی من است و وجودشان همه برایم مهر

و همه ی آنهایی که دوستشان میدارم.

تشکر و قدردانی

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر علی اکبر گلشنی به خاطر راهنمایی های ارزنده شان در تمامی مراحل انجام پایان نامه کمال تشکر و قدردانی را دارم. کمک های بی دریغ ایشان و استفاده از تجارب ارزشمندشان راه گشای بسیاری از مشکلات این تحقیق بود. و شایسته و بایسته است از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید شهاب الدین یثربی به سبب راهنمایی های ارزنده و مشاوره های صبورانه شان سپاسگذار باشم، بی شک انجام این پایان نامه، بدون حمایت ایشان و اطلاعاتی که در اختیارم قرار دادند، میسر نبود.

و از اساتید بسیار عزیز و بزرگوار گروه خاک و پی، دکتر علی کمک پناه، دکتر محمود یزدانی و دکتر محمد علیایی که در طول مدت تحصیل افتخار شاگردیشان را داشتم سپاسگذاری می نمایم.

همچنین بر خود لازم می دانم از دوستان گرامی

مهندس رضا نسیمی، مهندس محمود دلبری، مهندس بابک حکیمی، مهندس سیامک آذین فر، مهندس هاتف خوشکار، دکتر مهدی غلامزاده، مهندس احمدرضا مظاهری، مهندس سعید مرغوب، مهندس حسین نعیمی، مهندس محمد حیدرپور، دکتر امیر پله ، مهندس اسماعیل آدینه وند، مهندس بهزاد رجبی و مهندس محسن یحیی زاده

سپاسگزاری نمایم.

چکیده

تعیین ظرفیت باربری شمع ها از جمله مسائل مهمی است که همواره ذهن مهندسین ژئوتکنیک را به خود معطوف داشته است. اثر عواملی نظیر ناهمسانی محیط خاک در برگیرنده یک شمع، اجرای شمع، جنس شمع و شکل آن، تخمین صحیح ظرفیت باربری یک شمع را با مشکل همراه می سازد. آزمایش بارگذاری شمع به عنوان یک روش قابل اعتماد، میتواند در مراحل مختلف تحلیل، طراحی و اجرای شمع به منظور تعیین ظرفیت باربری محوری شمع به کار رود.

از طرفی، آزمایش بارگذاری شمع با وجود دقت بالا، هزینه های زیاد و زمان انجام طولانی را برای پروژه های عمرانی تحمیل می کند و همین مساله باعث ایجاد محدودیت هایی در انجام این آزمایش می شود. بدین ترتیب پذیرش تحلیل های عددی در مسائل ژئوتکنیکی به تدریج در حال افزایش می باشد. در این میان مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی روشی است که بر اساس داده‌ها و اطلاعات قبلی بوده و نیازی به ساده‌سازی و استفاده از ضرایب اطمینان بالا ندارد.

در این تحقیق از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. در ابتدا شبکه عصبی چند لایه پرسپترون، یکی از پرکاربردترین شبکه های عصبی، و در ادامه از شبکه های عصبی نروفازی بهره گرفته شد.

در تمامی مدل ها از ۴ پارامتر طول و قطر شمع، مدول الاستیسیته و زاویه اصطکاک داخلی خاک به عنوان ورودی و از ظرفیت باربری شمع به عنوان خروجی استفاده شده است. مدل ها از موفقیت قابل قبولی در پیش بینی ظرفیت باربری شمع ها بر خوردارند. برای افزایش میزان دقت در پیش بینی ظرفیت باربری، برای آموزش شبکه از آزمایش‌های واقعی شمع که در مرحله مطالعات ژئوتکنیک حوض خشک منطقه هرمزگان، توسط شرکت مهندسین مشاور پژوهش عمران راهوار صورت گرفته، استفاده شده است. با توجه نیاز به داده های بیشتر برای آموزش و تست شبکه، چندین آزمایش ظرفیت باربری شمع در ابعاد کوچک تر در آزمایشگاه انجام شد. برای انجام این آزمایشها از دستگاه ظرفیت باربری شمع، ساخته شده در دانشگاه تربیت مدرس، استفاده شد.

مدل های مبتنی بر شبکه های عصبی، برخلاف مدل های رفتاری مرسوم توضیحی در مورد چگونگی اثر پارامتر های ورودی بر خروجی نمیدهند. در این تحقیق با آنالیز حساسیت بر روی ساختار بهینه مدل های معرفی شده در هر مرحله سعی شده است تا حدودی به این سوال پاسخ داده شود.

واژگان کلیدی : آزمایش بارگذاری شمع، دستگاه تعیین ظرفیت باربری، شبکه های عصبی مصنوعی، چند لایه پرسپترون، نروفازی، آنالیز حساسیت

فهرست مطالب

فصل ۱- کلیات..... ۱
۱-۱- زمینه تحقیق..... ۱
۱-۲- سوابق انجام تحقیق..... ۲
۱-۳- اهداف پروژه و شیوه انجام تحقیق..... ۵
۱-۴- فصل‌بندی..... ۶
فصل ۲- مقدمه ای بر شبکه های عصبی مصنوعی..... ۷
۲-۱- مقدمه..... ۷
۲-۲- انگیزه‌های بیولوژیکی..... ۸
۲-۳- تشابهات و انتظارات..... ۸
۲-۳-۱- تشابهات..... ۹
۲-۳-۲- انتظارات..... ۹
۲-۴- مدل ریاضی نرون..... ۹
۲-۴-۱- توابع محرک..... ۱۰
۲-۵- مراحل ساخت یک مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۱۱
۲-۶- فرایند یادگیری..... ۱۲
۲-۶-۱- آموزش با نظارت (مستقیم)..... ۱۲
۲-۶-۲- یادگیری تشدیدی (تقویتی)..... ۱۲
۲-۶-۳- یادگیری بدون نظارت..... ۱۳
۲-۷- ساختار شبکه‌های عصبی..... ۱۳
۲-۷-۱- شبکه های تک لایه..... ۱۳
۲-۷-۲- شبکه های چند لایه..... ۱۳
۲-۸- شبکه های چندلایه پروسپترون..... ۱۴
۲-۸-۱- روش پس انتشار خطا..... ۱۴
۲-۸-۲- سرعت یادگیری، روش لونبرگ- مارکوآت..... ۱۵
۲-۸-۳- توقف آموزش..... ۱۶
۲-۸-۴- نحوه ارائه داده های یادگیری..... ۱۶
۲-۸-۵- انتخاب مقادیر اولیه در شبکه..... ۱۶

۲-۸-۶- تعداد لایه‌ها و نرونهای میانی ۱۷
۲-۸-۷- توزیع داده های یادگیری ۱۸
۲-۸-۸- تعمیم ۱۹
۲-۸-۹- روش Cross validation ۱۹
۲-۹- شبکه عصبی- فازی (نروفازی) ۲۰
۲-۹-۱- سیستم یادگیری پس انتشار نروفازی (FBP) ۲۱
فصل ۳- آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع و تفسیر نتایج ۲۴
۳-۱- مقدمه ۲۴
۳-۲- روش های اعمال نیروی محوری ۲۵
۳-۲-۱- دستورالعمل بارگذاری استاندارد ۲۵
۳-۳- روشهای تامین عکس العمل برای اعمال بار محوری ۲۵
۳-۴- تفسیر نتایج آزمایش بارگذاری شمع ۲۷
۳-۴-۱- روش حدی دیویسون ۲۷
۳-۴-۲- روش برینچ – هانسن ۲۹
۳-۴-۳- روش حدی دبیر ۲۹
۳-۴-۴- روش قانون ۹۰ ٪ (۱۹۷۰) ۳۰
۳-۴-۵- روش BS 8004 (۱۹۸۶) ۳۰
۳-۴-۶- روش برون یابی دکورت ۳۰
۳-۴-۷- روش چین (۱۹۷۰) ۳۱
فصل ۴- عملیات آزمایشگاهی ۳۳
۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش ۳۴
۴-۲-۱- مخزن ساخت نمونه ۳۵
۴-۲-۲- بخش اعمال نیرو ۳۵
۴-۲-۳- اندازه گیری نیرو و نشست ۳۵
۴-۲-۴- لوله راهنما جهت کوبیدن شمع ۳۶
۴-۳- مصالح مورد آزمایش ۳۸
۴-۳-۱- ماسه ۳۸

۴-۳-۲- شمع ۳۹
۴-۴- نمونه سازی ۳۹
۴-۵- آزمایشهای انجام شده در جریان این تحقیق ۴۰
۴-۵-۱- آزمایش بارگذاری شمع ۴۰
۴-۵-۲- آزمایش بارگذاری صفحه PLT ۴۶
فصل ۵- شبکه های عصبی مصنوعی ۴۸
۵-۱- مقدمه ۴۸
۵-۲- پارامترهای ورودی و خروجی ۴۹
۵-۲-۱- پارامترهای ورودی ۴۹
۵-۲-۲- پارامتر خروجی ۴۹
۵-۳- تاثیر مقیاس بر روی دیتاها ۴۹
۵-۴- بانک اطلاعاتی ۵۱
۵-۴-۱- آزمایش‌های صحرایی ۵۱
۵-۴-۲- آزمایش های آزمایشگاهی ۵۹
۵-۵- شاخص های ارزیابی ۶۳
۵-۶- ساختار مدلها ۶۴
۵-۶-۱- شبکه MLP ۶۴
۵-۶-۲- شبکه نروفازی ۷۰
فصل ۶- آنالیز حساسیت ۷۳
۶-۱- مقدمه ۷۳
۶-۲- تحلیل نامعینی و آنالیز حساسیت ۷۴
۶-۳- حساسیت خروجی نسبت به ورودی در مدل رفتاری مبتنی بر شبکه MLP ۷۴
۶-۴- مشتق خروجی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه نسبت به ورودی ۷۴
۶-۴-۱- تحلیل نتایج و آنالیز حساسیت ۷۷
فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۱
۷-۱- نتیجه گیری ۸۲
۷-۲- پیشنهادات ۸۴
فهرست منابع و مراجع ۸۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ : ساختمان سلول های عصبی ۹
شکل ۲-۲: مدل ریاضی نرون ۱۰
شکل ۲-۳: تابع محرک خطی ۱۰
شکل ۲-۴: تابع محرک زیگموئید ۱۱
شکل ۲-۵: تابع تانژانت هیپربولیک ۱۱
شکل ۲-۶: مسیرهای رفت و برگشت در شبکه ۱۵
شکل ۲-۷: پدیده یادگیری کم، کافی و بیش از حد ۱۸
شکل ۲-۸: خطا برای مجموعه آموزشی و ارزیابی در یک شبکه ۲۰
شکل ۲-۹: شمایی از شبکه نروفازی ۲۱
شکل ۲-۱۰: انواع توابع عضویت شبکه های نروفازی ۲۲
شکل ۳-۱: بار به شمع توسط جک هیدرولیک و تامین عکس‌العمل بوسیله شمع‌های کششی ۲۶
شکل ۳-۲: شمای کلی از تامین عکس‌العمل بوسیله شمع‌های کششی ۲۶
شکل ۳-۳: اعمال بار به شمع توسط جک هیدرولیک و تامین عکس العمل بوسیله سربار ۲۷
شکل ۳-۴: تعیین بار گسیختگی بر اساس روش دیویسون ۲۸
شکل ۳-۵: تعیین بار نهایی شمع با استفاده از روش برینچ- هانسن ۲۹
شکل ۳-۶: مثالی از تخمین بار نهایی توسط روش DeBeer ۲۹
شکل ۳-۷: تعیین بار نهایی شمع با استفاده از روش قانون ۹۰ ٪ ۳۰
شکل ۳-۸: تخمین بار نهایی شمع توسط روش برون یابی دکورت ۳۱
شکل ۳-۹: نمونه‌ای از تفسیر منحنی بار - نشست شمع به وسیله چین ۳۲
شکل ۳-۱۰: مثالی از تفسیر منحنی بار - نشست شمع به وسیله چین ۳۲
شکل ۴-۱: دستگاه ظرفیت باربری ۳۴
شکل ۴-۲: مخزن ساخت نمونه ۳۵
شکل ۴-۳: مخزن، جک هیدرولیکی، حلقه نیروسنج و کرنش سنج ها ۳۶
شکل ۴-۴: لوله راهنما برای کوبیدن شمع ۳۷
شکل ۴-۵: نمای کلی از دستگاه ظرفیت باربری ۳۷
شکل ۴-۶: منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده ۳۹
شکل ۴-۷: نمونه منحنی بار- تغییر مکان شمع مورد آزمایش در آزمایشگاه (۵۰-۵۰-۳۲) ۴۴

شکل ۴-۸: تفسیر منحنی بار - نشست شمع ۵۰-۵۰-۳۲ به وسیله چین..... ۴۵
شکل ۴-۹: نمایی از دستگاه برای آزمایش بارگذاری صفحه..... ۴۶
شکل ۴-۱۰: نمودار بار- نشست مربوط به آزمایش بارگذاری صفحه در تراکم ۸۰ درصد..... ۴۷
شکل ۵-۱: موقعیت جغرافیایی مجتمع کشتی سازی و صنایع فراساحل ایران..... ۵۲
شکل ۵-۲: موقعیت کلی حوض خشک..... ۵۴
شکل ۵-۳: موقعیت گمانه‌های حفاری شده و موقعیت مقاطع زمین شناسی..... ۵۵
شکل ۵-۴: پروفیل زمین شناسی ترسیم شده در محل حوض خشک..... ۵۷
شکل ۵-۵: منحنی آموزش شبکه با ۶ نرون میانی..... ۵۹
شکل ۵-۶: خروجی حاصل از شبکه در برابر مقادیر هدف برای دیتاهای آموزشی با ۶ نرون میانی..... ۶۷
شکل ۵-۷: خروجی حاصل از شبکه در برابر مقادیر هدف برای دیتاهای ارزشیابی با ۶ نرون میانی..... ۶۷
شکل ۵-۸: خروجی حاصل از شبکه در برابر مقادیر هدف برای دیتاهای آزمایشی با ۶ نرون میانی..... ۶۸
شکل ۵-۹: خروجی حاصل از شبکه در برابر مقادیر هدف برای کل دیتاها با ۶ نرون میانی..... ۶۸
شکل ۵-۱۰: منحنی آموزش شبکه عصبی نروفازی با تابع عضویت زنگوله ای..... ۷۰
شک ۵-۱۱: مقایسه بین خروجی‌های شبکه و خروجی‌های مطلوب برای دیتاهای آموزشی..... ۷۱
شکل ۵-۱۲: مقایسه بین خروجی‌های شبکه و خروجی‌های مطلوب برای دیتاهای آزمایشی..... ۷۱
شکل ۶-۱: آنالیز حساسیت شبکه عصبی..... ۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱: مشخصات ماسه مورد استفاده درآزمایش ها (طبق استاندارد ASTM) ۳۸
جدول ۴-۲: مقایسه بین ظرفیت باربری آزمایش های بلند مدت و کوتاه مدت (بر حسب کیلوگرم)..... ۴۲
جدول ۴-۳: اطلاعات مربوط به بارگذاری شمع ۵۰-۵۰-۳۲ در آزمایشگاه..... ۴۴
جدول ۴-۴: بار وارده، تغییر مکان و مقادیر حاصل از تقسیم تغییر مکان بر بار متناظر آن برای آزمایش ۵۰-۵۰-۳۲..... ۴۵
جدول ۴-۵: مقادیر نشست مربوط به هر بار در آزمایش بارگذاری صفحه در تراکم ۸۰ درصد ۴۷
جدول ۵-۱: قوانین تاثیر مقیاس بر پارامترهای مختلف..... ۴۹
جدول ۵-۲: پارامترهای ورودی برای شمع با قطر ۳۲ میلی‌متر و طول ۴۵ سانتی‌متر قبل از اثر مقیاس ۵۰
جدول ۵-۳: پارامترهای ورودی برای شمع با قطر ۳۲ میلیمتر و طول ۴۵ سانتی متر بعد از اثر مقیاس(N=45)..... ۵۰
جدول ۵-۴: پارامترهای ورودی برای شمع با قطر ۳۲ میلیمتر و طول ۴۵ سانتی متر بعد از پردازش دیتاها..... ۵۱
جدول ۵-۵: مشخصات گمانه‌های حفاری شده..... ۵۳
جدول ۵-۶: بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق(آزمایش های صحرایی)..... ۵۹
جدول ۵-۷: بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق(آزمایش های آزمایشگاهی)..... ۶۱
جدول ۵-۸: مقایسه خطاها برای شبکه با تعداد نرون‌های مختلف در لایه پنهان برای دیتاهای ارزیابی.. ۶۶
جدول ۵-۹: مقایسه خطاها برای شبکه با تعداد نرون‌های مختلف در لایه پنهان برای مجموعه آموزشی و آزمایشی..... ۶۶
جدول ۵-۱۰: تاثیر توابع انتقال مختلف بر روی خطای شبکه برای داده های ارزشیابی ۶۹
جدول ۵-۱۱: تاثیر توابع انتقال مختلف بر روی خطای شبکه برای داده‌های آموزشی و آزمایشی ۶۹
جدول ۵-۱۲: شاخص‌های ارزیابی ساختار شبکه NF..... ۷۲
جدول ۶-۱: خصوصیات آماری حساسیت مطلق ظرفیت باربری نسبت به ورودی‌های مورد نظر..... ۷۷
جدول ۶-۲: مقادیر میانگین حساسیت نسبی ظرفیت باربری نسبت به ورودی های مورد نظر..... ۷۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- زمینه تحقیق

خصوصیات مهندسی سنگ و خاک، به واسطه فرایندهای پیچیده و متنوعی که در طول زمان کیفیت آنها را مورد تغییر و تحول قرار داده است بسیار متغیر، غیر قابل پیش بینی و غیر دقیق می‌باشد.

تفاوت عمده مهندسی ژئوتکنیک با سایر شاخه‌های مهندسی عمران، در همین عدم قطعیت‌های موجود در خواص مصالح به کار رفته در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. به عنوان مثال رفتار همگن و غیر قابل پیش‌بینی مصالحی چون فولاد و بتن دارای تفاوتی بنیادی با خواص مصالحی مانند خاک و سنگ می‌باشد. به منظور غلبه بر چنین مشکلاتی در درجه اول از فرمول‌ها و روابط ساده شده استفاده می‌شود و در گام بعدی از ضرایب اطمینان بالا سود می‌جوییم.

روش جایگزین دیگری که بر اساس داده‌ها و اطلاعات قبلی بوده و نیازی به ساده‌سازی و استفاده از ضرایب اطمینان بالا ندارد مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است.

۱-۲- سوابق انجام تحقیق

شبکه‌های عصبی در شاخه‌های مختلفی از مهندسی ژئوتکنیک به کار رفته‌اند. مروری بر مقالاتی که تا امروز در این زمینه به چاپ رسیده‌اند گویای این حقیقت است که موفقیت‌های زیادی در حال شکل گیری است و افق های وسیع‌تری نیز نمایان است. شاخه‌های متنوعی که تا امروز در ارتباط با شبکه‌های عصبی به کار رفته‌اند عبارتند از [۲]:

۱- پیش‌بینی ظرفیت شمع‌ها

۲- مدل‌سازی رفتار خاک‌ها

۳- سازه‌های نگهدارنده خاک

۴- نشست سازه‌ها

۵- پایداری شیروانی

۶- طراحی تونل‌ها و بازشوهای زیرزمینی

۷- روان‌گرایی

۸- متراکم سازی خاک

۹- تورم خاک

۱۰- طبقه بندی خاک‌ها

۱۱- پیش‌بینی پروفیل خاک‌ها

۱۲- تزریق در پی سدها

در ادامه به مطالعاتی که در مورد شمع‌ها صورت گرفته است، پرداخته خواهد شد.

گوه (Goh, 1995) برای پیش‌بینی ظرفیت باربری اصطکاکی شمع‌ها در خاک‌های رسی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. در این تحقیق طول و قطر شمع، تنش موثر متوسط و مقاومت برشی زهکشی نشده به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و مقاومت سطحی اصطکاکی به عنوان خروجی شبکه معرفی شده بود.

نتایج حاصل از شبکه با روش سمپل (Semple)، ریگدن (Rigden) و روش آلفا (α method) مقایسه شد و مشخص شد که شبکه‌های عصبی در مقایسه با روش های قدیمی‌تر پاسخ‌های بهتری ارائه می‌دهند.

گوه در سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۶ در تحقیقی دیگر، شبکه عصبی دیگری را برای تعیین ظرفیت نهایی شمع‌ها در خاک‌های بدون چسبندگی ارائه کرد. در این مطالعه داده‌های مورد استفاده از نتایج آزمایش‌های بارگذاری واقعی بر روی شمع‌های فلزی و بتنی پیش تنیده بود که درون خاک‌های ماسه‌ای

کوبیده شده بودند. هنگامی که مدل توسط مجموعه آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت ملاحظه شد که شبکه به خوبی توانایی مدل‌سازی ظرفیت باربری شمع را دارد. با سنجش وزن‌های سیناپتیکی (وزن‌های اتصالی)، مشخص شد که عامل‌های ورودی اصلی وزن و نوع چکش می‌باشند.[21]

ابوکیفا (Abu-keifa, 1998)، سه مدل شبکه عصبی (به نام‌های GRNNM3، GRNNM2، GRNNM1) برای تعیین ظرفیت شمع‌های کوبشی در خاک‌های بدون چسبندگی ارائه کرد. مدل اول برای تخمین ظرفیت باربری کل شمع، مدل دوم برای تخمین ظرفیت نوک شمع و مدل سوم برای تخمین ظرفیت جانبی شمع به کار برده شد. نتایج حاصل از این تحقیق با چهار روش مایرهوف (Meyerhof, 1976)، کویل و کاستلو (Coyle and Castello, 1981)، موسسه نفت آمریکا (API, 1984) و راندولف (Rondolph, 1985). مقایسه شدند. نتایج پیش بینی، عدد ۰/۹۵ را برای ضریب همبستگی (Coefficient of Correlation) به روش شبکه‌های عصبی ارائه می‌کرد حال آن که این عدد برای ۴ روش دیگر معرفی شده در این پاراگراف، در محدوده ۰/۵۲ و ۰/۶۳ قرار می‌گرفت[۹].

ته (Teh, 1997) و همکاران شبکه‌ای را برای تخمین ظرفیت استاتیکی شمع‌ها که توسط داده‌های امواج تنشی دینامیکی محاسبه شده بود برای شمع‌هایی با مقطع مربع ساخته شده از بتن پیش‌تنیده ارائه دادند. شبکه عصبی مجموعه داده‌های آموزشی را به صورت کاملی فراگرفت و توانایی پیش‌بینی ظرفیت نهایی شمع را با خطای مجذور میانگین مربع کوچکتر از ۰/۰۰۰۳ داشت[۹].

هانا (Hanna, 2004)، شبکه‌های عصبی را برای تعیین راندمان گروه شمع در خاک غیر چسبنده مورد استفاده قرار داد. چندین شاخص استاتیکی مثلR، MAE، RMSE و خطای درصد میانگین(در فصل پنجم این شاخص ها به طور مفصل شرح داده شده اند)، برای ارزیابی دقت مدل توسعه یافته محاسبه شدند. مقادیر زیاد برای R (۰/۸۵۰) و مقادیر کم MAE (۰/۱۵۷)، RMSE (۰/۲۳۲) و خطای درصد میانگین (۱۳٪) نشان از دقت بالای مدل شبکه عصبی مورد استفاده است.[18]

لی و لی (Lee & Lee, 1995) شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی ظرفیت باربری شمع‌ها به کار بردند. برای ارزیابی عملکرد شبکه از اطلاعات حاصل از آزمایش‌های درجا و نتایج حاصل از تست مدل شمع در محفظه کالیبراسیون در آزمایشگاه استفاده شد. در این تحقیق ۳ پارامتر نسبت عمق نفوذ، میانگین تنش نرمال محفظه کالیبراسیون، و تعداد ضربات به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شدند. مدل سازی برای آزمایشات درجا و نتایج حاصل از تست مدل به صورت جداگانه انجام شد. برای آزمایش های درجا، خطای ماکزیمم کمتر از ۲۰ درصد و خطای میانگین مجموع مربعات کمتر از ۱۵ درصد بدست آمد. همچنین برای ارزیابی شبکه برای پیش بینی نتایج حاصل از تست مدل، نتایج شبکه با روش

مایرهوف مقایسه شد و مشخص شد که نتایج حاصل از شبکه عصبی نسبت به نتایج حاصل از معادله مایرهوف دارای پراکندگی بسیار کمتری هستند.[28]

کومار (Kumar, 2006) شبکه‌های عصبی را برای تعیین ظرفیت باربری جانبی شمع‌ها در رس به کار برد. برای این کار شبکه عصبی Feed- Forward با ساختار چند لایه توسعه داده شد و توزیع خطا نیز با روش پس‌انتشار خطا صورت گرفت. شبکه دارای ۴ ورودی : قطر شمع(D)، طول شمع(L)، خروج از مرکزیت بار(e) و مقاومت برشی زهکشی نشده خاک(Su) بود. شبکه به ازای تعداد نرون‌های مختلف در لایه میانی تست شد و به ازای ۲ نرون میانی در لایه پنهان، کمترین خطای جذر مجموع مربعات برابر۹/۳۴ حاصل شد که در مقایسه با روش Hansen و روش Broms، دارای پراکندگی خیلی کمتری است.[39]

کامبکار (Kambekar, 2003) از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی شکل آب‌شستگی در محل‌هایی که گروه شمع قرار دارند، استفاده کرد. در این تحقیق از اطلاعات مربوط به مطالعات انجام گرفته در مورد تخمین عمق آبشستگی برای گروه شمع که در یک اسکله در ساحل ژاپن صورت گرفته است، استفاده شده است. شبکه به کار رفته در این تحقیق از نوع Feed-Forward می‌باشد که برای آموزش آن از روش Back-Propagation استفاده شده است. شبکه از ۴ ورودی ارتفاع موج (H)، پریود امواج (T)، ارتفاع آب (d)، قطر شمع (D) تشکیل شده بود و خروجی آن عمق آب شستگی بدون بعد (S/D)، درنظرگرفته شده بود. خروجی حاصل از شبکه از دقت بالایی برخوردار بوده و بسیار نزدیک به مقادیر هدف بود.[20]

قهرمانی، پیمان (۱۳۸۸) از روش طراحی آزمایشات تاگوچی برای پیش بینی ظرفیت باربری شمع ها استفاده کرد. در این تحقیق برای انجام مدلسازی عددی از نرم افزار المان محدود PLAXIS استفاده شد. بر طبق روش تاگوچی که یکی از روش های فاکتوریلی جزئی می‌باشد، ترکیبات مشخصی از سطوح هر یک از فاکتورهای تعیین شده در قالب طراحی آزمایشات (DOE)، ایجاد می‌شود. در این تحقیق ۶ فاکتور عمده موثر در نتایج تحلیل های عددی آزمایش های بارگذاری شمع در نظر گرفته شده اند. با توجه به بررسی های انجام شده، فاکتور دانسیته مش مدل الامان محدود و همچنین چسبندگی خاک از بیشترین اهمیت نسبی و همچنین نسبت پواسون دارای کمترین تاثیر می‌باشند. همچنین شرایط بهینه پیشنهادی توسط روش تاگوچی، مطابقت بسیار خوبی را با آزمایش تایید در شرایط بهینه از خود نشان داد.[۱۲]

۱-۳- اهداف پروژه و شیوه انجام تحقیق

از آنجایی که روابط ارائه شده جهت تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها همگی تقریبی بوده و بعضاً از روش‌های مختلف مقادیر متفاوتی برای مقدار ظرفیت باربری بدست می‌آید، همچنین نظر به تقریب‌ها و خطاهای زیادی که در تعیین متغیرهای مکانیکی خاک وجود دارد، اعم از نحوه نمونه‌گیری خاک در محل و نیز روش انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، آزمایش بارگذاری شمع قابل قبول‌ترین روش برای تعیین ظرفیت باربری شمع ها می‌باشد.

از طرفی، آزمایش بارگذاری شمع با وجود دقت بالا، هزینه های زیاد و زمان انجام طولانی را برای پروژه های عمرانی تحمیل می کند و همین مساله باعث ایجاد محدودیت هایی در انجام این آزمایش می شود. بدین ترتیب پذیرش تحلیل های عددی در مسائل ژئوتکنیکی به تدریج در حال افزایش می باشد. در این میان مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی روشی است که بر اساس داده‌ها و اطلاعات قبلی بوده و نیازی به ساده‌سازی و استفاده از ضرایب اطمینان بالا ندارد.

از آنجا که در رابطه با تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها در ایران کاربردی از شبکه عصبی مصنوعی مشاهده نشده است و با توجه به این که در مطالعات صورت گرفته پیشین، شبکه‌های عصبی ایجاد شده برای آزمایشات درجا و آزمایشگاهی به صورت مجزا بوده، هدف از این تحقیق یافتن شبکه‌ای است که بتواند نتایج حاصل از آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی را با دقت مناسب‌تری پیش بینی کند.

با توجه به این که آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی نیازمند استفاده از نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های واقعی شمع‌ها می‌باشد، به همین منظور و با توجه به دقت آزمایش‌های بارگذاری شمع و قابل قبول بودن نتایج حاصله، از داده‌های واقعی ظرفیت باربری شمع‌های انجام گرفته در مرحله مطالعات ژئوتکنیک حوض خشک منطقه هرمزگان، استفاده می‌شود. ولی از آنجایی که تعداد تست‌های واقعی صورت گرفته محدود بوده و از طرف دیگر برای آموزش شبکه نیاز به داده‌های زیادی داریم، برای تکمیل اطلاعات نیاز به انجام آزمایش‌های متعدد در آزمایشگاه می‌باشد. برای این کار، در این تحقیق از دستگاه تعیین ظرفیت باربری در ابعاد بزرگ که در دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده است استفاده می شود. این دستگاه به طور کلی دارای یک محفظه برای قراردادن نمونه (خاک) به ابعاد ۱ متر در۱ متر و به ارتفاع ۰/۸۵ متر و یک گیج برای اندازه گیری نیروی وارده که نشان‌دهنده ظرفیت باربری کلی شمع قائم است، می‌باشد. شمع‌های فولادی که درون خاک کوبیده می‌شوند در این تحقیق به کار می‌روند.

روش تحقیق ابتدا با بررسی انواع شبکه‌های عصبی مختلف از قبیل MLP، نروفازی و انواع معماری های شبکه‌های MLP برای رسیدن به مناسب‌ترین معماری شبکه و همچنین آموزش شبکه جهت کمینه کردن خطای حاصله از نتایج شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ظرفیت باربری شمع آغاز می‌شود.

سپس از شبکه عصبی و آنالیز حساسیت برای تفسیر منحنی حاصله از پیش‌بینی‌ها و تعیین تاثیر پارامترهای مختلف خاک و شمع استفاده می‌شود.

۱-۴- فصل‌بندی

در فصل اول تلاش شد تا اهداف پروژه و چگونگی نیل به آن تشریح گردد.

در فصل دوم بعد از بحثی مختصر بر روی تئوری شبکه‌های عصبی، شبکه پرسپترون چند لایه (Multi Layer Perceptron)، روش آموزش مورد استفاده و چگونگی تنظیم پارامترهای شبکه در این روش و روش توقف آموزشی که در این تحقیق مورد استفاده بوده است، به تفصیل مورد مطالعه قرار می-گیرد.

در فصل سوم به بیان روش‌های مختلف انجام آزمایش بارگذاری شمع، تفسیر نتایج و همچنین معیارهای گسیختگی شمع پرداخته می‌شود. در این فصل روش‌های مختلف تفسیر منحنی بار- تغییر مکان شمع و تعیین بار نهایی آن در حالتی که شمع به بار نهایی خود می‌رسد و همچنین در شرایطی که حداکثر بار وارده بر شمع از مقدار بار نهایی آن کمتر است، ارائه می‌شود.

در فصل چهارم به چگونگی انجام آزمایش‌های بعمل آمده در جریان این تحقیق پرداخته می‌شود.

معرفی مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق از نظر داده‌های ورودی و خروجی، بانک اطلاعاتی استفاده‌شده، چگونگی آموزش شبکه و آماده‌سازی داده‌ها، انتخاب تعداد نرون‌های میانی، خروجی و توابع فعالیت مناسب در فصل پنجم مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مدل مناسب برای پیش‌بینی ظرفیت باربری شمع ها ارائه می‌شود.

فصل ششم به آنالیز حساسیت بر روی ساختار بهینه شبکه عصبی می‌پردازد. در این فصل سعی شده تا میزان و چگونگی تاثیر هر پارامتر ورودی، روی خروجی شبکه مورد بررسی قرار گیرد.

در فصل هفتم به جمع‌بندی نتایج فصل‌های قبل پرداخته می‌شود. در آخر نیز پیشنهاداتی جهت تحقیقات آتی ارائه شده است.