به نام خدا

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/ رساله دکتری نگارنده در رشته عمران، گرایش خاک و پی است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر شهاب‌الدین یثربی، مشاوره جناب آقای دکتر علی کمک‌پناه 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 رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت 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 بهادر بابایی دانشجوی رشته عمران، گرایش خاک و پی مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: بهادر بابایی

تاریخ و امضا: ۸۸/۶/۹

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
گروه مهندسی عمران، گرایش خاک و پی

کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی و تفسیر نتایج آزمایش بارگذاری صفحه در خاک‌های ریزدانه

بهادر بابایی

استاد راهنما:
دکتر سید شهاب‌الدین یثربی

استاد مشاور:
دکتر علی کمک‌پناه

بهار ۱۳۸۸

تقدیم به تمام کسانی که در انجام این تحقیق مرا یاری نموده‌اند.

چکیده:

در سال‌های اخیر، مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در بسیاری از مسائل مهندسی ژئوتکنیک با موفقیت به کار برده شده‌اند. در این تحقیق از دو نوع از شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و شبکه نوروفازی جهت ارائه مدلی به منظور پیش‌بینی نتایج آزمایش بارگذاری صفحه بر روی خاک‌های ریزدانه استفاده شده است

مدول عکس‌العمل بستر یک رابطه مفهومی بین فشار خاک و جابجایی آن است که به طور گسترده در تحلیل‌های سازه‌ای اعضای فنداسیون به کار برده می‌شوند. همچنین ظرفیت باربری عامل تعیین کننده‌ای در طراحی شالوده‌ها به شمار می‌رود. آزمایش برجای بارگذاری صفحه روش مناسبی جهت تعیین این دو خصوصیت می‌باشند.

به منظور ارائه مدل مناسب جهت پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر و ظرفیت باربری از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه بر روی خاک‌های ریزدانه، خصوصیاتی از قبیل دانسیته خشک، رطوبت طبیعی، حد روانی، شاخص خمیری و درصد ریزدانه به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شده است. به منظور یافتن مدل بهینه شبکه عصبی چند لایه پرسپترون، از روش خوشه‌بندی فازی برای تقسیم داده‌ها استفاده شده است و انواع ساختارهای ممکن مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در نهایت شبکه‌ای با یک لایه پنهان دارای ۱۳ نورون به عنوان موفق‌ترین شبکه در پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر و شبکه با یک لایه پنهان دارای ۱۱ نورون به عنوان موفق‌ترین شبکه در پیش‌بینی ظرفیت باربری خاک انتخاب شده است. همچنین از شبکه‌های نروفازی، به منظور استفاده از شبکه‌ای دیگر به عنوان شاهد، استفاده شده است. انواع توابع عضویت در لایه ورودی و خروجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. عملکرد شبکه‌های نروفازی بهینه مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت شبکه‌ای با ۲ تابع عضویت برای هر کدام از پارامترهای ورودی به منظور پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر و ظرفیت باربری انتخاب شده است. در ادامه این تحقیق، تحلیل نامعینی و حساسیت به منظور بیان اثر پارامترهای ورودی بر خروجی مدل‌های شبکه عصبی انجام شده است. نتایج نشان داده‌اند که هر دو شبکه عصبی چندلایه پرسپترون و

نروفازی روش‌های مناسبی جهت پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر و ظرفیت باربری خاک‌های ریزدانه می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های عصبی مصنوعی، پرسپترون چند لایه، نوروفازی، ضریب عکس‌العمل بستر، ظرفیت باربری نهایی، آزمایش بارگذاری صفحه، آنالیز حساسیت، خاک‌های ریزدانه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ

فهرست جدول‌ها ..... خ

فهرست شکل‌ها ..... ذ

فصل اول ۱

۱- ۱ پیشگفتار ۲

۱- ۲ فصول مختلف پایان‌نامه ٤

فصل دوم ٥

۲- ۱ مقدمه ٦

۲- ۲ تعریف شبکه عصبی ۷

۲- ۳ چرا شبکه عصبی؟ ۹

۲-۳-۱ ویژگی‌های شبکه‌های عصبی ۹

۲-۳-۲ کاربردهای شبکه‌های عصبی ۱۲

۲- ۴ تاریخچه شبکه‌های عصبی ۱٤

۲- ۵ از نورون بیولوژیکی تا شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۸

۲-۵- ۱ نورون بیولوژیکی ۱۸

۲-۵- ۲ مدل ریاضی نورون ۲۲

۲-۵-۲- ۱ مدل تک ورودی ۲۲

۲-۵-۲- ۲ مدل چند ورودی ۲۳
۲-۵- ۳ توابع انتقال ۲٤
۲-۵- ۴ ساختار شبکه‌های عصبی ۲٥
۲-۵- ۴- ۱ شبکه تک لایه ۲٦
۲-۵- ۴- ۲ شبکه چند لایه ۲٦
۲- ۶ انواع شبکه‌های عصبی ۲۷
۲- ۷ یادگیری شبکه ۲۹
۲- ۸ شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) ۳۱
۲-۸- ۱ روش پس‌انتشار خطا ۳۲
۲-۸- ۲ تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌ها در هر لایه ۳۲
۲-۸- ۳ تعداد داده‌های یادگیری ۳۳
۲-۸- ۴ توزیع داده‌های یادگیری ۳۳
۲-۸- ۵ تعمیم ۳٤
۲- ۹ شبکه عصبی- فازی (نروفازی) ۳٥
۲- ۱۰ مروری بر کاربرد شبکه عصبی در مهندسی ژئوتکنیک ۳۷
۲- ۱۰- ۱ ظرفیت باربری شمع‌ها ۳۷
۲- ۱۰- ۲ تخمین مقاومت برشی غیراشباع ٤۰
۲- ۱۰- ۳ نشست فنداسیون‌ها ٤۰
۲- ۱۰- ۴ رفتار و خصوصیات خاک ٤۱

۲- ۱۰- ۵ خاک‌های رمبنده ٤٣
۲- ۱۰- ۶ خاک‌های متورم شونده ٤٣
۲- ۱۰- ۷ روانگرایی ٤٤
۲- ۱۰- ۸ خصوصیات محل ٤٦
۲- ۱۰- ۹ سازه‌های نگهبان خاکی ٤٦
۲- ۱۰- ۱۰ پایداری شیروانی ٤٧
۲- ۱۰- ۱۱ تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی ٤٧
۲- ۱۰- ۱۲ نشست سطح زمین ٤٨
۲- ۱۰- ۱۳ زمین لغزه ٤٨
۲- ۱۰- ۱۴ آزمایش پرسیومتری ٤٩
۲- ۱۱ نتیجه‌گیری ٤٩
فصل سوم ٥١
۳- ۱ مقدمه ٥٢
۳- ۲ اهمیت ضریب عکس‌العمل بستر در محاسبات مکانیک خاک و پی ٥٢
۳-۲- ۱ ضریب عکس‌العمل بستر ٥٣
۳-۲- ۲ روش‌های صلب در طراحی پی‌های گسترده ٥٣
۳-۲- ۳ روش‌های غیر صلب در طراحی پی‌های گسترده ٥٤
۳- ۳ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر ٥٧

۳- ۳- ۱ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه ۵۸
۳- ۳- ۲ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از آزمایش تحکیم ۵۸
۳- ۳- ۳ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از آزمایش CBR ۵۹
۳- ۳- ۴ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از پارامترهای الاستیک خاک ۶۰
۳- ۳- ۵ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از ظرفیت باربری خاک ۶۰
۳- ۳- ۶ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر با استفاده از عدد SPT ۶۰
۳- ۴ عوامل موثر بر ضریب عکس‌العمل بستر ۶۱
۳- ۵ آزمایش بارگذاری صفحه ۶۴
۳- ۵- ۱ تجهیزات مورد استفاده ۶۵
۳-۵- ۲ انواع آزمایشات بارگذاری صفحه ۶۷
۳- ۵-۲- ۱ روش بار ثابت و نرخ نشست ۶۷
۳- ۵-۲- ۲ روش بار و بازه زمانی ثابت ۷۰
۳- ۵-۲- ۳ روش نرخ نفوذ ثابت ۷۱
۳- ۵-۲- ۴ آزمایش بارگذاری چرخه‌ای ۷۲
۳- ۵- ۳ تعیین پارامترها و خصوصیات خاک با استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه ۷۵
۳-۵-۳- ۱ تعیین ضریب عکس‌العمل بستر از نتیجه آزمایش بارگذاری صفحه ۷۵
۳-۵-۳- ۲ تعیین مدول الاستیک خاک ۷۶
۳-۵-۳- ۳ محاسبات نشست ۷۸

۳-۵-۳- ۴ تعیین ظرفیت باربری نهایی ۷۸
۳- ۶ بانک داده‌ها ۸۱
فصل چهارم ۹۰
۴- ۱ مقدمه ۹۱
۴- ۲ پیش‌پردازش داده‌ها ۹۱
۴-۲- ۱ مقیاس‌دهی داده‌ها ۹۱
۴-۲- ۲ خوشه‌بندی فازی ۹۲
۴- ۳ ساختار شبکه عصبی ۹٤
۴-۳- ۱ الگوریتم یادگیری ۹٦
۴-۳- ۲ شاخص‌های ارزیابی ۹۷
۴-۳- ۳ انتخاب تعداد نورون لایه(های) پنهان ۹۸
۴- ۴ شبکه عصبی- فازی (نروفازی) به کار رفته ۱۱۷
۴- ۴- ۱ سیستم یادگیری پس‌انتشار نروفازی ۱۱۹
۴- ۴- ۲ مدل شبکه نروفازی مناسب ۱۲۰
۴- ۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲٤
فصل پنجم ۱۲٦
۵- ۱ مقدمه ۱۲۷
۵- ۲ آنالیز نامعینی و حساسیت ۱۲۸

۵- ۲- ۱ مشتق خروجی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه نسبت به ورودی ۱۳۱
۵- ۲- ۲ حساسیت درجه اول خروجی نسبت و ورودی ۱۳۳
۵- ۲- ۳ پراکندگی مشتق خروجی نسبت به ورودی ۱۳۵
۵- ۳ تحلیل نتایج آنالیز حساسیت ۱۳۸
۵- ۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۴۰
فصل ششم ۱۴۱
۶- ۱ نتیجه‌گیری ۱۴۲
۶- ۲ پیشنهادات ۱۴۵
مراجع ۱۴۶
ضمیمه الف- آموزش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه ۱۴۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲ -۱ انواع موجود شبکه‌های عصبی مصنوعی ۲۸

جدول ۲ -۲ تقسیم‌بندی شبکه‌های عصبی بر اساس روش یادگیری ۲۸

جدول ۲- ۳ تقسیم‌بندی شبکه‌های عصبی بر اساس شکلی دیگر از تقسیم‌بندی روش یادگیری ۲۹

جدول ۲- ۴ تقسیم‌بندی شبکه‌های عصبی بر اساس کاربرد ۲۹

جدول ۲- ۵ تقسیم‌بندی شبکه‌های عصبی بر اساس ساختار ۲۹

جدول ۲- ۶ خلاصه‌ای از ضرایب همبستگی و نرخ خطا برای ظرفیت اصطکاکی شمع ۳۸

جدول ۲- ۷ نتایج تحلیل‌های آماری مدل پیش‌بینی ظرفیت باربری شمع ۳۸

جدول ۲- ۸ مقایسه بین نشست‌های پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده ٤۱

جدول ۳- ۱ ابعاد صفحات مربعی مورد استفاده در آزمایش بارگذاری صفحه ٦٥

جدول ۳- ۲ ابعاد صفحات دایره‌ای مورد استفاده در آزمایش بارگذاری صفحه ٦٥

جدول ۳- ۳ مقادیر ضریب شکل برای پی‌های مربعی و مستطیلی ۷۷

جدول ۳- ۴ محدوده تغییرات و مشخصات آماری داده‌های جمع‌آوری شده ۸۲

جدول ۳- ۵ بانک اطلاعات مورد استفاده برای آموزش شبکه ۸٤

جدول ۴- ۱ مشخصات آماری مجموعه‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست در پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر **۹۵**

جدول ۴- ۲ مشخصات آماری مجموعه‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست در پیش‌بینی ظرفیت باربری ۹۵

جدول ۴- ۳ نتایج عملکرد شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان به منظور انتخاب ساختار بهینه در پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر ۱۰۱

جدول ۴- ۴ نتایج عملکرد شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان به منظور انتخاب ساختار بهینه در پیش‌بینی ظرفیت باربری ۱۰۲

جدول ۴- ۵ نتایج عملکرد شبکه‌های عصبی با دو لایه پنهان به منظور انتخاب ساختار بهینه در پیش‌بینی ضریب عکسالعمل بستر ۱۰۲

جدول ۴- ۶ نتایج عملکرد شبکه‌های عصبی با دو لایه پنهان به منظور انتخاب ساختار بهینه در پیشبینی ظرفیت باربری ۱۰۳

جدول ۴- ۷ شاخص‌های خطای شبکه‌های MLP_I13 و MLP_I10 ..... ۱۱۱

جدول ۴ -۹ شاخص‌های خطای شبکه‌های MLP_II14 و MLP_II16 ..... ۱۱۳

جدول ۴- ۱۰ شاخص‌های خطای شبکه‌های MLP_QQ8 و MLP_QQ14 ..... ۱۱۴

جدول ۴ -۱۱ شاخص‌های خطای شبکه‌های نروفازی در پیش‌بینی ضریب عکس‌العمل بستر ۱۲۱

جدول ۴ -۱۲ شاخص‌های خطای شبکه‌های نروفازی در پیش‌بینی ظرفیت باربری ۱۲۱

جدول ۵ -۱ نتایج به دست آمده از آنالیز نامعینی شبکه MLP_I13 ..... ۱۳۰

جدول ۵ -۲ نتایج به دست آمده از آنالیز نامعینی شبکه MLP_Q11 ..... ۱۳۰

جدول ۵- ۳ مقادیر مشتق و شاخص‌های حساسیت شبکه MLP_I13 ..... ۱۳٤

جدول ۵- ۴ مقادیر مشتق و شاخص‌های حساسیت شبکه MLP_Q11 ..... ۱۳۵

جدول ۵- ۵ مقادیر میانگین حساسیت نسبی خروجی شبکه MLP_I13 نسبت به ورودی‌های مورد نظر ۱۳۷

جدول ۵- ۵ مقادیر میانگین حساسیت نسبی خروجی شبکه MLP_Q11 نسبت به ورودی‌های مورد نظر ۱۳۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱ ساختمان نورون، واحد سازنده شبکه عصبی انسان ۱۹

شکل ۲- ۲ دیاگرام بلوکی عملکرد شبکه عصبی انسان ۲۰

شکل ۲- ۳ سلسله مراتب سطوح مختلف بخش‌های مغز ۲۱

شکل ۲- ۴ مدل نورون تک ورودی ۲۳

شکل ۲- ۵ مدل چند ورودی یک نورون ۲٤

شکل ۲- ۶ تابع محرک زیگموید ۲۵

شکل ۲-۷ تابع تانژانت هیپربولیک ۲۵

شکل ۲- ۸ فرم ساده و فشرده یا ماتریسی شبکه تک لایه با S نورون ۲٦

شکل ۲- ۹ شکل ساده شبکه پیشخور سه لایه ۲۷

شکل ۲- ۱۰ شکل فشرده شبکه پیشخور سه لایه ۲۷

شکل ۲- ۱۱ یادگیری با ناظر ۳۰

شکل ۲- ۱۲ انواع توابع عضویت شبکه‌های نروفازی ۳٦

شکل ۲- ۱۳ شمایی از شبکه نروفازی ۳٦

شکل ۳- ۱ بستری از فنرهای با سختی Ks برای مدلسازی اندرکنش خاک- سازه در پی‌های گسترده ۵۳

شکل ۳- ۲ مقایسه مدل وینکلر (سمت چپ) و حالت واقعی (سمت راست) ۵٤

شکل ۳- ۳ روش مزدوج برای مدلسازی اندرکنش خاک- سازه در پی‌های گسترده ۵٤

شکل ۳- ۴ تقسیم سطح پی گسترده به قسمت‌هایی با سختی مختلف برای تحلیل شبه مزدوج ۵٦

شکل ۳- ۵ تصویری از صفحه بارگذاری دایرهای به قطر ۳۰ سانتیمتر ٦٦
شکل ۳- ۶ تصویری از چاهک آزمایش ٦٦
شکل ۳- ۷ تصاویری از بارگذاری ٦٨
شکل ۳- ۸ تصاویری از ابزار بارگذاری و جایگیری آنها ٦٨
شکل ۳- ۹ تعیین نقطه شکستگی (ظرفیت باربری نهایی) به روش دو مماس ٦٩
شکل ۳- ۱۰ تعیین نقطه شکستگی (ظرفیت باربری نهایی) به روش log-log ٧٠
شکل ۳- ۱۱ تعیین ظرفیت باربری آزمایش بارگذاری صفحه به روش بار و بازه زمانی ثابت ٧١
شکل ۳- ۱۲ نمونهای از منحنی فشار در مقابل درصد نشست به قطر صفحه، بدست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه CRP ٧٣
شکل ۳- ۱۳ نمونه نمودار فشار- نشست و فشار- بازگشت ٧٤
شکل ۳- ۱۴ نمونه نمودار فشار- نشست الاستیک ٧٥
شکل ۳- ۱۵ روشهای رایج برای محاسبه ضریب عکسالعمل بستر از منحنی فشار- نشست به دست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه ٧٥
شکل ۳- ۱۶ منحنیهای فاکتور تصحیح عمق استقرار پی برای ضرایب پواسن مختلف ٧٨
شکل ۳- ۱۷ چهار روش بحث شده توسط لونگر و آدامز (۱۹۹۸) برای تعیین ظرفیت باربری نهایی از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه ٨١
شکل ۳- ۱۸ نمونهای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان گلستان و نحوه به دست آوردن ضریب عکسالعمل بستر ٨٧
شکل ۳- ۱۹ نمونهای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان قزوین و نحوه به دست آوردن ضریب عکسالعمل بستر ٨٧

شکل ۳- ۲۰ نمونه‌ای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان کهکیلویه و بویراحمد و نحوه به دست آوردن ضریب عکس‌العمل بستر ۸۸

شکل ۳- ۲۱ نمونه‌ای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان خراسان و نحوه به دست آوردن ضریب عکس‌العمل بستر ۸۸

شکل ۳- ۲۲ نمونه‌ای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان آذربایجان شرقی و نحوه به دست آوردن ضریب عکس‌العمل بستر ۸۹

شکل ۳- ۲۳ نمونه‌ای از منحنی فشار- نشست آزمایش بارگذاری صفحه انجام شده در استان تهران (قسمتهای جنوبی) و نحوه به دست آوردن ضریب عکس‌العمل بستر ۸۹

شکل ۴- ۱ تغییرات جذر شاخص عملکرد مجموعه اعتبارسنجی در مقابل تعداد نورون لایه میانی برای شبکه‌های با یک لایه پنهان در پیشبیتی ضریب عکسالعمل بستر..... ۱۰۳

شکل ۴- ۲ تغییرات جذر شاخص عملکرد مجموعه اعتبارسنجی در مقابل تعداد نورون لایه‌های میانی برای شبکه‌های با دو لایه پنهان در پیشبیتی ضریب عکسالعمل بستر ۱۰۴

شکل ۴- ۳ منحنی آموزش شبکه عصبی با دو لایه پنهان به ترتیب با ۱۲ و ۱۰ نورون در لایه پنهان اول و دوم..... ۱۰۶

شکل ۴- ۴ منحنی آموزش شبکه عصبی با یک لایه پنهان، با ۱۰ نورون ۱۰۶

شکل ۴- ۵ منحنی آموزش شبکه MLP_I13..... ۱۰۷

شکل ۴- ۶ منحنی آموزش شبکه MLP_I10..... ۱۰۷

شکل ۴- ۷ منحنی آموزش شبکه MLP_Q11..... ۱۰۸

شکل ۴- ۸ منحنی آموزش شبکه MLP_Q17..... ۱۰۸

شکل ۴- ۹ منحنی آموزش شبکه MLP_II14..... ۱۰۹

شکل ۴- ۱۰ منحنی آموزش شبکه MLP_II16 ..... ۱۰۹
شکل ۴- ۱۱ منحنی آموزش شبکه MLP_QQ8 ..... ۱۱۰
شکل ۴- ۱۲ منحنی آموزش شبکه MLP_QQ14 ..... ۱۱۰
شکل ۴- ۱۳ منحنی آموزش شبکه MLP_I13 ..... ۱۱۶
شکل ۴- ۱۴ منحنی آموزش شبکه MLP_Q11 ..... ۱۱۷
شکل ۴- ۱۵ شمایی از شبکه نروفازی ۱۱۹
شکل ۴- ۱۶ تابع اشباع به کار رفته در آپدیت وزنهای شبکه نوروفازی ۱۲۰
شکل ۴- ۱۷ منحنی آموزش شبکه نروفازی NF1 با تابع عضویت پی ۱۲۲
شکل ۴- ۱۸ منحنی آموزش شبکه نروفازی NF-Q1 با تابع عضویت پی ۱۲۲
شکل ۴- ۱۹ نمودار نقطه دادههای پیشبینی شبکه NF1 در مقابل دادههای آموزش ۱۲۳
شکل ۴- ۲۰ نمودار نقطه دادههای پیشبینی شبکه NF1 در مقابل دادههای تست ۱۲۳
شکل ۴- ۲۱ نمودار نقطه دادههای پیشبینی شبکه NF-Q1 در مقابل دادههای آموزش ۱۲۳
شکل ۴- ۲۲ نمودار نقطه دادههای پیشبینی شبکه NF-Q1 در مقابل دادههای تست ۱۲۴
شکل ۵- ۱ نمودار فراوانی نمونههای ایجاد شده بر اساس تحلیل مونت کارلو ۱۳۱
شکل ۵- ۲ آنالیز حساسیت خروجی شبکه MLP_I13 بر اثر تغییر ورودیها به ازای ۲۵٪ تغییرات آن ۱۳۷
شکل ۵- ۳ آنالیز حساسیت خروجی شبکه MLP_Q11 بر اثر تغییر ورودیها به ازای ۲۵٪ تغییرات آن ۱۳۷

فصل اول

کلیات