





دانشگاه سیستان و بلوچستان

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان:

کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی رفتار
لرزه‌ای قاب‌های بتنی با تاثیر میانقاب‌های بنایی

استاد راهنما:

دکتر محمود میری

تحقیق و نگارش:

ایمان کاملی خوزانی

(این پایان نامه از حمایت مالی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)




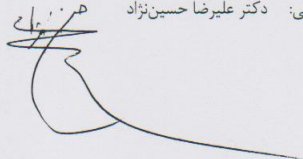
اسفند ۱۳۸۹

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی با تاثیر میانقاب‌های بنایی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد سازه توسط دانشجو ایمان کاملی خوزانی با راهنمایی استاد پایان نامه دکتر محمود میری تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

ایمان کاملی خوزانی

این پایان نامه ... واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ توسط هیئت داوران بررسی و درجه ... به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر محمود میری		
داور ۱: دکتر مهدی اژدری مقدم		
داور ۲: دکتر غلامحسین اکبری		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر علیرضا حسین‌نژاد		



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ایمان کاملی خوزانی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

ایمان کاملی خوزانی

این اثر را که حاصل تلاش‌های شبانه روزی من است تقدیم می‌کنم به :

مادرم

همو که در تمام مراحل زندگی، چون فرشته‌ای مهربان و دلسوز
همواره یار و مونس‌م بود
و همو که: تا هستم و هست، دارمش دوست

پدرم

که چون راهب‌اشی طریق صواب را به من آموخت و در طی آن
همواره پشتیبانم بود

برادرانم

خسرو و امید که در طول زندگی‌ام هیچ گاه رسم و آیین برادری را
فراموش نکردند

و خواهران نازنینم

لیلا و زینب که نگاه‌های منتظرشان آرامبخش خاطر من بوده است

سپاسگزاری

در اینجا وظیفه خود می دانم از حمایت های مالی و معنوی بی دریغ پدر و مادرم که در طول تمام زندگیم اعم از زمان طفولیت، نوجوانی و جوانی مانند دوستی صمیمی، مشوق و حامی همیشگی اینجانب بوده اند از صمیم قلب تشکر و قدردانی نموده، خصوصاً از مادرم که چون فرشته ای مهربان و دلسوز از هیچگونه کوششی برای رشد و تکامل جسمی و روحی اینجانب دریغ ننموده و چون راهنمایی صدیق و فداکار و تکیه گاهی مطمئن برای نیل به اهداف متعالی که زمان طفولیت در عمق روح و جان من نقش نموده بود تلاشی مضاعف و کوششی بایسته داشته و برای رشد و تعالی آنها با همتی پیگیر از هیچگونه راهنمایی دلسوزانه و حمایت های شایسته فروگذار ننموده است تشکر ویژه داشته و همچنین از برادران و خواهران مهربانم که همواره مرا در چتر حمایت خویش قرار داده اند تشکر کنم.

همچنین وظیفه خود می دانم از اساتید و معلمان دلسوزم در تمام دوران تحصیل، خصوصاً از اساتیدم در دوره کارشناسی ارشد و همچنین از دکتر محمود میری تشکر ویژه ای داشته باشم.

همچنین از دوستانم آقایان رضا آهنی، علی آهنی، سید عباس حسینی، حمید خزایی، سید مرتضی خوراشادی زاده، حسین ذبیحی، علی راجی، یوسف رحمانی، حمید عباسی، احمد عسگری، نوید عسگری فر، کامران فرجی، بهزاد فیروزی، حمید رضا قربانی، اسماعیل قصری، مهدی قلی زاده، جواد مالکی فر، محمد معدلی، آرش نادری، ناصر نصیری و مرتضی هنرور و تمام کسانی که مشوق اصلی من در راه تحصیل و کسب مدارج عالی بوده اند تشکر و قدردانی خالصانه دارم.

چکیده

قاب‌های بتن مسلح با میانقاب‌های بنایی یکی از متداول‌ترین سیستم‌های سازه‌ای در جهان می‌باشد. تاثیر میانقاب‌های مصالح بنایی بر روی مقاومت، سختی و شکل پذیری قاب‌های میانپر یکی از موضوعاتی است که در پنج دهه گذشته مورد توجه محققین رشته مهندسی سازه بوده است. در طول این مدت مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی فراوانی در سراسر دنیا انجام گرفته که به معرفی و شناخت پارامترهای مختلف و میزان تاثیر هر یک بر رفتار و شکل خرابی قاب‌های مرکب منجر شده است. وجود این پارامترهای فراوان و همچنین پیچیده بودن مدل‌های تحلیلی مختلفی که تاکنون برای آنالیز قاب‌های میانپر با دیوار مصالح بنایی معرفی شده‌اند، باعث شده میانقاب‌ها همچنان در روند تحلیل و طراحی سازه‌ها نادیده گرفته شوند. در حال حاضر با تولید و ارائه نرم افزارهایی ویژه و همچنین توسعه تدریجی نظریه‌های نو در زمینه طراحی لرزه ای نظیر توسعه مفهوم طراحی بر اساس سطح عملکرد که در سال ۱۹۹۲ توسط (Paula Priestly) معرفی شد، ضرورت در نظر گرفتن دیوارهای میانقاب در مراحل تحلیل و طراحی اهمیت بیشتری نسبت به قبل پیدا کرده است.

هدف این تحقیق کاربرد شبکه های عصبی در تخمین رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح با تاثیر میانقاب های بنایی می‌باشد. در این تحقیق قاب‌های بتنی موجود در ایران با تغییر پارامترهای تعداد دهانه، تعداد طبقات، ضخامت میانقاب، مکانیزم طبقه نرم و درصد میانقاب (درصد بازشو) مدلسازی شده اند. منحنی ظرفیت تمام قاب‌های مدلسازی شده با استفاده از تحلیل پوش‌آور بدست آمد و پس از آن با استفاده از روش ضرایب جابجایی برای سه شتاب مبنای طرح (با خطر نسبی متوسط، زیاد و خیلی زیاد)، برش پایه و جابجایی بام (خروجی‌های شبکه عصبی) در نقطه عملکرد (تغییر مکان هدف) محاسبه شده است. در نهایت تعداد ۸۵۵ زوج آموزشی تولید و با استفاده از آنها دو شبکه عصبی، تابع بنیادی شعاعی (RBF) و شبکه عصبی سه لایه پیش سو با ۱۱ الگوریتم انتشار برگشتی (BP) با ساختارهای مختلف آموزش داده شد و بهترین ساختار برای هر شبکه با سعی و خطا بدست آمد.

نتایج نشان می‌دهد که در بین الگوریتم انتشار برگشتی، الگوریتم LM از دقت و کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم های دیگر برخوردار می باشد بطوریکه مقادیر برش پایه و جابجایی هدف در دسته آزمایش به ترتیب با خطای ۱/۵ و ۱/۸ درصد تخمین می‌زند، همچنین شبکه عصبی RBF با دقت و سرعت بسیار بالا مقادیر برش پایه و جابجایی بام را در دسته آزمایش به ترتیب با خطای ۱/۲ و ۲/۲ درصد تخمین می‌زند.

کلمات کلیدی: قاب بتنی، میانقاب‌های بنایی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، نقطه عملکرد

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- هدف از این تحقیق.....	۳
۳-۱- فرضیات تحقیق.....	۳
۴-۱- روش انجام تحقیق.....	۴
۵-۱- سازماندهی مطالب پایان نامه.....	۵
فصل دوم: پیشینه تحقیق بر روی میانقابها.....	۶
۱-۱- تعریف قاب مرکب.....	۷
۱-۲- اندرکنش قاب و میانقاب.....	۷
۲-۲- توزیع تنش در میانقاب.....	۹
۳-۲- تنش میانقاب.....	۹
۴-۲- سختی میانقاب و عوامل موثر.....	۱۰
۵-۲- نحوه مدلسازی اثر میانقاب بر سختی.....	۱۱
۶-۲- مقاومت میانقابها.....	۱۱
۷-۲- مدهای شکست میانقابها.....	۱۲
۸-۲- پرتاب برون صفحه‌ای میانقاب.....	۱۵
۹-۲- دسته بندی پژوهش‌های صورت پذیرفته.....	۱۵
۱-۹-۲- تحقیقات آزمایشگاهی - تجربی.....	۱۵

- ۲-۹-۲- تحقیقات تحلیلی - عددی.....۱۶
- ۲-۹-۳- ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای میانقاب.....۱۶
- ۲-۱۰- تاریخچه پژوهش‌های انجام گرفته در مورد میانقاب‌ها.....۱۷
- فصل سوم: آماده سازی زوج‌های شبکه عصبی و روند مدلسازی شبکه عصبی.....۲۸**
- ۳-۱- مقدمه.....۲۹
- ۳-۲- روش طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله بر اساس عملکرد سازه ها.....۲۹
- ۳-۳- مزایای طراحی بر اساس عملکرد سازه ها.....۳۰
- ۳-۴- مفهوم طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد.....۳۱
- ۳-۵- سطوح عملکرد.....۳۳
- ۳-۵-۱- سطوح عملکرد اجزای سازه ای.....۳۳
- ۳-۵-۲- سطوح عملکرد اجزای غیرسازه ای.....۳۳
- ۳-۵-۳- سطوح عملکرد کل ساختمان.....۳۴
- ۳-۶- سطوح خطر زلزله.....۳۴
- ۳-۷- انواع روش های تحلیل سازه.....۳۵
- ۳-۸- تحلیل استاتیکی خطی.....۳۶
- ۳-۹- روش تحلیل استاتیکی غیرخطی.....۳۶
- ۳-۱۰- مزایای کاربرد تحلیل استاتیکی غیر خطی در طراحی بر اساس عملکرد سازه ها.....۳۸
- ۳-۱۱- ضعف های روش استاتیکی فزاینده غیر خطی.....۳۹
- ۳-۱۲- روش پوش آور بر اساس آیین نامه های ATC-40، FEMA273(356).....۴۰
- ۳-۱۳- شیوه گام به گام برای تعیین ظرفیت.....۴۰
- ۳-۱۴- شیوه گام به گام برای تعیین نیاز.....۴۲
- ۳-۱۵- محاسبه نقطه عملکرد یا جابجایی هدف به روش ضریب جابجایی.....۴۳

- ۱۶-۳- مراحل تولید زوج‌های اطلاعاتی شبکه عصبی ۴۷
- ۱۷-۳- مدلسازی و طراحی ۱۵ قاب اصلی (مرحله اول)..... ۴۸
- ۱۸-۳- مدلسازی پارامترهای میانقابی در ۱۵ قاب اولیه (مرحله دوم)..... ۵۰
- ۱-۱۸-۳- مدلسازی میانقاب..... ۵۰
- ۲-۱۸-۳- مدلسازی میانقاب بازشودار..... ۵۳
- ۳-۱۸-۳- مدلسازی طبقه نرم..... ۵۴
- ۱۹-۳- تحلیل استاتیکی غیر خطی (تحلیل پوش‌آور)..... ۵۶
- ۱-۱۹-۳- تعریف مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش برای المان‌های تیر و ستون..... ۵۷
- ۲-۱۹-۳- تعریف مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش برای دستک‌های معادل میانقاب..... ۵۹
- ۳-۱۹-۳- منحنی پوش‌آور..... ۶۳
- ۴-۱۹-۳- نقطه عملکرد (جابجایی هدف)..... ۶۴
- ۲۰-۳- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مهندسی سازه..... ۶۵
- ۲۱-۳- شبکه‌های عصبی مورد بررسی در این تحقیق..... ۶۸
- ۱-۲۱-۳- آموزش شبکه با الگوریتمهای پس انتشار خطا..... ۶۸
- ۲-۲۱-۳- شبکه‌های عصبی تابع شعاعی بنیادی (RBF)..... ۷۰
- ۲۲-۳- نحوه مدلسازی شبکه‌های عصبی در این تحقیق..... ۷۲
- ۱-۲۲-۳- توپولوژی شبکه‌های عصبی..... ۷۳
- ۲-۲۲-۳- نحوه ارائه زوجهای آموزشی به شبکه..... ۷۳
- ۳-۲۲-۳- مقیاس کردن زوجهای آموزشی..... ۷۴
- ۴-۲۲-۳- انتخاب حد خطای آموزش و تعداد تکرار..... ۷۵
- ۵-۲۲-۳- معیارهای توقف شبکه..... ۷۵
- ۶-۲۲-۳- سنجش میزان یادگیری و عملکرد شبکه..... ۷۵
- فصل چهارم: پیش‌بینی نقطه عملکرد با استفاده از شبکه‌های عصبی..... ۷۷
- ۱-۴- مقدمه..... ۷۸

۷۸	۲-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با روش کاهش شیب با ممنت (GDM).....
۸۱	۳-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با روش کاهش شیب با نرخ یادگیری متغیر (GDA).....
۸۴	۴-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با روش کاهش شیب با ممنت و نرخ یادگیری متغیر (GDX).....
۸۷	۵-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم پس انتشار ارتجاعی (RP).....
۹۱	۶-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم الگوریتم شیب توأم یا گرادیان مزدوج (CG).....
۹۳	۱-۶-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شیب توأم CGF.....
۹۵	۲-۶-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شیب توأم CGP.....
۹۸	۳-۶-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شیب توأم CGB.....
۱۰۰	۴-۶-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شیب توأم SCG.....
۱۰۳	۷-۴- الگوریتم‌های شبه نیوتن.....
۱۰۳	۱-۷-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شبه نیوتن BFGS.....
۱۰۶	۲-۷-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم شبه نیوتن OSS.....
۱۰۹	۸-۴- پیشبینی نقطه عملکرد با الگوریتم مارکوارت - لونیبرگ (LM).....
۱۱۲	۹-۴- شبکه عصبی RBF.....
۱۱۵	۱۰-۴- مقایسه شبکه‌های عصبی.....
۱۱۷	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۱۸	۱-۵- مقدمه.....
۱۱۸	۲-۵- نتایج.....
۱۲۰	۳-۵- پیشنهادات.....
۱۲۱	مراجع.....
۱۲۶	پیوست‌ها.....

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۳ مشخصات مصالح قاب بتن مسلح.....	۵۱
جدول ۲-۳ مشخصات مصالح بنایی.....	۵۱
جدول ۳-۳ پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش برای روش های غیر خطی- ستونهای بتن مسلح [۴۰]	۵۸
جدول ۴-۳ پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش برای روش های غیر خطی- تیرهای بتن مسلح [۴۰]	۵۹
جدول ۵-۳ روابط نیرو- تغییر مکان برای پانلهای میانقاب مصالح بنایی.....	۶۰
جدول ۶-۳ دسته بندی انواع الگوریتم‌های پس انتشار.....	۶۹
جدول ۷-۳ مقادیر مینیمم و ماکزیمم بردارهای ورودی شبکه عصبی.....	۷۴
جدول ۱-۴ پارامترهای آموزش شبکه عصبی GDM.....	۷۹
جدول ۲-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم GDM.....	۷۹
جدول ۳-۴ پارامترهای آموزش شبکه عصبی GDA.....	۸۲
جدول ۴-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم GDA.....	۸۲
جدول ۵-۴ پارامترهای آموزش شبکه عصبی.....	۸۵
جدول ۶-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم GDG.....	۸۵
جدول ۷-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم RP.....	۸۸
جدول ۸-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم شیب توام CGF.....	۹۳
جدول ۹-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم CGP.....	۹۶
جدول ۱۰-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم CGB.....	۹۸
جدول ۱۱-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم SCG.....	۱۰۱
جدول ۱۲-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم BFGS.....	۱۰۴
جدول ۱۳-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم OSS.....	۱۰۷

- جدول ۱۴-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم LM ۱۱۰
- جدول ۱۵-۴ پارامترهای آموزش شبکه عصبی RBF ۱۱۲
- جدول ۱۶-۴ نتایج آموزش و آزمایش الگوریتم RBF ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۲. قاب خالی و دیوار تنها تحت بار جانبی [۱].....	۷
شکل ۲-۲. قاب مرکب با کنش خرابایی [۱].....	۸
شکل ۳-۲. مقایسه خواص قاب مرکب با قاب خالی [۱].....	۸
شکل ۴-۲. توزیع تنش در میانقاب [۱].....	۹
شکل ۵-۲. تنشهای نرمال و برشی در مرکز میانقاب [۱].....	۱۰
شکل ۶-۲. تغییرات سختی میانقاب [۳].....	۱۱
شکل ۷-۲. حالت خرد شدن کنج (CC) [۶].....	۱۲
شکل ۸-۲. حالت برش لغزشی (SS) [۶].....	۱۳
شکل ۹-۲. حالت فشار قطری (DC) [۶].....	۱۳
شکل ۱۰-۲. حالت ترک قطری (DK) [۶].....	۱۴
شکل ۱۱-۲. حالت شکست قاب (FF) [۶].....	۱۴
شکل ۱۲-۲. شکست ستون کوتاه [۲۹].....	۲۵
شکل ۱-۳. سیکل کامل دوره تناوب [۴۰].....	۳۹
شکل ۲-۳. روند پاسخ سازه در تحلیل بار افزون [۴۵].....	۴۲
شکل ۳-۳. فرم دو خطی منحنی ظرفیت برای روش ضریب جابجایی مساوی [۳۸].....	۴۴
شکل ۴-۳. روند محاسبه تغییر مکان هدف [۳۷].....	۴۶
شکل ۵-۳ a: قاب مرکب تحت بارگذاری جانبی، b: قاب معادل همراه با المان قطری.....	۵۰
شکل ۶-۳. مشخصات لازم برای مدلسازی میانقاب در قاب سه طبقه.....	۵۲
شکل ۷-۳. شکل شماتیک مدلسازی دستک قطری معادل بجای میانقاب.....	۵۳
شکل ۸-۳. قاب نیمه پر با ۸۰ درصد میانقاب (۲۰ درصد بازشو).....	۵۴
شکل ۹-۳. قاب کاملاً پر با طبقه نرم.....	۵۵
شکل ۱۰-۳. قاب نیمه پر با ۸۰ درصد میانقاب (۲۰ درصد بازشو).....	۵۶

شکل ۱۱-۳	منحنی های رفتاری اعضا برای مدلسازی و تحلیل [۴۰].....	۵۷
شکل ۱۲-۳	شکل شماتیک از یک میانقاب.....	۶۲
شکل ۱۳-۳	منحنی مفصل پلاستیک دستک قطری.....	۶۳
شکل ۱۴-۳	شکل شماتیکی از تحلیل استاتیکی غیر خطی و منحنی پوش آور.....	۶۴
شکل ۱۵-۳	ساختار شبکه عصبی پیش سو با الگوریتم پس انتشار.....	۷۰
شکل ۱۶-۳	ساختار کلی یک شبکه عصبی مصنوعی RBF.....	۷۱
شکل ۱۷-۳	نمودار تابع گوسین.....	۷۲
شکل ۱-۴	همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک tangh و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام.....	۸۰
شکل ۲-۴	همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک tangh و خروجی SAP2000 برای برش پایه.....	۸۰
شکل ۳-۴	همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام.....	۸۰
شکل ۴-۴	همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه.....	۸۰
شکل ۵-۴	تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه.....	۸۱
شکل ۶-۴	همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام.....	۸۳
شکل ۷-۴	همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه.....	۸۳
شکل ۸-۴	همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام.....	۸۳
شکل ۹-۴	همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه.....	۸۳
شکل ۱۰-۴	تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه.....	۸۴
شکل ۱۱-۴	همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام.....	۸۶
شکل ۱۲-۴	همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه.....	۸۶

شکل ۱۳-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۸۶
شکل ۱۴-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۸۶
شکل ۱۵-۴ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۸۷
شکل ۱۶-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۸۹
شکل ۱۷-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۸۹
شکل ۱۸-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۸۹
شکل ۱۹-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۸۹
شکل ۲۰-۴ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۹۰
شکل ۲۱-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۹۳
شکل ۲۲-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۹۳
شکل ۲۳-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۹۴
شکل ۲۴-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۹۴
شکل ۲۵-۴ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۹۵
شکل ۲۶-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۹۶
شکل ۲۷-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۹۶

شکل ۲۸-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	بام
۹۶.....	
شکل ۲۹-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	
۹۶.....	
شکل ۳۰-۴ تغییرات در روند آموزش شبکه.....	
۹۷.....	
شکل ۳۱-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	
۹۸.....	
شکل ۳۲-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	
۹۸.....	
شکل ۳۳-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	بام
۹۹.....	
شکل ۳۴-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	
۹۹.....	
شکل ۳۵-۴ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه.....	
۱۰۰.....	
شکل ۳۶-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	
۱۰۱.....	
شکل ۳۷-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	
۱۰۱.....	
شکل ۳۸-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	بام
۱۰۱.....	
شکل ۳۹-۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	
۱۰۱.....	
شکل ۴۰-۴ تغییرات خطا در روند آموزش شبکه.....	
۱۰۲.....	
شکل ۴۱-۴ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	
۱۰۴.....	

شکل ۴-۴۲ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک \tanh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۰۴
شکل ۴-۴۳ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	۱۰۵
شکل ۴-۴۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۰۵
شکل ۴-۴۵ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۱۰۶
شکل ۴-۴۶ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک \tanh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۱۰۷
شکل ۴-۴۷ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک \tanh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۰۷
شکل ۴-۴۸ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	۱۰۷
شکل ۴-۴۹ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۰۷
شکل ۴-۵۰ تغییرات خطا در روند آموزش شبکه	۱۰۸
شکل ۴-۵۱ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک \tanh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۱۱۰
شکل ۴-۵۲ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک \tanh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۱۰
شکل ۴-۵۳ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی	۱۱۰
شکل ۴-۵۴ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۱۰
شکل ۴-۵۵ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۱۱۱

شکل ۴-۵۶ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۱۱۳
شکل ۴-۵۷ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک tangh) و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۱۳
شکل ۴-۵۸ همبستگی بین خروجی شبکه (با تابع تحریک sigmoid) و خروجی SAP2000 برای جابجایی بام	۱۱۳
شکل ۴-۵۹ همبستگی بین خروجی شبکه با تابع تحریک sigmoid و خروجی SAP2000 برای برش پایه	۱۱۳
شکل ۴-۶۰ تغییرات خطا در زمان آموزش شبکه	۱۱۴
شکل الف-۱ یک نمونه عصب واقعی	۱۲۸
شکل الف-۲ مدل ریاضی ساده شده عصب واقعی [۴۸]	۱۳۲
شکل الف-۳ شبکه عصبی تک لایه با تمام ارتباطات ممکن [۴۹]	۱۳۳
شکل الف-۴ شبکه عصبی دو لایه با تمام ارتباطات ممکن [۴۹]	۱۳۴

فهرست علائم

نشانه	علامت
بار مرده	$Q_D(\text{kg/m}^2)$
بار زنده	$Q_L(\text{kg/m}^2)$
ارتفاع قاب	$h(\text{m})$
طول میانقاب	$l(\text{m})$
ضخامت میانقاب	$t(\text{m})$
نیرو	$H(\text{N})$
تنش برشی	$\tau_{xy}(\text{pa})$
تنش کششی	$\sigma_t(\text{pa})$
تنش نرمال	$\sigma_y(\text{pa})$
سختی اولیه مماسی	$K_t(\text{N/m})$
سختی اولیه	$K_0(\text{N/m})$
سختی کاهیدگی	$K_p(\text{N/m})$
سختی سکانتی	$K_{SC}(\text{N/m})$
ضریب کاهش عرض موثر میانقاب	ρ_w
نسبت ناحیه باز به ناحیه میانقاب	α_{co}
ضریب افزایش مقاومت	η
احتمال وقوع سالیانه زلزله	P