

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران - سازه

عنوان:

بر آورد مقاومت فشاری بتن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و
سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی

استاد راهنما:

دکتر محمود اکبری

توسط:

سینا باقرزاده

دی ۱۳۹۳

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را
گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و امدار وجودشان
است؛

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه می او، بازبان
قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت
امانت های را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر محمود
اکبری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمات راهنمایی
این رساله را بر عهده گرفتند و بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از استادان فرزانه؛
جناب آقای دکتر حسین تحقیقی و جناب آقای دکتر حسن استاد حسین که زحمات دآوری این رساله را تقبل
نموده اند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به

پدر عزیزم،

که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من

بوده است؛

و تقدیم به

مادر مهربانم،

به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش و جودش که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است؛

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

چکیده

مقاومت فشاری بتن یکی از مشخصات مهم مکانیکی بتن است که متأثر از طرح اختلاط بتن می باشد. اجزای تشکیل دهنده بتن سیمان، آب، درشت‌دانه و ریزدانه است که میزان آنها در طرح اختلاط بر مقاومت فشاری بتن تأثیر می‌گذارند. در زمینه تخمین رفتار بتن، تکنیک‌های ریاضی مختلفی توسط محققین ارائه شده است. به طوریکه در گذشته این تکنیک‌ها بیشتر بر پایه رگرسیون خطی و غیرخطی استوار بوده است. امروزه روش‌های بر پایه هوش مصنوعی مانند منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در این زمینه با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است و عموماً در ساخت این مدل‌ها از داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. در این مطالعه با در نظرگیری اجزای نرمالایز شده طرح اختلاط بتن به عنوان متغیرهای ورودی، از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS) برای برآورد مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که این مدل‌ها توانایی نسبتاً مناسبی در برآورد مقاومت فشاری بتن دارند. علاوه بر این، کارایی این مدل‌ها نسبت به کارایی مدل‌های پیشین مثل مدل‌های رگرسیون، بیشتر است.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری بتن، شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی، برآورد، رگرسیون

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
خ	فهرست جدول‌ها
د	فهرست شکل‌ها
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ پیشینه پژوهش
۵	۳-۱ اهمیت و ضرورت انجام پایان‌نامه
۶	۴-۱ اهداف پایان‌نامه
۶	۵-۱ ساختار مطالب پایان‌نامه
۹	فصل دوم: مطالعه روش‌های غیر مخرب برای برآورد مقاومت فشاری بتن
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ تاریخچه بتن
۱۲	۳-۲ تعریف بتن (Concrete)
۱۴	۴-۲ سیمان
۱۴	۵-۲ مصالح سنگی
۱۵	۶-۲ آب اختلاط
۱۶	۷-۲ طرح اختلاط بتن
۱۷	۸-۲ مقاومت فشاری بتن و روش‌های تعیین آن
۱۸	۱-۸-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری بتن
۱۹	۹-۲ اندازه‌گیری مقاومت بتن
۱۹	۱-۹-۲ آزمایش‌های مخرب
۱۹	۱-۱-۹-۲ آزمایش جک بتن شکن
۲۰	۲-۹-۲ آزمایش‌های غیرمخرب و نیمه‌مخرب در مقاومت بتن
۲۱	۱-۲-۹-۲ آزمایش‌های غیرمخرب
۲۲	۱-۱-۲-۹-۲ آزمایش چکش ارتجاعی (Rebound Hammer)

۲۳	..... (Ultrasonic) آزمایش اولتراسونیک
۲۶	..... آزمایش‌های نیمه‌مخرب
۲۶	..... (pull out) آزمایش بیرون کشیدگی
۲۷	..... (Pull Off) آزمایش پاره شدگی
۲۹	..... (PENETRATION RESISTANCE TEST) آزمایش مقاومت در برابر نفوذ
۲۹	..... (Test cores) آزمایش مغزه‌گیری از بتن
۳۳	..... فصل سوم: شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۳۴	..... ۱-۳ مقدمه
۳۵	..... ۲-۳ عملکرد مغز
۳۷	..... ۳-۳ شبکه عصبی زیستی
۳۸	..... ۴-۳ ساختار نورون طبیعی
۴۰	..... ۵-۳ شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۴۲	..... ۶-۳ تاریخچه شبکه عصبی مصنوعی
۴۳	..... ۷-۳ کاربردهای شبکه عصبی
۴۵	..... ۸-۳ مدل ریاضی شبکه عصبی مصنوعی
۴۶	..... ۹-۳ ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی
۴۶	..... ۱-۹-۳ قابلیت یادگیری
۴۷	..... ۲-۹-۳ پراکندگی اطلاعات
۴۷	..... ۳-۹-۳ قابلیت تعمیم
۴۷	..... ۴-۹-۳ پردازش موازی
۴۸	..... ۵-۹-۳ مقاوم بودن
۴۸	..... ۱۰-۳ معماری شبکه عصبی مصنوعی
۵۱	..... ۱۱-۳ تناظر بین شبکه عصبی طبیعی و شبکه عصبی مصنوعی
۵۳	..... ۱۲-۳ توابع انتقال
۵۴	..... ۱۳-۳ انواع یادگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی
۵۴	..... ۱-۱۳-۳ یادگیری تحت نظارت – Supervised
۵۴	..... ۲-۱۳-۳ یادگیری بدون نظارت – یادگیری خود سامانده – Unsupervised

۵۵	..... Reinforcement – یادگیری تقویتی
۵۶	..... آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی
۵۷	..... صحت سنجی
۵۸	..... ساختارهای شبکه عصبی مصنوعی
۵۸	..... شبکه‌های پیشرو (Feed Forward)
۵۹	..... شبکه‌های برگشتی (Back Forward)
۵۹	..... الگوریتم‌های آموزش
۶۰	..... الگوریتم پس انتشار خطا
۶۱	..... الگوریتم لونبرگ – مارکوآرت
۶۱	..... انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی
۶۲	..... شبکه عصبی پرسپترون
۶۲	..... شبکه عصبی پرسپترون تک لایه (SLP)
۶۳	..... شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)
۶۴	..... خروجی پرسپترون
۶۴	..... توانائی پرسپترون
۶۵	..... توابع بولی و پرسپترون
۶۵	..... اضافه کردن بایاس
۶۶	..... آموزش پرسپترون
۶۶	..... الگوریتم یادگیری پرسپترون
۶۷	..... مزایای استفاده از شبکه‌های عصبی
۶۸	..... معایب استفاده از شبکه‌های عصبی
۶۹	..... فصل چهارم: سیستم استنتاج فازی – عصبی تطبیقی (ANFIS)
۷۰	..... مقدمه
۷۰	..... تاریخچه مجموعه‌های فازی
۷۱	..... منطق فازی
۷۱	..... مجموعه‌های فازی
۷۲	..... توابع عضویت

۷۴	..... ۶-۴ عملگرهای مجموعه‌های فازی
۷۴	..... ۱-۶-۴ اجتماع
۷۵	..... ۲-۶-۴ اشتراک
۷۶	..... ۷-۴ فازی سازها
۷۷	..... ۸-۴ غیرفازی سازها
۷۸	..... ۹-۴ متغیرهای زبانی
۷۹	..... ۱۰-۴ قواعد "اگر - آنگاه" فازی
۷۹	..... ۱-۱۰-۴ گزاره‌های فازی
۸۰	..... ۲-۱۰-۴ تفسیر قواعد اگر - آنگاه فازی
۸۰	..... ۱۱-۴ مزایای منطق فازی در مدل‌سازی
۸۱	..... ۱۲-۴ محدودیت‌های منطق فازی در مدل‌سازی
۸۱	..... ۱۳-۴ سیستم استنتاج فازی (FIS)
۸۳	..... ۱-۱۳-۴ روش ممدانی (mamdani)
۸۳	..... ۱-۱۳-۴ مزایای روش ممدانی
۸۳	..... ۲-۱۳-۴ روش سوگنو (sugeno) یا takagi-sugeno-kang
۸۴	..... ۱-۲-۱۳-۴ مزایای روش سوگنو
۸۵	..... ۱۴-۴ سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)
۸۶	..... ۱-۱۴-۴ شبکه‌های تطبیقی
۸۶	..... ۲-۱۴-۴ معماری مدل ANFIS
۹۱	..... ۳-۱۴-۴ الگوریتم آموزش سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی
۹۳	..... فصل پنجم: مطالعات آزمایشگاهی
۹۴	..... ۱-۵ مقدمه
۹۴	..... ۲-۵ پارامترهای طرح اختلاط بتن
۹۴	..... ۱-۲-۵ نسبت آب به سیمان
۹۵	..... ۲-۲-۵ منحنی سنگدانه
۹۵	..... ۳-۲-۵ حجم کلی مخلوط
۹۶	..... ۳-۵ مصالح مصرفی

۹۶	..... ۱-۳-۵ سیمان
۹۶	..... ۲-۳-۵ آب
۹۷	..... ۳-۳-۵ مصالح سنگی مصرفی
۹۷	..... ۱-۳-۳-۵ سنگدانه
۹۷	..... ۱-۱-۳-۳-۵ ریزدانه
۹۷	..... ۲-۱-۳-۳-۵ درشت‌دانه
۹۸	..... ۴-۵ آزمایش مصالح سنگی
۹۸	..... ۱-۴-۵ آزمایش دانه‌بندی
۹۹	..... ۲-۴-۵ روش تعیین درصد رطوبت کلی سنگدانه‌ها و درصد جذب آب
۹۹	..... ۱-۲-۴-۵ اثر رطوبت سنگدانه‌ها در وزن آب مخلوط
۱۰۱	..... ۲-۲-۴-۵ اثر رطوبت سنگدانه در حجم آن
۱۰۱	..... ۳-۲-۴-۵ درصد جذب آب
۱۰۲	..... ۳-۴-۵ مدول نرمی ماسه (Fineness moduls)
۱۰۳	..... ۵-۵ طرح اختلاط بتن
۱۰۳	..... ۱-۵-۵ مقادیر مصالح مصرفی
۱۰۳	..... ۲-۵-۵ وزن مخصوص بتن تازه
۱۰۶	..... ۶-۵ شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها
۱۰۷	..... ۷-۵ آزمایش نمونه‌ها
۱۱۰	..... فصل ششم: مدلسازی و آنالیز داده‌ها
۱۱۱	..... ۱-۶ مقدمه
۱۱۱	..... ۲-۶ داده‌های موردنیاز
۱۱۲	..... ۳-۶ نرمال‌سازی داده‌ها
۱۱۳	..... ۴-۶ ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۱۱۳	..... ۱-۴-۶ معرفی و نوع شبکه عصبی مصنوعی
۱۱۳	..... ۲-۴-۶ تقسیم‌بندی داده‌ها در شبکه عصبی
۱۱۴	..... ۳-۴-۶ معماری شبکه عصبی مصنوعی
۱۱۶	..... ۵-۶ ارائه نتایج مدلسازی با شبکه عصبی مصنوعی

۱۱۹	..... ANN در کارایی ارزیابی معیارهای ارزیابی کارایی در ANN
۱۲۴	..... ۶-۶ ساخت سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)
۱۲۴	..... ۱-۶-۶ معرفی و نوع سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی
۱۲۵	..... ۲-۶-۶ تقسیم‌بندی داده‌ها در مدل فازی-عصبی تطبیقی
۱۲۶	..... ۳-۶-۶ معماری سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی
۱۲۸	..... ۷-۶ ارائه نتایج مدلسازی با سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی
۱۳۱	..... ۱-۷-۶ معیارهای ارزیابی کارایی در ANFIS
۱۳۴	..... ۸-۶ ساخت مدل و ارائه نتایج مدلسازی با رگرسیون چند متغیره (MR)
۱۳۴	..... ۱-۸-۶ معرفی مدل رگرسیون چند متغیره
۱۳۴	..... ۲-۸-۶ تقسیم‌بندی داده‌ها در مدل رگرسیون چند متغیره
۱۳۵	..... ۳-۸-۶ معماری مدل رگرسیون چند متغیره
۱۳۸	..... ۴-۸-۶ معیارهای ارزیابی کارایی در رگرسیون چند متغیره (MR)
۱۴۰	..... ۹-۶ ارائه نتایج مدلسازی با رگرسیون به کمک داده‌های سرعت امواج اولتراسونیک
۱۴۳	..... ۱۰-۶ نتایج و بحث
۱۴۴	..... فصل هفتم: ارزیابی نتایج و ارائه پیشنهادات
۱۴۵	..... ۱-۷ مقدمه
۱۴۵	..... ۲-۷ جمع‌بندی مطالعات انجام‌شده
۱۴۶	..... ۳-۷ نتایج
۱۴۸	..... ۴-۷ پیشنهادات
۱۴۹	..... فهرست منابع
۱۵۶	..... پیوست‌ها
۱۵۷	..... پیوست (الف)
۱۵۷	..... طراحی و مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار MATLAB
۱۵۹	..... پیوست (ب)
۱۵۹	..... طراحی و مدلسازی سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی در نرم‌افزار MATLAB
۱۶۲	..... پیوست (ج)
۱۶۲	..... جدول کل داده‌های طرح اختلاط بتن و برآورد داده‌ها به صورت نرمال شده

فهرست جدول‌ها

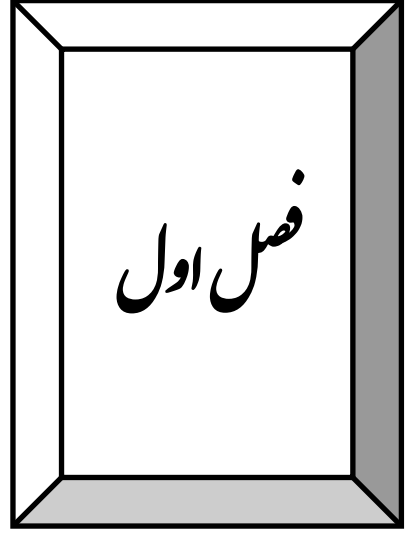
عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: مقایسه برخی از روش‌های تخمین مقاومت بتن در محل	۳۲
جدول ۱-۳: تناظر شبکه عصبی طبیعی با شبکه عصبی مصنوعی	۵۲
جدول ۲-۳: انواع توابع انتقال در شبکه‌های عصبی مصنوعی	۵۳
جدول ۱-۴: انواع توابع عضویت موجود در جعبه‌ابزار منطق فازی	۷۳
جدول ۱-۵: نتایج آزمایش دانه‌بندی: نمونه‌های ماسه، شن نخودی و شن بادامی	۹۸
جدول ۲-۵: تغییرات در وزن مصالح و آب با توجه به تغییرات در رطوبت سنگدانه‌ها نسبت به حالت اشباع با سطح خشک	۱۰۰
جدول ۳-۵: درصد جذب آب برای مصالح سنگی	۱۰۲
جدول ۴-۵: طرح اختلاط بتن	۱۰۵
جدول ۵-۵: سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری در نمونه‌های مکعبی بتن	۱۰۹
جدول ۱-۶: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده همراه با خطا برای مقاومت فشاری بتن در ANN	۱۱۶
جدول ۲-۶: نتایج حاصل از اجرای مدل ANN با داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و تست	۱۲۲
جدول ۳-۶: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده همراه با خطا برای مقاومت فشاری بتن در ANFIS	۱۲۸
جدول ۴-۶: نتایج حاصل از اجرای مدل ANFIS با داده‌های آموزشی، واری (چک) و تست	۱۳۲
جدول ۵-۶: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده همراه با خطا برای مقاومت فشاری بتن در (MR) Regression	۱۳۵
جدول ۶-۶: نتایج حاصل از اجرای مدل Multiple Regression با داده‌های آموزشی و تست	۱۳۸
جدول ۷-۶: مقادیر مقاومت فشاری و برآورد شده اولتراسونیک همراه با خطا در رگرسیون	۱۴۱
جدول ۸-۶: نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون با داده‌های برآورد شده اولتراسونیک	۱۴۲

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۸	شکل ۱-۱: ساختار نگارشی پایان‌نامه
۱۲	شکل ۱-۲: تاریخچه بتن
۱۵	شکل ۲-۲: انواع حالت‌های سنگدانه از نظر میزان رطوبت
۱۹	شکل ۳-۲: دستگاه جک بتن شکن
۲۳	شکل ۴-۲: چکش ارتجاعی (اشمیت)
۲۴	شکل ۵-۲: دستگاه پاندیت
۲۴	شکل ۶-۲: روش‌های قرارگیری مولدها
۲۷	شکل ۷-۲: آزمایش بیرون کشیدگی
۲۸	شکل ۸-۲: آزمایش پاره شدگی
۳۰	شکل ۹-۲: دستگاه مغزه‌گیری
۳۱	شکل ۱۰-۲: نمونه مغزه‌گیری
۳۱	شکل ۱۱-۲: نمونه بعد از کلاهدک‌گذاری
۳۱	شکل ۱۲-۲: نمونه در دستگاه جک بتن شکن برقی
۳۶	شکل ۱-۳: ساختار مغز انسان
۳۷	شکل ۲-۳: نمونه‌ای از شبکه عصبی زیستی (Biological Neural Networks)
۳۸	شکل ۳-۳: اجزای تشکیل‌دهنده نورون‌های بیولوژیکی
۳۹	شکل ۴-۳: نورون McCulloch-Pitts
۴۲	شکل ۵-۳: فرآیند یادگیری شبکه عصبی مصنوعی نظارت‌شده
۴۶	شکل ۶-۳: مدل ریاضی ساده‌شده عصب واقعی
۵۰	شکل ۷-۳: اشکال مدل شبکه عصبی مصنوعی (a, b, c)
۵۳	شکل ۸-۳: تناظر شبکه عصبی طبیعی با شبکه عصبی مصنوعی
۵۸	شکل ۹-۳: الف. رابطه بین واریانس و مربع متوسط خطا و مربع بایاس ب. رابطه بین ابعاد و خطای شبکه
۵۹	شکل ۱۰-۳: شکل شماتیک شبکه عصبی Feed Forward چندلایه
۶۲	شکل ۱۱-۳: پرسپترون تک لایه
۶۳	شکل ۱۲-۳: پرسپترون چندلایه (MLP)

- شکل ۳-۱۳: نمودار توابع توانائی پرسپترون ۶۴
- شکل ۳-۱۴: نمودار توابع بولی AND ۶۵
- شکل ۳-۱۵: اضافه کردن بایاس به شبکه ۶۵
- شکل ۴-۱: مقایسه مجموعه‌های کلاسیک و فازی ۷۲
- شکل ۴-۲: جداول عملگرهای منطقی ۷۵
- شکل ۴-۳: گراف‌های برهم‌کنش دو تابع فازی ۷۶
- شکل ۴-۴: روش مرکز سطح برای تعیین Z^* ۷۸
- شکل ۴-۵: مجموعه‌های فازی متعلق به متغیر زبانی قد در بازه‌های تعریف‌شده ۷۸
- شکل ۴-۶: سیستم استنتاج فازی ۸۲
- شکل ۴-۷: نحوه عملکرد یک قانون Sugeno ۸۴
- شکل ۴-۸: شمای کلی یک شبکه تطبیقی ۸۶
- شکل ۴-۹: سیستم استنتاج فازی سوگنو با دو ورودی، دو قانون و یک خروجی ۸۷
- شکل ۴-۱۰: معماری مدل ANFIS معادل سیستم استنتاجی سوگنو ۸۸
- شکل ۴-۱۱: یک سیستم استنتاج فازی-عصبی انطباقی با ورودی‌های متعدد ۹۰
- شکل ۵-۱: نمونه‌ای از منحنی‌های استاندارد سنگدانه ۹۵
- شکل ۵-۲: انواع الک‌ها ۹۸
- شکل ۵-۳: تراکم دستی با میله تراکم ۱۰۴
- شکل ۵-۴: وزن مخصوص بتن تازه ۱۰۴
- شکل ۵-۵: مراحل عمل‌آوری نمونه‌ها ۱۰۶
- شکل ۵-۶: آزمایش اولتراسونیک ۱۰۷
- شکل ۵-۷: آزمایش جک بتن شکن ۱۰۸
- شکل ۶-۱: محیط نرم‌افزار MATLAB در اجرای شبکه عصبی مصنوعی ۱۱۵
- شکل ۶-۲: ساختار شماتیک شبکه عصبی مصنوعی ۱۱۶
- شکل ۶-۳: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط ANN برای داده‌های آموزش ۱۲۲
- شکل ۶-۴: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط ANN برای داده‌های صحت‌سنجی ۱۲۳
- شکل ۶-۵: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط ANN برای داده‌های تست ۱۲۳

- شکل ۶-۶: محیط نرم افزار MATLAB در اجرای سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی ۱۲۷
- شکل ۶-۷: ساختار شماتیک سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی ۱۲۸
- شکل ۶-۸: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط ANFIS برای داده‌های آموزش ۱۳۲
- شکل ۶-۹: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط ANFIS برای داده‌های واری (چک) ۱۳۳
- شکل ۶-۱۰: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط ANFIS برای داده‌های تست ۱۳۳
- شکل ۶-۱۱: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط MR برای داده‌های آموزش ۱۳۹
- شکل ۶-۱۲: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط MR برای داده‌های تست ۱۳۹
- شکل ۶-۱۳: نمودار پراکندگی بین سرعت امواج اولتراسونیک و مقاومت فشاری تک‌محوره ۱۴۰
- شکل ۶-۱۴: نمودار پراکندگی بین مقاومت‌های فشاری تک‌محوره و برآورد شده اولتراسونیک ۱۴۲



کلمات

۱-۱ مقدمه

مقاومت فشاری بتن یکی از مشخصات مهم مکانیکی بتن است که متأثر از طرح اختلاط بتن می‌باشد. اجزای تشکیل‌دهنده بتن سیمان، آب، درشت‌دانه و ریزدانه است که میزان آن‌ها در طرح اختلاط بر مقاومت فشاری بتن تأثیر می‌گذارند. بررسی خواص بتن با استفاده از روش‌های تحلیلی و دقیق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. روش‌هایی که در پیش‌بینی خواص بتن استفاده شده عمدتاً بر مبنای آزمایش‌ها، روابط تجربی، نمودارها، نمودارها و جداول به‌دست‌آمده و سپس این جداول و نمودارها در موارد جدید تعمیم داده شده و نتیجه‌گیری‌های لازم در مورد آن انجام شده است [۱،۲].

درزمینه تخمین رفتار بتن، تکنیک‌های ریاضی مختلفی توسط محققین ارائه شده است. به‌طوری‌که در گذشته این تکنیک‌ها بیشتر بر پایه رگرسیون خطی و غیرخطی استوار بوده است. امروزه روش‌های بر پایه هوش مصنوعی مانند منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در این زمینه با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است و عموماً این مدل‌ها مبتنی بر داده‌های آزمایشگاهی است و می‌توان گفت مهم‌ترین دلیل کارایی آن‌ها قابلیت آموزش پذیری آن‌ها از روی الگوهای آموزشی (ورودی‌ها و خروجی‌های متناسب) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف آموزش است که بر این اساس رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را شناسایی می‌کند. لذا با ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی بر قواعد منطقی‌اند و شبکه‌های عصبی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند امکان استفاده توأم از دانش بشری و اطلاعات موجود در ساخت مدل فراهم می‌شود [۳-۵].

با توجه به این‌که اطلاعات بسیار زیادی راجع به نمونه‌های متعدد آزمایش‌شده وجود دارد، اما در هیچ‌کدام از روش تحلیل و دقیقی برای پیش‌بینی خواص بتن ارائه نشده است و هیچ روش و راه‌حلی برای تعیین خواص بتن ارائه نگردیده که تمام جزئیات مهم اجزای آن را شامل شود، در این پژوهش به کمک داده‌های موجود از مطالعات قبلی و نتایج آزمایشگاهی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با استفاده از شبکه عصبی

مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) و رگرسیون چند متغیره شبیه‌سازی می‌شود و نتایج مدل‌ها در مقایسه با مقادیر مشاهداتی ارائه و بررسی می‌شود.

۱-۲ پیشینه پژوهش

تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه شبکه‌های عصبی و مدل فازی-عصبی تطبیقی جهت تخمین مقاومت بتن به صورت زیر می‌باشند:

لی و لی^۱ (۲۰۱۴) برای پیش‌بینی مقاومت برشی الیاف مسلح پلیمری ظریف FRP مربوط به اعضای خمشی بتن مسلح بدون خاموت یک مدل نظری بر مبنای شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ارائه کردند. این مدل تأثیرات عمق مؤثر، نسبت دمای برش به عمق، مدول الاستیسیته، نسبت تقویت خمشی FRP و همچنین مقاومت بتن فشرده‌گی مقاومت برشی را در نظر می‌گیرد. مقایسه بین مقادیر پیش‌بینی شده و ۱۰۶ آزمایش مربوط به داده‌ها نشان می‌دهد که مدل توسعه‌یافته ANN منجر به بهبود پارامترهای آماری با دقت بالاتر نسبت به سایر معادلات موجود می‌شود [۶].

شاه^۲ و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه ترکیب فوق صوت غیرخطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای ارزیابی غیر مخرب آسیب‌های ایجاد شده در بتن تحت حالت تنشی پرداخته‌اند. دو شبکه که یکی از متغیرهای خام و دیگری از متغیرهای بی بعد استفاده می‌شد برای پیش‌بینی آسیب بتن‌ها آماده و آزمایش شدند. داده‌های ورودی شبکه عصبی در واقع سیگنال‌های زمان-دامنه مربوط به امواج فراصوت دریافتی می‌باشند که از مطالعات تجربی به دست آمده‌اند. نتایج این مطالعه پتانسیل شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای حل مشکل ارزیابی آسیب بتن با استفاده از مقیاس‌های فراصوتی غیرخطی آشکار می‌کند [۷].

¹ Lee.S & Lee.C

² Shah A.A

آتیکی^۱ (۲۰۱۱) برای تخمین مقاومت فشاری بتن که دربرگیرنده مقادیر مختلفی از خاکستر بادی و سرباره (سرباره کوره بلند) است از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون چند متغیره استفاده کرده است [۸].

گوپتا^۲ (۲۰۱۳) نشان می‌دهد که کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) مدل پیش‌بینی مقاومت فشاری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بتن است. مدل ANN ارائه شده در این مقاله شامل ۵ پارامتر ورودی سیمان، شن، ماسه، آب و مدول نرمی است [۹].

نادری و قدوسیان (۱۳۹۱) تعیین مقاومت درجای بتن و ملات تعمیری خودتراکم بر بسترهای مختلف بتنی با استفاده از روش‌های پیچش، منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته است و نتایج آزمایشگاهی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط منطق فازی و شبکه‌های عصبی مقایسه کرده است [۱۰].

رضانیانپور و همکاران (۱۳۹۱) این گونه مطرح کرده‌اند که از مدل‌های شبکه عصبی می‌توان به‌عنوان یک رگرسیون کاملاً غیرخطی و پیچیده یاد کرد که بر اساس داده‌های ورودی و هدف آموزش دیده و قادر به پیش‌بینی شرایط بر اساس ورودی‌های جدید می‌باشد. با در نظرگیری پارامترهای طرح اختلاط بتن به‌عنوان ورودی، از مدل‌سازی شبکه عصبی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن استفاده کرده‌اند. طرح‌های اختلاط مختلفی جهت بررسی عملکرد مدل‌های مورد استفاده، به کار گرفته شد و مشخص گردید که مدل‌های شبکه عصبی عملکرد بسیار مناسبی در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن دارند [۲].

جعفری و همکاران (۱۳۹۱) پیش‌بینی مقدار نفوذ یون کلر در بتن‌های حاوی نانو و لاستونیت در سن ۹۰ روزه با استفاده از مدل عصبی-فازی ANFIS ارائه کرده است [۱۱].

فتحی پورآذر و چوپانی (۱۳۹۱) مدل شکست بر اساس سیستم‌های هوشمند: شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (ANFIS) برای تخمین پارامتر شکست بتن G_F در بارگذاری تحت خمش سه نقطه‌ای (۳ PB) انجام داده‌اند [۱۲].

¹ Atici.U

² Gupta.S

قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) در پیش‌بینی مقاومت بتن‌های با مقاومت بالا با استفاده از شبکه‌های عصبی تابع بنیادی شعاعی استفاده کرده است [۱].

علیلو و تشن‌لب (۱۳۸۸) شبکه‌های عصبی پیشرو آبخاری را برای پیش‌بینی مقاومت فشاری ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ روزه بتن استفاده کرده‌اند [۱۳].

صائب و همکاران (۱۳۹۰) بررسی جامعی بر روی ارزیابی توانایی سیستم‌های فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) و شبکه عصبی تابع بنیادی شعاعی (RBF) در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن حاوی خرده لاستیک (CRC) انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که این سیستم‌ها توانایی بالایی در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن دارند [۱۴].

باد^۱ و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه‌ای بین مدل‌سازی منطق فازی و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) برای پیش‌بینی مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن آماده انجام داده‌اند [۱۵].

یو.جی. نا^۲ و همکاران (۲۰۰۹) سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی را برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن در سن‌های مختلف و در شرایط متفاوت مراقبت استفاده کرده‌اند [۱۶].

پاتاک^۳ و همکاران (۲۰۱۲) سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی را برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن خود متراکم استفاده کرده‌اند [۱۷].

۱-۳ اهمیت و ضرورت انجام پایان‌نامه

انجام تست‌های مختلف برای تعیین مقاومت فشاری بتن در پروژه‌های ساختمانی چه در مرحله اجرا و چه بعد از اجرا جهت اطمینان از کافی بودن مقاومت بتن همواره مورد توجه بوده است. در این ارتباط، تست‌های مخرب بتن به علت ماهیت مخرب بودن آن‌ها، زمان‌بر بودن آن‌ها با توجه به رسیدن عمر نمونه به سن

¹ Badde D.S

² U.J.Na

³ Pathak S.S