

بررسی مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فرهاد پیرمحمدی علیشاه*

گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر، شبستر، ایران.

احمد جهاننیده شندی

کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران.

چکیده

امروزه روش‌های هوشمند و الهام گرفته از طبیعت در حل مسائل پیچیده طرفداران زیادی دارد. یکی از پرطرفدارترین و کاراترین این ساختارها، شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند که قادرند یک رابطه کلی بین اطلاعات حجیم و پیچیده ناشی از آزمایش‌ها و مثال‌های تجربی به دست آورند. با گسترش روزافزون جمعیت و افزایش میزان ساخت و ساز و همچنین به دلیل محدود بودن منابع و مصالح مصرفی، تقاضا برای استفاده از مصالح جدید و مقاوم در برابر زلزله، در صنعت ساختمان افزایش پیدا کرده است. در این تحقیق، با در نظرگیری پارامترهای طرح اختلاط بتن به عنوان ورودی، از مدل‌سازی شبکه عصبی استاتیکی و سری زمانی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن استفاده خواهد شد. طرح‌های اختلاط با درصد‌های مختلف خاکستر بادی و میکروسیلیس (۱٪، ۵٪، ۷٪، ۱۰٪، ۱۲٪، ۱۵٪، ۱۸٪) و مخلوط میکروسیلیس و خاکستر بادی با درصد‌های یکسان (۱٪ و ۱٪، ۳٪ و ۳٪، ۵٪ و ۵٪، ۷٪ و ۷٪، ۹٪ و ۹٪، ۱۰٪ و ۱۰٪) به عنوان درصدی از وزن سیمان، جهت بررسی عملکرد مدل‌های مورد استفاده، به کار گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مدل‌های شبکه عصبی سری زمانی با ۵ نرون عملکرد بسیار مناسبی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن با دقت و قابلیت اعتماد بیشتر، از خود نشان می‌دهد. همچنین جایگزینی میکروسیلیس به عنوان بخشی از سیمان در درصد‌های مختلف، عملکرد بهتری نسبت به خاکستر بادی و مخلوط این دو (سیلیس و خاکستر بادی) در افزایش مقاومت بتن نسبت به نمونه شاهد دارد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری بتن، شبکه عصبی استاتیکی، مدل سری زمانی، میکروسیلیس، خاکستر بادی.

* نویسنده مسئول: Petrofarhad@iaushab.ac.ir

۱- مقدمه

سخت شده بتن خودتراکم الیافی به کمک شبکه عصبی پرداختند. در این پژوهش با در نظر گرفتن اجزای طرح اختلاط بتن به عنوان ورودی شبکه‌ها و مدل‌سازی دو نوع شبکه عصبی یکی تابع بنیادی شعاعی و دیگری شبکه عصبی بازگشتی^۱ برای پیش‌بینی مشخصات سخت شده بتن استفاده شد. مقایسه نتایج آزمایشات و خروجی شبکه بیانگر آن است که هر دو شبکه از دقت کافی در تخمین مشخصات سخت شده بتن خودتراکم برخوردار می‌باشد [۱].

حیدری (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن حاوی مواد افزودنی پرداخته است. در این تحقیق هدف بررسی تاثیر پیش‌بینی نتایج حاصل از افزودن نانوسیلیس بر مقاومت فشاری بتن با شبکه عصبی مصنوعی است. در این بررسی نمونه‌های مکعبی بتن با درصد‌هایی مختلف از نانوسیلیس ساخته شد. سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مقادیر این تأثیرات پیش‌بینی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از مقادیر کم از این ماده باعث افزایش مقاومت اولیه خواهد شد. همچنین شبکه عصبی جواب‌های بسیار نزدیکی به نتایج حاصل از آزمایش‌ها دارد که نشان‌دهنده توانایی این مدل برای پیش‌بینی رفتار یک ماده می‌باشد [۵].

میوتوپریا و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به بررسی پیش‌بینی مقاومت فشاری و دوام بتن عملکرد بالا توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. در این تحقیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی مقاومت فشاری و دوام بتن حاوی متاکائولین با خاکستر بادی و میکروسیلیس در سن ۳، ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز پرداخته‌اند [۶].

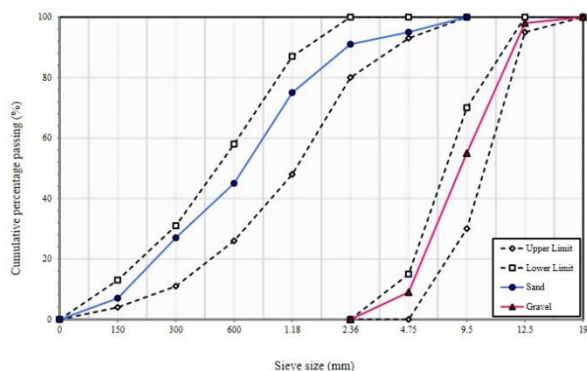
گوپتا (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن حاوی نانو سیلیس پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور توسعه مدل برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه با جایگزینی بخشی از سیمان با نانو سیلیکا مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۷]. شبکه عصبی مصنوعی به تقلید از مغز انسان که شامل رشته‌های عصبی بسیار است، با بهره‌گیری از نورون‌ها، توانایی پیش‌بینی دقیق روابط را

یکی از مهم‌ترین و متداولترین مصالح ساختمانی، بتن است که به علت دارا بودن خواصی از جمله شکل خمیری قبل از گیرش، مقاومت خوب در برابر آتش سوزی، دسترسی آسان به مصالح و مقاومت فشاری خوب آن استفاده از آن را با مقبولیت عمومی روبه‌رو کرده است.

بتن مصالحی شبیه به سنگ است که از مخلوط کردن مقدار مناسبی از سیمان، شن، ماسه، آب و افزودنی‌های دیگر به دست می‌آید. توده اصلی بتن، سنگ‌دانه‌های درشت و ریز (شن و ماسه) است و فعل و انفعال شیمیایی بین آب و سیمان که به صورت شیرهای اطراف سنگ‌دانه‌ها را پوشانده است، باعث یکپارچه شدن و چسبیدن سنگ‌دانه‌ها به یکدیگر می‌شود [۱]. این سنگ‌دانه‌ها اسکلت اصلی بتن را تشکیل داده و نیروی وارد بر بتن را تحمل می‌کنند، آب نیز در این مخلوط موجب ایجاد واکنش شیمیایی در سیمان می‌شود که سخت شدن مخلوط بتن را پس از طی دوره حدود بیست و هشت روز و رسیدن به مقاومت نهایی بتن به همراه دارد. شن و ماسه حدود ۶۵ درصد مخلوط بتن و مابقی را خمیر سیمان و درصد بسیار کمی هوا تشکیل می‌دهد [۲]. در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربردهای بسیار زیادی در علوم مختلف مهندسی، از جمله مهندسی عمران پیدا نموده است. با معرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی، دورنمای جدیدی از علوم و فناوری در برابر مهندسی علوم کاربردی ایجاد شده است [۳]. مسائلی که تا قبل از معرفی این علم به طرق سنتی با دشواری‌های فراوانی مواجه بوده است، با استفاده از این روش با دقت و سادگی زیادی قابل حل شده است. پیش‌بینی رفتار مصالح، تخمین عملکرد سازه‌ها، شناسایی دست نوشته، شناسایی الگو، خوشه‌بندی اطلاعات، تخمین سری‌های زمانی، پیش‌بینی وضعیت آب و هوا، هدایت ماهواره، مسیریابی، کنترل ربات‌ها و مواردی بسیار از این دست مسائلی بودند که سال‌ها مهندسی با آنها دسته و پنجه نرم کرده و مشکلات بسیاری در تحلیل و ارزیابی آنها داشته‌اند که با استفاده از این تکنولوژی با سهولت بیشتری قابل حل شده است [۴].

برنجیان و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به پیش‌بینی مشخصات

¹ - Recurrent Neural Network (NARX)



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی مصالح مصرفی (شن و ماسه)

۳-۱-۲- سیمان و مواد پوزولانی

سیمان استفاده شده در این تحقیق سیمان نوع ۲ کارخانه سیمان صوفیان می‌باشد. پوزولان‌های استفاده شده شامل میکروسیلیس و خاکستر بادی رده F می‌باشند [۱۲]. نتایج تجزیه شیمیایی هر یک از مواد سیمانی فوق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی مواد استفاده شده در تحقیق

مواد سیمانی	سیمان	میکروسیلیس	خاکستر بادی
SiO ₂	۲۱/۲۷	۹۴/۷۳	۵۶/۷
Al ₂ O ₃	۶/۱	۱/۲۳	۲۸/۲
Fe ₂ O ₃	۳/۶۶	۰/۸۷	۵/۳
MgO	۲/۱۷	۰/۹۷	۵/۲
SO ₃	۲/۲۲	۰/۱	۰/۶۸
CaO	۳۴/۶۴	۰/۴۹	۲/۸
LOI	۲/۲	۳/۷

چنانکه نتایج نشان می‌دهند ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی مکانیکی سیمان استفاده شده، با الزامات استاندارد ASTM C143 [۱۳] برای سیمان نوع ۲ سازگاری دارد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سیمان تپ ۲ صوفیان

وزن مخصوص	gr/cm ³	۳/۱۱
سطح مخصوص	gr/cm ²	۲۹۷۴
مقاومت فشاری ۷ روزه با ماسه استاندارد (kg/cm ²)		۲۳۷
مقاومت فشاری ۲۸ روزه با ماسه استاندارد (kg/cm ²)		۴۶۲
زمان گیرش اولیه (دقیقه)		۱۱۶

دارد. در شبکه عصبی مصنوعی بر خلاف روابط تجربی موجود، به هیچ مدل یا تابع مشخص با فرضیات محدود کننده نیاز نیست [۸] و [۹]. در پژوهش حاضر، با استفاده از طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی، به پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن حاوی افزودنی‌های خاکستر بادی و میکروسیلیس پرداخته شده و در نهایت مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن ارائه شده است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق به‌عنوان اولین قدم برای ارائه اطلاعات کافی برای آموزش، بررسی و آزمایش شبکه عصبی، مجموعه‌ای از نتایج آزمون بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مکعبی (۱۵۰ mm) حاوی خاکستر بادی و میکروسیلیس جمع‌آوری شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل ۲۳ نمونه از نتایج مقاومت فشاری بتن می‌باشد. در مرحله بعد با در نظر گرفتن پارامترهای طرح اختلاط بتن به‌عنوان ورودی، از مدل‌سازی شبکه عصبی استاتیکی و سری زمانی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن استفاده شد. در نهایت ضریب همبستگی در نتایج آزمایشگاهی با نتایج شبکه عصبی و صحت سنجی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و مشخص خواهد گردید که کدام مدل‌های شبکه عصبی عملکرد بسیار مناسبی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن با دقت و اعتماد بیشتر است.

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- مواد و مصالح مصرفی

۳-۱-۱- سنگ‌دانه‌ها

مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق از سه بخش ماسه، شن نخودی و شن بادامی تشکیل شده است. ماسه با اندازه حداکثر ۸ میلی‌متر از معادن اطراف شهرستان شبستر می‌باشد.

در شکل (۱) نتایج آزمایش دانه‌بندی برای سنگ‌دانه‌های شن و ماسه نشان داده شده است. مدول نرمی ماسه برابر ۳/۹۹ تعیین شد که طبق معمول ماسه‌های کشور در مقایسه با محدوده دانه‌بندی ذکر شده توسط مراجعی نظیر ASTM C33 [۱۰]، بیش از حد درشت است. دانه‌بندی شن نخودی به نحوی انتخاب شد که در حد امکان در چهارچوب محدوده‌های دانه‌بندی توصیه شده توسط مراجع معتبر قرار گرفت [۱۱].

۳-۱-۳- آب

شده است (جدول ۳، ۴ و ۵). طرح اختلاط اولیه مطابق با-ACI [221] [۱۵] و درصد‌های مختلف میکروسیلیس و خاکستر بادی جایگزین سیمان و مخلوط هر دو تهیه شده و مقاومت فشاری ۷ و ۱۴ و ۲۸ روزه بتن‌های مورد آزمایش توسط جک استاندارد ۲۰۰۰ کیلو نیوتنی به دست می‌آید [۱۶].

آب مورد استفاده در تهیه مخلوط‌های بتن این پروژه آب آشامیدنی بوده است. pH آب مصرفی در بتن نباید کمتر از ۵ یا بیشتر از ۸/۵ باشد [۱۴].

۳-۲- معرفی نسبت اختلاط مصالح و روش ساخت نمونه‌ها

در تهیه مخلوط‌ها از دستگاه بتونر و روش دستی استفاده شده و نمونه‌ها در قالب فلزی مکعبی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر قالب-گیری شد. برای ایجاد تراکم بتن از دستگاه ویراتور برقی در آزمایشگاه استفاده شد. قالب‌ها در دو لایه بتن‌ریزی شد و سپس سطح آنها صاف شده و در محل مناسبی قرار داده شد. نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت از قالب خارج شده و تا زمان انجام آزمایش در آب با دمای 20 ± 2 درجه سانتیگراد عمل‌آوری شدند [۱۷].

طرح‌های اختلاط با درصد‌های مختلف خاکستر بادی و میکروسیلیس (۰٪، ۱٪، ۵٪، ۷٪، ۱۰٪، ۱۲٪، ۱۵٪، ۱۸٪) و مخلوط میکروسیلیس و خاکستر بادی با درصد‌های یکسان (۰٪ و ۱۰٪، ۱٪، ۳٪، ۵٪، ۷٪، ۹٪، ۱۰٪ و ۱۰٪) به عنوان درصدی از وزن سیمان، در مجموع ۲۳ طرح اختلاط جهت بررسی عملکرد مدل‌های مورد استفاده، به کار گرفته

جدول ۳- مقادیر اجزای مخلوط‌های بتن مورد مطالعه با درصد‌های مختلف میکروسیلیس و خاکستر بادی

شماره طرح	مشخصه بتن	W/C	آب (kg)	سیمان (kg)	مقدار میکروسیلیس (%)	مقدار سیلیس (kg)	درصد خاکستر بادی	مقدار خاکستر بادی (kg)	ماسه (kg)	شن نخودی (kg)
۱	SF350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۵۰	-	-	-	-	۱۱۰۱	۷۳۵
۲	SF1 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۴۳	۱	۳/۵	۱	۳/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۳	SF2 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۲۹	۳	۱۰/۵	۳	۱۰/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۴	SF3 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۱۵	۵	۱۷/۵	۵	۱۷/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۵	SF4 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۰۱	۷	۲۴/۵	۷	۲۴/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۶	SF5 350	۰/۵۴	۱۸۹	۲۸۷	۹	۳۱/۵	۹	۳۱/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۷	SF6 350	۰/۵۴	۱۸۹	۲۸۰	۱۰	۳۵	۱۰	۳۵	۱۱۰۱	۷۳۵

جدول ۴- مقادیر اجزای مخلوط‌های بتن مورد مطالعه با درصد‌های مختلف خاکستر بادی

شماره طرح	مشخصه بتن	W/C	آب (kg)	سیمان (kg)	درصد خاکستر بادی (%)	مقدار خاکستر بادی (kg)	ماسه (kg)	شن نخودی (kg)
۱	F 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۵۰	-	-	۱۱۰۱	۷۳۵
۲	F1 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۴۶/۵	۱	۳/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۳	F2 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۳۲/۵	۵	۱۷/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۴	F3 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۲۵/۵	۷	۲۴/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۵	F4 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۱۵	۱۰	۳۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۶	F5 350	۰/۵۴	۱۸۹	۳۰۸	۱۲	۴۲	۱۱۰۱	۷۳۵
۷	F5 350	۰/۵۴	۱۸۹	۲۹۷/۵	۱۵	۵۲/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۸	F5 350	۰/۵۴	۱۸۹	۲۸۷	۱۸	۶۳	۱۱۰۱	۷۳۵

جدول ۵- مقادیر اجزای مخلوط‌های بتن مورد مطالعه با درصد‌های مختلف میکروسیلیس

شماره طرح	مشخصه بتن	W/C	آب (kg)	سیمان (kg)	میکروسیلیس (%)	مقدار میکروسیلیس (kg)	ماسه (kg)	شن نخودی (kg)
۱	S ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۵۰	-	-	۱۱۰۱	۷۳۵
۲	S1 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۴۶/۵	۱	۳/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۳	S2 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۳۲/۵	۵	۱۷/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۴	S3 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۲۵/۵	۷	۲۴/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۵	S4 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۱۵	۱۰	۳۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۶	S5 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۳۰۸	۱۲	۴۲	۱۱۰۱	۷۳۵
۷	S6 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۲۹۷/۵	۱۵	۵۲/۵	۱۱۰۱	۷۳۵
۸	S7 ۳۵۰	۰/۵۴	۱۸۹	۲۸۷	۱۸	۶۳	۱۱۰۱	۷۳۵

جدول ۶- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس

درصد اختلاط	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
۰/۰۱ میکروسیلیس	F = ۴۱۰۹۰ kgf	F = ۵۸۷۹۰ kgf	F = ۷۴۲۹۰ kgf
	fc = ۱۸۲/۶ kg/cm ²	fc = ۲۶۱/۳ kg/cm ²	fc = ۳۳۰/۲ kg/cm ²
	Fc = ۱۸/۲ N/mm ²	Fc = ۲۶/۱ N/mm ²	Fc = ۳۳ N/mm ²
۰/۰۵ میکروسیلیس	F = ۵۹۴۷۰ kgf	F = ۷۵۰۱۰ kgf	F = ۸۱۷۵۰ kgf
	fc = ۲۶۴/۳ kg/cm ²	fc = ۳۳۳/۴ kg/cm ²	fc = ۳۶۳/۳ kg/cm ²
	Fc = ۲۶/۴ N/mm ²	Fc = ۳۳/۳ N/mm ²	Fc = ۳۶/۳ N/mm ²
۰/۰۷ میکروسیلیس	F = ۵۷۴۱۰ kgf	F = ۷۳۰۰۰ kgf	F = ۳۲۵۵۰ kgf
	fc = ۲۵۵/۱ kg/cm ²	fc = ۳۲۴/۵ kg/cm ²	fc = ۴۱۱/۳ kg/cm ²
	Fc = ۲۵/۵ N/mm ²	Fc = ۳۲/۴ N/mm ²	Fc = ۴۱/۱ N/mm ²
۰/۱۰ میکروسیلیس	F = ۵۳۸۰۰ kgf	F = ۶۶۵۴۰ kgf	F = ۸۷۳۲۰ kgf
	fc = ۲۳۹ kg/cm ²	fc = ۲۹۵ kg/cm ²	fc = ۳۸۸/۱ kg/cm ²
	Fc = ۲۳/۹ N/mm ²	Fc = ۲۹/۵ N/mm ²	Fc = ۳۸/۸ N/mm ²
۰/۱۲ میکروسیلیس	F = ۴۶۴۳۰ kgf	F = ۶۲۷۳۰ kgf	F = ۸۲۳۷۰ kgf
	Fc = ۲۰۶/۳ kg/cm ²	fc = ۲۷۸/۷ kg/cm ²	fc = ۳۶۶/۱ kg/cm ²
	Fc = ۲۰/۶ N/mm ²	Fc = ۲۷/۸ N/mm ²	Fc = ۳۶/۶ N/mm ²
۰/۱۵ میکروسیلیس	F = ۴۳۸۲۵ kgf	F = ۵۸۵۸۰ kgf	F = ۷۰۵۷۰ kgf
	fc = ۱۹۴/۹ kg/cm ²	fc = ۲۶۰/۴ kg/cm ²	fc = ۳۱۳/۶ kg/cm ²
	Fc = ۱۹/۴ N/mm ²	Fc = ۲۶ N/mm ²	Fc = ۳۱/۳ N/mm ²
۰/۱۸ میکروسیلیس	F = ۳۲۴۵۰ kgf	F = ۵۲۴۸۰ kgf	F = ۶۵۲۷۰ kgf
	fc = ۱۴۴/۲ kg/cm ²	fc = ۲۳۳/۲ kg/cm ²	fc = ۲۹۰/۱ kg/cm ²
	Fc = ۱۴/۴ N/mm ²	Fc = ۲۳/۳ N/mm ²	Fc = ۲۹ N/mm ²

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- مقاومت فشاری

- ساخت نمونه ها - شکستن نمونه‌ها و بدست آوردن مقاومت

فشاری) نتایج فوق در جداول (۶ تا ۹) ارائه شده است. همان گونه

که در جداول نیز مشخص است مقاومت فشاری نمونه‌ها با سه

پس از مراحل آزمایشگاهی (تهیه نسبت‌های اختلاط - تهیه مصالح

کمیت [۱۸] نوشته شده که عبارتند از: می‌باشد و از تقسیم نیرو بر مساحت نمونه بدست می‌آید.
 - کمیت F که نشان دهنده نیروی ثبت شده در دستگاه بتن شکن می‌باشد. - کمیت FC نشان دهنده مقاومت فشاری بر حسب N/mm^2
 - کمیت fc که نشان دهنده مقاومت فشاری بر حسب kg/cm^2 می‌باشد.

جدول ۷- مقاومت بتن با درصدهای مختلف خاکستر بادی

درصد اختلاط	۷روزه	۱۴روزه	۲۸روزه
۰/۰۱ خاکستر بادی	$F = 33412 \text{ kgf}$	$F = 52780 \text{ kgf}$	$F = 69420 \text{ kgf}$
	$fc = 148/5 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 234/6 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 308/5 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 14/8 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 23/4 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 30/8 \text{ N/mm}^2$
۰/۰۵ خاکستر بادی	$F = 39150 \text{ kgf}$	$F = 53180 \text{ kgf}$	$F = 64800 \text{ kgf}$
	$fc = 174 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 236/3 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 288/1 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 17/4 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 23/6 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 27/8 \text{ N/mm}^2$
۰/۰۷ خاکستر بادی	$F = 45810 \text{ kgf}$	$F = 62980 \text{ kgf}$	$F = 78750 \text{ kgf}$
	$fc = 203/6 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 279/9 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 350 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 20/3 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 27/9 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 35 \text{ N/mm}^2$
۰/۱۰ خاکستر بادی	$F = 38680 \text{ kgf}$	$F = 63130 \text{ kgf}$	$F = 81320 \text{ kgf}$
	$fc = 171/9 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 280/6 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 361/4 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 17/1 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 28 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 36/1 \text{ N/mm}^2$
۰/۱۲ خاکستر بادی	$F = 36900 \text{ kgf}$	$F = 46930 \text{ kgf}$	$F = 72470 \text{ kgf}$
	$fc = 164 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 208/6 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 322/1 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 16/4 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 20/8 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 32/2 \text{ N/mm}^2$
۰/۱۵ خاکستر بادی	$F = 36675 \text{ kgf}$	$F = 46575 \text{ kgf}$	$F = 32080 \text{ kgf}$
	$fc = 163/2 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 207 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 275/9 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 16/3 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 20/7 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 27/5 \text{ N/mm}^2$
۰/۱۸ خاکستر بادی	$F = 33150 \text{ kgf}$	$F = 45225 \text{ kgf}$	$F = 60750 \text{ kgf}$
	$fc = 147/3 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 201/1 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 170 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 14/7 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 20/1 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 27 \text{ N/mm}^2$

جدول ۸- مقاومت بتن با درصدهای مختلف سیلیس و خاکستر بادی

درصد اختلاط	۷روزه	۱۴روزه	۲۸روزه
۰/۰۱ سیلیس ۰/۰۱ خاکستر	$F = 42570 \text{ kgf}$	$F = 61730 \text{ kgf}$	$F = 81330 \text{ kgf}$
	$fc = 189/2 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 274/4 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 361/5 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 18/9 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 27/4 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 36/1 \text{ N/mm}^2$
۰/۰۳ سیلیس ۰/۰۳ خاکستر	$F = 43042 \text{ kgf}$	$F = 58240 \text{ kgf}$	$F = 82370 \text{ kgf}$
	$fc = 191/3 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 258/8 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 366/1 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 19/1 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 25/8 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 36/6 \text{ N/mm}^2$
۰/۰۵ سیلیس ۰/۰۵ خاکستر	$F = 47925 \text{ kgf}$	$F = 57330 \text{ kgf}$	$F = 75740 \text{ kgf}$
	$fc = 213 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 254/8 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 336/6 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 21/3 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 25/4 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 33/6 \text{ N/mm}^2$
۰/۰۷ سیلیس ۰/۰۷ خاکستر	$F = 49950 \text{ kgf}$	$F = 65940 \text{ kgf}$	$F = 82210 \text{ kgf}$
	$fc = 222 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 293/1 \text{ kg/cm}^2$	$fc = 365/4 \text{ kg/cm}^2$
	$Fc = 22/2 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 29/3 \text{ N/mm}^2$	$Fc = 36/5 \text{ N/mm}^2$

ادامه جدول ۸- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف سیلیس و خاکستر بادی

سیلیس ۰/۰۹	F = ۳۷۳۲۷ kgf	F = ۵۱۷۲۰ kgf	F = ۷۴۸۱۰ kgf
سیلیس ۰/۰۹	fc = ۱۶۵/۹ kg/cm ²	fc = ۲۲۹/۹ kg/cm ²	fc = ۳۳۲/۵ kg/cm ²
سیلیس ۰/۱۰	F = ۳۳۸۴۰ kgf	F = ۵۰۴۱۰ kgf	F = ۶۵۹۳۰ kgf
خاکستر ۰/۱۰	fc = ۱۵۰/۴ kg/cm ²	fc = ۲۲۴ kg/cm ²	fc = ۲۹۳ kg/cm ²
	Fc = ۱۶/۵ N/mm ²	Fc = ۳۰ N/mm ²	Fc = ۳۳/۲ N/mm ²
	Fc = ۱۵ N/mm ²	Fc = ۲۲/۴ N/mm ²	Fc = ۲۹/۳ N/mm ²

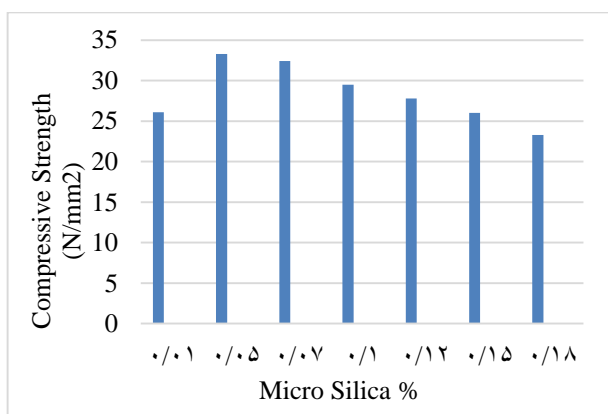
جدول ۹- مقاومت نمونه شاهد

درصد اختلاط	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
	F = ۴۲۲۷۰ kgf	F = ۵۹۰۴۰ kgf	F = ۸۰۹۱۰ kgf
نمونه شاهد	fc = ۱۸۷/۸ kg/cm ²	fc = ۲۶۲/۴ kg/cm ²	fc = ۳۵۹/۶ kg/cm ²
	Fc = ۱۷/۷ N/mm ²	Fc = ۲۶/۲ N/mm ²	Fc = ۳۵/۹ N/mm ²

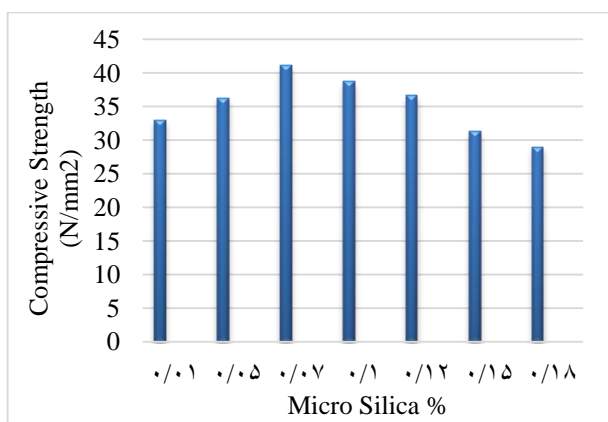
۴-۲- تأثیر میکروسیلیس در بتن

۱۴ و ۲۸) نسبت به نمونه شاهد کاهش دارد. بهترین نتایج را در ۷، ۵ و ۱۰ درصد خواهیم داشت.

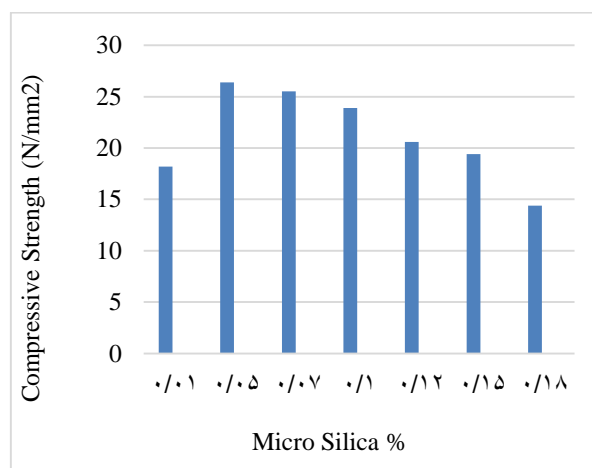
طبق نتایج به دست آمده (اشکال ۲ تا ۵) مشاهده شد که با جایگزینی میکروسیلیس ۱ درصد، مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۷ (۱۴ و ۲۸) روزه نسبت به بتن شاهد، کاهش جزئی نشان می‌دهد. بالاترین مقاومت در سنین ۷ و ۱۴ روزه در میکروسیلیس ۵ درصد (افزایش ۴۰٪ نسبت به نمونه شاهد) حاصل می‌شود و در ۲۸ روزه بالاترین مقاومت مربوط به میکروسیلیس ۷ درصد (افزایش ۱۴٪ نسبت به نمونه شاهد) می‌باشد.



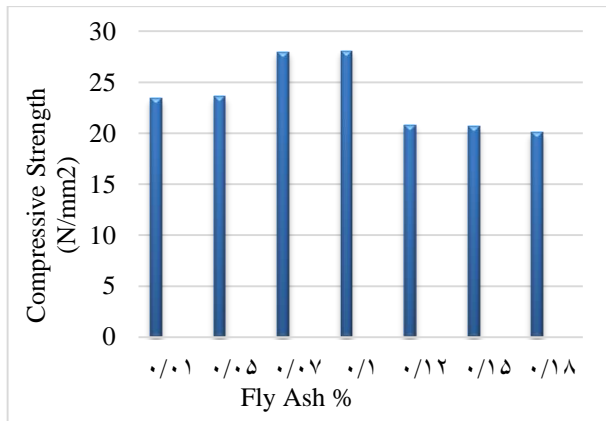
شکل ۳- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس در سن ۱۴ روز



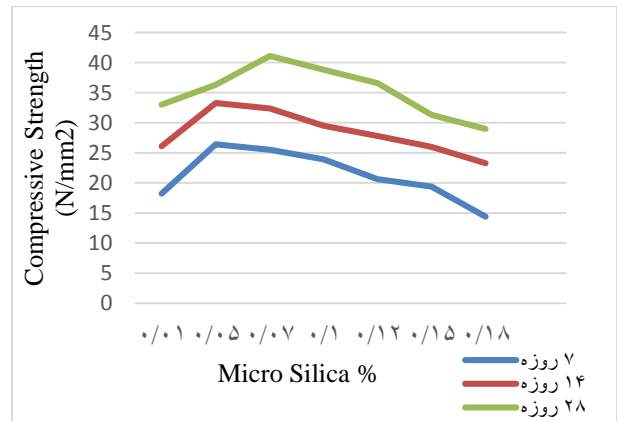
شکل ۴- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس در سن ۲۸ روز



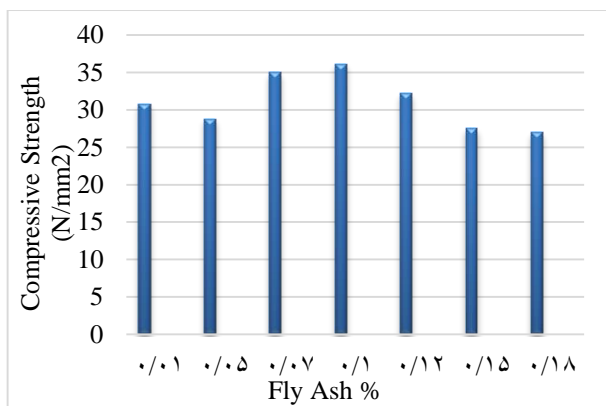
شکل ۲- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس در سن ۷ روز در درصد‌های ۷، ۵، ۱۰ و ۱۲ میکروسیلیس، مقاومت‌ها در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه نسبت به نمونه شاهد افزایش مطلوبی دارند، به عنوان مثال مقاومت نهایی میکروسیلیس ۱۰ درصد نسبت به مقاومت نهایی نمونه شاهد حدود ۸٪ افزایش نشان می‌دهد. از ۱۵ درصد به بعد، مقاومت‌ها در هر سه سن (۷



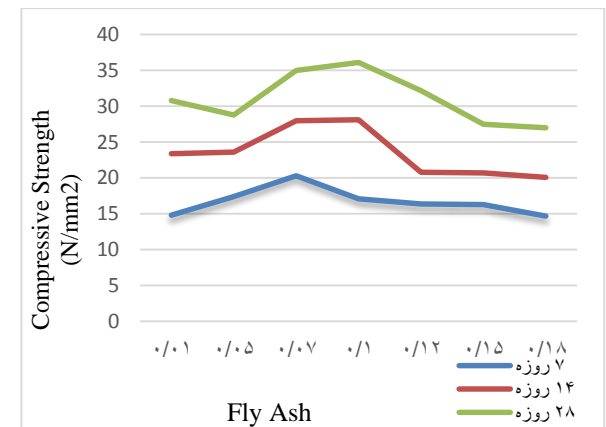
شکل ۷- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف خاکستر بادی در سن ۷ روز



شکل ۵- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس در سن ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز



شکل ۸- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف خاکستر بادی در سن ۲۸ روز



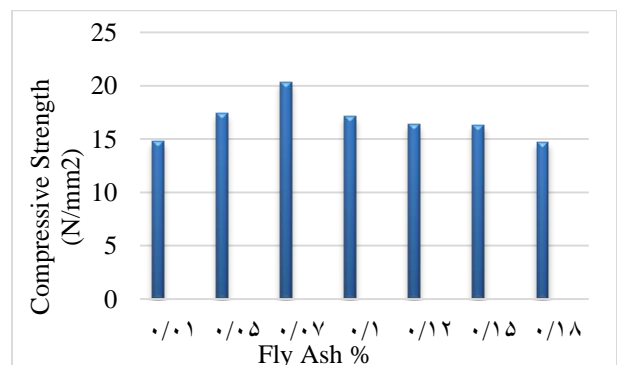
شکل ۹- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف خاکستر بادی در سن ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز

۴-۴- تأثیر ترکیبی هم‌زمان میکروسیلیس و خاکستر بادی در بتن

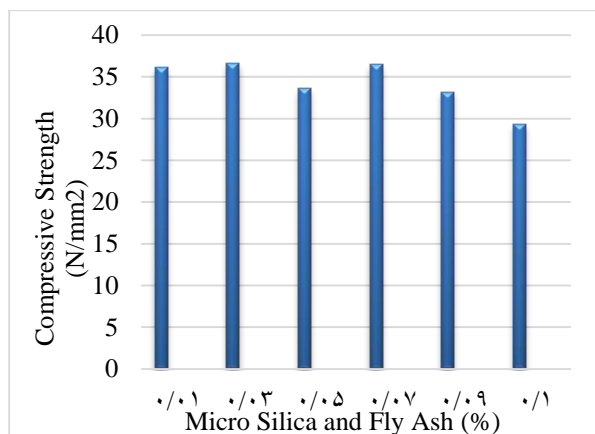
طبق آزمایشات انجام گرفته با ترکیب میکروسیلیس و خاکستر بادی (اشکال ۱۰-۱۳)، در نمونه‌های بتن، نتایج در ترکیب‌های

۴-۳- تأثیر خاکستر بادی در بتن

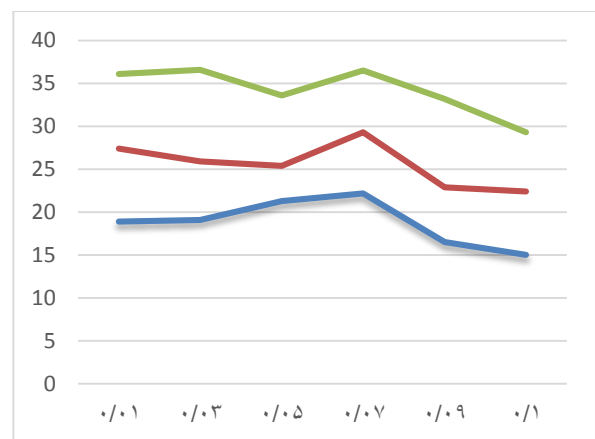
طبق آزمایشات مقاومت فشاری بتن با درصد‌های مختلف خاکستر بادی، مشاهده گردید که خاکستر بادی سبب کاهش ناچیز مقاومت اولیه بتن نسبت به نمونه شاهد گردید ولی در دراز مدت، مقاومت این بتن حتی بیشتر از نمونه شاهد می‌شود (اشکال ۶-۹). مقاومت بتن در سن هفت روزه همه درصد‌های خاکستر بادی به غیر از ۷ درصد، نسبت به بتن شاهد کاهش پیدا کرده است. در سن چهارده روزه، خاکستر بادی ۷ و ۱۰ درصد، مقاومت بیشتری از نمونه شاهد دارند (حدود ۶٪) و بقیه، مقاومت کمتری نسبت به نمونه شاهد دارند. در بیست و هشت روزه نیز، خاکستر بادی ۱۰ درصد بالاترین مقاومت را داراست و بقیه مقاومت‌ها، کمتر از نمونه شاهد است. در کل، مقاومت نهایی فقط در خاکستر بادی ۱۰ درصد، بیشتر از مقاومت نهایی نمونه شاهد می‌باشد. در یک نتیجه-گیری کلی مشخص می‌شود که خاکستر بادی ۱۰ درصد، بهترین مقاومت را داراست و بقیه درصدها توصیه نمی‌شود.



شکل ۶- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف خاکستر بادی در سن ۷ روز



شکل ۱۲- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس و خاکستر بادی در سن ۲۸ روز

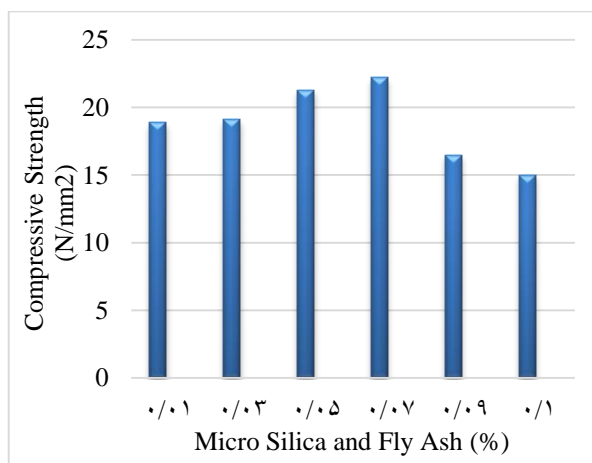


شکل ۱۳- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف سیلیس و خاکستر بادی در سن ۷ و ۱۴ و ۲۸ روز

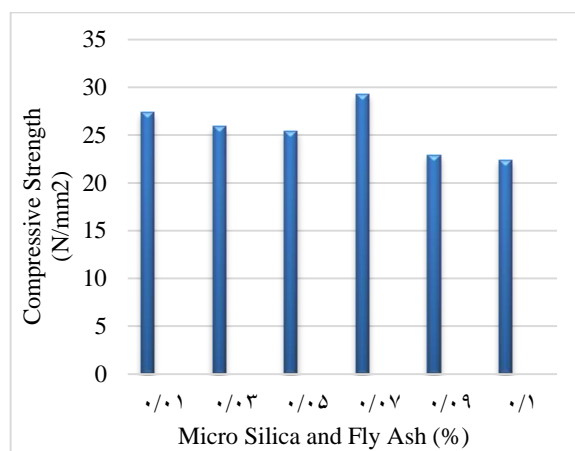
۴-۵- معرفی متدولوژی و روش انجام کار در نرم افزار Matlab

متدولوژی استفاده شده برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مقاومت بتن، روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در مدل‌های آماری و دینامیکی سعی بر آن است که با ایجاد یک رابطه ریاضی، ارتباط بین اطلاعات مفروض به نام ورودی و اطلاعات دیگر یعنی خروجی، بیان شود. در این روابط صریح ریاضی، محدودیتی وجود دارد که یک مدل دینامیکی صریح، اگر بخواهد از دقت بالایی برخوردار باشد، باید پارامترهای ورودی آن زیاد بوده و یا برد زمانی پیش‌بینی آن کم گردد [۱۹]. اما در شبکه عصبی مصنوعی با پردازش غیرخطی اطلاعات به روش خود سازمانی در عملیاتی موازی در تعداد زیادی از سلول‌های عصبی ارتباط بین اطلاعات ورودی و خروجی در سطح بالایی شبیه‌سازی می‌شود و

۱، ۳ و ۳، ۵ و ۵، ۷ و ۷، ۹ و ۹، ۱۰ و ۱۰ درصد مورد ارزیابی گرفت. بهترین مقاومت در ترکیب میکروسیلیس و خاکستر بادی ۳، ۱ و ۷ درصد به دست آمده است که مقاومت ۲۸ روزه، افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد را نشان می‌دهد. در سن هفت روزه درصد‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ مقاومت بهتری از نمونه شاهد را داراست و بالاترین مقاومت مربوط به ترکیب ۷ درصد، (افزایش مقاومت ۱۸٪ نسبت به نمونه شاهد) می‌باشد. درصد‌های ۹ و ۱۰ مقاومت کمتری نسبت به نمونه شاهد دارند. در سن چهارده روزه، بالاترین مقاومت مربوط به ۷ درصد می‌باشد. در سن بیست و هشت روزه بالاترین مقاومت مربوط به ترکیب ۳ درصد می‌باشد و درصد‌های ۱، ۳ و ۷ عملکرد بهتری نسبت به نمونه شاهد دارند. ترکیب ۳٪ خاکستر و ۳٪ میکروسیلیس، ۲٪ افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد دارد.



شکل ۱۰- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف میکروسیلیس و خاکستر بادی در سن ۷ روز



شکل ۱۱- مقاومت بتن با درصد‌های مختلف سیلیس و خاکستر بادی در سن ۱۴ روز

مدل اصلی برگزیده می‌شود [۲۳]. شاخص‌های ارزیابی آماری که در این تحقیق به کار رفته‌اند علاوه بر ضریب همبستگی، مجموع مربعات خطاها (MSE)، نیز شامل می‌شوند که توسط نرم افزار محاسبه شده است [۲۴].

R ضریب همبستگی: شاخص R بیانگر ارتباط بین دو متغیر می‌باشد. این شاخص توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

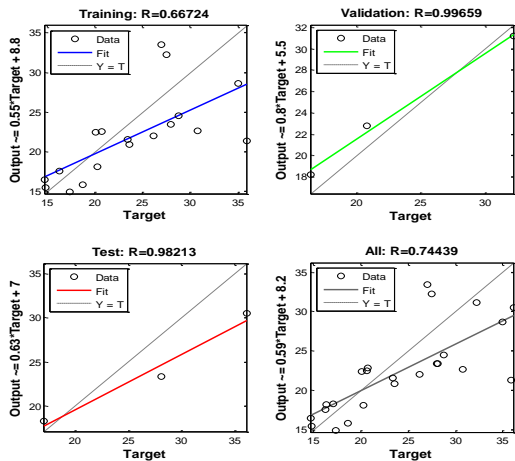
\bar{x} و \bar{y} در رابطه فوق بیانگر میانگین داده‌ها و X مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه و Y نتایج حاصل از نرم افزار فرض شده و R میانگین داده‌ها می‌باشند. عدد R هر چه به یک نزدیکتر باشد ارتباط قویتر بین متغیرها بوده و هر چه به صفر نزدیکتر باشد گویای ارتباط ضعیف‌تر بین متغیرها می‌باشد.

MSE میانگین مجموع مربعات خطا: این پارامتر توسط نرم افزار محاسبه می‌شود. هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد به معنای وجود خطای کمتر در شبکه می‌باشد [۲۵].

\hat{y}_i : داده‌های آزمایشگاهی

y_i : داده‌های نرم‌افزار

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$



شکل ۱۴- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۱۰ نورون) با توجه به شکل ۱۴ و ۱۶ مشاهده می‌کنیم که ضریب همبستگی در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی در ۱۰ نورون ۰/۷۴ و در ۵ نورون ۰/۸۶ به دست آمده است.

بدون ساختن و یا ایجاد رابطه صریح می‌تواند با آموزشی که دیده است رفتار سیستم را پیش‌بینی کند [۲۰].

در این پژوهش جهت استفاده از بهترین مصالح موجود در منطقه که از نظر استاندارد مورد تأیید می‌باشند و هر دو از مصالح معدنی هستند در بتن مورد استفاده قرار خواهند گرفت. درصد تجمعی عبوری از الک‌ها با شرایط دانه‌بندی ASTM C33 [۱۰] برای درشت‌دانه و ریز خواهد بود.

داده‌های شبکه عصبی شامل ۲۳ طرح اختلاط بتن حاوی درصد‌های مختلف میکروسلیس و خاکستر بادی خواهد بود که پارامترهای ورودی شامل مقدار میکروسلیس، مقدار خاکستر بادی و مقدار سیمان می‌باشد. پارامترهای خروجی شامل مقاومت فشاری ۷ روزه بتن، مقاومت فشاری ۱۴ روزه بتن و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن خواهد بود و در برنامه Matlab مدل‌سازی به صورت استاتیکی و سری تاخیر زمانی مورد بررسی و صحت‌سنجی قرار خواهد گرفت و در نهایت ضریب همبستگی در نتایج آزمایشگاهی با نتایج شبکه عصبی و صحت‌سنجی داده‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

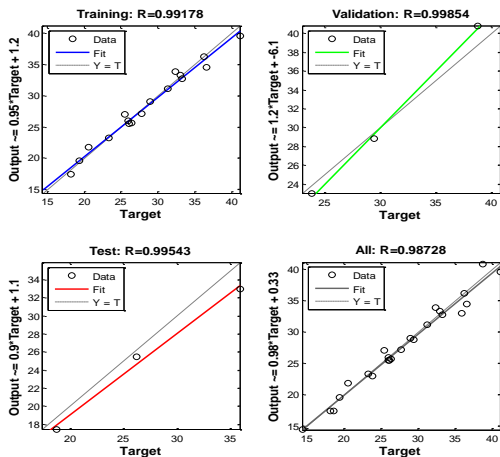
۴-۶- ساخت مدل

در اینجا نمونه‌ها به ۳ دسته آموزش (Training)، اعتبارسنجی (Validation) و آزمایشی (Test) تقسیم می‌شوند. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۱۵ درصد داده‌ها برای بررسی کیفیت شبکه در انتهای هر نسل آموزش به کار می‌روند که به آن داده‌ها Validation می‌گویند. ۱۵ درصد مابقی داده‌ها یعنی داده‌های Test هنگام آموزش استفاده نمی‌شوند بلکه پس از اتمام فاز آموزش، کارایی Performance شبکه با داده‌های جدید Test می‌شوند [۲۱].

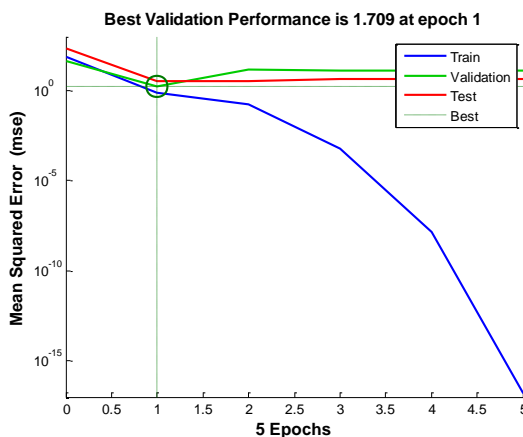
۴-۷- شبکه عصبی استاتیکی و نتایج بدست آمده

این الگوریتم می‌تواند در آموزش پرسپترون‌های چند لایه که قادر به حل مسائل غیرخطی هستند بکار برود [۲۲]. در حال حاضر، شبکه عصبی استاتیکی به طور گسترده استفاده می‌شود، مدل استاتیک فقط از روابط جبری ساخته شده است. در این دسته از معیارها، مدل‌ها بر اساس شاخص‌های آماری با یکدیگر مقایسه می‌شوند و مدلی که بهترین شاخص‌های آماری را داشته باشد به عنوان

در اشکال ۱۵ و ۱۷ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی بهترین عملکرد به ترتیب با ۱۰ نورون ۲/۸۲ در مرحله اول و در ۵ نورون ۴/۴۲ در مرحله صفر به دست آمده است.



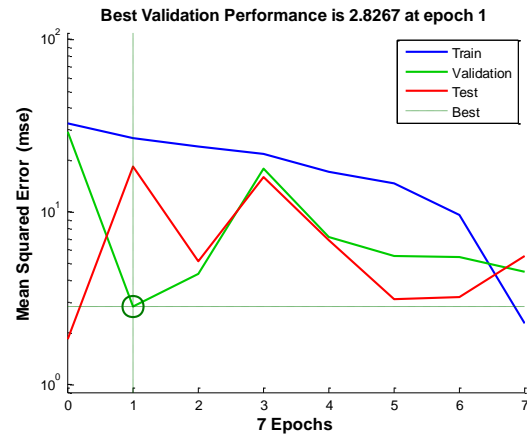
شکل ۱۸- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۱۰ نورون)



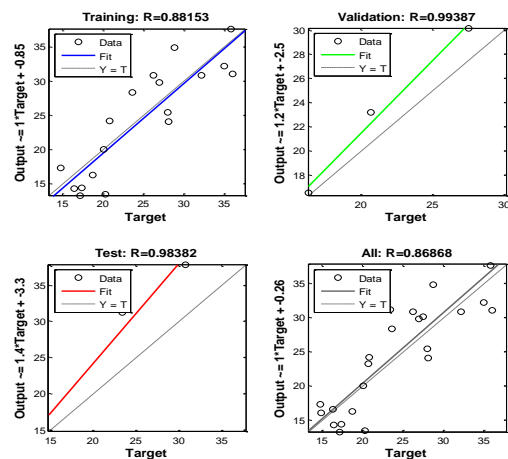
شکل ۱۹- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۱۰ نورون)

باتوجه به شکل ۱۸ و ۲۰ مشاهده می‌کنیم که ضریب همبستگی در پیش‌بینی مقاومت بتن با میکروسیلیس در ۱۰ نورون ۰/۹۸۷ و در ۵ نورون ۰/۹۸۴ به دست آمده است.

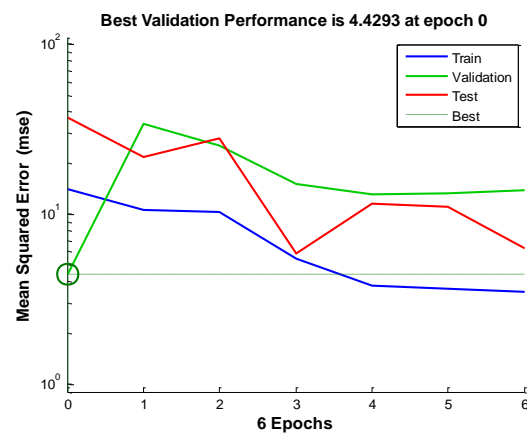
در اشکال ۱۹ و ۲۱ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی نشان داده شده که بهترین عملکرد به ترتیب با ۱۰ نورون ۱/۷ در مرحله اول و در ۵ نورون ۲/۲ در مرحله ۶ به دست آمده است.



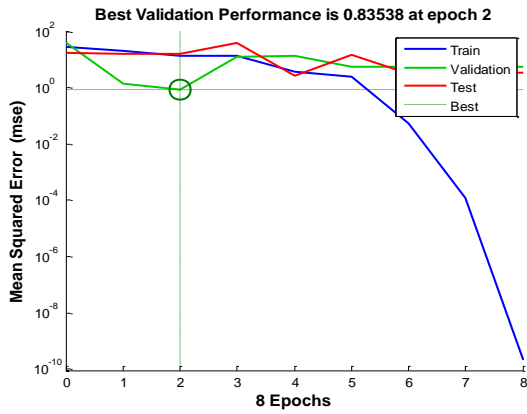
شکل ۱۵- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۱۰ نورون)



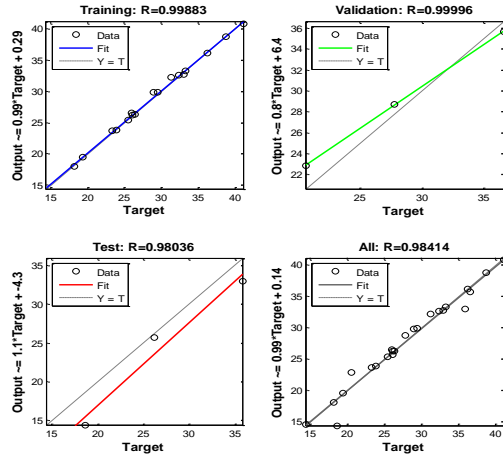
شکل ۱۶- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۵ نورون)



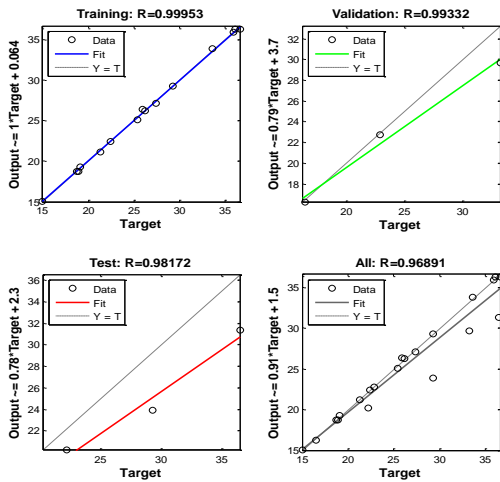
شکل ۱۷- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۵ نورون)



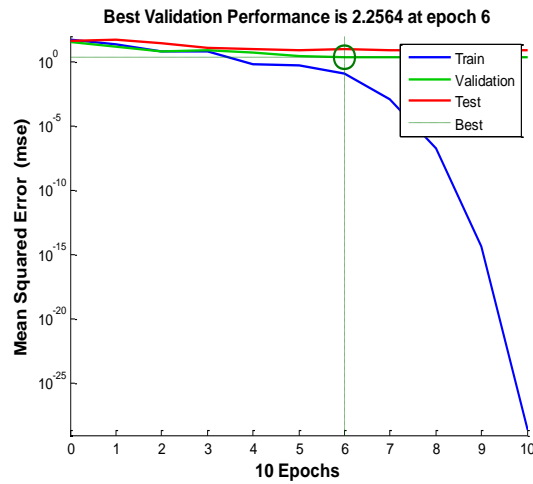
شکل ۲۳- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۱۰ نورون)



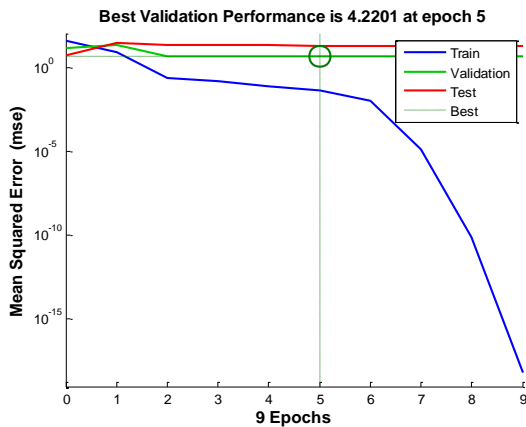
شکل ۲۰- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۵ نورون)



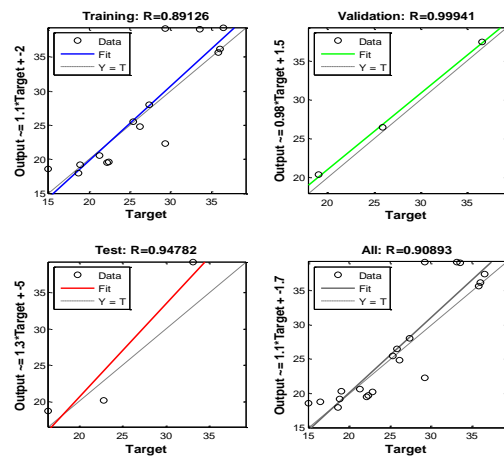
شکل ۲۴- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۵ نورون)



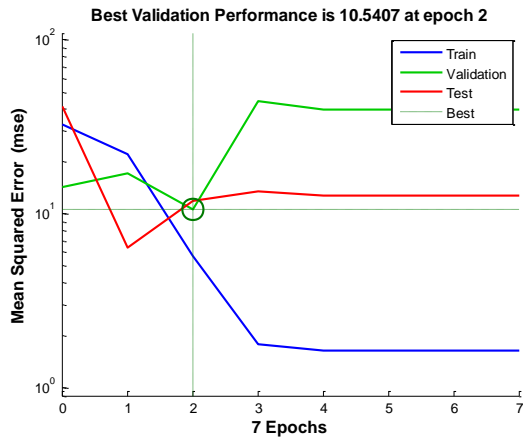
شکل ۲۱- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۵ نورون)



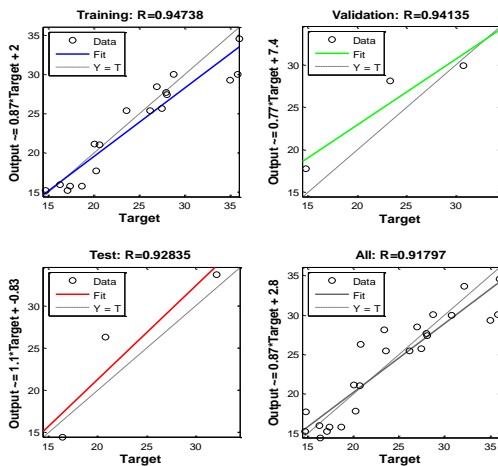
شکل ۲۵- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۵ نورون)



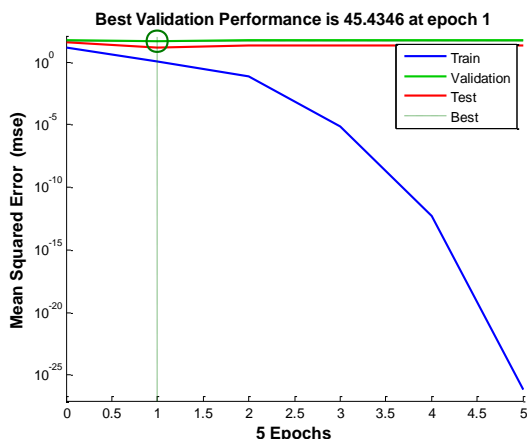
شکل ۲۲- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۱۰ نورون)



شکل ۲۷- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۱۰ نوروں)



شکل ۲۸- پیش بینی مقدار مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۱۰ نوروں)



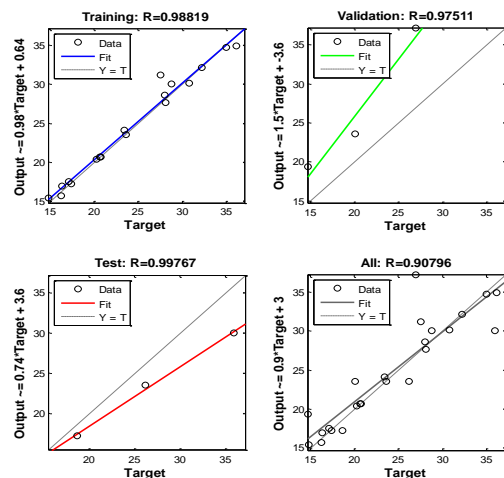
شکل ۲۹- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۵ نوروں)

باتوجه به شکل ۲۲ و ۲۴ مشاهده می کنیم که ضریب همبستگی در پیش بینی مقاومت بتن با ترکیب خاکستر بادی و میکروسیلیس در ۱۰ نوروں ۰/۹۰ و در ۵ نوروں ۰/۹۶ به دست آمده است.

در اشکال ۲۳ و ۲۵ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش بینی با استفاده از شبکه عصبی استاتیکی به دست آمده است که بهترین عملکرد به ترتیب با ۱۰ نوروں ۰/۸۳ در مرحله دوم و در ۵ نوروں ۴/۲۲ در مرحله پنجم به دست آمده است.

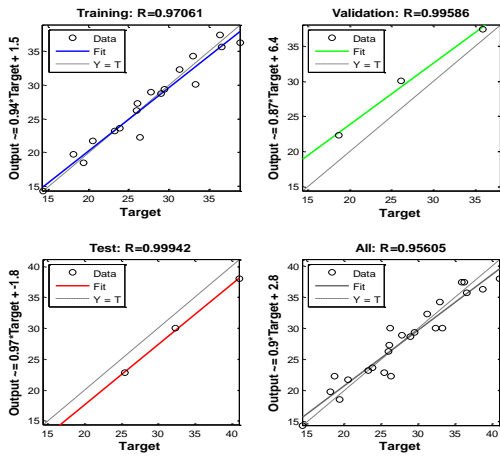
۴-۸- شبکه عصبی سری زمانی و نتایج به دست آمده

از شبکه های عصبی برای پیش بینی سری های زمانی به ویژه جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری که راه را برای به کارگیری تکنیک های کلاسیک فراهم می سازد، برقرار نیست و سری های زمانی پیچیده می باشند، بسیار استفاده شده است. داده های دوره آموزش و تست مدل شبکه عصبی به مدل هوشمند شبکه عصبی دینامیکی در نرم افزار متلب قسمت سری های زمانی Ntstool معرفی می شوند [۲۶]. حالت پیش فرض برنامه برای تعداد ۵ و ۱۰ لایه مخفی با ۲ مرتبه تاخیر زمانی تنظیم گردیده است و یافتن حالت بهینه در این روش تجربی بوده و با سعی و خطا تعداد لایه های مخفی و تاخیر زمانی مورد نظر به دست می آید، که بهترین پیش بینی را می تواند ایجاد نماید، که در واقع این حالت بهینه نتیجه ایجاد تاخیر زمانی است که قابلیت شبکه های عصبی دینامیکی را به وضوح در حالت های مختلف شکل های ذیل نشان می دهد. مدل های دینامیک از روابط دیفرانسیلی تبعیت می کند و از معادلات با مشتقات جزئی استفاده می کند [۲۷].

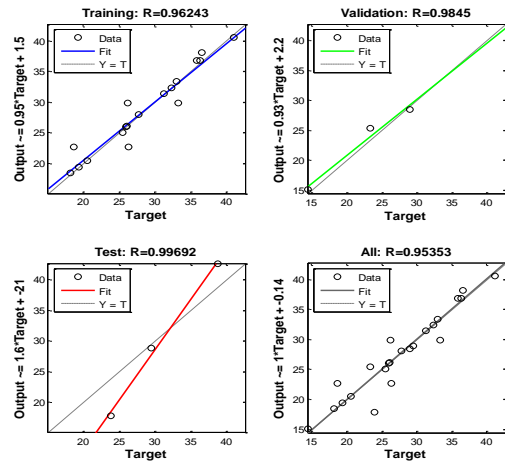


شکل ۳۰- پیش بینی مقدار مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی (۱۰ نوروں)

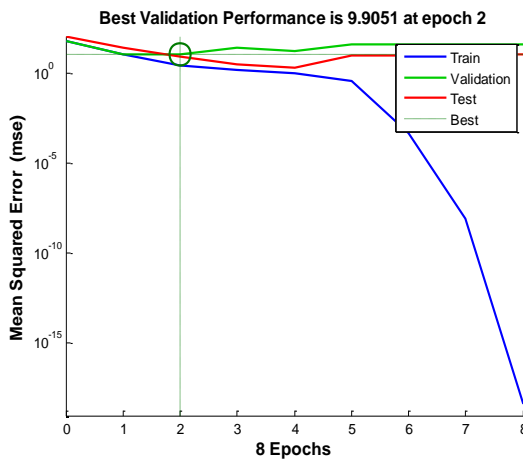
باتوجه به شکل ۲۶ و ۲۸ مشاهده می‌کنیم که ضریب همبستگی در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی با مدل سری زمانی در ۱۰ نورون ۰/۹۰ و در ۵ نورون ۰/۹۱ به دست آمده است.



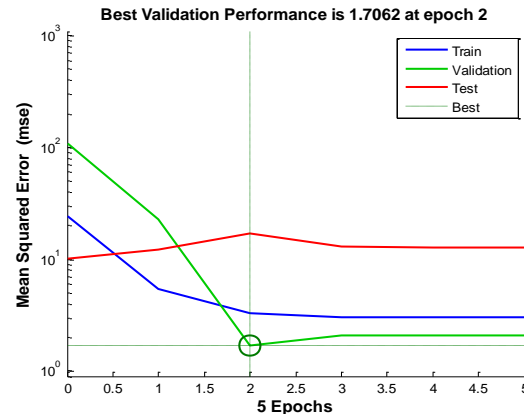
در اشکال ۲۷ و ۲۹ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مدل سری زمانی به دست آمده است که بهترین عملکرد به ترتیب با ۱۰ نورون ۴۵/۴ در مرحله اول و در ۵ نورون ۱۰/۵۴ در مرحله دوم به دست آمده است.



شکل ۳۲- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۵ نورون)



شکل ۳۰- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۱۰ نورون)



شکل ۳۳- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۵ نورون)

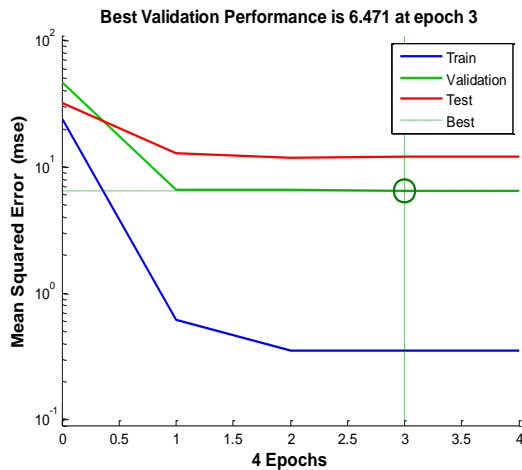
شکل ۳۱- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس (۱۰ نورون)

باتوجه به شکل ۳۴ و ۳۶ مشاهده می‌کنیم که ضریب همبستگی در پیش‌بینی مقاومت بتن در ترکیب خاکستر بادی و میکروسیلیس با مدل سری زمانی در ۱۰ نورون ۰/۹۵ و در ۵ نورون ۰/۹۷ به دست آمده است.

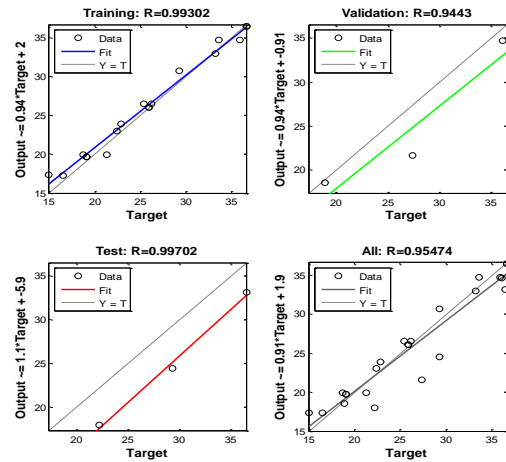
باتوجه به شکل ۳۰ و ۳۲ مشاهده می‌کنیم که ضریب همبستگی در پیش‌بینی مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس در مدل سری زمانی در ۱۰ نورون ۰/۹۵۳ و در ۵ نورون ۰/۹۵۶ به دست آمده است.

در اشکال ۳۵ و ۳۷ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مدل سری زمانی به دست آمده است که بهترین عملکرد به ترتیب با ۱۰ نورون ۱۱/۹ در مرحله اول و در ۵ نورون ۶/۴۷ در مرحله سوم به دست آمده است.

در اشکال ۳۱ و ۳۳ میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مدل سری زمانی به دست آمده



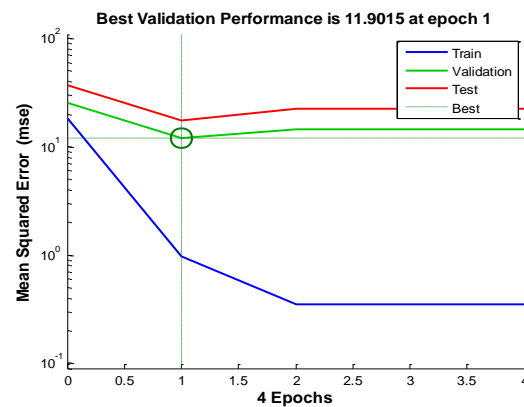
شکل ۳۳- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۵ نرون)



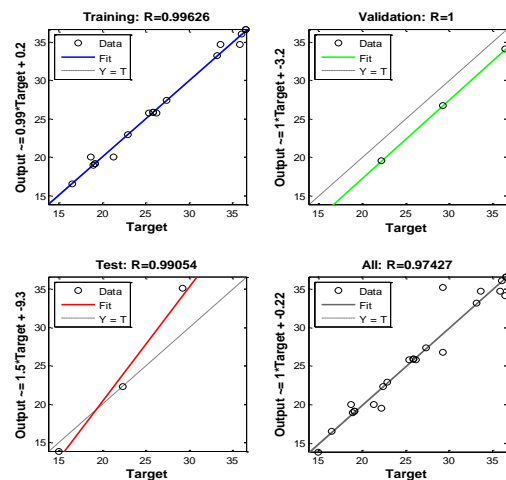
شکل ۳۴- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۱۰ نرون)

۴-۹- ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین مقاومت بتن

با توجه به طراحی انواع مدل‌های شبکه‌های عصبی و نتایج به دست آمده از مدل‌های طراحی شده و با توجه به نتایج مندرج در جداول ۱۰ و ۱۱ زیر می‌توان اذعان نمود که مدل طراحی شده با شبکه سری زمانی بدلیل میانگین خطای کم و ضریب همبستگی زیاد و نزدیکترین خروجی شبکه به نتایج واقعی حاصل از آزمایشات صورت گرفته، بهترین مدل ممکن از نظر ساختاری برای تعیین مقاومت بتن براساس تغییر در درصد‌های طرح اختلاط‌ها می‌باشد. اطلاعات خروجی از شبکه‌ها در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. تعداد نرون‌های لازم در لایه مخفی به روش تجربی تعیین می‌گردد. ولی می‌توان اظهار داشت که اگر تعداد آنها از حدی کمتر باشد، ممکن است یادگیری به طور کامل انجام نشود. این حالت به نام برازش ناقص معروف است و به این معنی است که وزن‌ها و ارب‌هایی که شبکه بتواند به وسیله آنها خروجی‌های منطقی نزدیک به پاسخ‌های صحیح تولید کند، موجود نیست. در مقابل، حالت بیش برازش ممکن است پیش آید، در این حالت تعداد نرون‌های به کار گرفته شده بیش از حد لازم است و زمان آموزش بیشتر، ماتریس وزن و بردار ارب بزرگتر می‌گردد، ولی در عین حال نرون‌های بیشتر به معنی احتمال بیشتر برای یافتن جواب و حل مسأله و شانس بیشتر برای به دام نیفتادن در کمینه‌های محلی است. در مدل شبکه عصبی مصنوعی ابتدا



شکل ۳۵- میزان خطاهای دوره آموزش و تست و پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی میزان مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۱۰ نرون)



شکل ۳۶- پیش‌بینی مقدار مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (۵ نرون)

به دست آمده است. در پیش‌بینی مقاومت بتن با میکروسیلیس مشاهده گردید که بهترین مدل، سری زمانی بوده که تقریباً ۵ نوروں و ۱۰ نوروں جواب‌های نزدیکی داشته به طوریکه ۱۰ نوروں با ضریب همبستگی ۰/۹۸۷ و خطای ۱/۲۸ بهترین نتایج را داده است. در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی و میکروسیلیس مدل سری زمانی نتایج بهتری داده، بطوریکه بهترین نتایج با ۵ نوروں و خطای ۲/۵۶ در مدل سری زمانی به دست آمده است.

جدول ۱۱- مقادیر شاخص‌های ارزیابی برای داده‌های آموزشی با نوروں‌های مختلف برای مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی، میکروسیلیس، میکروسیلیس و خاکستر بادی (سری زمانی با ۲ بار تاخیر زمانی)

پیش‌بینی مقاومت بتن	n	R	MSE
خاکستر بادی	۵	۰/۹۱	۷/۱۱
خاکستر بادی	۱۰	۰/۹۰	۸/۳۲
میکروسیلیس	۵	۰/۹۸۴	۱/۵۲
میکروسیلیس	۱۰	۰/۹۸۷	۱/۲۸
خاکستر بادی و میکروسیلیس	۵	۰/۹۷	۲/۵۶
خاکستر بادی و میکروسیلیس	۱۰	۰/۹۵	۴/۴۱

۵- نتیجه‌گیری

- جایگزینی میکروسیلیس به‌عنوان بخشی از سیمان در درصد‌های مختلف، عملکرد بهتری نسبت به خاکستر بادی و مخلوط این دو (سیلیس و خاکستر بادی) در افزایش مقاومت بتن نسبت به نمونه شاهد را داشت.

- بالاترین مقاومت مربوط به میکروسیلیس ۷ درصد در بین تمام نمونه‌ها به دست آمده است.

- میکروسیلیس‌های ۵، ۷، ۱۰ و ۱۲ درصد در هر سه سن (۷، ۱۴ و ۲۸) روزه مقاومت بهتری نسبت به نمونه شاهد داشتند.

- میکروسیلیس‌های ۱، ۱۵ و ۱۸ درصد در هر سه سن (۷، ۱۴ و ۲۸) روزه مقاومت کمتری نسبت به نمونه شاهد داشتند.

- در جایگزینی با خاکستر بادی، مقاومت ۲۸ روزه در ۱۰ درصد، بیشتر از نمونه شاهد بود و سایر درصد‌ها (۱، ۵، ۷، ۱۲، ۱۵ و ۱۸) مقاومت کمتری نسبت به نمونه شاهد دارند.

- نتایج مخلوط خاکستر بادی و میکروسیلیس با درصد‌های

ساختار شبکه عصبی مصنوعی در محیط نرم افزار متلب طراحی می‌شود. سپس تابع یادگیری و توابع فعالیت تعریف می‌شوند. ارایه مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی به شبکه و نرم‌الیزه نمودن داده‌های ورودی با توجه به تابع فعالیت مراحل بعدی را تشکیل می‌دهد. سپس وزن‌های اولیه و ارب‌ها به داده‌های ورودی مجموعه آموزشی اختصاص یافته و با ورود آنها به لایه مخفی (تأثیر تعداد نرون‌ها) و استفاده از تابع آموزش و توابع فعالیت عمل آموزش شبکه با مقایسه داده‌های ورودی و داده‌های هدف و برقراری ارتباط بین آنها انجام می‌گیرد. سپس برای داده‌های جدید (داده‌های ورودی مجموعه آزمایشی) پیش‌بینی صورت می‌گیرد و با اصلاح وزن‌ها و ارب‌ها، خروجی مدل با یک تأخیر به عنوان ورودی به شبکه وارد می‌شود و سیکل ذکر شده تا رسیدن به خطای قابل قبول تکرار می‌شود. مدل دینامیکی استفاده شده در این تحقیق در قسمت جعبه ابزار Ntstool واقع شده است و حالت نخستین این قسمت NARX می‌باشد. نوع آموزش بوسیله حالت Marquardt Levenberg صورت می‌پذیرد. تعداد لایه‌های پنهان در جهت یافتن بهینه‌ترین حالت خروجی از نظر شاخص‌های مقایسه‌ای و بهینه‌ترین حالت باید به صورت تجربی و سعی و خطا به دست آید [۲۸].

جدول ۱۰- مقادیر شاخص‌های ارزیابی برای داده‌های آموزشی با نوروں‌های مختلف برای مقاومت بتن حاوی خاکستر بادی، میکروسیلیس، میکروسیلیس و خاکستر بادی (استاتیکی)

پیش‌بینی مقاومت بتن	n	R	MSE
خاکستر بادی	۵	۰/۸۶	۱۵/۶۷
خاکستر بادی	۱۰	۰/۷۴	۲۲/۸۳
میکروسیلیس	۵	۰/۹۵۶	۴/۱
میکروسیلیس	۱۰	۰/۹۵۳	۴/۸
خاکستر بادی و میکروسیلیس	۵	۰/۹۶۸	۳/۴۹
خاکستر بادی و میکروسیلیس	۱۰	۰/۹۰۸	۱۲/۶۵

با توجه به جداول ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌گردد که بهترین نتایج در مجموع در مدل سری زمانی به دست آمده است، به طوری که در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی در مدل سری زمانی با ۵ نوروں ضریب همبستگی ۰/۹۱ نزدیک به یک و خطای کمتر ۷/۱۱

Predict the Compressive Strength of Concrete containing Nano-silica. *Civil Engineering and Architecture* 1(3): 96-102, 2013.

[8] Chithra, S. Senthil Kumar, S. R. R., Chinnaraju, K. and et al., A comparative study on the compressive strength prediction models for high performance concrete containing nano silica and copper slag using regression analysis and Artificial Neural Networks, *Construction and Building Materials*, 114, pp. 528-535. 2016.

[9] Yazdani Bejarbaneh, B. Yazdani Bejarbaneh, E. and et al., "Intelligent modelling of sandstone deformation behaviour using fuzzy logic and neural network systems," *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, Vol. 75, No. 0, PP. 823 - 852, 29 November 2016.

[10] ASTM-C33., "Standard Specification for Concrete Aggregates." *ASTM International*, 2003.

[11] Raisi, M. Mostofinejad, D. Ramazanian Pour, A. A., "Computer-Based Simulation Method for Predicting Packing Density of Aggregates," *Advanced Powder Technology*, Vol. 29, No. 0, PP. 386 - 398, January 05, 2018.

[12] National Iranian Standard 1-70, "Hollow Cement Block - Part I: Characteristics", Second Revision, Iranian Institute of Standards and Industrial Research, 2008.

[13] ASTM C-143., "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete." *ASTM International*, West Conshohocken, PA, USA, 2015.

[14] Ramezaniapor, A. A., Jafari Nadoshan, M. Peydaayesh, M. "effect of new composite cement containing volcanic ash and limestone on mechanical properties and salt scaling resistance of concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 25, No. 11, PP. 1587 - 1593, 01 November 2013.

[15] ACI 221R., Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregate in Concrete, *American Concrete Institute*, Michigan, USA, 2015.

[16] Topcu, I. B., and Saridemir, M., "Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic", *Journal of Computational Materials Science*, Vol.41, No.3, pp.305-311, 2008.

[17] Ramezaniapor, A. A., Samadian, M, Mahdi Khani, M., "Engineering properties and durability of self consolidating concretes(SCC) containing volcanic pumice ash," *Asian Journal of Civil Engineering (building And Housing)*, Vol. 13, No. 4, PP. 521 - 530, 22 July 2012.

[18] Onuaguluchi, M. and Panesar, D. K.,

یکسان (۱۰، ۳ و ۵، ۷ و ۹، ۹ و ۱۰) نیز نشان از مقاومت ۲۸ روزه بهتر در درصد‌های (۱۰، ۳ و ۷) نسبت به نمونه شاهد دارد.

- بهترین نتایج در مجموع در مدل سری زمانی شبکه عصبی با ۵ نورون به دست آمده است. به طوریکه در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی در مدل سری زمانی با ۵ نورون ضریب همبستگی ۰/۹۱ نزدیک به یک و خطای کمتر ۷/۱۱ به دست آمده است.

- در پیش‌بینی مقاومت بتن با میکروسیلیس مشاهده گردید که بهترین مدل سری زمانی بوده که تقریباً ۵ نورون و ۱۰ نورون جواب‌های نزدیکی داشته، به طوریکه ۱۰ نورون با ضریب همبستگی ۰/۹۸۷ و خطای ۱/۲۸ بهترین نتایج را داده است.

- در پیش‌بینی مقاومت بتن با خاکستر بادی و میکروسیلیس مدل سری زمانی نتایج بهتری داده بطوریکه بهترین نتایج با ۵ نورون و خطای ۲/۵۶ در مدل سری زمانی به دست آمده است.

۶- مراجع

[1] Branjian, G. Forouhar, N. Ghasemi, M., Predicting the hardening properties of fiber reinforced concrete by neural network, *Journal of Experimental Research in Civil Engineering*, 2014.

[2] Sobhani, Z. Sobhani, C. Sheikhan. M., Artificial Neural Networks for Predicting Compressive Strength of Concrete: Error Propagation and Element Network, *Concrete Research Journal*, 2008.

[3] Saktheeswaran, N. Ganesan, K., "Compressive Strength of Concrete containing fly ash, Copper Slag, Silica fume and Fibres Prediction". *International Journal of Engineering and Computer Science ISSN 2319-7242 Volume 3 Issue 2 February*, Page No. 3891-3896, 2014.

[4] Dreyfus, G., "Neural Networks Methodology and Applications", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2005.

[5] Heydari, A. Heydari, Sheikh, N., Application of neural network in predicting compressive strength of concrete containing additives, *10th Symposium on Advances in Science and Technology*, 2015.

[6] Muthupriyaa, P. Subramanianb, K. Vishnuram, B. G., Prediction of Compressive Strength and Durability of High Performance Concrete by Artificial Neural Networks. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 2011.

[7] Gupta, S., Using Artificial Neural Network to

- "Hardened properties of concrete mixtures containing precoated crumb rubber and silica fume," *Journal of Cleaner Production*, vol. 82, pp. 125-131, 2014.
- [19] Fazel Zarandi, M. H., Turksen, I. B., Sobhani, J., Ramezani-pour, A. A., "Fuzzy Polynomial Neural Networks for Approximation of the Compressive Strength of Concrete.", *Journal of Applied Soft Computing*, Vol. 8, pp. 488-498, 2008.
- [20] Kadhum, M. M., and Hossein Agha, A. A., "Developing Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models to Predict the Ultimate Load Carrying Capacity of Reactive Powder Concrete Coloumn", *Journal of Civil and Environmental Research*, Vol.8, No.1, 2016.
- [21] Taheri Amiri, M., Ashrafian, A., Berenjani, J. 'Prediction of Compressive Strength of Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash Using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)', *Concrete Research*, 12(2), pp. 113-125, 2019.
- [22] Delnavaz, A. 'Determination of Chloride Diffusion Coefficient in Light Weight Concrete based on Artificial Neural Network', *Concrete Research*, 9(2), pp. 55-63, 2017.
- [23] Sobhani, J., sobhani, Z., Sheikhan, M. 'Neural networks for predicting the compressive strength of concrete: error back-propagation and recurrent elman networks', *Concrete Research*, 1(2), pp. 19-33, 2008.
- [24] Pala, M., et al., Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks. *Construction and Building Materials*, 21(2): p. 384-394, 2007.
- [25] Nematinejad, M., eskandari, H., tadayon, G., Saghi, H. 'ANN Prediction of bond strength between steel rebar and concrete containing micro-silica, nano-silica and fibers', *Concrete Research*, 10(2), pp. 47-57. doi: 10.22124/jcr.2017.2415, 2017.
- [26] Pooya Nejad, F. Mark, B. Jaksa, Kakhi, M. McCabe Bryan, A., "Prediction of pile settlement using artificial neural networks based on standard penetration test data," *Computers and Geotechnics*, Vol. 36, pp.1125-1133, 2009..
- [27] Matlab. Neural networks toolbox user guide; 2013.
- [28] Dantas, A. T. A et al., "Prediction of compressive strength of concrete containing construction and demolition waste using artificial neural networks " *Construction and Building Materials*, No. 38, pp. 717-722, 2013.

Prediction Containing the Micro Silica and Fly ash on Concrete Strength Using Artificial Neural Network (ANN)

Farhad Pirmohammadi Alishah *

Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shabestar Branch, Shabestar, Iran.

Ahmad Jahandideh Shendi

Master of Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

Abstract

Nowadays, intelligent methods inspired from nature are implemented to resolve complex problems, there are very popular too. The most common one is artificial neural network; they are capable to collect huge amount of complex information through experiments and tests. With increasing population and a rise in construction and also due to limited resources and consumable materials, demand for hot rolled earthquake-resistant materials in the construction industry has increased. The purpose of this research, by considering concrete mix design parameters as input, the Static neural network and Time-series modeling to predict the compressive strength of concrete will be used. Mixing fly ash and silica fume various designs with different percentages (1%, 5%, 7%, 10%, 12%, 15%, 18%) and mixed with silica fume, fly ashes identical percentages (% 1% 1% 3 and 3%, 5% and 5%, 7% and 7%, 9% and 9%, 10% and 10%) as a percentage of the weight of cement, to evaluate the performance of the models in question were applied. It turned out that neural network models for predicting time series with 5 neurons performance concrete compressive strength is accurate and reliable.

Keywords: Compressive strength of concrete, Static neural networks, Time-series models, , Micro silica, Fly ash.

* Corresponding Author: Petrofarhad@iaushab.ac.ir

