

## تخمین استحکام فشاری ماسه ریخته‌گری در مقادیر مختلف رطوبت با استفاده از

### شبکه عصبی مصنوعی

رامین مشک‌آبادی<sup>۱</sup>، غلامرضا مرامی<sup>۲</sup> و کمال جهانی<sup>۳</sup>

#### چکیده

کیفیت قطعات ریخته‌گری در قالب‌گیری ماسه به‌طور چشم‌گیری به خواص ماسه‌ی مورد استفاده از قبیل استحکام فشاری، نفوذپذیری، سختی قالب و... بستگی دارد که این خواص نیز به پارامترهایی مانند رطوبت، اندازه و شکل دانه ماسه، میزان چسب و... بستگی دارند. در این مقاله، از شبکه عصبی مصنوعی برای بررسی تاثیر میزان رطوبت در استحکام فشاری ماسه استفاده شده است. آزمایش‌های عملی متعددی برای به‌دست آوردن داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی صورت گرفته است. مخلوط‌های مختلف ماسه با درصد‌های متفاوت رطوبت آماده شده و میزان استحکام فشاری ماسه برای هر کدام از آنها تعیین شد. سپس مدل‌های شبکه عصبی با استفاده از نتایج آزمایش‌ها آموزش و تست شد. نتایج حاصل از شبکه با نتایج آزمایش‌های عملی جدید مورد مقایسه قرار گرفتند که نشان می‌دهند با استفاده از شبکه عصبی با دقت خوبی می‌توان استحکام فشاری ماسه را قبل از استفاده برای قالب‌گیری تخمین زد.

**کلمات کلیدی:** ماسه ریخته‌گری، رطوبت، استحکام فشاری، شبکه عصبی مصنوعی

#### ۱- مقدمه

بیش‌ترین علت بروز عیب در این روش مربوط به مخلوط ماسه می‌باشد. اثر رطوبت بیش از سایر عوامل است و حداکثر استحکام تر و کم‌ترین عیوب در قطعه در مقدار مشخصی از رطوبت و چسب به‌دست می‌آید که می‌توان با دانستن پارامتر مهم میزان رطوبت، به آن دست یافت. تحقیقات زیادی روی ماسه ریخته‌گری و بهبود خواص آن در سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۷۰ در دنیا انجام شده است که بیش‌تر کارهای انجام شده هم جنبه‌ی عملی و هم جنبه‌ی تئوری دارند [۲].

کیفیت قطعات ریخته‌گری به‌طور کلی به خواص قالب ماسه‌ای مورد استفاده بستگی دارد که آن هم به ترکیب مواد تشکیل دهنده ماسه بستگی دارد.

ریخته‌گری در قالب ماسه یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین روش‌های ریخته‌گری در دنیا است. یکی از اهداف ریخته‌گران، تهیه یک قطعه ریخته شده با کیفیت قابل قبول و با هزینه‌ی کم است. مخلوط قالب‌گیری متشکل از ماسه، مواد چسبی، آب و غیره است. استحکام تر یا چسبندگی ماسه قالب‌گیری که می‌توان آن را قابلیت ماسه برای نگهداری دانه‌های ماسه دانست، از طریق آزمایش‌های استحکام فشاری، استحکام برشی و استحکام کششی اندازه‌گیری می‌شود. استحکام تر به شکل، اندازه و دانه‌بندی ماسه به کاررفته و هم‌چنین مقدار چسب، رطوبت و سایر مواد اضافه شونده دیگر بستگی دارد [۱].

۱- مربی گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر [r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir](mailto:r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکاترونیک، دانشگاه تبریز

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

در تحقیقات دیگر مشکلات مربوط به مدل‌سازی خواص ماسه با استفاده از تلفیق شبکه‌های عصبی پسر (BPNN) و الگوریتم ژنتیک (GA) بهینه‌سازی شده است [۹].

همچنین محققان دیگری پارامترهای ورودی و خروجی ماسه ریختگی را با استفاده از شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی کرده و نشان داده‌اند که خواص مورد نظر برای ماسه را می‌توان با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک کنترل کرد [۱۰ و ۱۱].

شبکه‌های عصبی (Artificial Neural Networks) مدل‌های محاسباتی موازی هستند که از واحدهای پردازش متعددی تشکیل شده‌اند. همچنان که از نام آن معلوم می‌شود این شبکه‌ها در واقع یک مدل کامپیوتری از فرایندها و مکانیزم‌هایی است که در سیستم بیولوژیکی انسان روی می‌دهد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این شبکه‌ها خاصیت یادگیری با مثال آن‌ها به جای برنامه‌نویسی برای حل مسائل است. این خاصیت سبب شده است که این روش به‌طور گسترده‌ای در مسائلی که درک کاملی از نحوه ارتباط پارامترها با هم وجود ندارد و از سوی دیگر داده‌های آموزش بسیار زیاد هستند مورد استفاده قرار گیرند. از دیگر مزایای شبکه‌های عصبی می‌توان به سرعت پردازش بالا و نیاز کم به تجهیزات سخت‌افزاری اشاره کرد.

یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها می‌باشد. رفتار شبکه نیز وابسته به ارتباط بین اعضا است. در حالت کلی در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه نرونی وجود دارد:

۱- لایه ورودی: وظیفه این لایه دریافت اطلاعات خامی است که به شبکه تغذیه شده است.

۲- لایه‌های پنهان: عملکرد این لایه‌ها به وسیله ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌شود. وزن‌های بین واحدهای ورودی و پنهان تعیین می‌کنند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود.

۳- لایه خروجی: عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی می‌باشد. شبکه‌های تک‌لایه و چندلایه‌ای نیز وجود دارند که نوع تک‌لایه که در آن تمام واحدها به یک لایه اتصال دارند بیش‌ترین مورد استفاده را دارد و پتانسیل محاسباتی بیش‌تری نسبت به نوع چندلایه دارد. در شبکه‌های چندلایه واحدها به وسیله لایه‌ها

انتخاب صحیح و درست میزان و نوع مواد تشکیل دهنده ماسه نقش بسیار مهمی را در رسیدن به تولید یک قطعه با کیفیت ایفا می‌کند و در طول سالیان متمادی خواص فیزیکی ماسه توسط محققان زیادی کنترل شده و گزارش‌هایی ارائه شده است [۳].

روش‌های مختلفی برای تست ماسه و نیز انواع مختلفی از گراف‌های کنترلی برای ماسه، ایجاد شده‌اند که در کنترل خواص ماسه بسیار مفید بوده‌اند [۴].

چنگ و دوستانش سعی کردند رابطه‌ای بین چگالی و تراکم‌پذیری ماسه به‌دست بیاورند. هرچند رابطه آن‌ها روی یک مدل یک بعدی بود و دو رابطه تجربی برای استحکام تر و چگالی بر حسب مقدار آب موجود در مخلوط قالب‌گیری به‌دست می‌داد اما نقطه ضعف مدل آن‌ها در این بود که چگالی به تنهایی معیاری برای تعیین مقدار بهینه آب موجود در مخلوط قالب‌گیری نیست و میزان استحکام ماسه نیز می‌تواند معیاری مهم برای تعیین میزان رطوبت باشد. همچنین آن‌ها مدل جدیدی را به‌منظور بررسی میزان نفوذپذیری ماسه ارائه کردند و نتایج آزمایش‌های عملی خود را ارائه کردند تا نشان بدهند که میزان نفوذپذیری ماسه چقدر متأثر از میزان رطوبت، چسب بنتونیت و ... است [۵].

همچنین تحقیقاتی در خصوص بررسی تاثیر پارامترهایی مانند درصد چسب بنتونیت و زمان به عمل آمدن آن در خواص ماسه ریخته‌گری با استفاده از روش‌های آماری صورت گرفته است [۶].

با توجه به این که دست‌یابی به ترکیب بهینه‌ی مخلوط ماسه یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود در صنعت ریخته‌گری بوده است در تحقیقات صورت گرفته اثر اندازه دانه، میزان و درصد خاک رس، رطوبت و سختی دانه‌ها در مقاومت برشی و میزان نفوذ پذیری ماسه بررسی شده است [۷].

در دیگر تحقیقات صورت گرفته خواص ماسه ریختگی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و نوروفازی مورد بررسی قرار گرفته است در این تحقیق میزان نفوذ پذیری ماسه بر اساس مقادیر مختلف خاک رس، رطوبت و زمان به عمل آمدن ماسه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده توسط شبکه عصبی و مدل نورو فازی در مقایسه با آزمایش‌های عملی تطابق کامل با هم دارند [۸].

## ۲- مواد و روش‌ها

با توجه به این‌که اکثراً در کارخانه‌ها و مکان‌های آموزشی قالب‌گیری به روش ماسه انجام می‌شود، بنابراین مخلوط ماسه به عمل آمده بایستی در طول زمان مشخصی خواص لازم برای تولید قطعه با کیفیت را داشته باشد و با توجه به این‌که رطوبت مهم‌ترین عنصر تاثیرگذار بر روی کیفیت ماسه ریخته‌گری به روش ماسه است، آزمایش‌های متعددی برای کسب داده‌های مربوط به استحکام فشاری تر با درصد‌های رطوبت اولیه مشخص طی چهار مرحله و در طول چهار زمان مختلف انجام شد که از این داده‌ها برای آموزش و تست شبکه عصبی استفاده شده است.

استحکام فشاری (Compressive Strength) یک ماسه ریخته‌گری، حداکثر تنش فشاری است که نمونه استاندارد می‌تواند آن را تحمل کند قبل از این‌که نمونه دچار گسیختگی و فروپاشی شود. نمونه مورد آزمایش استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۵۰/۸ میلی‌متر است که به کمک دستگاه کوبه آزمایشگاهی نشان داده شده در شکل (۲) ایجاد می‌شود. مخلوط قالب‌گیری که حاوی ماسه سیلیسی با عدد AFS=79.5 و ۱۵٪ چسب بتونیت و رطوبت‌های مختلف است سه بار کوبیده شده و استحکام فشاری مخلوط ماسه در چهار مرحله مختلف (هریک ساعت، یک بار) اندازه‌گیری شده است. [۱۵ و ۱۶]



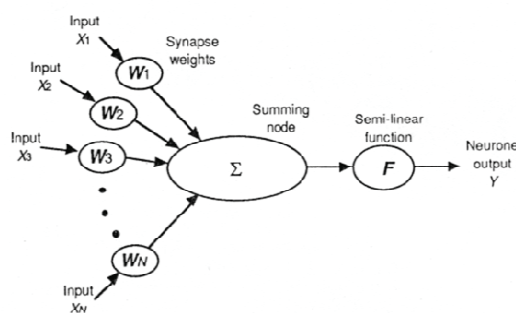
شکل (۲): دستگاه کوبه آزمایشگاهی دانشگاه تبریز

دستگاه تعیین استحکام فشاری ماسه نشان داده شده در شکل (۳) (Universal Strength Machine-type(pfg)) که برای تعیین استحکام فشاری مخلوط ماسه مورد استفاده قرار گرفته است دارای قسمتی برای قرار گرفتن نمونه ساخته شده از ماسه است که نمونه استوانه‌ای در امتداد طولی مطابق شکل (۴) به صورت

شماره‌گذاری می‌شوند. هر دو لایه از یک شبکه به وسیله وزن‌ها و در واقع اتصالات با هم ارتباط می‌یابند. در شبکه‌های عصبی چند نوع اتصال و یا پیوند وزنی وجود دارد:

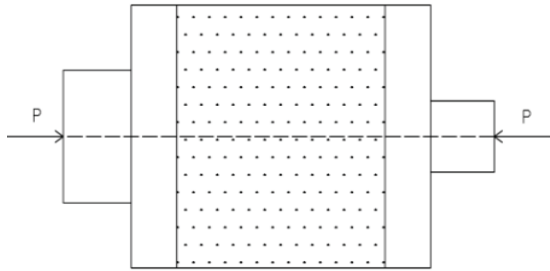
شبکه پیشرو (Feed Forward): بیش‌ترین پیوندها از این نوع است که در آن سیگنال‌ها تنها در یک جهت حرکت می‌کنند. از ورودی به خروجی هیچ بازخوردی وجود ندارد. خروجی هر لایه بر همان لایه تاثیری ندارد.

شبکه پسرو (Back Propagation): داده‌ها از گره‌های لایه بالا به گره‌های لایه پایین بازخوراند می‌شوند و در آن وزن‌ها به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند و در نتیجه خروجی نیز به‌صورت تصادفی محاسبه شده و با خروجی‌های واقعی مورد مقایسه قرار گرفته و خطای ایجاد شده به لایه اول برگشت داده می‌شود و در نهایت منجر به تغییر و اصلاح مقادیر وزن‌ها می‌شود. این روند تا آن‌جایی‌که خروجی‌های محاسبه شده به اندازه کافی به مقادیر واقعی نزدیک شوند ادامه می‌یابد [۱۲ و ۱۳]. در شکل (۱) ساختار کلی یک شبکه عصبی نشان داده شده است.



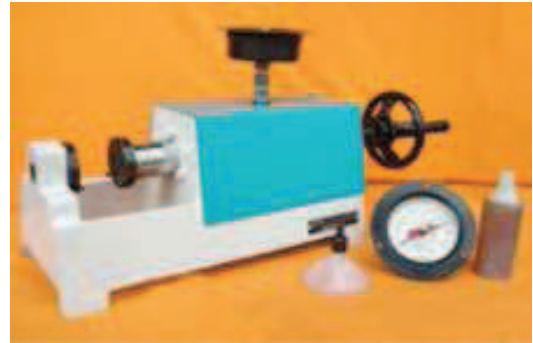
شکل (۱): ساختار شبکه عصبی

باتوجه به توضیحات بالا می‌توان با استفاده از داده‌های حاصله از آزمایش‌های تجربی شبکه را آموزش داده و حداکثر استحکام فشاری تر را بر اساس بردارهای ورودی جدید رطوبت در زمان‌های مختلف پیش‌بینی کرد. هم‌چنین بردارهای ورودی جدید که در آموزش استفاده نشده‌اند به شبکه اعمال می‌شوند و جواب صحیحی از شبکه به‌دست می‌آید، بنابراین تعدادی از داده‌ها را به عنوان داده‌های تست شبکه (Test Data) برای اطمینان از همگرایی شبکه کنار گذاشته می‌شوند تا از صحت کار شبکه اطمینان حاصل شود [۱۴].



شکل (۴): نحوه قرارگیری نمونه در دستگاه

محوری قرار می‌گیرد. این قسمت از دو فک تشکیل شده است که یکی ثابت بوده و دیگری با چرخاندن اهرم دستگاه حرکت می‌کند و دو فک تخت به یکدیگر نزدیک می‌شوند و به نمونه نیرو اعمال می‌کنند.



شکل (۳): دستگاه تعیین استحکام فشاری ماسه

نیروی فشاری با نرخ  $25 \text{ gr/cm}^2$  در هر ثانیه تا زمانی که نمونه گسیخته شود وارد می‌شود و پس از شکست نمونه حداکثر تنش را که نمونه می‌تواند تحمل کند نشان داده می‌شود [۱۶ و ۱۵].

به منظور ایجاد ساختار مناسب برای شبکه و آموزش آن، آزمایش‌های تجربی متعددی صورت گرفته که نتایج آن‌ها در جداول (۱) و (۲) و (۳) ارائه شده است.

جدول (۱): نتایج آزمایش‌های عملی سنجش استحکام فشاری ماسه در مقادیر مختلف رطوبت (روز اول)

زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
شرایط محیطی	رطوبت: ۴۳٪ و دما $24^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۴۷٪ و دما $24^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۴۹٪ و دما $22^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۵۰٪ و دما $21^{\circ}\text{C}$
رطوبت ماسه (درصد)		استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )		
۳	۲/۵۵	۳/۳	۲/۳	۰/۴
۴	۴/۷	۵	۴/۶	۴/۷۵
۵	۵/۴	۵/۸	۵/۲	۶/۱
۵/۵	۵/۸	۵/۸۵	۵/۶	۶/۴
۶	۶/۴۵	۶/۵	۶/۴۹	۷
۶/۵	۶/۶	۶/۷	۶/۵۸	۷/۱

جدول (۲): نتایج آزمایش‌های عملی سنجش استحکام فشاری ماسه در مقادیر مختلف رطوبت (روز دوم)

زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
شرایط محیطی	رطوبت: ۴۹٪ و دما $23^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۵۰٪ و دما $23^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۴۹٪ و دما $21^{\circ}\text{C}$	رطوبت: ۴۹٪ و دما $21^{\circ}\text{C}$
رطوبت ماسه (درصد)		استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )		
۷	۵/۷	۵/۴	۵/۴	۵
۷/۵	۵/۷	۵/۵	۵/۸	۵/۴
۸	۵/۸	۵/۶	۵/۷	۵/۳
۸/۵	۵/۶	۵/۷	۵/۴	۵/۵
۹	۵/۵	۵/۲	۵/۸	۵/۲
۹/۵	۵/۴	۵/۵	۵/۷	۵/۵

جدول (۳): نتایج آزمایش‌های عملی سنجش استحکام فشاری ماسه در مقادیر مختلف رطوبت (روز سوم)

زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
شرایط محیطی	رطوبت: ۴۹٪ و دما ۲۲°C	رطوبت: ۵۱٪ و دما ۲۱°C	رطوبت: ۵۰٪ و دما ۲۱°C	رطوبت: ۵۲٪ و دما ۲۰°C
رطوبت ماسه (درصد)	۲/۸	۳/۱۰	۳	۲/۷
استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )	۱/۸۵	۱/۴۵	۱/۳	۱/۶
	۱/۸۱	۱/۴۳	۱/۳۳	۱/۶
	۱/۲۷	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۲۹
	۱/۱	۱/۲۲	۱/۲	۱/۲۸
	۱/۰۵	۱/۱	۱/۰۵	۱/۱۵

### ۳- نتایج و بحث

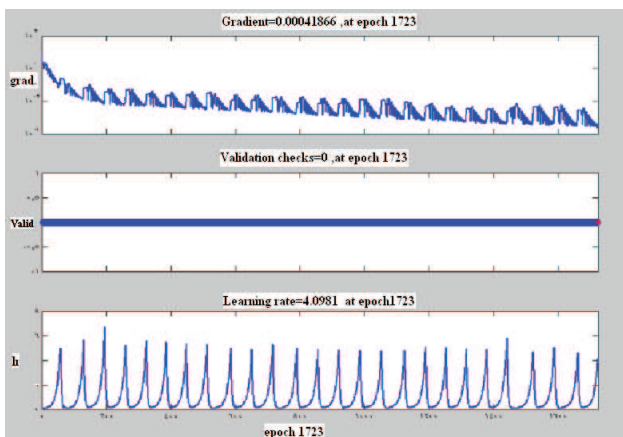
با در دست داشتن داده‌های تجربی، یک سیستم هوشمند از نوع شبکه عصبی پسر (BP) در محیط نرم‌افزار MATLAB طراحی شد که دارای سه لایه (یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی) می‌باشد. ساختار شبکه با آزمون و خطا مشخص می‌شود و اندازه ورودی و لایه مخفی شبکه متغیر است و تنها به افق پیش‌بینی بستگی دارد.

لایه ورودی شامل ۴ ورودی رطوبت در ۴ زمان مختلف پس از فرآوری ماسه و لایه خروجی شامل یک خروجی یعنی مقدار استحکام فشاری ماسه تر می‌باشد. تعداد گره‌ها در لایه مخفی در راستای کمینه کردن خطا و بیشینه کردن دقت مدل بهینه‌سازی می‌شوند. به علت این‌که برای انتخاب تعداد گره‌های مخفی این شبکه‌ها، روش مستقیم و دقیقی وجود ندارد، بنابراین روش آزمون و خطا به صورت بسیار گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که با انتخاب تعداد گره‌های مخفی کم، تعداد تکرارهای لازم برای آموزش شبکه خیلی زیاد می‌شود و دقت تخمین نیز کاهش می‌یابد و نیز زیاد بودن تعداد گره‌های مخفی باعث افزایش زمان آموزش شبکه می‌شود، به این علت تعداد ۱۰ عدد گره در لایه مخفی به صورت سعی و خطا مناسب تشخیص داده شد.

در نهایت تابع سیگموئید باینری از بین توابع دیگر به علت این‌که با استفاده از روش آزمون و خطا بهترین تابع برای مدل‌سازی سیستم‌های طبیعی غیرخطی تشخیص داده شده‌اند، به عنوان تابع تبدیلگر لایه مخفی به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

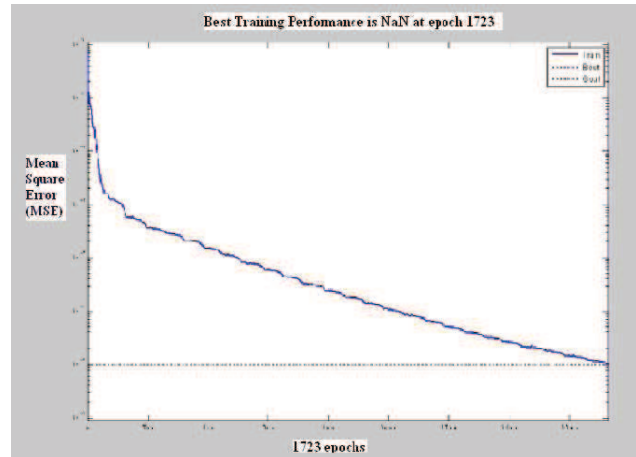
$$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(-x)} - 1 \quad (1)$$

برای آموزش شبکه از اطلاعات حاصل از آزمایش‌های عملی جداول (۱) و (۲) و (۳) استفاده شد. نتیجه هر آزمایش یک دسته داده آموزشی برای آموزش شبکه است که در آن مقادیر ورودی و خروجی معلوم می‌باشد. در شبکه ارتباط بین نورون‌ها توسط مقدار وزنی تعیین می‌شود. در ابتدا مقدار این بردار وزنی به صورت مقادیر تصادفی انتخاب می‌شود. در هر آموزش، شبکه با اطلاعات ورودی مقدار خروجی را محاسبه می‌کند و در صورت وجود اختلاف بین مقدار خروجی واقعی و خروجی محاسبه شده، خطا را به عقب منتشر کرده و مقادیر وزنی بین گره‌ها را تصحیح می‌کند. این کار را آنقدر ادامه می‌دهد تا مقدار خطای شبکه برای نمونه‌های آموزشی از مقدار  $0/000001$  کمتر باشد. شبکه بعد از ۱۷۲۳ تکرار آموزش دید که نمودار نرخ آموزش شبکه و نمودار آموزش شبکه در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است.



شکل (۵): نمودار نرخ آموزش شبکه تا رسیدن به خطای مطلوب

به صورت نمودارهای شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده‌اند و نشان‌دهنده خطای بسیار کم شبکه در رطوبت ۵/۵ درصد است اما در رطوبت ۱۱ درصد تا حدودی خطا را نشان می‌دهد. علت آن این است که معمولاً درصد رطوبت لازم برای ریخته‌گری انواع فلزات آهنی و غیر آهنی متفاوت بوده و برای آلومینیم حدود ۶ الی ۸/۵ درصد، برای فولاد حدود ۴ الی ۶ درصد و برای چدن ۶ الی ۸ درصد است که در رطوبت بیش‌تر از مقادیر فوق (۱۱ درصد) شبکه مورد نظر به دلیل این‌که با پارامتر جدید «آب دی هیدراته» مواجه می‌شود توانایی پیش‌بینی صحیح رفتار ماسه ریخته‌گری را از دست می‌دهد و این عامل سبب اختلاف نتایج شبکه و مقادیر واقعی شده است. در جدول (۴) نتایج حاصل از شبکه عصبی طراحی شده (استحکام فشاری ماسه) در رطوبت‌های ۵/۵ و ۱۱ درصد برای تست شبکه نشان داده شده‌اند.

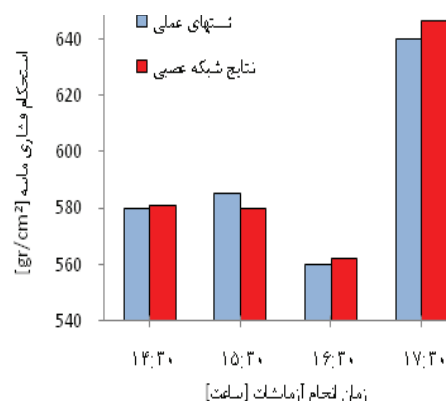
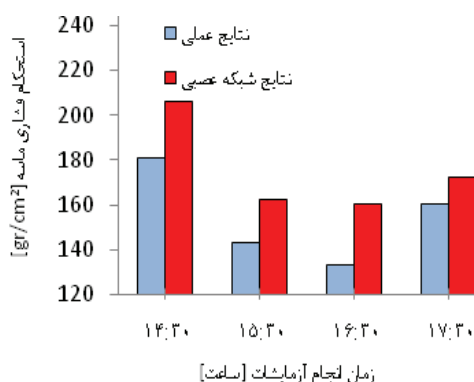


شکل (۶): نمودار آموزش شبکه برای رسیدن به خطای مطلوب

پس از ایجاد شبکه با استفاده از داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌های مختلف تعیین استحکام فشاری بر روی ماسه، (جداول (۱) و (۲) و (۳))، اقدام به تست شبکه در مقادیر رطوبت ۵/۵ و ۱۱ درصد شد به این صورت که نتایج حاصل از شبکه طراحی شده با نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته در دو درصد رطوبت فوق با هم مقایسه شدند که نتایج مقایسه

جدول (۴): نتایج حاصل از شبکه عصبی در دو رطوبت ۵/۵ و ۱۱ درصد برای تست شبکه و مقایسه با آزمایش‌های عملی

زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
رطوبت ماسه (درصد)	۵/۵	۵/۸	۵/۷	۵/۶
استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )	۲/۰	۱/۶	۱/۶	۶/۴



شکل (۷): مقایسه نتایج خروجی شبکه و تست‌های عملی در رطوبت ۵/۵ درصد برای تست شبکه

نمودار(۸): مقایسه نتایج خروجی شبکه و تست‌های عملی در رطوبت ۱۱ درصد برای تست شبکه

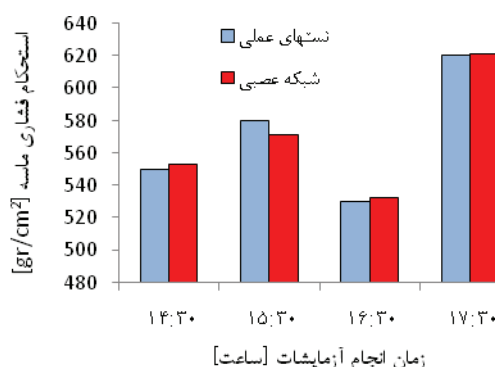
جدول (۵): نتایج آزمایش‌های عملی جدید برای مقایسه با شبکه عصبی

زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
رطوبت ماسه (درصد)	۵/۲	۵/۵	۵/۸	۵/۳
استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )	۶/۲	۵/۳	۵/۴	۵/۳
	۵/۳	۵/۵	۵/۳	۵/۴
	۹/۲	۵/۵	۵/۳	۵/۴

جدول (۶): نتایج حاصل از شبکه عصبی برای مقایسه با آزمایش‌های عملی

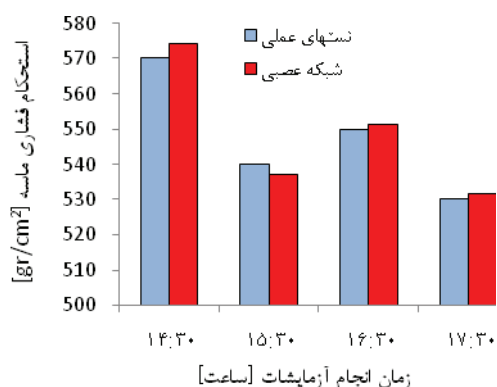
زمان انجام آزمایش	ساعت ۱۴:۳۰	ساعت ۱۵:۳۰	ساعت ۱۶:۳۰	ساعت ۱۷:۳۰
رطوبت ماسه (درصد)	۵/۲	۵/۵	۵/۷	۵/۳
استحکام فشاری ماسه ( $\times 100 \text{ gr/cm}^2$ )	۶/۲	۵/۳	۵/۳	۵/۳
	۵/۳	۵/۵	۵/۳	۵/۱
	۹/۲	۵/۱	۴/۹	۵/۱

به دلیل توقف خط پس از چند ساعت جلوگیری کنیم که باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان خط تولید خواهد شد.



شکل (۹): مقایسه نتایج عملی جدید با رطوبت ۵/۲ با نتایج حاصل از

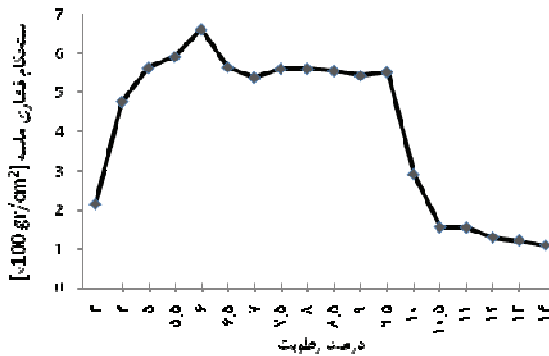
شبکه عصبی



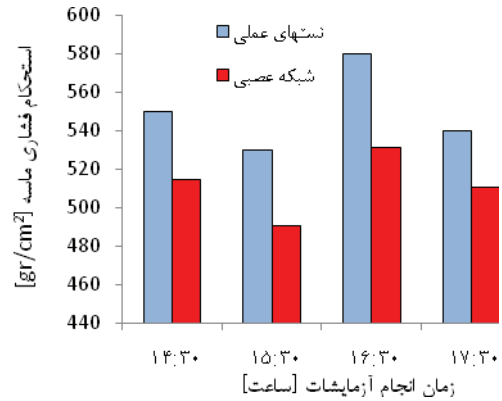
شکل (۱۰): مقایسه نتایج عملی جدید با رطوبت ۷/۳ با نتایج حاصل از

شبکه عصبی

پس از آموزش و تست شبکه آزمایش‌های فوق دوباره بر روی مخلوط‌های با درصدهای رطوبت ۵/۲، ۷/۳ و ۹/۲ دوباره انجام شد و با نتایج حاصل از شبکه عصبی مقایسه شد که این نتایج در جداول (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند. برای مقایسه بهتر این نتایج اطلاعات این جداول در نمودارهای شکل‌های (۹) و (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده‌اند. نمودارهای (۹) و (۱۰) نشان می‌دهند که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی بسیار نزدیک به نتایج واقعی هستند اما همچنان که از نمودار شکل (۱۱) بر می‌آید این نتایج در رطوبت ۹/۲ درصد تا حدودی با هم اختلاف دارند که همچنان که اشاره شد علت این اختلاف این است که شبکه مورد نظر به دلیل این‌که در درصد رطوبت‌های بیش‌تر از مقادیر مجاز (بین ۵ الی ۸ درصد) با پارامتر جدید «آب دی هیدراته» مواجه می‌شود، توانایی پیش‌بینی صحیح رفتار ماسه ریخته‌گری را از دست می‌دهد و این عامل سبب اختلاف نتایج شبکه و مقادیر واقعی شده است در حالی‌که در محدوده‌ی درصدهای رطوبت مناسب برای ریخته‌گری انواع مواد، شبکه دقت بسیار بالایی را از خود نشان می‌دهد. با توجه به کاربرد گسترده‌ی ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای در صنایع و اهمیت تولید قطعات با کیفیت در این روش که متأثر از استحکام قالب و به عبارت دیگر میزان رطوبت موجود در ماسه است با استفاده از نتایج این تحقیق خواهیم توانست از ایجاد اسکراپ در خط تولید



شکل (۱۲): نمودار تغییرات استحکام فشاری ماسه نسبت به درصد رطوبت



شکل (۱۱): مقایسه نتایج عملی جدید با رطوبت ۹/۲ با نتایج حاصل از شبکه عصبی

### ۵- تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "تخمین استحکام فشاری ماسه ریخته‌گری در مقادیر مختلف رطوبت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی" است که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر به تصویب رسیده است. نویسندگان مقاله از مساعدت کلیه افراد و سازمان‌هایی که در انجام این تحقیق همکاری نمودند به خصوص حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر و کارگاه ریخته‌گری و آزمایشگاه ماسه دانشگاه تبریز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

هم‌چنین نمودار شکل (۱۲) نشان می‌دهد که استحکام فشاری مخلوط ماسه ریخته‌گری با افزایش رطوبت تا مقدار بهینه‌ای افزایش پیدا می‌کند و سپس این مقدار کاهش می‌یابد و علت آن این است که با افزایش رطوبت در ماسه به دلیل فعال شدن چسب، استحکام افزایش می‌یابد که پس از رسیدن به مقدار حداکثر با افزایش آب پس از درصد بهینه، به دلیل لغزش دانه‌ها بر روی هم به واسطه آب، استحکام به شدت کاهش می‌یابد [۱۷].

### مراجع

- 1- Srinagesh K., Seshadri M., Ramchandran A., On the compaction of bonded grains, AFS Trans.74, pp. 27- 36, 1966.
- 2- Dietert H.W., Brewster F.S., Graham A.L., A straight line approach to sand control, AFS Trans. 74 , pp. 101-111, 1966.
- 3- Zrimsek A.H., Heine R.W., Clay, fines, and water relationships for green strength in molding sands, Transactions of AFS. 63, pp. 575-581, 1955.
- 4- Brewster F.S., Practical moulding sand control, Foundry 82, 11, pp. 102-107.
- 5- Chang Y., Hocheng H., The flow ability of moldings sand, Journal of Materials Processing Technology, 113, pp. 238- 244, 2001.
- 6- Kundu R.R., Lahiri B.N., 2008, Study and statistical modeling of Green Sand Mould properties using RSM, International Journal of Materials and Product Technology, 31, pp. 143-158.
- 7- Benny Karunakar, D., Datta, G.L., Controlling green sand mould properties using artificial neural networks and genetic algorithms - A comparison, Applied Clay Science, 37, pp. 58-66, 2007.
- 8- Nagurbabu N., Ohdar R.K., Push P.T., Application of Intelligent Techniques for Controlling the Green Sand Properties, proceeding of 55<sup>th</sup> Indian Foundry Congress, 2007.
- 9- Parappagoudar M. B., Pratihari D.K., Datta G.L., Forward and reverse mappings in green sand mould system using neural networks, Applied Soft Computing 8, pp. 239-260, 2008.
- 10- D.B.Karunakar, G.L. Datta, "Modeling and optimization of green sand mould parameters using genetic algorithms", Transactions of Institute of Indian foundry men, Vol.51, pp. 262-267, 2003a.
- 11- Karunakar D.B., Datta G.L., Modeling of green sand mould parameters using artificial neural networks, Indian Foundry Journal, 49, pp. 27-36, 2003.
- 12- Liu W., Structural dynamic analysis and testing of coupled structures, Ph.D. Dissertation, Mechanical



Engineering Dept., University of London, London SW7, 2000.

13- Jahani K., Nobari A.S., Identification of Damping and Dynamic Young's Modulus of a Structural Adhesive Using Radial Basis Function Neural Networks and Modal Data ,*Experimental Mechanics* , 50, pp. 607-619,2009.

14- Attalla M.J., Inman D.J., On Model Updating Using Neural Networks, *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*, 12, pp. 135-161,1998.

15- *Mold and Core Test Handbook*, 3<sup>rd</sup> Edition, American Foundry men's Society (AFS), 1980.

16- *Foundry Sand Handbook*, 7<sup>th</sup> Edition, American Foundry men's Society (AFS), 1963.

۱۷- فتحی ، م. ح. ، مواد قالبگیری برای ریخته‌گری فلزات ، نشر ارکان ، تهران ، ۱۳۸۶.

