تحقیقات بتن
سال دهم، شمارهٔ سوم
پاییز ۹۶
ص ۱۳۶ – ۱۲۵
تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۸

یادداشت پژوهشی

پیش‌بینی اسلامپ بتن با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون چندمتغیره خطی

میثم عفتی *
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان
سید حسین قاسم‌زاده موسوی‌نژاد
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان
محسن فلاحتکار گشتی
دانشجوی مقطع دکتری مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه گیلان

چکیده
روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری کارایی بتن وجود دارد که یکی از متداول‌ترین و معمول‌ترین روش‌ها، آزمایش اسلامپ است. جهت دست‌یابی به مخلوط‌های بتنی با اسلامپ مورد نظر، باید مخلوط‌های مختلف بتنی ساخته شود و آزمایش اسلامپ بر روی آن‌ها صورت گیرد. جهت صرفه‌جویی در زمان، هزینه و مصالح بهتر است از روش‌های هوشمندی جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن بر اساس نتایج مربوط به تعداد معینی از مخلوط‌های بتنی استفاده شود. در پژوهش حاضر روش رگرسیون چندمتغیره خطی (MLR) و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به عنوان یکی از الگوریتم‌های محاسبات نرم جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج از لحاظ کاربردی بودن، دقت و کارایی مقایسه می‌شوند. مدل شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله از نوع پرسپترون چند لایه پیشخور با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده اسلامپ بتن توسط هر دو مدل مطلوب و قابل‌قبول می‌باشند. ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر با ۰/۹۸۵۳ ، ۰/۴۸۵ و ۰/۵۴۷ تعیین گردید، که این مقادیر در روش رگرسیون چندمتغیره خطی به ترتیب برابر با ۰/۸۶۸۱ ، ۱/۹۶۹۶ و ۱/۰۰۷۷می‌باشند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در پیش‌بینی اسلامپ بتن به روش شبکه عصبی مصنوعی، مدل با یادگیری رابطه واقعی بین متغیرها اقدام به پیش بینی متغیر خروجی می‌نماید. لذا این مدل نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره خطی دارای دقت بیش‌تری در پیش‌بینی اسلامپ بتن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: **اسلامپ بتن، محاسبات نرم، شبکه عصبی مصنوعی(ANN) ، رگرسیون چندمتغیره خطی (MLR).**

* نویسنده مسئول: meysameffati@guilan.ac.ir

۱- مقدمه

بتن یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده در جهان است که از خصوصیات آن می‌توان به مقاومت فشاری بالا، دوام، مقاومت در برابر آتش‌سوزی، مقاومت سایشی و ... اشاره نمود. جهت دستیابی به مقاومت سازه‌ای حداکثر، تراکم ٪۱۰۰ بتن مورد نیاز است. پارامتری که این الزام را ارضا می‌نماید، تحت‌عنوان کارایی بتن نام‌گذاری می‌شود[۱]. کارایی، میزان سهولت یا دشواری بتن‌ریزی، تراکم و پرداخت بتن در قالب بدون بروز جداشدگی در اجزای آن می‌باشد. کارایی دربرگیرنده مشخصات اساسی بتن در حالت خمیری شامل تراکم‌پذیری، پایداری، جابجاشوندگی و پرداخت‌پذیری است [۲]. آگاهی از دانش لازم در زمینه کارایی بتن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با استفاده از این آگاهی می‌توان به مخلوط‌های بتنی دست یافت که با کم‌ترین تلاش و به آسانی در قالب ریخته و متراکم شود.کارایی نامناسب بتن تبعاتی همچون مقاومت کم‌تر، دوام کم‌تر، هزینه بیش‌تر، جداشدگی و آب‌انداختگی و ظاهر نامطلوب را در پی خواهد داشت. عوامل متعددی در میزان کارایی بتن موثرند که برخی از آن‌ها شامل میزان آب مخلوط، ظرفیت جذب آب سنگ‌دانه‌ها، میزان سیمان (عیار سیمان)، دانه‌بندی سنگ-دانه‌ها، نوع و میزان مواد افزودنی، نسبت ماسه به شن، میزان ذرات ریز در ماسه، نوع و میزان پوزولان، حداکثر اندازه سنگ‌دانه‌ها، میزان سنگ‌دانه‌های تیزگوشه و با بافت زبر، شکل سنگ‌دانه‌ها، میزان هوای ورودی به بتن و دانسیته حجمی سنگ‌دانه‌های ریز و درشت می‌باشند. طی سال‌های متمادی، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کارایی بتن ابداع شده‌اند. این روش‌ها در اصل کارایی را به یکی از مقادیر و پارامترهای فیزیکی بتن که به سهولت قابل اندازه‌گیری است مرتبط می‌کنند. آزمایش اسلامپ یکی از متداول‌ترین و معمول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری کارایی است که از آن به‌صورت بسیار گسترده در کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌ها برای اندازه‌گیری کارایی استفاده می‌کنند. در هنگام طراحی مخلوط‌های بتنی باتوجه به شرایط بتن‌ریزی در کارگاه و انواع روش‌های بتن‌ریزی که در کارگاه امکان‌پذیر است، رده کارایی مطلوب معینی برای بتن‌های مزبور انتخاب می‌شود. بتن‌ها بسته به میزان اسلامپ و نوع کاربردشان در چهار گروه سفت، خمیری، شل و آبکی تقسیم‌بندی می‌شوند که باید باتوجه به تمام موارد گفته شده، میزان اسلامپ بتن‌ها و طرح اختلاط آن‌ها تعیین گردد. جهت دست‌یابی به طرح اختلاط بتنی با اسلامپ مورد نظر، باید مخلوط‌های بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف ساخته شوند و آزمایش اسلامپ بر روی آن‌ها انجام گیرد که این مسئله موجب اتلاف در مصالح، هزینه و زمان می‌گردد. با استفاده از روش‌های مختلفی می‌توان با داشتن یک سری از داده‌های پیشین مربوط به نتایج آزمایش اسلامپ برای تعداد معینی از مخلوط‌های بتنی، میزان اسلامپ را برای سایر طرح‌های اختلاط، بدون ساختن آن‌ها پیش‌بینی نمود تا به طرح با کارایی مورد نظر دست یافت. روش پیشنهادی موجب صرفه‌جویی در زمان، هزینه و مصالح خواهد شد. هدف این تحقیق بررسی قابلیت و دقت روش رگرسیون چندمتغیره خطی و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی اسلامپ بتن می‌باشد. مطالعه در رابطه با ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی اسلامپ بتن و همچنین مقایسه دقت و کارایی روش محاسبات نرم و روش آماری نیز در این تحقیق بررسی خواهدشد. بدین منظور از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)[1] پیشخور با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار[2] و روش رگرسیون چندمتغیره خطی جهت پیش‌بینی اسلامپ ۴۴ نمونه تازه بتن ساخته شده از آب، سیمان، شن، ماسه، میکروسیلیس و فوق روان‌کننده استفاده شده است. مقادیر آب، سیمان، شن، ماسه، میکروسیلیس و فوق روان‌کننده به‌عنوان ورودی در شبکه عصبی مصنوعی و متغیر مستقل در روش رگرسیون تعریف شدند. همچنین اسلامپ بتن در شبکه عصبی مصنوعی، به‌عنوان خروجی و در روش رگرسیون به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. سپس با تعیین شاخص‌های آماری ضریب همبستگی ، میانگین مربعات خطا (MSE)[3] و میانگین خطای مطلق برای مقادیر پیش‌بینی‌شده ، دقت هر کدام از آن‌ها در پیش‌بینی اسلامپ بتن مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش بعدی مقاله به بررسی تحقیقات پیشین در زمینه روش‌های پیش‌بینی اسلامپ بتن می‌پردازد. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق ارائه می‌گردد. بخش چهارم پیاده‌سازی روش پیشنهادی را در پیش‌بینی اسلامپ بتن مورد بحث قرار می‌دهد. در بخش پنجم

[1] Multi-layer perceptron
[2] Back propagation
[3] Mean Squared Error

ارزیابی روش پیشنهادی انجام می‌گیرد و نتایج پژوهش بحث می‌شوند. درنهایت در بخش پایانی به بیان اهم نتایج تحقیق پرداخته خواهد شد.

۲- مطالعات پیشین

تا کنون، مطالعات متعددی در رابطه با پیش‌بینی میزان اسلامپ بتن انجام گردیده است. Chen و Wang از شبکه عصبی مصنوعی از نوع GMDH در پیش‌بینی اسلامپ بتن‌های با کارایی بالا استفاده نمودند [۵]. Agrawal و Sharma مطالعه‌ای را بر روی پیش‌بینی اسلامپ بتن‌های با مقاومت بالا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام داده‌اند [۴]. Bilgil کاربرد شبکه عصبی مصنوعی MLP در پیش‌بینی اسلامپ بتن‌های با کارایی بالا را بررسی نمود[۶]. در تمامی تحقیقات مذکور، شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک مدل مناسب در پیش‌بینی اسلامپ بتن معرفی شد. تحقیقات متعدد دیگری در رابطه با مقایسه شبکه عصبی مصنوعی با سایر روش‌ها جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن صورت گرفته است. Paratibha و همکاران مقایسه را بین مدل شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی انجام دادند [۷]. نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو روش مذکور می‌تواند اسلامپ بتن را با دقت مطلوبی پیش‌بینی نماید، البته ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اصلی در شبکه عصبی بیش‌تر از منطق فازی بوده است. باتوجه به تعدد روش‌های پیش‌بینی و تفاوت دقت و کارایی هر کدام از آن‌ها جهت پیش‌بینی در یک کاربرد معین، لذا در تحقیق حاضر به مقایسه دقت و کارایی شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون چندمتغیره خطی که از روش‌های معمول پیش‌بینی می‌باشند در پیش‌بینی اسلامپ بتن معمولی حاوی میکروسیلیس پرداخته می‌شود.

۳- روش‌های پیشنهادی

در این پژوهش، متغیرهایی مانند مقادیر آب، شن، ماسه، سیمان، میکروسیلیس و فوق روان کننده به‌عنوان متغیرهای ورودی در شبکه عصبی مصنوعی و متغیرهای مستقل در روش رگرسیون در نظر گرفته شدند. مقدار اسلامپ نیز به‌عنوان متغیر خروجی و وابسته به ترتیب در مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون تعریف می‌شود. در شکل ۱ روش انجام تحقیق و مراحل انجام آن نشان داده می‌شود. در ادامه نحوه تهیه و جمع‌آوری داده‌ها، پیاده‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره خطی شرح داده می‌شوند.

۳-۱- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی، یک سامانه پردازشی داده‌هاست که از مغز انسان (شبکه عصبی زیستی)، الگو گرفته است. در این مدل پردازش داده‌ها، به عهده پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی واگذار می‌شود که به‌صورت پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند. شبکه عصبی مصنوعی، یک ساختار شبکه‌ای متشکل از تعدادی نودهای به هم پیوسته توسط تعدادی از رابط‌های میان آن‌هاست. هر نود یک بخش پردازشگر است و رابط‌های میان نودها، روابط احتمالی میان آن‌ها را مشخص می‌کند. در این شبکه، پردازشگرها با استفاده از دانش تجربی آموزش داده می‌شوند و سپس با تعمیم دانش به‌دست آمده، درک بهتری از محیط به‌دست می‌آورند. منظور از تعمیم، ارائه خروجی قابل قبولی برای ورودی‌هایی است که قبلاً وارد سیستم نشده اند [۸]. امروزه شبکه عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلف مهندسی کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده است. از جمله کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی در مهندسی عمران، می‌توان به استفاده از آن در تکنولوژی بتن و پیش‌بینی خواص مختلف آن اشاره کرد [۱۵-۹]. در پژوهش حاضر، جهت پیش‌بینی میزان اسلامپ بتن، از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه پیشخور با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار استفاده شده است. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. برای آموزش شبکه از الگوریتم پس‌انتشار استفاده می‌شود. در طی آموزش شبکه پس‌انتشار خطا به کمک الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا، ابتدا محاسبات از ورودی شبکه به سوی خروجی شبکه انجام می‌شود، سپس مقادیر خطای محاسبه شده به لایه‌های قبل انتشار می‌یابد. در ابتدا، محاسبه خروجی به صورت لایه به لایه انجام می‌شود و خروجی هر لایه، ورودی لایه بعدی خواهد بود. مراحل آموزش روش پیشنهادی بدین صورت است که ابتدا یک ساختار اولیه شبکه عصبی مصنوعی جهت آموزش مدل تعیین می شود، که در این پژوهش شبکه عصبی با یک لایه مخفی و متشکل از ۵ نرون به‌عنوان ساختار اولیه در نظر گرفته شده است. شش جز تشکیل دهنده بتن به‌عنوان ورودی‌های مدل و اسلامپ بتن به‌عنوان خروجی می باشد.

شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

ابتدا ماتریس وزن تصادفی به هریک از اتصالات مدل اختصاص می یابد ، آنگاه با انتخاب ورودی و خروجی های نرون در هر لایه ، خروجی هر نرون تعیین می‌گردد. با داشتن خروجی همه نرون‌ها در هر لایه، خروجی نرون‌ها در لایه خروجی تعیین می‌شود. وزن-های تصادفی اختصاص یافته در جهت کاهش اختلاف مقدار خروجی واقعی و خروجی مدل، به روش انتشار خطای شبکه اصلاح می گردند و این اصلاح وزن‌ها تا حداقل نمودن اختلاف ها ادامه می یابد. پس از آموزش شبکه با هر ساختار معین، عملکرد آن به کمک برخی شاخص‌های تعریف‌شده مانند میانگین مربعات خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورت این‌که این شاخص‌ها در حد مطلوب باشند، آموزش شبکه پایان می‌یابد و در غیراین صورت باید ساختار و یا مشخصات مدل را تغییر و اصلاح نمود تا به بهینه‌ترین ساختار مدل آموزشی دست یافت. در این پژوهش ابتدا تعداد ترون‌های لایه مخفی برابر ۵ عدد در نظر گرفته شد که پس از آموزش شبکه، معلوم گردید که شبکه عملکرد مطلوب ندارد. بنابراین تعداد نرون‌ها را به ترتیب به ۱۰،۱۵ و در نهایت به ۲۰ عدد افزایش یافت و شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه مخفی متشکل از ۲۰ نرون، به‌عنوان ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی اسلامپ بتن تعیین شد.

۳-۲- رگرسیون چندمتغیره خطی

رگرسیون یک روش آماری جهت یافتن بهترین و مناسب‌ترین منحنی برای یک سری داده‌های معین از طریق حداقل نمودن مجذور فاصله هر یک از نقاط از منحنی می‌باشد. روش رگرسیون چندمتغیره خطی از چندین متغیر مستقل جهت پیش‌بینی یک متغیر وابسته استفاده می‌کند. هدف در این روش تعیین یک رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است. شکل کلی این رابطه در رابطه ۱ آمده است. X_1 و X_2 و ... از نوع متغیرهای مستقل و Y متغیر وابسته هستند.

$$Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+\cdots+a_nX_n \quad \text{رابطه(۱)}$$

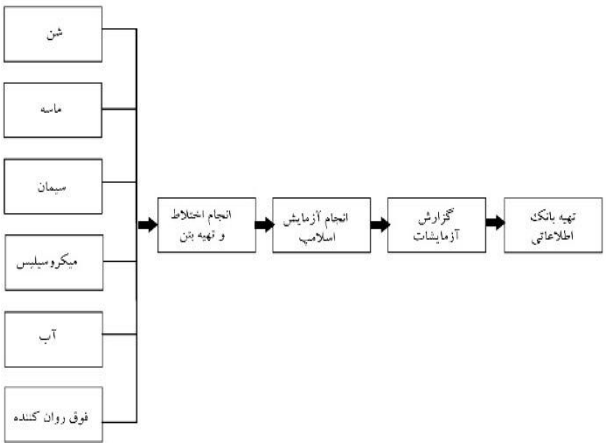
در ادامه تحقیق، به مقایسه بین مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون چندمتغیره خطی در پیش‌بینی اسلامپ بتن پرداخته می‌شود و در نهایت با مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده در هر دو روش با مقادیر واقعی قابلیت هر یک ، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

٤- پیاده‌سازی

در این بخش ضمن تشریح روش انجام آزمایش و تهیه بانک اطلاعاتی، نحوه پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی ارائه می‌گردد.

٤-١- روش انجام آزمایش و تهیه بانک اطلاعاتی

تعداد ۴۴ عدد مخلوط بتنی تازه متشکل از شن، ماسه، سیمان، آب، میکروسیلیس و فوق روان کننده در آزمایشگاه تکنولوژی بتن موسسه آموزش عالی دیلمان ساخته شدند و سپس آزمایش اسلامپ بر روی تمامی آن‌ها انجام گردید. در ساخت این مخلوط‌های بتنی از شن و ماسه رودخانه‌ای استفاده گردید که بزرگ‌ترین بعد سنگ‌دانه برابر ۲۵ میلی‌متر می‌باشد. سیمان مورد استفاده از نوع تیپ ۲ و تولید شده در کارخانه سیمان خزر است. میکروسیلیس مصرفی محصول کارخانه فروسیلیس ایران و فوق‌روان‌کننده تولید شده در شرکت وندشیمی می‌باشد. جهت تعیین طرح اختلاط بتن از آیین نامه ACI-2 استفاده شده است [۱۷]. آزمایش اسلامپ بر اساس آیین نامه ASTM C143-78 بر روی مخلوط‌های بتنی تازه انجام شد [۳]. روند انجام آزمایشات و تهیه بانک اطلاعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. طرح اختلاط و نتایج آزمایش اسلامپ تمامی مخلوط‌های بتنی در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲-روند انجام آزمایشات و تهیه بانک اطلاعاتی

٤-٢- پیاده‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی

همان‌طور که قبلاً اشاره گردید، اسلامپ بتن تحت‌تأثیر عوامل مختلف و متعددی قرار دارد که در تحقیق حاضر عواملی مانند مقادیر آب، سیمان، شن، ماسه، میکروسیلیس و فوق‌روان‌کننده به‌عنوان عوامل مؤثر تعیین و به‌صورت متغیرهای ورودی در مدل شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شدند.

جدول ۱-طرح اختلاط و نتایج آزمایش اسلامپ مخلوط‌های بتنی

اسلامپ (cm)	فوق روان کننده (kg/m3)	آب (kg/m3)	ماسه (kg/m3)	شن (kg/m3)	میکروسیلیس kg/m3	سیمان (kg/m3)
4	0	140	960	640	0	400
10	0	160	960	640	0	400
3.6	0	140	800	800	0	400
6.8	0	150	800	800	0	400
7	0	155	800	800	0	400
7.6	0	160	800	800	0	400
7.8	0	165	800	800	0	400
1.3	0	150	800	800	40	360
2.5	0	160	800	800	40	360
3.5	0	170	800	800	40	360
5.9	0	180	800	800	40	360
1.1	0	140	960	640	20	380
3.6	0	150	960	640	20	380
6	0	160	960	640	20	380
7	0	165	960	640	20	380
1	0.4	150	960	640	40	360
3.5	0.4	160	960	640	40	360
4.5	0.4	165	960	640	40	360
6.3	0.4	170	960	640	40	360
7.2	0.4	175	960	640	40	360
0.5	0.4	150	720	880	40	360
3	0.4	160	720	880	40	360
3.6	0.4	165	720	880	40	360
5	0.4	170	720	880	40	360
6	0.4	175	720	880	40	360
0.6	0.8	180	960	640	80	320
3.6	0.8	190	960	640	80	320
4.5	0.8	195	960	640	80	320
5.5	0.8	200	960	640	80	320
7.2	0.8	205	960	640	80	320
9	0.8	210	960	640	80	320
1.2	0	155	1000	600	30	370
2.1	0	160	1000	600	30	370
3.5	0	165	1000	600	30	370
5	0	170	1000	600	30	370
7	0	175	1000	600	30	370
8.9	0	180	1000	600	30	370
9	0	182.5	1000	600	30	370
2.3	0.4	140	1000	600	10	390
4.3	0.4	145	1000	600	10	390
5.5	0.4	147.5	1000	600	10	390
6.7	0.4	150	1000	600	10	390
8.6	0.4	152.5	1000	600	10	390
10	0.4	155	1000	600	10	390

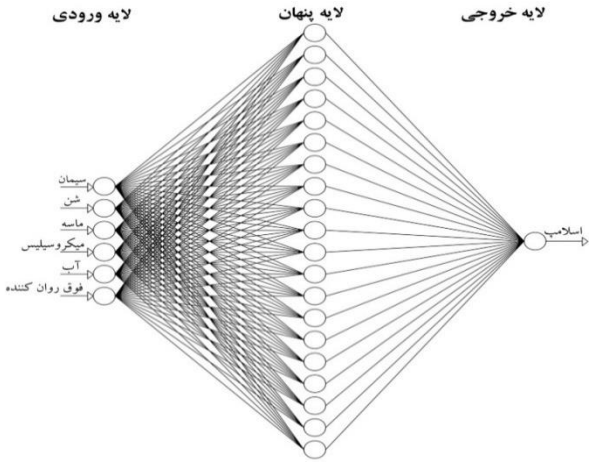
اسلامپ بتن نیز به‌عنوان خروجی مدل تعریف شد. مدل‌سازی با روش شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی نیاز به داده‌های آزمایشگاهی دارد، لذا با ساخت تعداد ۴۴ عدد مخلوط بتنی تازه و انجام آزمایش اسلامپ بر روی آن‌ها اقدام به تهیه بانک اطلاعاتی شد. پس از تهیه بانک اطلاعاتی مورد نیاز، مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن طراحی شده و سپس دقت مدل از طریق مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اصلی با شاخص‌هایی همچون ضریب همبستگی R و میانگین مربعات خطا MSE مشخص شد. بدین منظور بخشی از داده‌ها تحت‌عنوان داده‌های آزمایشی معرفی شدند. با تعیین تعداد نرون‌ها، لایه‌ها و توابع انتقال مدل ساخته شده و پس از آن با استفاده از داده‌های تست مورد آزمایش قرار می‌گیرد. تعداد داده‌های آموزشی به‌کارگرفته شده تأثیر قابل توجهی در یادگیری مدل پیشنهادی دارد. نظرات متفاوتی در رابطه با تعداد داده‌های آموزشی اظهار گردیده است؛ Loonet و Swibgler پیشنهاد نمودند به ترتیب ٪۲۰ و ٪۲۵ داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی به کار گرفته شود[۱۸]. Nelson و Illingworth بین ٪۲۰ و ٪۳۰ داده‌ها را برای آزمایش و بقیه را برای آموزش پیشنهاد نموده‌اند [۱۸]. تعداد داده‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمایشی در نظر گرفته شده در این مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۲-تعداد داده‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمایشی

تعداد	درصد ٪	نوع داده‌ها
۲۶	۶۰	آموزشی
۷	۱۵	صحت سنجی
۱۱	۲۵	آزمایشی

٤-۲-۱- ساختار شبکه عصبی مصنوعی

اولین گام در آموزش یک شبکه عصبی ارائه یک الگویی است که بتواند با استفاده از آموزش داده شود که تعداد ۲۶ عدد داده به‌عنوان داده آموزشی استفاده گردیده است. هدف از این تحقیق ارائه یک ساختار مناسب برای مدل شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی اسلامپ بتن با دقت قابل قبول است. برای این کار بهتر است از شبکه عصبی پس‌انتشار خطا استفاده شود. این شبکه دارای یک لایه ورودی شامل ۶ نرون و یک لایه خروجی دارای یک نرون می‌باشد. تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های آن و همچنین نوع توابع تحریک[1] به‌کار رفته در هر لایه بر رفتار شبکه مورد نظر تأثیر دارد. پس از تعریف و مشخص کردن پارامترهای مختلف در یک شبکه عصبی، تعداد مختلفی شبکه با یک لایه مخفی و تعداد نرون‌های مختلف (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نرون)، طراحی شده و در هر مدل مقدار تابع عملکرد خطا و مقدار ضریب همبستگی به‌دست آمده است. ساختار بهترین شبکه عصبی ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است. در جدول ۳ خلاصه مشخصات و پارامترهای شبکه عصبی به‌کار رفته در این تحقیق ارائه شده است.



شکل ۳- ساختار شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی

٤-۳- پیاده‌سازی مدل رگرسیون چندمتغیره خطی

در این روش با در نظر گرفتن پارامتر اسلامپ بتن به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مقادیر آب، سیمان، شن، ماسه، میکروسیلیس و فوق‌روان‌کننده به‌عنوان متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون چندمتغیره خطی ایجاد می‌شود. همه متغیرهای مستقل از طریق تحلیل رگرسیون خطی و روشی که در آن تمامی متغیرها وارد مدل می‌شوند، وارد مدل اصلی رگرسیون شده و در صورتی‌که دارای شرایط لازم جهت باقی ماندن در مدل (ضریب همبستگی مخالف صفر و معنی داری) نبودند، تک‌تک از مدل حذف خواهند شد. مقدار ضرایب متغیرها در رابطه رگرسیون نشان‌دهنده میزان اهمیت هر یک از متغیرها در مقدار اسلامپ بتن است به‌طوری‌که هر چقدر مقدار عددی ضرایب بزرگ‌تر باشد، تأثیر بیش‌تری در مقدار اسلامپ خواهد داشت. در صورتی‌که علامت ضرایب مثبت باشد

[1] Activation function

یعنی آن متغیر رابطه مستقیمی با متغیر وابسته دارد یعنی با افزایش متغیر دارای ضریب مثبت، مقدار اسلامپ بتن بیش‌تر خواهد شد و این تحلیل برای ضرایب منفی برعکس می‌باشد یعنی با افزایش متغیر دارای ضریب منفی مقدار اسلامپ کاهش خواهد یافت. در نهایت یک رابطه خطی رگرسیون به‌دست می‌آید. به منظور ارزیابی صحت روش به‌کار برده شده، مقادیر به‌دست آمده از رابطه رگرسیون و مقادیر واقعی مقایسه و با محاسبه شاخص‌های ضریب همبستگی R و میانگین مربعات خطا MSE دقت و قابلیت مدل رگرسیون در پیش‌بینی مقدار اسلامپ بتن تعیین خواهد شد.

جدول ۳-خلاصه مشخصات و پارامترهای مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشنهادی به منظور پیش‌بینی اسلامپ بتن

پارامتر	توضیحات
ساختار شبکه عصبی	پرسپترون چند لایه MLP
نوع شبکه عصبی	پیشرو Feed Forward
الگوریتم آموزشی	TRAINLM
تابع یادگیری تطبیقی	LEARNGMD
تابع عملکرد خطا	MSE
الگوریتم خطایابی	انتشار برگشتی Back Propagation
تابع بهینه سازی	لونبرگ- مارکواردت
تعداد لایه پنهان	یک لایه
تعداد نرون‌ها در لایه پنهان	۲۰ نرون
نرخ یادگیری	۰/۰۰۱
تابع تحریک لایه میانی	سیگموئید
تابع تحریک لایه خروجی	خطی purelin

۵- بحث و ارزیابی

در ادامه، نتایج تحلیل‌های مربوط به شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره خطی شامل مقادیر پیش‌بینی شده، نمودار همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و همچنین مقادیر شاخص‌های آماری شامل ضریب همبستگی ، میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در نمودارها و جداولی برای هر کدام از روش‌های مذکور ارائه خواهد شد.

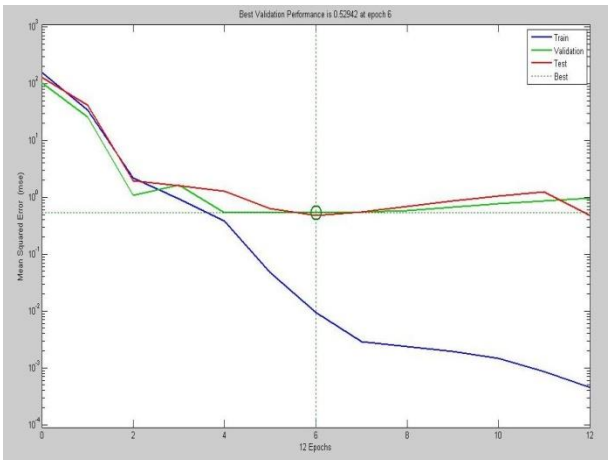
مقادیر ضریب همبستگی R، و میانگین مربعات خطا برای داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی در جدول ۴ ارائه شده است. نمودار همبستگی کلیه داده‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کلیه داده‌ها از همبستگی بسیار بالایی برخوردارند.

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی

نوع داده‌ها	تعداد داده‌ها	میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب همبستگی (R)
آموزشی	۲۶	۰/۰۰۹۳	۰/۹۹۹۴
صحت‌سنجی	۷	۰/۵۲۹۴	۰/۹۷۱۱
آزمایشی	۱۱	۰/۴۸۵	۰/۹۸۵۳

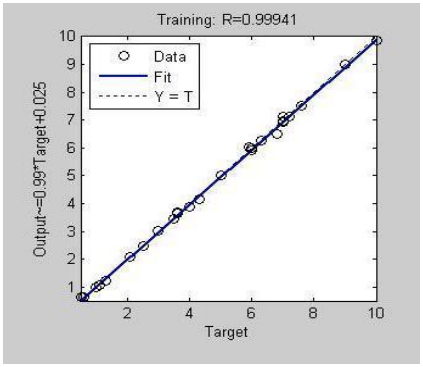
۵-۱- پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی

فرآیند آموزش، صحت‌سنجی و آزمایش شبکه عصبی مصنوعی و پایش مقدار MSE در اپوک های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.

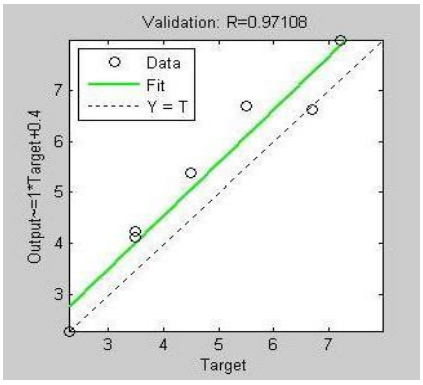


شکل۴-فرآیند آموزش، صحت‌سنجی و آزمایش مدل شبکه عصبی مصنوعی و پایش مقدار MSE

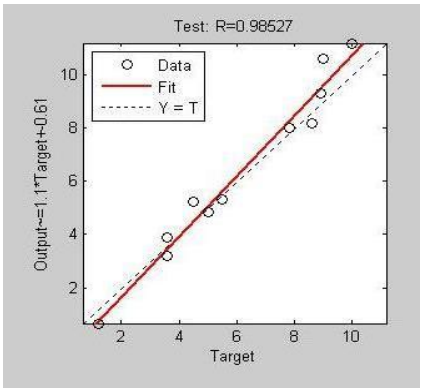
مقادیر اصلی و پیش‌بینی شده مربوط به داده‌های آزمایشی در جدول ۵ و شکل ۶ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که داده‌های آزمایشی در فرآیند یادگیری وارد نشده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر اصلی و پیش‌بینی‌شده وجود دارد. بنابر این شبکه عصبی مصنوعی قابلیت بسیار بالایی در پیش‌بینی مقدار اسلامپ بتن با دقت خوب دارد.



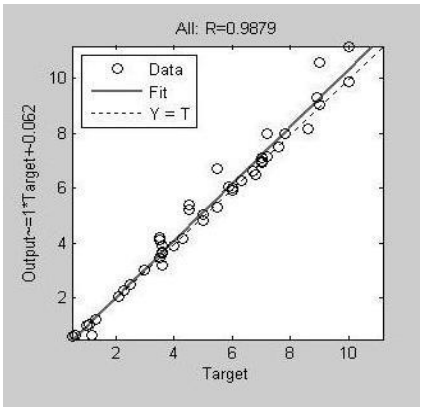
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل۵-نمودار همبستگی برای داده‌های الف)آموزشی، ب)صحت‌سنجی ج)آزمایشی د)کل داده‌ها

جدول ۵-مقادیر اصلی و پیش‌بینی شده مربوط به داده‌های آزمایشی در شبکه عصبی مصنوعی

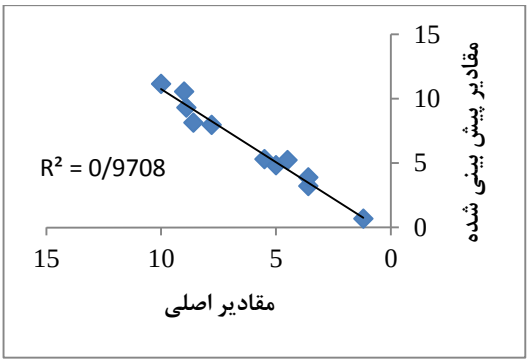
مقدار پیش‌بینی‌شده	مقدار اصلی
۱۱/۱۶۸۶	۱۰
۷/۹۸۲۷	۷/۸
۳/۲۱۸۰	۳/۶
۳/۹۰۳۱	۳/۶
۴/۸۴۰۳	۵
۵/۲۲۹۶	۴/۵
۰/۶۷۲۱	۱/۲
۹/۳۰۴۲	۸/۹
۱۰/۵۶۶۶	۹
۵/۳۰۲۱	۵/۵
۸/۱۴۷۲	۸/۶

۵-۲- پیش‌بینی روش رگرسیون چندمتغیره خطی

رابطه خطی که از روش رگرسیون چندمتغیره بدست می‌آید به صورت رابطه ۲ می‌باشد. در این رابطه، مقدار اسلامپ به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مقدار سیمان و آب به عنوان متغیرهای مستقل تأثیرگذار در اسلامپ هستند. سایر متغیرهای وابسته به علت تأثیر ناچیز در مقدار متغیر وابسته، در طی روش رگرسیون حذف شده‌اند. نتایج پیش‌بینی‌شده در روش رگرسیون چندمتغیره خطی که از طریق جاگذاری داده های آزمایشی در رابطه حاصل از روش رگرسیون بدست می آید در جدول ۶ آمده است. نمودار همبستگی بین مقادیر اصلی و پیش‌بینی‌شده در شکل ۶ نشان داده شده است. برای تمامی نتایج حاصل از این روش، شاخص‌های R و MSE محاسبه شد که مقادیر این شاخص‌ها در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج همبستگی نسبتاً مطلوبی را بین مقادیر حاصل از روش رگرسیون چندمتغیره خطی و مقادیر اصلی را نشان می‌دهد بنابر این، روش فوق می‌تواند با دقت تقریباً خوبی، مقدار اسلامپ بتن را پیش‌بینی نماید.

رابطه (۲)

اسلامپ = -۸۳/۸۲۵+۰/۲۱۶ × مقدار آب +۰/۱۴۴× مقدار سیمان



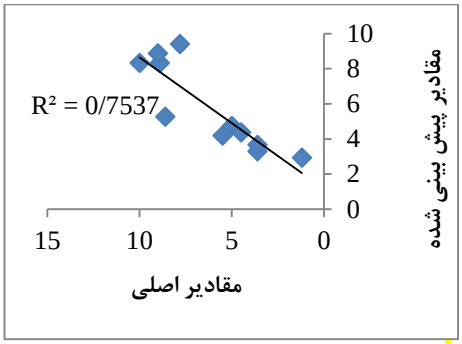
شکل ۶-همبستگی مقادیر اصلی و پیش‌بینی شده مربوط به داده‌های آزمایشی در مدل پیشنهادی شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۶- مقادیر اصلی و پیش‌بینی‌شده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی

مقدار پیش‌بینی‌شده	مقدار اصلی
۸/۳۳۵	۱۰
۹/۴۱۵	۷/۸
۳/۲۹۵	۳/۶
۳/۶۵۵	۳/۶
۴/۷۳۵	۵
۴/۳۷۵	۴/۵
۲/۹۳۵	۱/۲
۸/۳۳۵	۸/۹
۸/۸۷۵	۹
۴/۱۹۵	۵/۵
۵/۲۷۵	۸/۶

جدول۷- مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا در روش رگرسیون چندمتغیره خطی

ضریب همبستگی	میانگین مربعات خطا
۰/۸۶۸۱	۱/۹۶۹۶



شکل ۷- نمودار همبستگی مقادیر اصلی و پیش‌بینی‌شده در روش رگرسیون چندمتغیره خطی

مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده در هر یک از روش‌های مورد استفاده در این تحقیق و هم چنین شاخص‌های آماری مانند ضریب همبستگی R، میانگین مربعات خطا MSE و میانگین خطای مطلق MAE، در جدول ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار ضریب همبستگی R بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر اصلی در مدل شبکه عصبی مصنوعی بیش‌تر از روش رگرسیون چندمتغیره خطی است. همچنین، مقدار میانگین مربعات خطا MSE و میانگین خطای مطلق MAE، در نتایج حاصل از روش رگرسیون بیش‌تر از مدل شبکه عصبی مصنوعی است بنابراین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند میزان اسلامپ بتن را با دقت بالاتری نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره خطی پیش‌بینی نماید.

جدول ۸- مقایسه شاخص‌های ضریب همبستگی ، میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق، در نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون چندمتغیره خطی

روش	ضریب همبستگی	میانگین مربعات خطا	میانگین خطای مطلق
مدل شبکه عصبی مصنوعی	۰/۹۸۵۳	۰/۴۸۵	۰/۵۴۷
رگرسیون چندمتغیره خطی	۰/۸۶۸۱	۱/۹۶۹۶	۱/۰۰۷۷

٦- نتیجه‌گیری

جهت صرفه‌جویی در زمان، هزینه و مصالح بهتر است از روش‌های هوشمند جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن استفاده شود. شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از روش‌های متداول هوش مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌هاست که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله پیچیده را حل نمایند. در این تحقیق باتوجه به تعداد متغیرهای مورد بررسی جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن یک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا طراحی شد و مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه روش رگرسیون چندمتغیره خطی و مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی اسلامپ بتن مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج از لحاظ

کاربردی بودن، دقت و کارایی مقایسه شدند. اگرچه باتوجه به دقت مورد نظر در نتایج آزمایش اسلامپ، هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره خطی می‌توانند قابلیت پیش‌بینی اسلامپ را در حد مطلوب و مناسب داشته باشند، بر اساس مقایسه انجام‌شده در این تحقیق نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای ضریب همبستگی R بالاتر و میانگین مربعات خطا MSE و میانگین خطای مطلق MAE کم‌تری نسبت به مقادیر این شاخص‌ها در نتایج حاصل از روش رگرسیون چندمتغیره خطی است. لذا می‌توان از این نتیجه گرفت که مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از روش‌های محاسبات نرم بدلیل قابلیت سازگارپذیری بالا، غیرخطی بودن، تعمیم‌پذیری مناسب، اغماض خطا و توانایی حل مسایل پیچیده از طریق فرآیند یادگیری، بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه پیش‌شرطی از داده‌های ورودی قابلیت پیش‌بینی اسلامپ بتن را با دقت بالاتر و خطای کم‌تری دارا می‌باشد.

۷-مراجع

[1] Wu Y, Parker F, Kandhal K. Aggregate toughness/abrasion resistance and durability/ soundness tests related to asphalt concrete performance in pavements. Alabama: Auburn University; 1998. NCAT Report. No: 98-4.

[2] Goswami S.C. Influence of geological factors on soundness and abrasion resistance of road surface aggregates: a case study. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 30, pp. 59-61, 1984.

[3] Ioannou I, Fournari R, Petrou M.F. Testing the soundness of aggregates using different methodologies. Construction and Building Materials Vol. 40, pp. 604–610, 2013.

[4] Alves C, Figueiredo C, Sequeira Braga M.A, Maurício A, Aires-Barros L. Aesthetic Failure of Limestones Under Salt Crystallisation Tests, Paper Ref: S2007_P0317, 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure, Porto/Portuga l, 20-24 July, 2009.

[5] Kazi A, Al-Mansour Z.R. Influence of geological factors on abrasion and soundness characterstics of aggregates. Engineering Geology, Vol. 15, pp. 195–203, 1980.

[6] Smith M.R., Collis L., Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes, Sp Pub 17. Geological Society, London, pp. 339, 2001.

[7] Korkanc M, Tugrul A. Evaluation of selected basalts from Nigde, Turkey, as source of concrete aggregate. Engineering Geology, Vol. 75, No. 3–4, pp. 291–307, (2004).

[8] Zarif I.H, Tugrul A. Aggregate properties of Devonian limestones for use in concrete in Istanbul, Turkey. Bulltin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 62, pp. 379–388, 2003.

[۷] ناصری، ف.، بررسی خواص ژئومکانیکی سنگ‌های آهکی جنوب و جنوب شرق استان همدان به عنوان مصالح سنگدانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۳۹۲.

[۸] عثمان پور، آ.، مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی سنگ‌های آهکی شمال و شمال شرق همدان به عنوان مصالح سنگدانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۳۹۲.

[11] Karimi H, Taheri K. Hazards and mechanism of sinkholes on Kabudar Ahang and Famenin plains of Hamadan, Iran. Natural Hazards, Vol. 55, pp. 481-499, 2010.

[12] Topçu, I.B., and Sarıdemir, 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.

[13] Peng, J., Li, Z., and Ma, B., "Neural Network Analysis of Chloride Diffusion in Concrete", Journal of Computing in Civil Engineering, Vol.14, No.4, pp.327-333, 2003.

[14] Ji, T., Lin, T., Lin, X., "A Concrete Mix Proportion Design Algorithm Based on Artificial Neural Networks", Journal of Cement and Concrete Research, Vol.36, pp.1399-1408, 2003.

[15] Fazel Zarandi, M.H., Türksen, I.B., Sobhani, J., Ramezanianpour, 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.

[16] Kadhum, M.M., 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.

[17] ACI Committee 211, "Standard Practice for Selection of Propertions for Normal, Heavy weight and Mass Concrete", American Concrete Institute, 1997.

[18] Majdi, A., Beiki, M., "Evolving Neural Network Using a Genetic Algorithm For Predicting The Deformation Modulus of Rock Mass ", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.47, pp.246-253, 2010.

Prediction of the Concrete Slump with Artificial Neural Network Model and the Multivariable Linear Regression Method

Meysam Effati *
Assistant Professor, Faculty of Engineering, the University of Guilan
Seyyed Hossein Ghasemzadeh Mousavinezhad
Assistant Professor, Faculty of Engineering, the University of Guilan
Mohsen Falahatkar Gashti
Ph.D. Student of Civil Engineering, University of Guilan

Abstract

Workability is the important property of a fresh concrete. There are many methods to measure the workability of concrete. One of the most common and frequently used method is the slump test. In order to achieve the concrete with a desired workability, different concrete mixtures must be made and the slump test be done. To save time, money and material, the prediction methods are used to predict the slump on the basis of the results obtain from a certain number of concrete mixtures. In this study, Multivariable Linear Regression (MLR) method and the Artificial Neural Network (ANN) model, as one of soft computation algorithms, are utilized to evaluate slump prediction and the results in terms of applicability, accuracy and efficiency are compared. The proposed ANN model is the multilayer perceptron with back-propagation learning algorithm. The results showed that the predicted values of both methods are desirable and acceptable. The correlation coefficient, mean square error and the mean absolute error in the ANN model are respectively 0/9853, 0/485 and 0/547. These values in the multivariable linear regression method are respectively 0/8717, 1/7731 and 0/9136. In the multivariable linear regression method, a linear relationship between independent and dependent variables is determined. But, in the most cases and reality, this relationship is not extremely linear, so the predicted values in this method may have big errors and can be neglected. The ANN model, predicts the output by learning the true relationship between inputs and output parameters.

Keywords: Concrete Slump, Soft Computing, Artificial Neural Network (ANN), Multivariable Linear Regression (MLR).

* Corresponding Author: meysameffati@guilan.ac.ir