

پیش بینی مقاومت پیوستگی میلگرد و بتن حاوی میکروسیلیس، نانوسیلیس و الیاف پلیمری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

مسعود نعمتی نژاد

کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

حمید اسکندری نداف *

دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

غلامرضا تدین فر

استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

حسن ساقی

استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

در این پژوهش مقاومت پیوستگی میان میل گرد و بتن حاوی درصد های مختلف میکروسیلیس، نانوسیلیس و الیاف پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور ۳۶ نمونه آزمایشگاهی استوانه ای 15×10 سانتی متری با ۱۲ طرح اختلاط مختلف ساخته شده است. یک مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش بینی نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل مورد استفاده شامل ۶ پارامتر ورودی میکرو و نانو سیلیس، الیاف پلیمری، نسبت های سنگدانه به سیمان، آب به سیمان و رده های مقاومتی سیمان (۳۲۵، ۴۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) است. همچنین پارامتر خروجی شامل مقاومت پیوستگی از آزمون بیرون کشیدگی میلگرد از بتن می باشد. مدل ارائه شده به وسیله داده های آزمایشگاهی آموزش دیده و برای صحت سنجی نتایج آزمایشگاهی پیش بینی شده توسط شبکه از داده های محققین گذشته برای پردازش داده ها استفاده شده است. نتایج نشان می دهد شبکه عصبی ابزاری قدرتمند برای پیش بینی تاثیر مواد افزودنی به بتن بر روی مقاومت پیوستگی میان میلگرد و بتن است. همچنین در نظر گرفتن پارامترهای دیگر موثر در طراحی می تواند در دقیق تر شدن نتایج پیش بینی کمک شایانی بنماید.

واژه های کلیدی: مقاومت پیوستگی، میکروسیلیس و نانوسیلیس، الیاف پلیمری، شبکه عصبی مصنوعی، آزمون بیرون کشیدگی میلگرد.

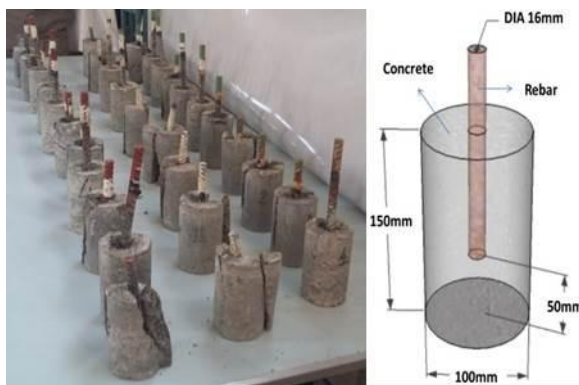
۱- مقدمه

مؤثر بر پیوستگی بتن و میل گرد متعدد هستند [۱۰]. حداقل طول گیرایی که برای ایجاد نیروی جاری شدن در میل گرد لازم است به طول مهاری معروف است. معمولاً طول مهاری به عنوان نماینده ویژگی های پیوستگی میل گرد به شمار می رود [۱۱]. طول گیرایی در آزمایش های مختلف متفاوت است. هنگامی که طول گیرایی افزایش می یابد، میانگین تنش پیوستگی حاصل از آزمایش های تیری یا بیرون کشیدگی کاهش می یابد [۱۲، ۱۳]. *Darwin* و همکاران نشان دادند که تأثیر مقاومت بتن بر مقاومت پیوستگی میل گردهای محصور نشده و محصور شده توسط فولاد گذاری جانبی را می توان با $(f_c')^{1.4}$ متناسب دانست [۱۴]. مقدار دانه های درشت می تواند تأثیر قابل توجهی بر نیروی پیوستگی اضافه حاصل از فولاد گذاری جانبی داشته باشد [۱۵]. *Ferguson* و همکاران نشان دادند که نمونه های تیری با پوشش تحتانی بیشتر، از خود، مقاومت پیوستگی بیشتری نشان می دهند [۱۶]. آزمایش های بیرون کشیدگی انجام شده توسط *Ferguson* و همکاران که در آن تأکید کردند که شکافت، بیشتر در نمونه های بتنی با پوشش کمتر نسبت به نمونه های با پوشش بیشتر رخ می دهد [۱۷]. *Chinn* و همکاران تأثیر پوشش بتن بر مقاومت پیوستگی وصله ها را مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. در یک پوشش خیلی ضخیم، ترک های برشی در فاصله بین شیارها اتفاق می افتد. بنابراین به جای شکست شکافت، شکافت پیوستگی برشی (شکست بیرون کشیدگی) رخ می دهد [۱۹]. اندازه قطر میلگرد ممکن است بر مقدار تنش پیوستگی مؤثر باشد. در آزمایش های بیرون کشیدگی انجام شده توسط *Vivathanatepa* و همکاران نشان داده شد که مقاومت پیوستگی با افزایش قطر میل گرد افزایش می یابد [۲۰]. *Soroushian* و همکاران نشان دادند که با افزایش قطر میل گرد در بتن محصور شده، مقاومت پیوستگی کاهش می یابد و افت در مقاومت پیوستگی با قطر میل گرد رابطه خطی دارد [۲۱]. هنگامی که زاویه شیار میل گرد بین ۴۰ تا ۱۰۵ درجه باشد، عملکرد پیوستگی به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار نمی گیرد. اما هنگامی که زاویه شیار از ۳۰ درجه کمتر می شود، عملکرد پیوستگی متفاوت خواهد بود [۲۲-۲۴]. در سال های اخیر از شبکه عصبی مصنوعی (ANN^1) به عنوان یکی از ابزار قدرتمند و

بتن خودمتراکم نوعی مصالح ساختمانی بسیار مفید و قابل استفاده است که به طور جدی فلسفه و چشم انداز روش های اجرای پروژه های ساختمانی و انتظار مهندسين را از این نوع مصالح در آینده تغییر خواهد داد و تبدیل به عنوان نوعی از مواد که به طور هم زمان می تواند دستیابی به اهداف مختلف تعیین شده توسط استانداردهای بالای مدرن را ایجاد کند، خواهد شد [۱]. از جمله مؤلفه های تأثیر گذار بر مقاومت و کارایی در بتن خودمتراکم نوع سیمان، نسبت آب به مواد سیمانی، نوع و مقدار مواد پوزولانی، میزان و نوع روان کننده و سنگ دانه ها می باشد. برای تولید بتن خودمتراکم با یک مقاومت فشاری خاص باید میزان اجزای ترکیبی و افزودنی های مربوط به آن و حتی میزان و زمان چرخش دستگاه مخلوط کن در هر مرحله نیز به دقت بررسی و اندازه گیری شود [۲]. دوده سیلیس که میکروسیلیس نیز نامیده می شود، محصولی فرعی است که به عنوان پوزولان استفاده می شود [۳]. هدف اصلی کاربرد میکروسیلیس، در ابتدا به عنوان جایگزین نمودن بخشی از سیمان با این ماده ی زائد برای کاهش هزینه ی سیمان مصرفی بوده ولی با افزایش قیمت میکروسیلیس در اغلب کشورهای جهان، کاربرد فوق مقرون به صرفه نیست و بنابراین، میکروسیلیس به عنوان یک ماده ی مضاعف، جهت به دست آوردن خواص مورد نظر به بتن اضافه می گردد [۴]. ذرات میکروسیلیس، صد برابر ریزتر از دانه های سیمان بوده و دارای سطح واکنش بسیار بالایی می باشند که مهم ترین خاصیت آن ها تلقی می گردد [۵]. استفاده از نانو سیلیکا در بتن های با مقاومت بالا می تواند هم باعث افزایش مقاومت کوتاه مدت و هم افزایش مقاومت بلند مدت گردد [۶]. مقاومت در برابر نفوذ آب و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با استفاده از نانو سیلیکا بهبود می یابد [۷]. در بتن، میکروسیلیس در دو سطح کار می کند. اولین اثر واکنش شیمیایی است که شامل واکنش پوزولانی سیلیکا با هیدروکسید کلسیم است که در نهایت به شکل $C-H-S$ در خواهد آمد. اثر دوم واکنش فیزیکی است زیرا میکروسیلیس ۱۰۰ برابر کوچک تر از سیمان است [۸]. میکروسیلیس می تواند حفره باقی مانده در خمیر سیمان تازه و هیدراته را پر کرده و باعث افزایش تراکم آن گردد [۹]. مؤلفه های

¹Artificial neural network

که مقدار میانگین نمونه‌ها در نظر گرفته شده است. ۱۲ طرح اختلاط با دو نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۴۴ و دو نسبت سنگ‌دانه به سیمان ۲/۷ و ۳ با وزن‌های متفاوت الیاف، میکرو و نانوسیلیس ساخته شده برای هر سه رده مقاومتی سیمان در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است همان‌طور که در جدول ۱ طرح اختلاط مشاهده می‌شود طرح اختلاط‌های ۱ تا ۶ با الیاف و نسبت آب به سیمان ۰/۵ و طرح اختلاط‌های ۷ تا ۱۲ با میکروسیلیس و نانوسیلیس و سبت آب به سیمان ۰/۴۴ ساخته شده است. طرح اختلاط‌های ۷ و ۱۲ به تنهایی اثر میکرو و نانوسیلیس را در طرح‌های بتنی بررسی کرده در حالی که طرح‌های ۸ تا ۱۱ هدف بررسی اثر توأم میکروسیلیس و نانوسیلیس با مقادیر مختلف در بحث پیوستگی بتن خودمتراکم و تاثیر آن در مقاومت بیرون کشیدگی میلگرد از بتن بوده است. همچنین جهت شناسایی نمونه‌های ساخته شده با ۳ نوع سیمان، میل‌گرد بتن‌های حاوی سیمان ۳۲۵ با رنگ سفید، میلگرد بتن‌های حاوی سیمان ۴۲۵ با رنگ قرمز و میلگرد بتن‌های حاوی سیمان ۵۲۵ با رنگ سبز علامت‌گذاری گردیدند. مجموع میزان میکروسیلیس و نانوسیلیس ۱۰٪ وزن سیمان مصرفی می‌باشد و این مقدار در کلیه طرح اختلاط‌های مربوطه (۷ تا ۱۲) یکسان است و در این طرح اختلاط‌های مختلف تفاوت در استفاده از ترکیب مقادیر متفاوت میکروسیلیس و نانوسیلیس می‌باشد.



شکل ۱- ابعاد و نمونه‌های ساخته شده با سه نوع سیمان

در این کار از ۳ نوع سیمان پرتلند تیپ ۱-۳۲۵ و ۱-۴۲۵ و ۱-۵۲۵ استفاده شده است. که ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها در جدول ۲ آمده است. در ساخت نمونه‌ها از مصالح سنگی سیلیسی ریزدانه و درشت‌دانه مطابق با منحنی دانه‌بندی آیین‌نامه *ASTM* [۳۶] استفاده شده است. دوده سیلیسی استفاده شده به صورت پودر و به رنگ خاکستری بود که در حین عمل اختلاط به آن اضافه می‌شود.

کارآمد با توجه به توانایی خود در دسته‌بندی داده‌ها و یادگیری داده‌های ورودی و خروجی برای هر مشکل پیچیده است [۲۵, ۲۶]. از مدل *ANN* در جنبه‌های مختلف مهندسی سازه و زلزله [۲۷-۲۹]، تخمین مقاومت فشاری بتن [۳۰, ۳۱]، خوردگی بتن [۳۲] و بهینه‌سازی قیمت سقف‌های بتنی [۳۳] مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین *Bheemreddy* و همکارانش [۳۴] به بررسی اثر الیاف پیوسته و سرامیک کائوچو و مواد مرکب با استفاده از روش المان محدود و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته‌اند. که در آن رفتار بار و جابه‌جایی را در طول فیبر در هنگام خروج از مواد سرامیکی تقویت شده با استفاده از مدل‌های عددی شبیه‌سازی شده است. مدل *ANN* با استفاده از مدل‌های عددی و تحلیلی توسعه داده شده است. مدل *ANN* با دقت خوبی رفتار بار- تغییر مکان را پیش‌بینی کرده است. بعلاوه *Dahou* و همکارانش [۳۵] دو مدل *ANN* برای پیش‌بینی بار نهایی برای خروج میل‌گردهای فولادی آجدار و بتن ارائه داده‌اند. با بررسی کار آزمایشگاهی مشاهده شده است که نسبت مخلوط بتن، مقاومت بتن، سن نمونه-های بتنی و قطر میل‌گردهای آجدار تأثیر زیادی در بار نهایی خروج میل‌گرد از بتن دارد. نتایج *ANN* نشان می‌دهد که مدل قادر است به خوبی ارتباطی میان کار آزمایشگاهی و پارامترهایی همچون آب به سیمان، نسبت سنگ‌دانه به سیمان و نوع سیمان با مقاومت خروجی میل‌گرد از بتن ایجاد کند.

در این مطالعه به پیش‌بینی مقاومت پیوستگی میان میل‌گرد و بتن حاوی مواد میکرو و نانوسیلیس الیاف پلیمری پرداخته شده است. برای این منظور نمونه‌های آزمایشگاهی با نسبت‌های مختلف میکرو و نانوسیلیس الیاف ساخته شده‌اند که از مدل *ANN* برای پیش‌بینی مقاومت پیوستگی استفاده شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد مدل توانایی خوبی در پیش‌بینی مقاومت پیوستگی میان میل‌گرد و بتن دارد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش نمونه‌های آزمایشگاهی، به صورت استوانه‌ای ۱۵×۱۰ سانتیمتری برای انجام آزمایش‌های پیوستگی، در ۱۲ طرح اختلاط و با ۳ نوع سیمان تیپ ۱-۳۲۵، ۱-۴۲۵ و ۱-۵۲۵ که در مجموع ۳۶ نمونه استوانه‌ای ساخته شد (شکل ۱). از هر طرح سه نمونه جهت آزمایش بیرون کشیدگی میل‌گرد از بتن ساخته شده

جدول ۱- طرح اختلاط نمونه‌های بتنی برای هر رده مقاومتی سیمان

شماره طرح	سیمان (gr)	سیمان/آب	سیمان/سنگدانه	میکروسیلیس (gr)	نانوسیلیس (gr)	الیاف (gr)	فوق روان کننده (gr)
۱	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۰	۱۸
۲	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۶	۱۸
۳	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۱۲	۱۸
۴	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۱۸	۱۸
۵	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۲۴	۱۸
۶	۱۳۳۰	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۳۰	۱۸
۷	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۱۳۳	۰	۰	۱۹
۸	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۹۵	۳۸	۰	۱۹
۹	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۳۸	۹۵	۰	۱۹
۱۰	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۶۶/۵	۶۶/۵	۰	۱۹
۱۱	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۱۱۴	۱۹	۰	۱۹
۱۲	۱۱۹۷	۰/۴۴	۳	۰	۱۳۳	۰	۱۹

جدول ۲- مشخصات سیمان‌های مصرفی

ترکیبات شیمیایی سیمان (%)								
Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	نوع سیمان
۰/۲۵	۶۳	۲۱	۵/۵	۳/۱	۲/۷	۱/۹	۰/۶۵	۳۲۵-۱
۰/۳۵	۶۴	۲۰/۲	۴/۶	۳/۵	۱/۹۴	۲/۴	۰/۷	۴۲۵-۱
۰/۳۲	۶۴/۱۸	۲۱	۴/۷	۳/۵۲	۱/۹۳	۲/۵۳	۰/۶۵	۵۲۵-۱

در ساخت نمونه‌ها از مصالح سنگی سیلیسی ریزدانه و درشت‌دانه مطابق با منحنی دانه‌بندی آیین‌نامه *ASTM* [۳۶] استفاده شده است. دوده سیلیسی استفاده شده به صورت پودر و به رنگ خاکستری بود که در حین عمل اختلاط به آن اضافه می‌شود. نانوسیلیس مورد استفاده به صورت مایعی بی‌رنگ، سوپر پوزولان بر پایه نانو تکنولوژی با تأثیر فوق‌العاده و میزان مصرف اندک می‌باشد. الیاف پلیمری (پلی‌پروپیلن) به عنوان مسلح کننده ثانویه بتن یا ملات جهت کاهش جمع‌شدگی و کنترل ترک خوردگی و افزایش دهنده دوام بتن در درازمدت کاربرد دارد. میزان مصرفی بسته به عملکرد مورد انتظار به میزان ۰/۵ تا ۲ کیلوگرم در هر مترمکعب متغیر است. روش دیگر مخلوط نمودن الیاف در آب مصرفی قبل از اضافه کردن آن به مخلوط خشک می‌باشد. در این آزمایش‌ها الیاف به روش اول مخلوط شد. همچنین از فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلیت (*PCE*) با مشخصات فنی جدول ۳ استفاده شد و هنگام مصرف ۰/۲

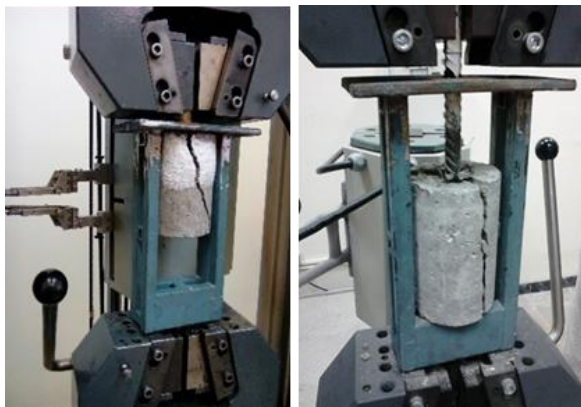
تا ۱/۲ درصد وزن سیمان مصرفی (بسته به اسلامپ موردنظر) به مصالح اضافه می‌شود.

جدول ۳- مشخصات فنی فوق روان کننده

شکل ظاهری	مایع قهوه‌ای رنگ
پایه شیمیایی	دیسپرسیون پلیمری
وزن مخصوص	۱/۰۳ (Kg/Litr)
PH	حدود ۷

۳- نتایج آزمایشگاهی

نمونه‌های ساخته شده توسط دستگاه آزمایش کشش *zwith* آزمایشگاه متالورژی و مواد دانشگاه فردوسی با سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه آزمایش گردید. آزمایش بیرون کشیدگی میل گرد بر اساس استاندارد *ASTM C900* [۳۷] صورت گرفته است و مقاومت پیوستگی بیرون کشیدگی میل گرد از بتن توسط دستگاه ثبت شد.



شکل ۲- آزمایش بیرون کشیدگی میلگرد از بتن

دستگاه آزمایش کشش در حال آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمایشگاهی مقاومت پیوستگی برای هر سه رده مقاومتی سیمان در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به مقاومت‌های به دست آمده از طرح‌های شامل الیاف (طرح ۱ تا ۶) طرح ۴ شامل ۱۸ گرم الیاف پلیمری برای مقاومت سیمان ۵۲۵ بیشترین مقاومت پیوستگی را برابر ۸ مگاپاسکال داشته است. برای طرح‌های شامل ترکیب میکرو و نانوسیلیس با توجه به نتایج به دست آمده طرح شماره ۱۰ با ترکیب مساوی ۶۶/۵ گرم میکرو و نانوسیلیس بیشترین مقاومت پیوستگی در میان تمام طرح اختلاط‌ها را دارد.

جدول ۴- مقاومت پیوستگی نمونه‌های ساخته شده برای رده‌های مقاومتی سیمان

مقاومت پیوستگی هر نوع سیمان (مگاپاسکال)			شماره طرح
۵۲۵-۱	۴۲۵-۱	۳۲۵-۱	
۴/۷	۸/۵	۸	۱
۶/۴	۴/۳	۵/۴	۲
۷/۲	۵/۸	۶/۵	۳
۸	۶	۶/۴	۴
۷/۷	۶/۷	۶/۹	۵
۴/۲	۶/۸	۵/۵	۶
۷/۹	۷/۱	۸/۶	۷
۷/۸	۸/۳	۷/۴	۸
۶	۶/۴	۷	۹
۱۰/۳	۶/۵	۱۰	۱۰
۶/۷	۸/۶	۸/۹	۱۱
۶/۸	۶/۶	۵/۹	۱۲

۴- داده‌های گردآوری شده

به غیر از داده‌های آزمایشگاهی انجام شده در این مطالعه از ۱۵ داده آزمایشگاهی کار پیشینیان [۳۸] برای آموزش و صحت سنجی شبکه پردازش شده استفاده شده است. جزئیات طرح اختلاط‌ها در جدول ۵ لیست شده است. از ۱۵ طرح اختلاط موجود ۴ طرح اختلاط اول شامل بتن معمولی و طرح‌های باقی مانده بتن خود متراکم می‌باشند.

۵- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

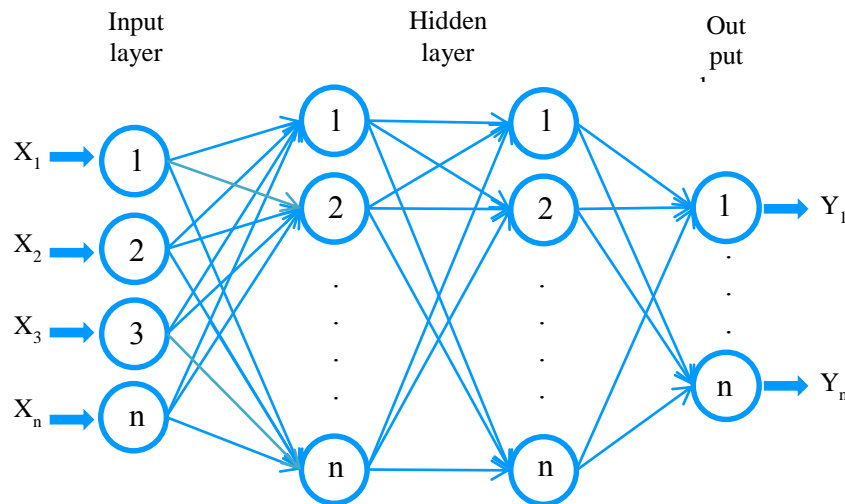
شبکه عصبی مصنوعی تکنیکی است که به تازگی برای حل مسائل مهندسی توسعه یافته است [۳۱]. مدل ANN می‌تواند به پردازش اطلاعات ناقص یا داده‌های دارای خطا پردازد و همچنین داده‌ها را به سرعت برای مسائل پیچیده پردازش می‌کند [۳۹]. معمولاً شبکه

عصبی داده‌های ورودی و خروجی را برای هدفی خاص آموزش می‌دهد [۴۰]. یک ساختار کلی شبکه عصبی در شکل ۳ نشان داده شده است. مدل ANN توسعه داده شده در این پژوهش از ۶ نرون ورودی (میکرو و نانو سیلیس، الیاف پلیمری، نسبت‌های سنگ‌دانه به سیمان، آب به سیمان و رده‌های مقاومتی سیمان) و یک نرون خروجی (مقاومت پیوستگی) است. یک لایه پنهان با ۹ نرون برای شبکه استفاده شده است. زیرا حداقل خطا برای داده‌های آموزش و آزمایش شده به دست می‌آید. الگوریتم آموزش لوبرگ-مارکارد^۱ در نظر گرفته شد. داده‌ها جهت پردازش به سه دسته تقسیم شدند. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای صحت سنجی و ۱۵ درصد برای آزمایش شبکه استفاده شده است.

¹ Levenberg-Marquardt

جدول ۵- طرح اختلاط نمونه‌های بتنی پیشینان [۳۸].

شماره طرح	نوع سیمان	سیمان (kg/m ³)	سیمان/آب	سیمان/سنگدانه	میکروسیلیس (kg/m ³)	فوق روان کننده (kg/m ³)
۱	۴۲۵	۴۰۰	۰/۵۱	۱/۴۴	۰	۰
۲	۴۲۵	۴۰۰	۰/۵۱	۱/۴۴	۰	۰/۵
۳	۴۲۵	۴۰۰	۰/۵۱	۱/۴۴	۰	۱/۰
۴	۴۲۵	۴۰۰	۰/۵۱	۱/۴۴	۰	۲/۰
۵	۴۲۵	۳۵۰	۰/۳۶	۱/۴۳	۰	۱۱/۷
۶	۴۲۵	۳۵۰	۰/۴۱	۱/۴۳	۰	۸/۹
۷	۴۲۵	۳۵۰	۰/۴۶	۱/۴۳	۰	۶/۹
۸	۴۲۵	۳۵۰	۰/۵۱	۱/۴۳	۰	۳/۸
۹	۴۲۵	۳۵۰	۰/۵۶	۱/۴۳	۰	۳/۲
۱۰	۴۲۵	۳۳۳	۰/۴۷	۱/۵۰	۱۷	۷/۳
۱۱	۴۲۵	۳۲۶	۰/۴۸	۱/۵۳	۲۴	۵/۱
۱۲	۴۲۵	۳۱۹	۰/۵۰	۱/۵۷	۳۱	۵/۲
۱۳	۴۲۵	۳۱۳	۰/۵۰	۱/۶۰	۳۷	۶/۸
۱۴	۴۲۵	۳۰۷	۰/۵۱	۱/۶۳	۴۳	۶/۱
۱۵	۴۲۵	۳۰۱	۰/۵۲	۱/۶۶	۴۹	۸/۸

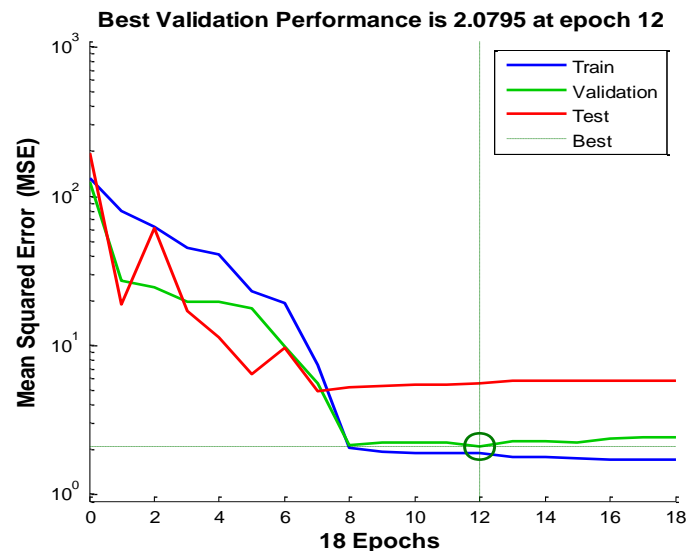


شکل ۳- ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی [۴۱].

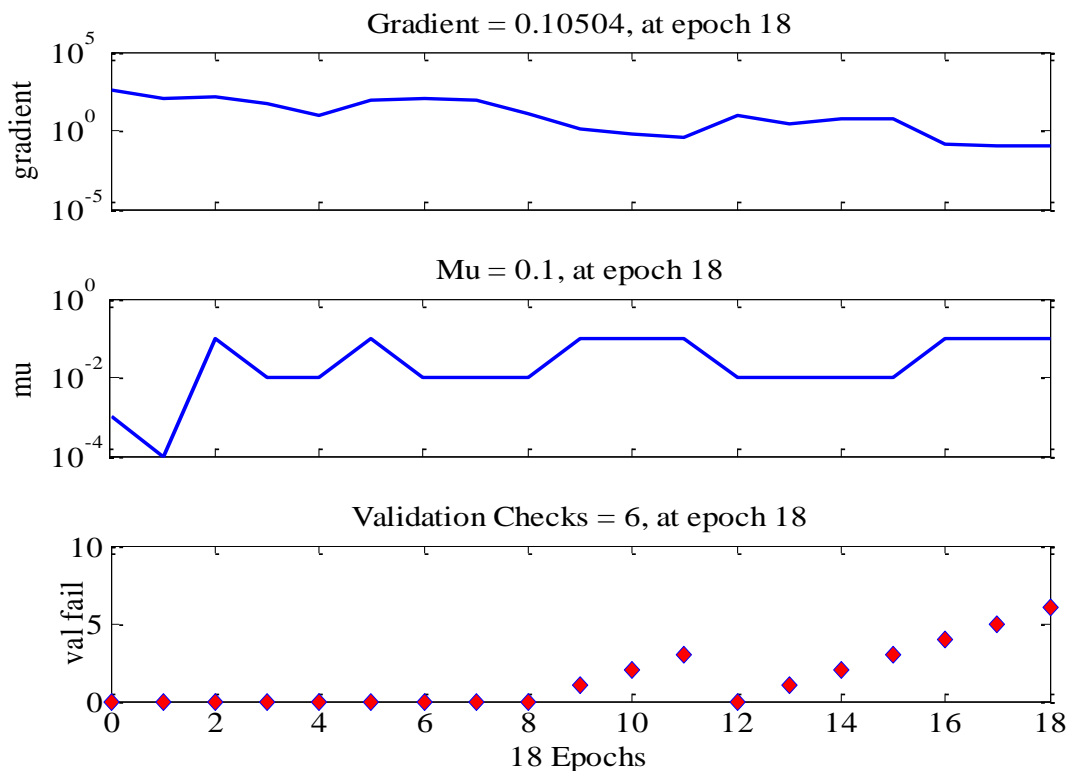
۶- تحلیل نتایج

شکل ۴ نشان می‌دهد میانگین مربعات خطاهای شبکه از مقدار زیاد در آغاز پردازش شروع شده و با روندی کاهشی به حداقل مقدار خود رسیده است. به عبارتی دیگر نشان می‌دهد شبکه به خوبی آموزش دیده است. آموزش شبکه تا زمانی ادامه پیدا می‌کند تا آموزش شبکه روند کاهشی برای خطای داده‌های صحت سنجی شده باشد [۴۲]. شکل ۵ تغییرات خطا را برای کل روند آموزش شبکه نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود روند کاهش خطا تا مقدار گردایان برابر ۰/۱۰۵ در دوره ششم از فرآیند آموزش شبکه می‌باشد.

معیار توقف آموزش شبکه حداقل سازی خطا (MSE) که میانگین مربعات بین داده‌های خروجی و ورودی است. کمترین خطا به معنی بیشترین عملکرد شبکه است. یک ضریب همبستگی (R) برابر یک نشان‌دهنده یک رابطه نزدیک و در مقابل صفر نشان دهنده یک رابطه تصادفی بین داده‌ها است [۴۲]. نتایج آموزش $ANN\ 6-9-1$ که عدد اول (۶) تعداد نرون داده‌های ورودی، عدد دوم (۹) تعداد نرون‌ها در لایه پنهان و عدد آخر (۱) خروجی شبکه است که در شکل‌های ۶-۴ خلاصه شده است.



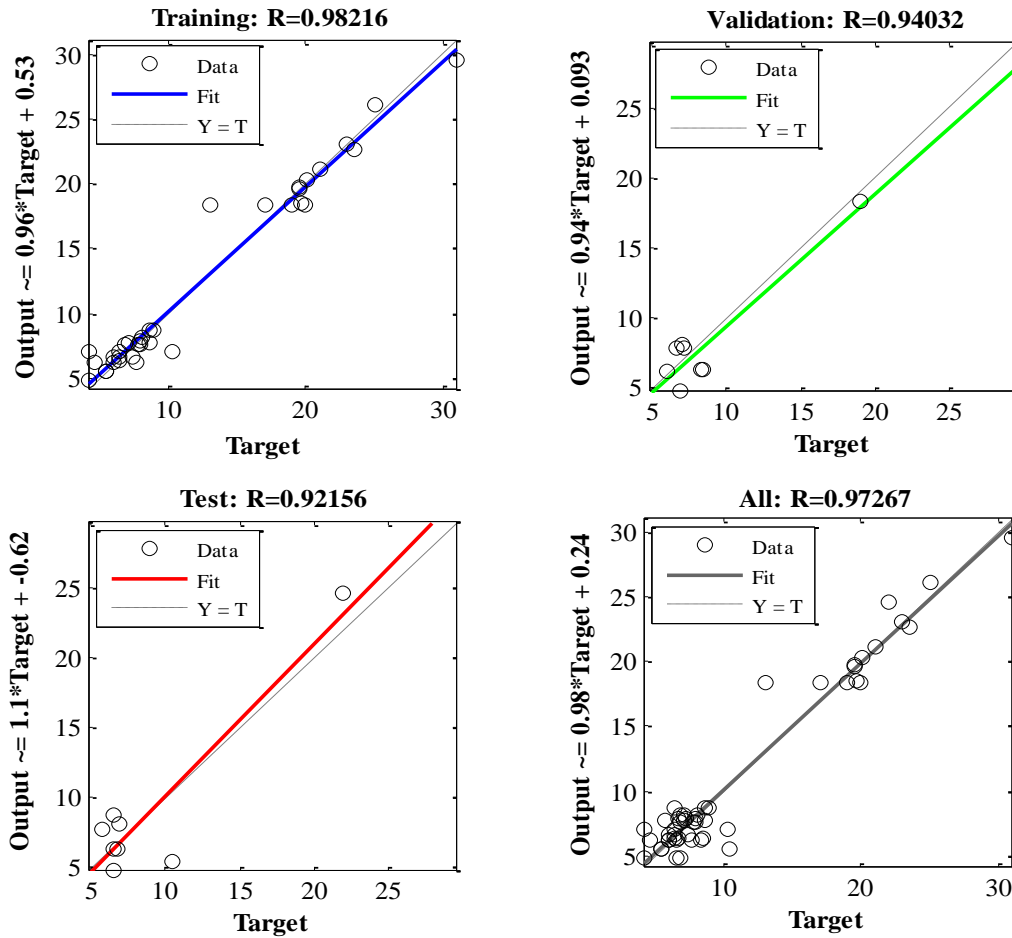
شکل ۴- عملکرد شبکه ANN 6-9-1.



شکل ۵- حالت آموزش شبکه ANN 6-9-1

شبکه برای داده‌های آموزش، اعتبار، آزمون و همچنین کل داده‌ها اجرا شده است. عملکرد شبکه برای مقایسه ارتباط میان داده‌های آزمایشگاهی (*Target*) و نتایج پیش‌بینی شبکه (*Output*) در شکل ۶ نشان داده شده است. ضرایب همبستگی برای آموزش، اعتبار و آزمون شبکه به توجه به مدل ارائه شده به ترتیب برابر ۰/۹۸۲۱، ۰/۹۴۰۳ و ۰/۹۲۱۵ به دست آمده است. این ضریب برای کل داده‌ها برابر ۰/۹۷۲۶ است. بیشتر محققان بر این باورند که ضریب همبستگی برابر یا بیشتر از ۰/۷ برای یک مدل قابل قبول است [۴۳].

باتوجه به شکل ۶ ارزش مقادیر تعیین شده برای تمامی داده‌های اجرا شده توسط مدل ANN نشان‌دهنده نزدیک بودن نتایج آزمایشگاهی و ضریب همبستگی قوی بین پارامترهای ورودی و خروجی توسط مدل ANN ارائه شده است.



شکل ۶- رگرسیون آموزش، اعتبار و آزمون داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل ANN

داده‌های اعتبار مقدار مجموع مربعات خطا کاهش یافته و به ۱/۳۲۳۶ رسیده است که این نشان دهنده کاهش خطای شبکه و ارائه مدلی مناسب از تحقیق آزمایشگاهی حاضر برای پیش‌بینی مقاومت پیوستگی برای داده‌های گردآوری شده است. مقدار $RMSE$ ، $MAPE$ و R^2 برای کل داده‌های اجرا شده در شبکه به ترتیب برابر ۱/۵۸۰۶، ۰/۱۹۲۲٪ و ۰/۹۷۲۶ محاسبه شده است.

جدول ۶- ارزش آماری مدل ارائه شده ANN 6-9-1

پارامترهای آماری	داده‌های پردازش شبکه			
	کل	آزمایش	اعتبار	آموزش
$RMSE$	۱/۵۸۰۶	۱/۶۴۴۶	۱/۳۲۳۶	۴/۴۶۰۷
$MAPE$ (%)	۰/۱۹۲۲	۲/۱۳۰۰	۱/۸۹۴۲	۱/۵۹۱۳
R^2	۰/۹۷۲۶	۰/۹۲۱۵	۰/۹۴۰۳	۰/۹۸۲۱

به‌منظور کاهش خطای شبکه به سطح قابل قبول در طول یادگیری خطای به‌وجود آمده در این مطالعه به صورت مجموع مربعات خطا ($RMSE$) و متوسط درصد خطا مطلق ($MAPE$) بین نتایج حاصل از مدل و نتایج واقعی با توجه به معادلات ۱ و ۲ محاسبه شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2} \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |t_i - o_i|}{\sum_{i=1}^n t_i} \times 100 \right] \quad (2)$$

که t و o به ترتیب مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط شبکه است و n تعداد داده‌ها برای آموزش، اعتبار، آزمایش و کل داده‌ها است.

مقادیر $RMSE$ و $MAPE$ به ترتیب برابر ۴/۴۶۰۷ و ۱/۵۹۱۳٪ برای آموزش شبکه است. در حالی مقادیر این مؤلفه‌ها برای داده‌های آزمایش به ترتیب برابر ۱/۶۴۴۶ و ۲/۱۳۰۰٪ است. برای

- [4]. Berke, N., Microsilica and concrete durability. 1988.
- [5]. Roberts, L.R., Microsilica in concrete: I. Materials Science of Concrete III, I, 1 pp., 1989. 197.
- [6]. Li, G., Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂. Cement and Concrete research, 2004. 34(6): p. 1043-1049.
- [7]. Ji, T., Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. Cement and Concrete Research, 2005. 35(10): p. 1943-1947.
- [8]. Dunster, A., Silica fume in concrete, Information Paper NIP 5/09. 2009, IHS BRE Press, Garston, UK.
- [9]. Sakka, S., Handbook of sol-gel science and technology. 1. Sol-gel processing. Vol. 1. 2005: Springer Science & Business Media.
- [10]. Hossain, K.M.A. and M. Lachemi, Bond behavior of self-consolidating concrete with mineral and chemical admixtures. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008. 20(9): p. 608-616.
- [11]. Abrams, D.A., Tests of bond between concrete and steel. 1913.
- [12]. Mylrea, T. Bond and anchorage. in ACI Journal Proceedings. 1948. ACI.
- [13]. Watstein, D. Distribution of bond stress in concrete pull-out specimens. in ACI Journal Proceedings. 1947. ACI.
- [14]. Darwin, D., et al., Splice strength of high relative rib area reinforcing bars. ACI Structural Journal, 1996. 93(1).
- [15]. Esfahani, M.R. and M.R. Kianoush, Development/splice length of reinforcing bars. ACI structural journal, 2005. 102(1).
- [16]. Ferguson, P.M., R.D. Turpin, and J.N. Thompson. Minimum bar spacing as a function of bond and shear strength. in ACI Journal Proceedings. 1954. ACI.
- [17]. Ferguson, P.M., J.E. Breen, and J.N. Thompson. Pullout tests on high strength reinforcing bars. in ACI Journal Proceedings. 1965. ACI.
- [18]. Chinn, J., P.M. Ferguson, and J.N. Thompson. Lapped splices in reinforced concrete beams. in ACI Journal Proceedings. 1955. ACI.
- [19]. Abrishami, H.H. and D. Mitchell, Analysis of bond stress distributions in pullout specimens. Journal of Structural Engineering, 1996. 122(3): p. 255-261.
- [20]. Viathanatepa, S., E. Popov, and V. Bertero, Effects of generalized loadings on bond of reinforcing bars embedded in well confined

تمام مقادیر ارزش‌های آماری در جدول ۶ نشان دهنده‌ی توانایی مدل ANN ارائه شده است و مقادیر پیش‌بینی شده برای مقاومت پیوستگی میان آماتور و بتن بسیار نزدیک به مقادیر آزمایشگاهی است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه ۳۶ نمونه آزمایشگاهی با سه نوع رده مقاومتی سیمان و با مقادیر متفاوت از میکروسیلیس، نانوسیلیس و الیاف پلیمری ساخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای طرح اختلاط‌های ۱ تا ۶ که شامل الیاف پلیمری می‌باشند نتایج تفاوت زیادی را در مقادیر مقاومت پیوستگی نشان نمی‌دهد. نتایج حاصل از طرح اختلاط‌های شامل میکرو و نانوسیلیس نتایج بهتری را از ترکیب این دو ماده برای مقاومت پیوستگی به نسبت الیاف پلیمری از خود نشان می‌دهند. که در اختلاط شماره ۱۰ با سیمان نوع ۵۲۵ بالاترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد. مدل ANN ارائه شده در این مطالعه از یک لایه پنهان با ۹ نرون تشکیل شده است. به منظور افزایش دقت مدل ارائه شده برای داده‌های آزمایشگاهی این مطالعه و صحت سنجی شبکه از داده‌های پیشین هم جهت آموزش و اعتبار شبکه استفاده شده است که با توجه به عملکرد شبکه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- خطای شبکه ارائه شده برای RMSE و MAPE به ترتیب برابر ۱/۵۸۰۶ و ۰/۱۹۲۲٪ است.
- با توجه به ضریب همبستگی کل داده‌ها که برابر ۰/۹۷۲۶ است که نشان می‌دهد مدل ANN 6-9-1 عملکرد خوبی در پیش بینی داده‌ها داشته است.
- استفاده از مدل‌های ANN روشی مناسب برای پیش بینی مسائل مهندسی مختلف می‌باشد.

۸- مراجع

- [1]. Mehta, P.K. and P.J. Monteiro, Concrete: microstructure, properties, and materials. Vol. 3. 2006: McGraw-Hill New York.
- [2]. Goodspeed, C.H., S. Vanikar, and R.A. Cook, High-performance concrete defined for highway structures. Concrete International, 1996. 18(2): p. 62-67.
- [3]. Neville, A.M., Properties of concrete. 1995.

- [34]. Bheemreddy, V., et al., Modeling of fiber pull-out in continuous fiber reinforced ceramic composites using finite element method and artificial neural networks. *Computational Materials Science*, 2013. 79: p. 663-673.
- [35]. Dahou, Z., et al., Artificial neural network model for steel-concrete bond prediction. *Engineering Structures*, 2009. 31(8): p. 1724-1733.
- [36]. C136, A. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. 1995. American Society for Testing and Materials Philadelphia, PA.
- [37]. Standard, A., C900-06, "Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [38]. Sfikas, I.P. and K.G. Trezos, Effect of composition variations on bond properties of self-compacting concrete specimens. *Construction and building materials*, 2013. 41: p. 252-262.
- [39]. 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*, 2007. 21(2): p. 384-394.
- [40]. Hodhod, O. and G.A. Salama, Analysis of sulfate resistance in concrete based on artificial neural networks and USBR4908-modeling. *Ain Shams Engineering Journal*, 2013. 4(4): p. 651-660.
- [41]. Haykin, S.S., et al., *Neural networks and learning machines*. Vol. 3. 2009: Pearson Upper Saddle River, NJ, USA:.
- [42]. Naderpour, H., A. Kheyroddin, and G.G. Amiri, Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Composite Structures*, 2010. 92(12): p. 2817-2829.
- [43]. Ostle, B., *Engineering statistics: the industrial experience*. 1996: Wadsworth Publishing company.
- concrete, in Report no. EERC 79/22. 1979, Earthquake Engineering Center Berkeley.
- [21]. Soroushian, P. and K.-B. Choi, Local bond of deformed bars with different diameters in confined concrete. *ACI Structural Journal*, 1989. 86(2).
- [22]. Soretz, S. and H. Holzenbein. Influence of rib dimensions of reinforcing bars on bond and bendability. in *ACI Journal Proceedings*. 1979. ACI.
- [23]. Lutz, L.A. and P. Gergely. Mechanics of bond and slip of deformed bars in concrete. in *ACI Journal Proceedings*. 1967. ACI.
- [24]. Rehm, G., The fundamentals of bond between steel reinforcement and concrete. Deutsche association for steel reinforcement-concrete, 1961(138): p. 59.
- [25]. Adeli, H., *Neural networks in civil engineering: 1989-2000*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2001. 16(2): p. 126-142.
- [26]. Adeli, H. and X. Jiang, Dynamic fuzzy wavelet neural network model for structural system identification. *Journal of Structural Engineering*, 2006. 132(1): p. 102-111.
- [27]. Adeli, H. and A. Panakkat, A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction. *Neural networks*, 2009. 22(7): p. 1018-1024.
- [28]. Moustra, M., M. Avraamides, and C. Christodoulou, Artificial neural networks for earthquake prediction using time series magnitude data or Seismic Electric Signals. *Expert systems with applications*, 2011. 38(12): p. 15032-15039.
- [29]. de Lautour, O.R. and P. Omenzetter, Prediction of seismic-induced structural damage using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 2009. 31(2): p. 600-606.
- [30]. Uysal, M. and H. Tanyildizi, Predicting the core compressive strength of self-compacting concrete (SCC) mixtures with mineral additives using artificial neural network. *Construction and Building Materials*, 2011. 25(11): p. 4105-4111.
- [31]. Bingöl, A.F., A. Tortum, and R. Gül, Neural networks analysis of compressive strength of lightweight concrete after high temperatures. *Materials & Design*, 2013. 52: p. 258-264.
- [32]. Hodhod, O. and H. Ahmed, Modeling the corrosion initiation time of slag concrete using the artificial neural network. *HBRC Journal*, 2014. 10(3): p. 231-234.
- [33]. Ahmadvanlou, F. and H. Adeli, Optimum cost design of reinforced concrete slabs using neural dynamics model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2005. 18(1): p. 65-72.

ANN Prediction of bond strength between steel rebar and concrete containing micro-silica, nano-silica and fibers

Masoud Nematinejad

M.Sc., Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Hamid Eskandari-Naddaf*

Associate Professor Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Gholamreza Tadayonfar

Assistant Professor Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Hassan Soghi

Assistant Professor Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

In this study, bond strength between steel rebar and concrete containing micro-silica, nano-silica and fibers are investigated. To this aimed, 36 cylindrical (10 cm*15 cm) specimens have been constructed using 12 different mix designs. ANN model was used in order to predict the experimental results. The applied model consists of six input parameters as micro-silica, nano-silica, fibers, aggregate/cement ratios, water/cement ratio and cement strength grades (325, 425 and 525 kg/cm²). The bond strength between steel rebar and concrete was also used as output parameter. This model is trained by experimental data for validation of experimental results predicted by the researchers of the data network is used for data processing. The predicted results were also validated by data from previous researches. The results indicate that the artificial neural network is a powerful tool for predicting the effects of various concrete admixtures on bond strength between steel rebar and concrete. Moreover, various effective design parameters should be considered in the predicting model which may potentially yield more precise results.

Keywords: Bond strength, micro-silica and nono-silica, fibers, artificial neural network, pull-out test.

* Corresponding Author: Hamidiisc@yahoo.com

