



پیش بینی مقاومت فشاری بتن حاوی مواد افزودنی و امواج فراصوت به کمک شبکه عصبی

علی حیدری

دانشیار دانشکده فنی، گروه عمران دانشگاه شهرکرد

Ali heidari1@yahoo.com

جمال شیخ

دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه تفت

jsh.slr143@yahoo.com

ندا حیدری

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه هیدرولیکی، دانشگاه شهرکرد

heidarineda@rocketmail.com

جواد شیخ

دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه نجف آباد

javadsheikh64@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه به جای ویبراتورهای معمولی از امواج فراصوت تحت تاثیر ارتعاشات مکانیکی استفاده شده است. هدف از کاربرد امواج فرا صوت با فرکانس‌های متغیر در حین بتن ریزی بررسی نقش ارتعاش القا شده بر بتن و اجزای ریز ساختمانی آن به واسطه امواج تولید شده توسط نوعی ترانسدیوسر می‌باشد. استفاده از امواج فرا صوت باعث کاهش تخلخل بتن در حد مولکولی و همچنین حذف ریز جدایش و جلوگیری از ترک‌ها و بهبود کیفیت سطحی بتن می‌شود. در این مطالعه همچنین اثر میکروسیلیس به همراه سرباره کوره ذوب آهن نیز مورد بررسی قرار گرفت که نمونه‌های مکعبی بتن با درصدهایی مختلف از این مواد با استفاده از امواج فراصوت ساخته شد. سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مقادیر این تاثیرات پیش بینی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از موج فراصوت باعث افزایش ۱۸٪ مقاومت ۵۶ روزه نسبت به شاهد خواهد شد. همچنین شبکه عصبی جواب‌های بسیار نزدیکی به نتایج حاصل از آزمایش‌ها دارد که نشان دهنده توانایی این مدل برای پیش بینی رفتار یک ماده می‌باشد.

واژگان کلیدی: امواج فراصوت، میکروسیلیس، سرباره کوره ذوب آهن، مقاومت فشاری بتن



مقدمه

مقالات در کل ارتعاش حرکت ذرات یک جسم الاستیک در جهات متضاد به طور تناوبی از مکان تعادلی به طور دوره ای در زمان است. فرکانس و بیراتور، کلیدی است که ما را قادر می نماید بتن تازه را به بتنی یکپارچه تبدیل نماییم. در صورتیکه فرکانس و بیراتور خیلی کم باشد، و بیراتور به درستی نمی تواند بتن را یکدست و یکپارچه نماید و چنانچه فرکانس و بیراتور خیلی زیاد باشد، به علت ازدیاد هوای داخل بتن، مقاومت آن در برابر خرابیهای ناشی از سیکل های انجماد و ذوب شدن تاثیر قابل ملاحظه ای پیدا می کند. همچنین و بیراتورهای مکانیکی هر چند هم دارای فرکانس مناسب باشند هیچگاه قادر به کاهش تخلخل بتن و همچنین افزایش تراکم آن بصورت کامل و در سطح ریز ساختاری و مولکولی نمیباشند. به دلایل فوق الذکر، تصمیم بر آن شد که یک بازنگری دقیق در و بیراتور در عملکرد قالبهای خود و بیره، و بیراتورهای دستی و و بیراتورهای نصب شده بر روی قالبهای رونده از جمله مخصوص ساخت پیاده روها و کف خیابانهای بتنی صورت پذیرد. به همین علت از امواج فراصوت برای و بیره بتن بجای و بیراتورهای معمولی استفاده شد. در زمینه تاثیر امواج فراصوت برای عملیات ذوب در زمینه ریخته گری و متالوژی مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله میتوان به مطالعات آقای اسکین اشاره نمود، که به نتایج قابل قبولی در زمینه ریخته گری، جهت افزایش استحکام و مقاومت در برابر خوردگی قطعات تولید شده با استفاده از این روش دست یافته است.

یکی از راههایی که برای رفع مشکلات ناشی از ضعف بتن در کاربردهای خاص مطرح شده است، استفاده از پوزولانها است. پوزولانها مواد مکمل سیمان هستند که در مقادیر نسبتاً زیاد به بتن افزوده می شوند. پوزولان ماده ای طبیعی یا مصنوعی به صورت ذرات ریز فعال حاوی سیلیس و آلومین است که خاصیت چسبندگی این مواد بسیار کم یا هیچ است، اما در حضور رطوبت با آهک واکنش شیمیایی می دهند و به تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته با خصوصیات چسبندگی منجر می شود. میکروسیلیس^۱ به عنوان یک ماده پوزولانی سالهاست که در صنعت بتن مورد استفاده قرار می گیرد. میکروسیلیس یک محصول جانبی از فرآیند ذوب در صنعت سیلیسیم و فروسیلیس می باشد. از کاهش کوارتز با درجه خلوص بالا به سیلیس در دمای ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد بخارهای SiO تولید می شود که در نواحی با درجه حرارت پایین تر اکسید و متراکم شده و به ذرات کوچک متشکل از سیلیس غیربلوری تبدیل می شود. محصولات جانبی تولید فلز سیلیسیم و آلیاژهای فروسیلیس دارای محتوای ۷۵ درصد سیلیکون یا بیشتر می باشد که حاوی ۹۵-۸۵ درصد سیلیس غیربلوری می باشد. محصول جانبی تولید آلیاژ فروسیلیس دارای ۵۰ درصد سیلیکون است که حاوی سیلیس بسیار پایین تر و خاصیت پوزولانی کمتری می باشد. بنابراین SiO₂ محتوای میکروسیلیس وابسته به نوع آلیاژ تولید شده می باشد. دوده سیلیس به عنوان ماده افزودنی پوزولانی که تا حد زیادی در بهبود خواص مکانیکی مؤثر است، شناخته شده است.

(Huang, CY, Feldman, 1985) نشان دادند که ملات بدون میکروسیلیس مقاومت کمتری نسبت به خمیر سیمان با نسبت آب-سیمان مشابه دارد، در حالی که ملات با ۳۰٪ سیمان جایگزین شده با میکروسیلیس مقاومت بالاتری نسبت به خمیر سیمان- میکروسیلیس با نسبت آب به سیمان مشابه دارد. (Gleize, 2003) مقاومت فشاری ملات میکروسیلیس دارای نسبت ۱:۱:۶ (ماسه: آهک: میکروسیلیس+سیمان) را تعیین کرد. نتیجه گرفت که در ملات سیمان پرتلند، میکروسیلیس به طور عمده در حد فاصل خمیر- سنگدانه، که در این محل غلظت بالای هیدروکسید کلسیم و تخلخل، بیشتر از خمیر وجود

¹ Micro silica

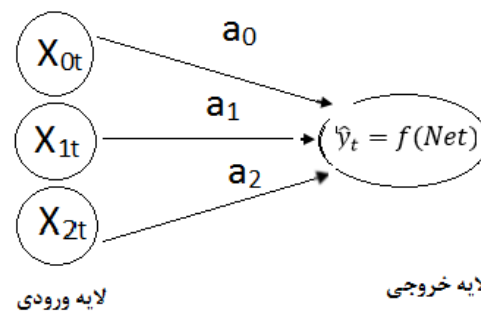


دارد، عمل می‌کند. در ملات سیمان پرتلند با میکروسیلیس، آهک در خمیر سیمان مناسب‌تر است و هیچ مدرکی دال بر غلظت میکروسیلیس در حدفاصل خمیر - سنگدانه وجود ندارد. (Mazloom, 2004) مقاومت فشاری بتن با عملکرد بالا، حاوی میکروسیلیس را مورد بررسی قرار داد. مقادیر میکروسیلیس، ۰، ۶، ۱۰ و ۱۵٪ و نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ بود. نتایج حاصل نشان داد که در سن ۲۸ روز، بتن میکروسیلیس ۲۱٪ قوی‌تر از بتن شاهد است و توسعه مقاومت فشاری مخلوط بتن حاوی میکروسیلیس در سن ۹۰ روز ناچیز است. با این حال، ۲۶٪ و ۱۴٪ افزایش مقاومت پس از یک سال در بتن شاهد نسبت به مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه وجود دارد.

میزان تولید زیاد، قیمت ارزان، هزینه‌های نگهداری و انبارداری پایین و نیز کاهش آلودگی‌های محیط زیستی از عوامل موثر در تمایل به استفاده مجدد از سرباره‌ها می‌باشند. امروزه در دنیا، تحقیقات گسترده‌ای برای بازیافت سرباره‌ها انجام گرفته که منجر به طرح راهکارهایی برای بازیابی و کاربرد آنها در بسیاری از پروژه‌ها شده است. از این موارد می‌توان به استفاده در سیمان سرباره‌ای، به عنوان سنگدانه در بتن، راهسازی و روسازی راه، خاکریز و مواد پرکننده محل قرضه اشاره کرد. به طور کلی استفاده از سرباره‌ی کوره ذوب آهن^۲ در بتن باعث افزایش دوام بتن در برابر محیط‌های خورنده، کنترل انبساط ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و مقاومت اولیه کمتر، می‌شود. در سال‌های اخیر بیشتر تحقیقات در مورد سرباره مربوط به بتن‌های چند جزئی می‌باشد از جمله می‌توان به تحقیقات (باقری، ۲۰۱۰) اشاره نمود در این تحقیقات تأثیر استفاده از مواد مکمل سیمانی مانند خاکستر بادی بسیار ریز، خاکستر بادی و سرباره کوره‌ی آهن‌گدازی به صورت دو جزئی و سه جزئی بر خواص مقاومتی و دوام بتن با استفاده از آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روزه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد برای بتن‌های حاوی مقادیر مختلف سرباره کوره آهن‌گدازی استفاده از خاکستر بادی بسیار ریز در ۷/۵ درصد باعث بهبود دوام درازمدت بتن می‌گردد. با افزایش مصرف خاکستر بادی به ۱۵ درصد بهبود در دوام بتن بیشتر می‌شود. ضمناً کاربرد خاکستر بادی بسیار ریز جز در مواردی که مقدار سرباره کم بوده (حدود ۱۵ درصد) باعث افت مقاومت فشاری در تمامی سنین می‌شود. (عامری و شهبابی شهمیری، ۲۰۱۱) مشخصات سرباره کنورتور ذوب آهن اصفهان را برای استفاده در لایه‌های اساس و زیر اساس روسازی‌ها بررسی کردند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داده‌اند که سرباره‌ها دارای دوام و پایایی مناسب، سختی زیاد، قابلیت استفاده در شرایط آب و هوایی مختلف و ظرفیت باربری زیاد هستند و امکان استفاده در ساخت لایه‌های اساس و زیر اساس، روسازی آسفالتی و بتنی، بالاست، سنگدانه زیر تراورس و خاکریز وجود دارد. (Karbati, 2012) تأثیر جایگزینی مقادیر مختلف پودر سرباره به جای سیمان پرتلند را در خواص بتن بررسی کرد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که جایگزینی حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد سرباره به جای سیمان برای دستیابی به بتن با مقاومت و کارایی مناسب، رضایت‌بخش است. همچنین با افزایش پودر سرباره به جای سیمان پرتلند جمع شدگی سیمان سرباره‌ای و مقاومت بتن‌های ساخته شده با این سرباره در برابر حمله‌ی سولفات‌ها افزایش پیدا می‌کند.

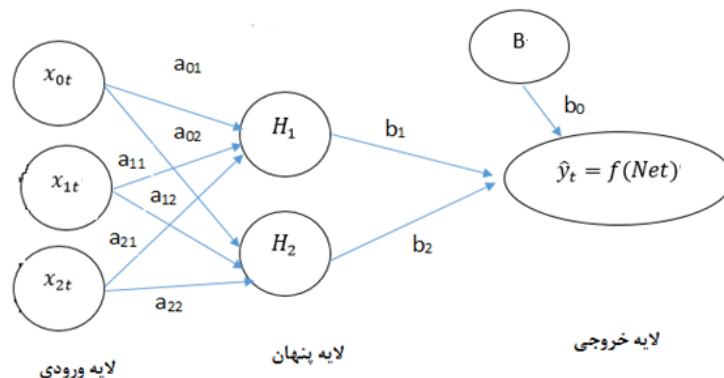
یک شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای از نرون‌های به هم متصل در لایه‌های مختلف است که اطلاعاتی را برای یکدیگر ارسال می‌کنند. ساده‌ترین شکل شبکه فقط دو لایه دارد، لایه ورودی و لایه خروجی. شبکه، شبیه یک سیستم ورودی - خروجی عمل می‌کند و ارزش نرون‌های ورودی را برای محاسبه ارزش نرون خروجی مورد استفاده قرار می‌دهد. شبکه‌های عصبی کاربردهای متفاوتی در علوم مهندسی دارد که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد. از جمله مهمترین آنها شبکه چند لایه پرسپترون با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا است. شبکه‌های دیگری بدین منظور توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است که شبکه انتشار متقابل و مدل دینامیکی آقای عادل را می‌توان نام برد. هر نرون به وسیله یک دایره و ارتباط میان نرون‌ها با یک فلش نشان داده شده است. خروجی Y و ورودی‌ها X_0 ، X_1 و X_2 بردارهای $1 \times n$ هستند که در آن n تعداد مشاهدات است. که این مدل به شبکه عصبی پیشخور معروف است.

² granulated blast furnace slag



شکل ۱- مدل شبکه عصبی ساده پیش خور

ارتباط میان یک ورودی و خروجی به وسیله یک وزن a که بیانگر اهمیت نسبی ورودی مذکور در محاسبه ارزش خروجی است مشخص می‌شود. نرون خروجی، ارزش به دست آمده را با استفاده از یک تابع تبدیل یا فعال سازی (محرک) که با $f(x)$ نشان داده می‌شود، پردازش می‌کند. در ساده‌ترین شکل شبکه عصبی پیش خور، تابع فعال سازی خطی مانند $f(x) = x$ است. یک شبکه عصبی پیش خور با دو لایه و تابع فعال سازی خطی مشابه مدل رگرسیون خطی چند متغیره است. نرون‌های ورودی همان متغیرهای مستقل هستند و نرون خروجی همان برآورد متغیر وابسته است. وزن‌های مختلف شبکه نیز مشابه پارامترهای مدل رگرسیون و جمله اریب نیز همان عرض از مبدأ یا جمله ثابت در مدل رگرسیون است. به طور کلی نقش نرون‌ها در شبکه عصبی پردازش اطلاعات است و این امر در شبکه‌های عصبی مصنوعی به وسیله یک پردازشگر ریاضی که همان تابع فعال سازی است، انجام می‌شود. تابع فعال سازی می‌تواند خطی یا غیر خطی باشد. یک تابع فعال سازی، بر اساس نیاز خاص مسئله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود از سوی طراح انتخاب می‌شود. برای مثال، زمانی که ارزش‌های خروجی مسئله تنها صفر و یک است، دیگر استفاده از یک تابع فعال سازی خطی مناسب نیست و باید از توابع دیگری که بر اساس مقادیر ورودی مختلف تنها مقادیر صفر و یک را نتیجه می‌دهند (مثل تابع آستانه‌ای) استفاده کرد. برای بهره برداری واقعی از توانایی شبکه‌های عصبی، باید از توابع فعال سازی غیر خطی استفاده کرد. تقریباً تمام شبکه‌های عصبی در بخش‌هایی از شبکه از توابع فعال‌سازی غیر خطی استفاده می‌کنند. این مسئله اجازه می‌دهد که شبکه الگوهای غیر خطی مناسبی از مجموعه داده‌های پیچیده تولید کند. به صورت ایده‌آل، تابع فعال سازی باید پیوسته مشتق پذیر و یکنواخت باشد، زیرا، این مسئله عمل پیدا کردن ضرایب مقتضی الگوریتم بهینه یابی را تسهیل می‌کند. رایج ترین تابع فعال سازی مورد استفاده در ادبیات شبکه‌های عصبی، تابع توزیع تجمعی لجستیک است: مقدار تابع لجستیک در محدوده صفر و یک قرار دارد. استفاده از توابع کراندار برای باز تولید وضعیت فعال سازی نرون واقعی مغز انسان است. وقتی که تابع نزدیک به یک است، نرون نسبت به علائم دریافتی بسیار فعال عمل می‌کند و وقتی تابع نزدیک به صفر است، نرون به ندرت به علائم دریافتی واکنش نشان می‌دهد. نتیجه شبکه، مشابه یک مدل احتمالی لاجیت دو تایی است. اگر تابع فعال سازی، یک تابع توزیع تجمعی نرمال باشد، در آن صورت به یک مدل پرابیت دو تایی ایجاد می‌شود. با حضور یک متغیر وابسته بدون کران می‌توان از یک تابع فعال سازی غیرخطی بدون کران مانند $f(x) = x^2$ استفاده کرد. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است. در کاربردهای واقعی، ساختمان شبکه با یک لایه پنهان و یا بیشتر طراحی می‌شود. در این شکل a_{ij} نشانگر وزن ارتباطی است که ورودی i را به نرون یا واحد پنهان j متصل می‌کند و x_0 یک جمله اریب برای واحدهای پنهان است، درحالی که B یک جمله اریب برای واحد خروجی است. شبکه‌های عصبی پیش خور با یک لایه پنهان، تابع فعال سازی لجستیک در لایه پنهان، تابع فعال سازی خطی در نرون خروجی و تعداد نرون‌های کافی در لایه پنهان، قادرند هر تابعی را با دقت دلخواه تقریب بزنند.



شکل ۲- شبکه عصبی پیش خور با یک لایه پنهان

بر خلاف واحدهای ورودی و خروجی، واحدهای پنهان هیچ مفهومی را نشان نمی‌دهند و فقط یک نتیجه میانی در فرایند محاسبه ارزش خروجی هستند. و مانند واحدهای خروجی رفتار می‌کنند. به این معنا که مجموع موزونی از متغیرهای ورودی را محاسبه و سپس، با استفاده از یک تابع فعال سازی که در بیشتر مواقع یک تابع لجستیک است، نتیجه را پردازش می‌کنند. برای پیدا کردن ارزش‌های وزن‌های شبکه از اصطلاح یادگیری یا آموزش استفاده می‌شود. یادگیری دو نوع است. یادگیری تحت نظارت و یادگیری بدون نظارت یادگیری با نظارت، ارزش‌های متغیر هدف که شبکه باید بر اساس ارزش‌های متغیرهای ورودی از طریق محاسباتش آنها را دوباره تولید کند، مشخص و سپس خطای پیش بینی برای هر مشاهده، به وسیله محاسبه اختلاف خروجی شبکه با ارزش‌های متغیرهای هدف اندازه گیری می‌شود. پس از آن، با استفاده از الگوریتم‌های مختلف تکرار (که مشهورترین آنها الگوریتم پس انتشار خطا است) وزن‌های شبکه تعدیل می‌شود (اصطلاحاً شبکه آموزش داده می‌شود) به شکلی که خطای پیش بینی داخل نمونه که به وسیله مجموع مربعات خطای میانگین خطای مطلق اندازه گیری می‌شود حداقل شود. همین طور که وزن‌ها با هر تکرار تغییر می‌کند (شبکه آموزش داده می‌شود) اصطلاحاً گفته می‌شود که شبکه در حال یادگیری است. تخمین ضرایب یک شبکه عصبی به عنوان یک سیستم غیر خطی، به آسانی تخمین پارامترهای مدل‌های خطی نیست. که ممکن است جواب‌های بهینه نسبی متعددی برای حداقل کردن اختلاف بین ارزش حقیقی متغیر خروجی و ارزش‌های به دست آمده از شبکه وجود داشته باشد که هیچ کدام از آنها بهترین جواب نباشند. مجموعه اولیه از وزن‌ها می‌تواند در هر جایی روی محور X نزدیک به یک مینیمم نسبی، ماکزیمم مطلق یا نسبی و یا یک نقطه زینی، به جای یک مینیمم مطلق قرار بگیرد. بنابراین، تخمین شبکه عصبی زمان بیشتری می‌برد و استفاده از روش‌های گوناگون را طلب می‌کند. شبکه‌های عصبی مختلفی به منظور طراحی سازه به کار گرفته شده‌اند. از جمله مهمترین آنها شبکه چند لایه پرسپترون با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا است. شبکه‌های دیگری بدین منظور توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است که شبکه انتشار متقابل و مدل دینامیکی آقای عادل را می‌توان نام برد. (M.Y. Rafiq, 2001) استفاده از شبکه‌های چند لایه پرسپترون، (RBF)^۳ و (NRBF)^۴ به منظور طراحی سازه پیشنهاد گردید. سپس مقایسه‌ای بین آنها از نظر اینکه کدام یک از سرعت آموزش بهتر و کدام یک هنگام استفاده راحت‌تر است انجام گرفت. (Farzad Ahmadkhanlou, 2005) یک ساختمان چند طبقه طراحی کرد که هدف نهایی از طراحی آن وزن بهینه ساختمان بود. همچنین سازه در برابر نیروهای طبیعی مانند باد زلزله قرار گرفت و قیدهایی که مورد آنالیز قرار می‌گیرند تنشها و تغییر مکان اعضا است. میزان بار،

³ Radial Basis Function⁴Normalized Radial Basis Function



خصوصیات مواد و شکل هندسی اعضا نیز نامعلوم و نادقیق هستند که با روش شبیه سازی مونت کارلو محاسبه شده است. (Muhammad. , 2003) معادلات ساده بهینه سازی در قالب طراحی یک تیر بتن آرمه با تکیه گاه ساده را شرح داد. سپس توسط این معادلات تیرهایی با اشکال متفاوت که تحت بارگذاری های مختلف قرار گرفته‌اند طراحی بهینه شده و برای آموزش یک شبکه عصبی استفاده شد. برای آموزش این شبکه ها از الگوریتم آموزش پس انتشار خطا و تابع تحریک سیگموئید و نرخ آموزش ۰/۱ استفاده شد. (P. Hajela , 1991) مقاله ای ارائه داد که در آن روابط نیرو-تغییر مکان در آنالیز استاتیکی سازه را به کمک شبکه عصبی می‌توان بدست آورد .

هدف از این مطالعه افزایش مقاومت فشاری بتن توسط امواج فراصوت و پیش بینی رفتار بتن توسط شبکه عصبی مصنوعی است. بر این اساس در این کار آزمایشگاهی تعداد ۱۲ طرح با درصدهای مختلف میکروسیلیس، سرپاره و ۱۵ ثانیه شوک توسط دستگاه تولید کننده امواج فراصوت به بتن ، زده شد و همچنین برای هر طرح اختلاط، جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه هر کدام سه نمونه مکعبی ۱۰ cm ، تهیه شد و سپس نتایج بدست آمده از روش آزمایشگاهی توسط شبکه عصبی مصنوعی انتشار برگشتی در نرم افزار متلب بدون قفل، مدل گردید.

روش تحقیق

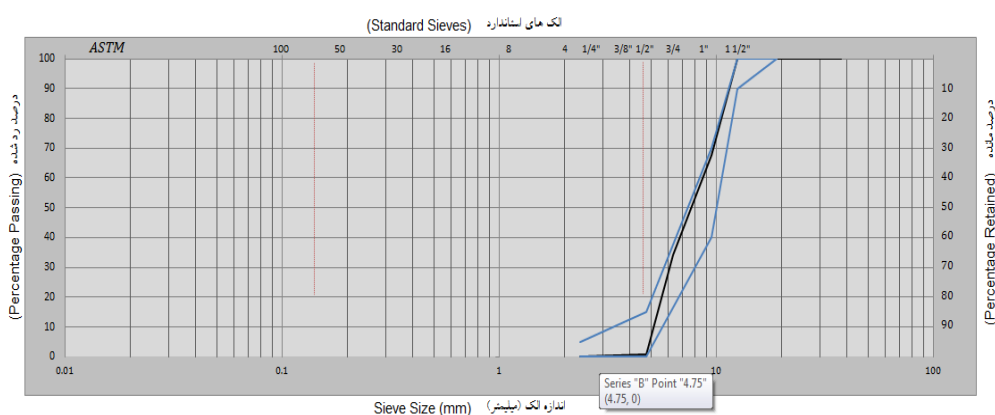
مواد مصرفی

در این طرح آزمایشگاهی موادی که مورد استفاده قرار گرفت به شرح زیر بودند:

جهت استفاده از بهترین مصالح موجود در منطقه، مصالح درشت دانه معدن چلیچه و برای ریز دانه مصالح ترکیبی ماسه شکسته ملاتی معدن شهرکرد و چلیچه (منطقه چهارمحال و بختیاری) با نسبت ۵۰ درصد، مورد تایید قرار گرفت پس از آن سنگدانه‌های روی هر الک با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند و محاسبات بر اساس درصدهای عبوری انجام گرفت. پس از محاسبه درصد تجمعی عبوری از الک‌ها اطلاعات بدست آمده با شرایط دانه‌بندی ASTM C33 (مشخصات استاندارد برای سنگدانه‌های بتن) برای درشت‌دانه و ریز دانه‌ها مقایسه و منحنی دانه‌بندی ترسیم شد (شکل ۳) و (شکل ۴). با توجه به نمودارها، مصالح در محدوده مناسب قرار دارند و از نظر دانه بندی برای استفاده در ساخت بتن مناسب می‌باشند. لازم به ذکر است که بزرگترین بعد درشت دانه ۱۲/۵ میلی‌متر بوده و مدول نرمی مصالح ریز دانه ۲/۴ است. آزمایش جذب آب و وزن مخصوص مصالح ریز دانه مطابق با استاندارد ASTM C128 و درشت دانه مطابق با استاندارد ASTM C127 انجام شده است. برای این منظور یک کیلوگرم از مصالح انتخاب شده و با توجه به استاندارد، جذب آب و وزن مخصوص مصالح محاسبه شد. میزان جذب آب برای مصالح درشت دانه ۰/۵ درصد و برای مصالح ریز دانه برابر با ۱/۸ بدست آمد. همچنین وزن مخصوص مصالح ریز دانه ۲/۶ و مصالح درشت دانه ۲/۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. آزمایش درصد رطوبت طبیعی مطابق با استاندارد ASTM C566 انجام شد که درصد رطوبت طبیعی مصالح ریز دانه ۱/۲ درصد و مقدار رطوبت طبیعی مصالح درشت دانه ۰/۰۵ درصد بود. مقدار جذب آب و رطوبت طبیعی در طرح اختلاط لحاظ شده است.



شکل ۳- دانه‌بندی مصالح ریز دانه



شکل ۴- دانه‌بندی مصالح درشت دانه

سیمان استفاده شده در این آزمایش، سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ از کارخانه سیمان شهرکرد می‌باشد. که مشخصات شیمیایی و فیزیکی این سیمان در جدول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان شهرکرد (تیپ ۴۲۵-۱)

مرجع	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	L.O.I	Total alkalin	F.CaO
سیمان شهرکرد	۲۰/۹-۲۱/۳	۵/۱-۵/۴	۳/۸۰-۳/۹۵	۶۴/۸۰-۶۵/۲۰	≤۱/۶۵	≤۲/۰	≤۱/۲۰	≤۰/۷	≤۱/۳۰

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سیمان شهرکرد (تیپ ۴۲۵-۱)

مرجع	Setting Time		Compressive strength (kg/cm ²)				Autoclave Expansion
	Biain	(min)	اولیه	نهایی	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
سیمان شهرکرد	≥۳۰۰۰ (cm ² /gr)	۸۵-۱۱۰	۱۱۰-۱۶۰	≥۲۰۰	≥۳۰۰	≥۵۰۰	≥۰/۲

آب مصرفی در این آزمایش آب شرب شهرکرد بوده. مشخصات آب مصرفی در جدول ۳ آورده شده است.



جدول ۳- مشخصات آب مصرفی

PH	کلروها (mg/lit)	سولفات‌ها (mg/lit)	سختی کل (mg/lit)
۷/۶	۴۰	۲۹	۲۰۵

میکروسیلیس مصرفی در این آزمایش، محصول شرکت ساختمان شیمی می‌باشد. در جدول ۴ و ۵ مشخصات میکروسیلیس آورده شده است.

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی

CaO	Na2O	K2O	SO3	MgO	Fe2O3	Al2O3	SiO2	میکرو سیلیس
۱/۲	۰/۳	۰/۷	۰/۷	۱/۱	۰/۸۵	۱/۱	۹۴/۳	



شکل ۵- میکروسیلیس مصرفی

جدول ۵- مشخصات کلی میکروسیلیس مصرفی

ASTM C1240	استاندارد
خاکستری	رنگ
پودر	حالت فیزیکی
۲/۲ gr/cm3	وزن مخصوص
۲۵۰-۳۰۰ gr/cm3	وزن مخصوص ظاهری
۹۰٪<	میزان خلوص
٪۳ >	درصد رطوبت
٪۲/۵	افت حرارتی
۱۵-۳۰ m2/gr	سطح ویژه
< ۱ μm	اندازه ذرات

سرباره مورد استفاده برای اختلاط با مصالح بتن، سرباره کوره ذوب آهن اصفهان با وزن مخصوص ۲۷۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب و سطح مخصوص حدود ۲۲۰۰ سانتیمتر مربع بر گرم است.



برای دستیابی به نسبت آب به سیمان کم و کارایی لازم در این مطالعه آزمایشگاهی از ابر کاهنده آب بر پایه پلی کربوکسیلات محصول شرکت ابتکارشیمی البرز استفاده شده است. مشخصات این فوق روان کننده مطابق با استاندارد ASTM C 494 - TYPE F می باشد که در جدول ۶ مشخصات ابر کاهنده آب آورده شده است.

جدول ۶- مشخصات ابر کاهنده آب مصرفی

حالت فیزیکی	مایع
رنگ	قهوه ای
وزن مخصوص (250c)	$1.08 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
PH	1 ± 6
دمای انجماد	(-۲) درجه سانتیگراد
مقدار کلراید	فاقد یون کلر (BS 5075)

برای تولید موج نیاز به یک دستگاه تولید موج فراصوت داریم که از یک ژنراتور و یک تراندیوسر تشکیل شده است. در شکل ۶ دستگاه تولید موج فراصوت آورده شده است.



شکل ۶- دستگاه تولید کننده موج فراصوت

طرح اختلاط اولیه مطابق با ACI-211-89 تهیه شده است. طرح اختلاط مبنا مطابق با جدول ۷ می باشد. برای بررسی تأثیر امواج فراصوت بر مقاومت فشاری بتن حاوی میکرو سیلیس و سرباره با نسبت ۱۰ درصد اضافه و جایگزین وزن سیمان آزمایشاتی صورت گرفت که این آزمایشات در جدول ۸ آورده شده اند. دیگر مقادیر طرح اختلاط بتن ثابت در نظر گرفته شده و همانند بتن شاهد می باشد.



جدول ۷- طرح اختلاط اولیه

سیمان (kg/m ³)	۵۷۰
آب (kg/m ³)	۱۵۲
شن (kg/m ³)	۷۲۰
ماسه (kg/m ³)	۸۲۴
ابر کاهنده آب (درصد از وزن سیمان)	۰/۵
نسبت آب به سیمان	۰/۳۱

جدول ۸- طرح‌های به کار رفته در مطالعه

شماره طرح	دادن شک توسط موج فراصوت (s)	سرباره %	میکروسیلیس %	ابر کاهنده آب %
۱	-	-	-	۰/۵
۲	۱۵	-	-	۰/۵
۳	۰	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	-	۰/۵
۴	۱۵	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	-	۰/۵
۵	۰	-	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۰/۵
۶	۱۵	-	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۰/۵
۷	۰	-	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۰/۵
۸	۱۵	-	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۰/۵
۹	۰	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۰/۵
۱۰	۱۵	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۱۰٪ جایگزین وزن سیمان	۰/۵
۱۱	۰	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۰/۵
۱۲	۱۵	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۱۰٪ اضافه وزن سیمان	۰/۵

فرآیند ساخت نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C192 انجام شده است. کلیه فرآیند اختلاط توسط میکسر ۱۵۰ لیتری و در آزمایشگاه انجام شده است. به طور کلی برای طرح‌های اختلاط ابتدا کمی از آب طرح در میکسر ریخته شد و با شروع به گردش میکسر شن و ماسه به آن اضافه شده، مخلوط شدند، سپس مواد سیمانی اضافه شده و بخش زیادی از آب اضافه می‌شود و در ادامه آب باقی مانده که با روان کننده کاملاً مخلوط شده به مخلوط اضافه می‌شود. برای اضافه کردن میکروسیلیس با توجه به جذب آب بالای این ماده، به منظور مخلوط شدن یکنواخت این مواد با دیگر مصالح باید تدابیر ویژه‌ای جهت اضافه کردن این مصالح به بتن اتخاذ شود. برای این منظور میکروسیلیس مصرفی را قبل از اختلاط با بتن، با بخشی از آب مصرفی به طور جداگانه در ظرفی مخلوط کرده تا به صورت یک لجن روان درآید، سپس همزمان با اضافه کردن سیمان به مخلوط، اضافه می‌شود. در طرح اختلاط حاوی میکرو سیلیس زمان اختلاط در میکسر را کمی طولانی‌تر در نظر گرفته شده تا یکنواختی بهتری حاصل گردد.

پس از پایان اختلاط با میکسر نمونه‌ها، آماده قالب‌گیری و انجام آزمایش اسلامپ می‌شوند. بلافاصله پس از اختلاط آزمایش اسلامپ انجام شده است. آزمایش اسلامپ جهت تعیین کارایی بتن ساخته شده انجام می‌گردد، این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C143 انجام شده است پس از انجام آزمایش اسلامپ، قالب‌گیری نمونه‌ها انجام گرفته، که برای هر طرح اختلاط، جهت اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه هر کدام سه نمونه مکعبی ۱۰ cm، تهیه شد. برای قالب‌گیری نمونه‌ها مطابق با استاندارد، قبل از قالب‌گیری نمونه‌ها، قالب‌ها با روغن چرب می‌شوند، سپس بتن در سه لایه در قالب ریخته شده و عمل تراکم مخلوط با استفاده از دستگاه تولید کننده موج به مدت زمان ۱۵ ثانیه و فرکانس ۲۰ هرتز انجام گرفت. پس از



ساخت نمونه‌ها و قالب‌گیری، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب در کارگاه باقی مانده و سپس قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها در محلول آب آهک اشباع به مدت ۵۶ روز نگهداری شدند. دمای آب عمل‌آوری در حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شده است.

مهم‌ترین پارامتر در طراحی بتن، مقاومت فشاری آن است. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها مطابق با استاندارد BS 1881: Part 116 انجام شده است. آزمایش توسط جک استاندارد ۲۰۰۰ کیلو نیوتنی انجام شد. که در شکل ۷ نمونه را در حین آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد.

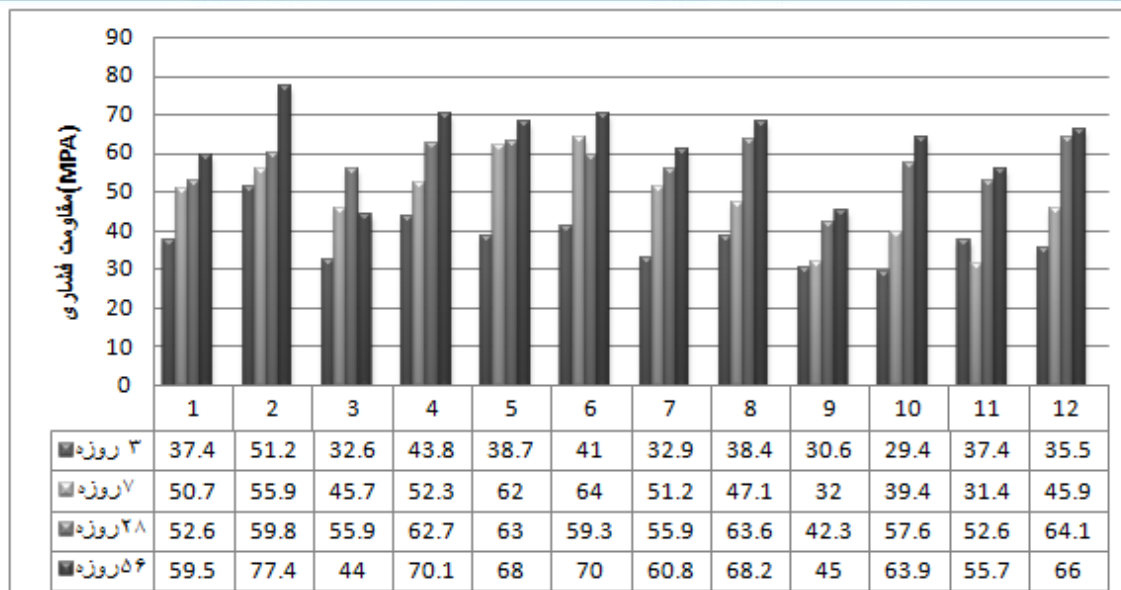


شکل ۷- آزمایش مقاومت فشاری

سپس شبکه عصبی با سه ورودی و چهار خروجی و ۱۰ لایه پنهان طراحی شد.

یافته‌ها

مقایسه مقاومت فشاری طرح‌ها در شکل ۸ نشان که در طرح ۲ با ویبره توسط موج فراصوت بدون حضور میکرو سیلیس بالاترین مقدار مقاومت فشاری کوتاه مدت و بلند مدت نسبت به بتن مشاهده می‌شود. که نشان دهنده اثر موج فراصوت بر روی نمونه بتن باشد. پخش شدگی و جدا شدن بیشتر مولکول‌های آب تحت تاثیر این موج باعث می‌شود که برخورد مجموعه‌ها با یکدیگر بیشتر شده و شرایط رشد هسته‌های مرکزی متقارن در محلول نیز افزایش یابد. به عبارتی تعداد مولکول‌های شرکت کننده در واکنش هیدراسیون سیمان افزایش می‌یابد. در نتیجه فرایند هیدراسیون کاملتری اتفاق می‌افتد. در نتیجه بالاترین مقدار مقاومت فشاری ۳ روزه نسبت به بتن شاهد در این طرح مشاهده می‌شود.

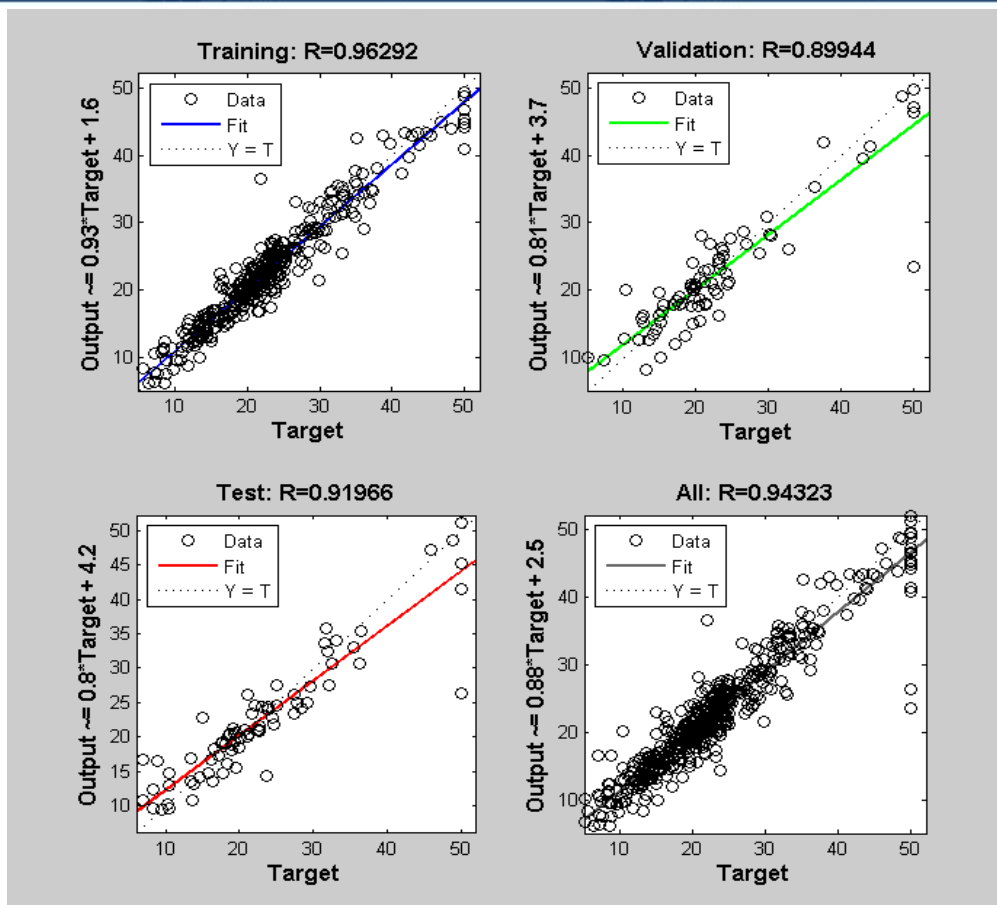


شکل ۸- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های نمونه‌های حاوی امواج فراصوت

با اضافه کردن میکروسیلیس به بتن در واقع میلیون‌ها ذره بسیار کوچک به مخلوط بتن اضافه شده است و درست مثل ریزدانه‌ها که در فضای بین درشت دانه‌ها را پر می‌کنند، ذرات میکروسیلیس هم فضای بین دانه‌های سیمان را پر نموده و با ایجاد این حالت این میکرو پرکننده‌ها می‌توانند نقش مهمی را در بهتر کردن خصوصیات بتن ایفا کنند. بر این اساس می‌توان مشاهده کرد که طرح‌هایی که دارای میکروسیلیس جایگزین بر وزن سیمان هستند مانند طرح ۳ از مقاومت ۳ روزه بیشتری نسبت به طرح‌های میکرو سیلیس اضافه بر وزن سیمان برخوردار هستند. پایین‌ترین مقاومت فشاری در طرح ۹ دیده می‌شود که نشان می‌دهد تراکم نامناسب و عدم خروج حباب‌های هوای داخل نمونه باعث بیشتر شدن ترک‌های سطحی و داخلی نمونه شده که باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود و حتی استفاده از میکروسیلیس تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری نمونه نخواهد داشت.

در مقاومت ۲۸ روزه در همه نمونه‌ها افزایش مقاومت دیده می‌شود که بالاترین مقدار در طرح ۱۲ و طرح ۸ با حضور موج فراصوت و میکرو سیلیس دیده می‌شود که افزایش ۱۱ و ۱۱/۵ درصدی را نشان می‌دهد. از جمله عواملی که سبب افزایش مقاومت فشاری در این طرح‌ها شده‌اند، می‌توان به مواردی همچون: پخش و جدا شدن بیشتر مولکولهای آب و بالطبع افزایش تعداد مولکولهای شرکت کننده در واکنش هیدراسیون سیمان، و شکل گیری فرایند هیدراسیون کاملتر به همراه ذرات میکروسیلیس به عنوان پر کننده فضای بین دانه‌های سیمان در بتن، با تراکم مناسب اشاره کرد.

در ادامه مطالعه به بررسی مدل تعریف شده در شبکه عصبی پرداخته شد و خروجی به دست آمده را با خروجی حاصل از کار آزمایشگاهی مقایسه شد.



شکل ۹- نتایج خروجی حاصل از شبکه عصبی

جدول ۹- نتایج خروجی حاصل از شبکه عصبی و کار آزمایشگاهی

۰/۸۶	R حاصل از کار آزمایشگاهی
۰/۹۴۳۲۳	R حاصل از شبکه عصبی

همانطور که در شکل ۹ دیده می‌شود میزان R حاصل از مرحله آموزش و تست شبکه بیش از ۰.۹۰ است و R حاصل از مدلسازی ۰/۹۴ می‌باشد. این مقدار نشان دهنده وابستگی عناصر به کار رفته در آزمایش (موج فراصوت، میکروسیلیس و سرباره) بر روی مقاومت فشاری بتن به همراه توانایی بالای شبکه در مدلسازی رفتار بتن می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه انجام شده به بررسی تأثیر امواج فراصوت، میکروسیلیس و سرباره بر مقاومت فشاری بتن پرداخته شد. نتایج به دست آمده نشان داد که پخش شدگی و جدا شدن بیشتر مولکولهای آب در اثر امواج فراصوت باعث می‌شود که برخورد مجموعه‌ها با یکدیگر بیشتر شده و شرایط رشد هسته‌های مرکزی متقارن در محلول نیز افزایش یابد. اثرگذاری این سیستم روی آب با آزاد سازی مولکول‌های آب از کمپلکس‌های یونی متعدد و دپلیمراسیون و افزایش واکنش پذیری ضمن ارتقای قابلیت حل کلوئیدی مواد بوده و لذا ضمن کاهش انرژی سطحی آب و افزایش قدرت نفوذ و خیس کنندگی ذرات سیمان، باعث افزایش اکتیویته



شیمیایی می‌گردد. با ایجاد این امواج، املاح محلول در آب به صورت ذرات کریستال با ابعاد میکرونی درآمده و همین ذرات توانایی جذب سایر املاح محلول را دارا می‌باشند. به عبارتی تعداد مولکول‌های شرکت کننده در واکنش هیدراسیون سیمان افزایش یافته و در نتیجه فرایند هیدراسیون کاملتری اتفاق می‌افتد. همچنین امواج فراصوت باعث میشوند بتن، به بتنی کاملاً یکپارچه و فاقد هر گونه حباب هوا شود. علاوه بر این با اضافه کردن میکروسیلیس به بتن در واقع میلیون‌ها ذره بسیار کوچک به مخلوط بتن اضافه شده است و درست مثل ریزدانه‌ها که در فضای بین درشت دانه‌ها را پر می‌کنند، ذرات میکروسیلیس هم فضای بین دانه‌های سیمان را پر نموده و با ایجاد این حالت این میکرو پرکننده‌ها می‌توانند نقش مهمی را در بهتر کردن خصوصیات بتن ایفا کنند. بنابراین در طرح‌هایی که دارای میکروسیلیس جایگزین بر وزن سیمان هستند مقاومت ۳ روزه بیشتری نسبت به طرح‌های میکرو سیلیس جایگزین برخوردار هستند، دیده می‌شود. بنابراین شکل گیری فرایند هیدراسیون کاملتر به همراه ذرات میکرو سیلیس به عنوان پر کننده فضای بین دانه‌های سیمان در بتن سبب افزایش مقاومت فشاری در طرح‌ها خواهد شد.



منابع

مهتا، ک و مونته ئیرو، پ، ترجمه رمضانپور، ع، قدوسی، پ و گنجیان، ا، «ریز ساختار خواص و اجزای بتن (تکنولوژی پیشرفته بتن)»، چاپ پنجم، ۱۳۹۲.

- ACI Committee 211-13, "Proportioning Concrete Mixtures", American Concrete Institute, Michigan, USA, pp. 38, 2013.
- ASTM C109-13, "Standard Test Methods for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- ASTM C127-15, "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C128-15, "Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C143-15, "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International", West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C192-15, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C494-15, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International", West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C566-13, "Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, ASTM International", West Conshohocken, PA, 2013.
- B. Dubus, G. Haw, C. Granger, and O. Ledez, "Characterization of Multilayered Piezoelectric Ceramics for High Power Transducers," Ultrasonics, vol. 40, Issues 1-8, pp903-906, 2002
- BS 1881-116, "Testing concrete Method for determination of compressive strength of concrete cubes", British Standards Institution, pp. 8, 1983.
- Bulter, "Hybrid Piezoelectric and Magnetostrictive Acoustic Wave Transducer," in United States Patent, No. 4443731, 1984.
- Farzad Ahmadvanlou, Hojjat Adeli: "Optimum cost design of reinforced concrete slabs using neural dynamics model", Engineering Applications of Artificial Intelligence 18 (2005) 65-72
- Gleize, P.J.P., Müller, A., Roman, H.R., "Microstructural investigation of a silica fume-cement-lime mortar", Cement & Concrete Composites, Vol. 25(2), pp. 171-175, 2003.
- Huang, C.Y., Feldman, R.F., "Hydration reactions in Portland cement-silica fume blends", Cement & Concrete Research, Vol. 15(4), pp. 585-592, 1985.
- M. Papadrakakis, N.D. Lagaros, V. Plevris: "Design optimization of steel structures considering uncertainties", Engineering Structures, April 2005, Article in press
- M.Y. Rafiq, G. Bugmann, D.J. Easterbrook: "Neural network design for engineering applications", computers & structures 79 (2001) 1541-1552
- Mazloom, M., Ramezani-pour, A.A., Brooks, J.J., "Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete", Cement & Concrete Composites, Vol. 26(4), pp. 347-357, 2004.
- Muhammad N.S. Hadi: "Neural network applications in concrete structures", computers & structures 81 (2003) 373-381
- P. Hajela and L. Berke: "Neurobiological computational models in structural analysis and design", Computers & Structures, Volume 41, Issue 4, 1991, Pages 657-667
- Siddique, R., Iqbal Khan, M., "Supplementary Cementing Materials", Engineering Materials, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-17866-5-2, 2011.

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop