نشریه علمی-تخصصی
پژوهش های نوین علوم مهندسی
ISSN: 2538-3809
سال هشتم، شماره ۵ (پیاپی: ۴۶)، زمستان ۱۴۰۲

نانو مواد و کاربرد آن در بتن

احمد فرهمندزاد[1]*، محمدعلی دشتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰
کد مقاله: ۶۳۷۶۸

چکـیده

بتن یکی از مهم ترین و رایج ترین مصالح ساختمانی است که تولید و مصرف آن به گونه فزاینده ای گسترش یافته است. در مواد تشکیل دهنده بتن تحولات شگرفی حاصل شده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه مواد و فرآیندها، همچنین دست کاری آن‌ها در مقیاس نانو چشم اندازی از تولید مواد در اندازه ماکرو و محصولات جدید را پیش روی ما قرار داده است و فناوری نانو تاکنون به حوزه برخی مواد ساختمانی و معدنی از جمله بتن وارد شده است و به همین دلیل صنایع بتنی به نوبه خود یکی از ذینفعان فناوری نانو به شمار می‌رود. رشد جمعیت در جهان روبه افزایش بوده و این امر موجب مصرف بیشتر بتن جهت ساخت فضاهای مسکونی و تجاری بیشتری خواهد شد و متعاقب آن منابع بکر طبیعی مثل سنگدانه و آب شیرین بیشتری مصرف خواهد شد. در این پژوهش به کاربرد مواد نانو در بتن پرداختیم. با استفاده از مصالح موجود درکشور تا مناسب ترین و سازگارترین طرح اختلاط یعنی طرح اختلاط بهینه تاثیر مواد نانو در بتن بدست می آید. ۱۲ نوع طرح اختلاط مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد که در تمامی طرح اختلاط ها پوزولان های نانوسیلیس و میکروسیلیس فاکتور متغیر بوده و نانوسیلیس مصرفی با ۲ و ۴ و ۶ و درصد وزن سیمان و میکروسیلیس مصرفی با ۷/۵ و ۱۵ درصد وزن سیمان جایگزین می شود و در تمامی طرح های اختلاط نسبت آب به سیمان ثابت و برابر ۰/۳۵ فرض می شود و میزان روان کننده ثابت بوده ولیکای مصرفی بدلیل جذب آب زیاد بایستی ۲۴ ساعت قبل از مصرف با آب اشباع نموده و بصورت اشباع با سطح خشک استفاده شود. باید توجه داشت استفاده از بتن با وزن مخصوص کم در سازه های بتن مسلح موجب کاهش وزن مرده ساختمان و تبع آن برش پایه شده و از مقدار مصرف میلگرد و بتن می کاهد و در نتیجه از نظر سازه ای عملکرد بهتری خواهد داشت.

واژگـان کلـیدی: مواد نانو، نانوسیلیس، میکروسیلیس، بتن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران (نویسنده مسئول)
afarahmandzade@gmail.com

۲- استادیار گروه عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۱- مقدمه

بتن یکی از مهم ترین و رایج ترین مصالح ساختمانی است که تولید و مصرف آن به گونه فزاینده ای گسترش یافته است. در مواد تشکیل دهنده بتن تحولات شگرفی حاصل شده است. در سال های اخیر استفاده از سنگدانه های سبک به منظور سبک سازی بتن پیشرفت چشمگیری داشته است. بتن سبک ماده ای با ترکیات جدید و فوق العاده سبک و مقاوم می باشد(شاکری، ۱۳۹۲). پیشرفت های اخیر در زمینه مواد و فرآیندها، همچنین دست کاری آن ها در مقیاس نانو چشم اندازی از تولید مواد در اندازه ماکرو و محصولات جدید را پیش روی ما قرار داده است و فناوری نانو تاکنون به حوزه برخی مواد ساختمانی و معدنی از جمله بتن وارد شده است و به همین دلیل صنایع بتنی به نوبه خود یکی از ذینفعان فناوری نانو به شمار می رود. رشد جمعیت در جهان روبه افزایش بوده و این امر موجب مصرف بیشتر بتن جهت ساخت فضاهای مسکونی و تجاری بیشتری خواهد شد و متعاقب آن منابع بکر طبیعی مثل سنگدانه و آب شیرین بیشتری مصرف خواهد شد. مواد نانو به عنوان موادی که حداقل یکی از ابعاد آن طول عرض ضخامت زیر ۱۰۰ نانومتر باشد تعریف شده اند، یک نانومتر یک هزارم میکرون یا حدود ۱۰۰۰۰۰ برابر کوچکتر از موی انسان است خواص فیزیکی و شیمیایی مواد نانو در مقایسه با مواد میکروسکپی تفاوت اساسی دارند فناوری نانو قادر است مواد را تا اندازهای کوچک کند که با دوباره سازی آن ها بتوان مواد و فناوری های جدیدی را به دنیا عرضه نمود. بیشترین سهم در فناوری نانو در صنعت ساخت و ساز را صنایع فولاد شیشه و بتن دارند صنعت ساخت وساز با توجه به نیازهای خود در خواص فیزیکی و مکانیکی بتن شامل استحکام مقاومت و دوام و نیز کارایی بالا از استفاده کنندگان مهم مواد نانو ساختار به شمار می رود عموماً فناوری نانو در ساخت و ساز در سازه های اصلی باعث بهبود خواص مکانیکی و در بخش نازک کاری در پوشش نماهای داخلی و خارجی اهمیت ویژه ای را دارا هستند به طوری که اگر در نمای خارجی مورد استفاده قرار گیرد جذب آلودگی را به حداقل رسانده و نمای ساختمان را در مقابل اشعه UV مقاوم می نماید(کاشانی، ۱۳۹۶). بتن سبک بتنی است که دانه‌بندی مناسب، حداقل حفره برای حداقل سیمان و حداقل تغییر حجم هنگام خشک شدن را دارد و وزن و چگالی آن نسبت به بتن معمولی، به میزان قابل‌توجهی کاهش پیدا کرده است. برای رسیدن به چنین بتن سبکی، باید طرح اختلاط بتن سبک داشته باشید. تعداد سنگ‌دانه‌های سبک تأثیر زیادی روی طرح اختلاط بتن سبک و تعیین نسبت‌ها و روش‌های کنترل بتن با سنگ‌دانه سبک دارد. داشتن طرح اختلاط بتن سبک مناسب، روی تعیین مدت‌زمان از دست دادن رطوبت سنگ‌دانه‌ها و رسیدن به یک بتن سبک با کیفیت بالا و حداقل حفره نیز تأثیر خواهد داشت. از آن جا که بتن سبک سازهای با کم کردن بار مرده ساختمان و کاهش وزن تمام شده ساختمان نیروی زلزله را نیز کاهش می دهد اما سبک کردن بتن باعث ایجاد فضای خالی زیادی در آن می شود و در نتیجه کاهش مقاومت آن را به همراه دارد برای حل این مشکل استفاده از مواد افزودنی نظیر فوق روان کننده برای کاهش آب مصرفی و پوزولان های ریز ساختار مانند میکروسیلیس و نانوسیلیس برای پرکردن خلل و فرج های بتن و افزایش مقاومت آن در نظر گرفته می شود هر چقدر مواد افزودنی به بتن ریزتر و در مقیاس نانو باشند خواص چسبندگی و پرکنندگی بتن بیشتر شده و بتن مطلوبتری بدست می آید. ایجاد بتن حبابدار سبکدانه به خوبی در برابر جداشدگی بتن را پایدار می کند(مقصودی، ۱۳۹۰). مهم ترین مشکل در امر تراکم جداشدگی است برای حل این مشکل بهتر است از لرزاندن بیش از حد خودداری شود. در بتن سبکدانه عملاً سبکدانه بالا آمده و شیره در زیر جمع می شود و اگر ماسه معمولی داشته باشیم در پایین جمع می شود. ضربه زدن برای تراکم به ویژه در دال ها بهتر از لرزاندن می باشد. استفاده از شمشه وماله لرزان برای پرداخت سطح بتن توصیه می شود. ماله های آلومینیومی و منیزیمی در پرداخت سبکدانه نیز مناسب می باشد. در عمل آوری نیز باید دقت کرد با این که بتن سبکدانه به دلیل این که خمیر سیمان می تواند از آب درون سبکدانه در طول زمان عمل آوری استفاده نماید به عمل آوری رطوبتی حساس نیست، اما این بدان معنا نیست که عمل آوری ضرورت ندارد قسمت های سطحی بتن به دلیل جمع شدگی بیشتر ممکن است نیاز به عمل آوری زیادتری داشته باشد این عمل آوری بیشتر جنبه حفاظتی دارد و کمتر بر پیشبرد هیدراتاسیون سیمان تأثیر می گذارد.

۲- روش

با استفاده از مصالح موجود درکشور تا مناسب ترین و سازگارترین طرح اختلاط یعنی طرح اختلاط بهینه تاثیر مواد نانو در بتن بدست می آید. ۱۲ نوع طرح اختلاط مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد که در تمامی طرح اختلاط ها پوزولان های نانوسیلیس و میکروسیلیس فاکتور متغیر بوده و نانوسیلیس مصرفی با ۲ و ۴ و ۶ و درصد وزن سیمان و میکروسیلیس مصرفی با ۷/۵ و ۱۵ درصد وزن سیمان جایگزین می شود و در تمامی طرح های اختلاط نسبت آب به سیمان ثابت و برابر ۰/۳۵ فرض می شود و میزان روان کننده ثابت بوده ولیکای مصرفی بدلیل جذب آب زیاد بایستی ۲۴ ساعت قبل از مصرف با آب اشباع نموده و بصورت اشباع با سطح خشک استفاده شود. آزمایشات در سه مرحله بررسی اثر نانوسیلیسی بر خواص مکانیکی بتن، بررسی اثر میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک و بررسی اثر اختلاط نانوسیلیسی با میکروسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک انجام می شود. از نمونه های ۱۰X۱۰ cm برای دست یابی به مقاومت فشاری بتن استفاده نموده که تعداد سه نمونه در هر طرح

اختلاط مدنظر می باشد و در خصوص آزمایش کششی (دونیمه شدن) از هر طرح اختلاط تعداد سه نمونه استوانه ای ۲۰ X ۱۰ cm تهیه نموده و در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه مورد آزمایش قرار می گیرند.

۳- مواد مورد استفاده

مواد مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های بتنی، سیمان، سنگدانه، ماده افزودنی میکروسیلیس و نانوسیلیس، آب و فوق روان کننده می باشند.

جدول ۱ ترکیب سیمان مصرفی

ترکیبات	C_3S	C_2S	C_3A	C_3AF
درصد	۳۵-۶۰	۲۰-۳۵	۹-۱۱	۹-۱۲

جدول ۲ مشخصات نانوسیلیس مصرفی

رنگ	وزن مخصوص(gr/cm)	میزان ذرات جامد(٪)	اندازه ذرات
تقریبا بی رنگ	۱,۳۷	۵۰,۹	کوچیکتر از ۵۰ نانومتر

جدول ۳ مشخصات میکروسیلیس مصرفی

رنگ	وزن مخصوص(gr/cm)	قابلیت انحلال	حالت فیزیکی	PH	یون کلر
خاکستری	۱,۴۵	در آب	مایع ژل	۱۰	ندارد

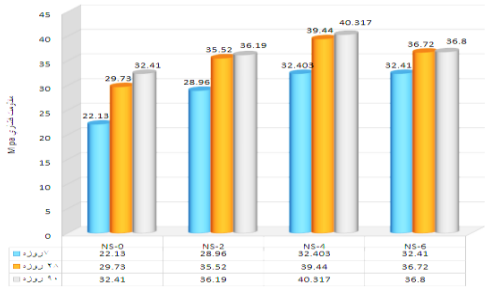
۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی نانوسیلیس (شماره طرح ۲ و ۳ و ۴)

نانوسیلیس مصرفی با درصدهای ۲ و ۴،۶ درصد وزن سیمان جایگزین سیمان شده که این طرح اختلاط ها نسبت به طرح اختلاط ۱ که فاقد نانوسیلیس و میکروسیلیس می باشد مقایسه می شود.

جدول ٤ نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی نانوسیلیس

شماره طرح اختلاط	مقاومت فشاری (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
1-NS^7-0 صفر درصد نانو سیلیس	22.13	29.73	32.41
2-NS^7-2 دو درصد نانوسیلیس	28.96	35.52	36.19
3-NS^7-4 چهار درصد نانوسیلیس	32.403	39.44	40.317
4-NS^7-6 شش درصد نانوسیلیس	32.41	36.72	36.80

نتایج نشان داد افزایش نانوسیلیس تا ۴ درصد موجب افزایش نسبی در مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه می شود. با افزایش نانوسیلیس بیشتر از ۴ درصد مقاومت فشاری با شیب بیشتری تنزل می یابد. انتظار می رود در نسبت های بالاتر از ۴ درصد نانوسیلیس مقاومت های فشاری کاهش یابد.



نمودار ۱ تغییرات مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی نانوسیلیس

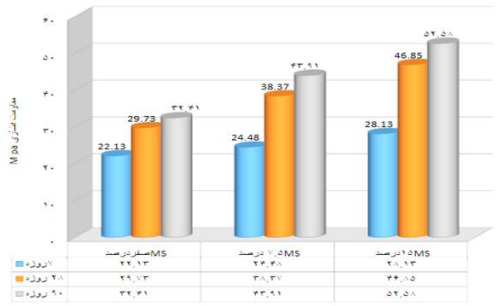
۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی میکروسیلیس(۵ و٦)

میکروسیلیس با درصدهای ۷/۵ و ۱۵ درصد وزن سیمان مصرفی جایگزین سیمان شده است.

جدول ۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی میکروسیلیس

شماره طرح اختلاط	مقاومت فشاری (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
1-MS^8-0 میکروسیلیس صفر درصد	22.13	29.73	32.41
3-MS^8-7.5 میکروسیلیس 7.5 درصد	24.48	38.37	43.91
6-MS^8-15 میکروسیلیس 15 درصد	28.13	46.85	52.58

نتایج نشان می دهد در سن ۲۸ روزه به ازای ۷/۵ درصد میکروسیلیس ۳۸,۳۷ و به ازای ۱۵ درصد میکروسیلیس ۴۶۸۵ مقاومت فشاری را داشته که حاکی از افزایش مقاومت فشاری با افزایش مقدار میکروسیلیس می باشد اما این افزایش در کوتاه مدت همانطور که از نمودار مربوط به دوره ۷ روزه پیداست چندان قابل ملاحظه نیست و با گذشت زمان و کامل شدن واکنش های میکروسیلیس با اجزای مخلوط بتن افزایش زیادی در مقدار مقاومت پدید می آید.



نمودار ۲ تغییرات مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی میکروسیلیس

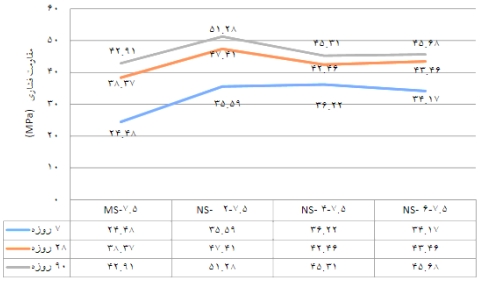
۳-۳- آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی اختلاط نانو سیلیس با میکروسیلیس (۷ تا ۱۲)

۲ و ۴ و ۶ درصد نانوسیلیس به طرح اختلاط های شماره ۵ و ۶ اضافه شده است. میزان مصالح و افزودنی های مصرفی در جدول ۵۳ آورده شده است.

جدول ٦ نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس

شماره طرح اختلاط	مقاومت فشاری (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
5 -MS^8-7.5 میکروسیلیس 7.5 درصد	24.46	38.37	42.91
6-MS^8-15 میکروسیلیس ۱۵ درصد	28.13	46.85	52.58
7-(MS^8-7.5).(NS^7-2) میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 2 درصد	35.59	47.41	51.28
8-(MS^8-7.5).(NS^7-4) میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 4 درصد	36.22	42.46	36.80
9-(MS^8-15).(NS^7-6) میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 6 درصد	34.17	43.46	32.41
10-(MS^8-15).(NS^7-2) میکروسیلیس 15 درصد و نانو 2 درصد	30.52	43.24	47.41
11-(MS^8-15).(NS^7-4) میکروسیلیس 15 درصد و نانو 4 درصد	29.66	43.45	47.45
12-(MS^8-15).(NS^7-6) میکروسیلیس 15 درصد و نانو ۶ درصد	27.49	40.67	47.59

اختلاط نانوسیلیس تا ۲ درصد با ۷/۵ درصد میکروسیلیس مقاومت فشاری افزایش می یابد و در درصدهای بالاتر از ۲ درصد نانوسیلیس با کاهش مقاومت همراه می شود، دلیل این امر آن است که نانوسیلیس با داشتن سطح مخصوص بسیار زیاد به شدت وارد واکنش پوزولانی شده که در نهایت به کاهش کارآیی بتن و ایجاد تخلخل در آن می‌انجامد که رفع این مشکل نیازمند افزودن مقدار بیشتر فوق روان کننده می باشد.



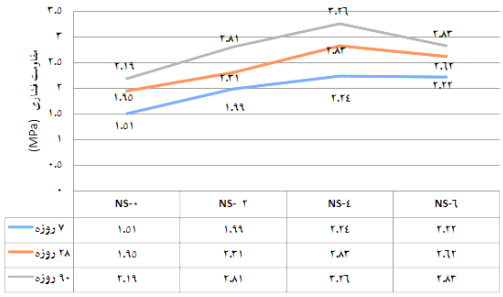
نمودار ۳ مقاومت فشاری برای طرح اختلاط های حاوی اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس

۴-۳- آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم برای طرح اختلاط های حاوی نانوسیلیس (۲ ،۴ ۶ درصد)

در این حالت طرح اختلاط نانوسیلیس به میزان ۲ و ۴ و ۶ درصد به مخلوط اضافه شده است و با طرح اختلاط مرجع فاقد نانوسیلیس و میکروسیلیس طرح شماره یک مقایسه می شود.

جدول ۷ نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم برای طرح اختلاط های حاوی نانوسیلیس

شماره طرح اختلاط	مقاومت کششی (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
نانو سیلیس صفر درصد 1-NS^7-0	1.51	1.95	2.19
نانو سیلیس ۲ درصد 2-NS^7-2	1.99	2.31	2.81
نانو سیلیس ۴ درصد 3-NS^7-4	2.24	2.83	3.26
نانو سیلیس ۶ درصد 4-NS^7-6	2.22	2.62	2.83



نمودار ٤ تغییرات مقاومت کششی نانوسیلیسی

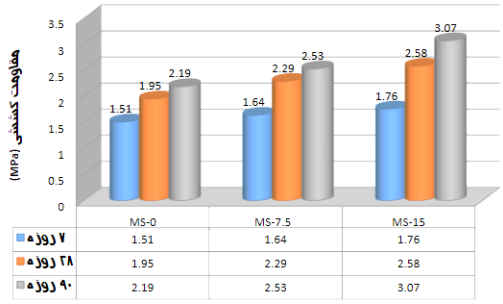
افزایش مقاومت در درصدهای پایین نانوسیلیس با شیب تندتری همراه است و با افزایش بیشتر درصد نانو این افزایش مقاومت با شیب کمتری اتفاق می افتد. هر چند در درصدهای بالای نانوسیلیس افت مقاومت را میتوان با مصرف بیشتر فوق روان کننده تا حدی کنترل کرد اما با توجه به محدودیت استفاده از فوق روان کننده این نقیضه در درصدهای بالای نانوسیلیس همچنان باقی است. استفاده از درصدهای بالای نانوسیلیس هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و هم از نظر اجرایی مشکلات عدیده ای به همراه دارد، بنابراین استفاده از درصدهای بالای نانوسیلیس در طرح اختلاط های بتن توصیه نمی شود.

۳-۵- آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم برای طرح اختلاط های ۷,۵ و ۱۵ درصد میکروسیلیس (شماره طرح ۵ و ۶)

در این حالت طرح اختلاط های ۷,۵ و ۱۵ درصد میکروسیلیس به مخلوط اضافه شده است و این حالت، با طرح اختلاط مرجع فاقد میکروسیلیس شماره طرح یک مقایسه می شود.

جدول ۸ نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم برای طرح اختلاط های حاوی میکروسیلیس

شماره طرح اختلاط	مقاومت کششی (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
میکروسیلیس صفر درصد 1-MS^8-0	1.51	1.95	2.19
میکروسیلیس 7.5 درصد 3-MS^8-7.5	1.64	2.29	2.53
میکروسیلیس 15 درصد 6-MS^8-15	1.76	2.58	3.07



نمودار ۵ تغییر مقاومت کششی با درصد میکروسیلیس

نمودار تغییرات مقاومت کششی برای نمونه هایی که ۷ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند با شیب ملایمی همراه است اما این نمودار برای نمونه هایی که ۲۸ روزه و مخصوصاً ۹۰ روزه تست شده اند با شیب تندتری همراه است برای مثال مقاومت کششی ۷ روزه برای نمونه حاوی ۲ درصد نانوسیلیس با توجه به جدول ۷ برابر ۱/۹۹MPa است در حالی که این مقدار برای نمونه حاوی ۵/۷ درصد میکروسیلیس در ۷ روز برابر ۱۶۴ MPa است که نشان از تأثیر خیلی زیاد نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن در کوتاه مدت است. ذرات نانوسیلیس به خاطر داشتن سطح مخصوص بسیار زیاد با هیدروکسید کلسیم آزاد شده ناشی از عملیات هیدراسیون سیمان با آب به شدت واکنش داده و ژل سیلیکات کلسیم هیدراته شده (C-S-H) تولید می کند که عامل اصلی استحکام بتن و چسبندگی آن با سنگدانه هاست. در حالی که همین واکنش در مورد میکروسیلیس هم صادق می باشد اما در بلند مدت این امر اتفاق می افتد. بنابر این مزیت عمده استفاده از نانوسیلیس در بتن نسبت به میکروسیلیس دستیابی به خواص مطلوب و مورد نظر در کوتاه مدت است.

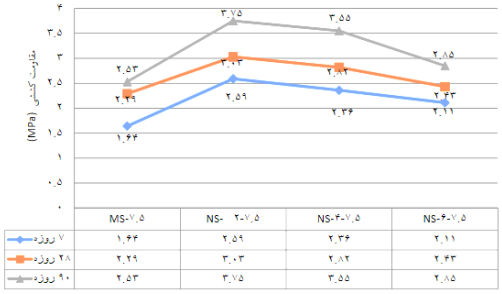
۳-۶- آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم برای طرح اختلاط های حاوی اختلاط نانوسیلیس با درصدهای ۲ و ۴ و ۶ با میکروسیلیس ۷,۵ و ۱۵ در طرح شماره های (۷ تا ۱۲)

جدول ۹ نتایج آزمایش مقاومت کششی برای طرح اختلاط های حاوی اختلاط نانوسیلیس با ۲ و ٦،٤ درصد و با میکروسیلیس ۷,۵ و ۱۵ درصد

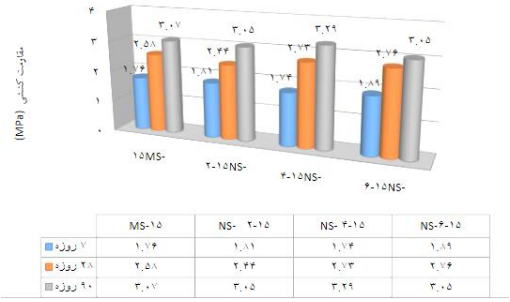
شماره طرح اختلاط	مقاومت کششی (Mpa)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 2 درصد 7-(MS^8-7.5).(NS^7-2)	2.59	3.03	3.75
میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 4 درصد 7-(MS^8-7.5).(NS^7-2)	2.36	2.82	3.55
میکروسیلیس 7.5 درصد و نانو 6 درصد 7-(MS^8-7.5).(NS^7-2)	2.11	2.43	2.85
میکروسیلیس 15 درصد و نانو 2 درصد 8-(MS^8-7.5).(NS^7-4)	1.89	2.76	3.33
میکروسیلیس 15 درصد و نانو 4 درصد 9-(MS^8-15).(NS^7-6)	174	2.73	3.29
میکروسیلیس 15 درصد و نانو 6 درصد 10-(MS^8-15).(NS^7-2)	1.81	2.44	3.05

نتایج نشان داد اختلاط تا ۲ درصد نانوسیلیس با ۵/۷ درصد میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت کششی می شود. در مقاومت کوتاه مدت با افزایش نانوسیلیس از ۲ به ۶ درصد شاهد کاهش مقاومت کششی می باشیم، بنابراین اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس در بلندمدت ۹۰ روزه می تواند ما را به خواص مطلوب بتن برساند، همچنین با افزایش درصد نانوسیلیس روند کاهش مقاومت کششی سرعت کمتری به خود می گیرد.

اختلاط ۱۵ درصد میکروسیلیس تا ۲ درصد نانوسیلیس باعث افزایش مقاومت کششی می شود و با افزایش بیش از ۲ درصد نانوسیلیس شاهد کاهش مقاومت کششی می باشیم. بنابراین اختلاط درصدهای بالای نانو و میکروسیلیس با هم در عمل غیر ممکن و بسیار مشکل است و باید پرهیز شود. نتایج نشان داد بالاترین مقاومت کششی به ازای اختلاط ۵/۷ درصد میکروسیلیس با ۲ درصد نانوسیلیس حاصل می شود.



نمودار ٦ روند تغییرات مقاومت کششی با افزودن نانوسیلیس به میکروسیلیس



نمودار ۷ تغییرات مقاومت کششی با افزودن نانوسیلیس به میکروسیلیس

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به کاربرد مواد نانو در بتن پرداختیم. صنعت بتن یکی از صنایع پر مصرف کنونی است که در چند سال اخیر دستاوردهای شگرف حاصل از فناوری های نانو جهت بهبود رفتار و عملکرد بتن راهی بی انتها را در این صنعت فرا روی محققین تداعی کرده است. در این میان فرایند تولید بتنهای نانو و بتن سبز برای نگهداری و حفاظت از محیط زیست با تحقیقات گسترده در حال توسعه و تحول است. با توجه به نتایج به دست آمده، افزودن ۲ درصد نانوسیلیس و ۷۵ درصد میکروسسیلیس در طرح اختلاط شماره ۷ موجب بهبود قابل ملاحظه در مقاومت فشاری مقاومت کششی و اختلاط درصدهای متفاوت نانوسیلیس با میکروسیلیس تأثیر چندانی در مقاومت کششی نداشت. درصد طرح شماره ۳ که دارای ۴ درصد نانوسیلیس می باشد در مقایسه با طرح های ۲ و

۴ که به ترتیب دارای۲ و ۶ درصد نانوسیلیس می باشد، مقاومت فشاری و کششی بتن با افزایش نانوسیلیس تا ۴ درصد روند صعودی پیدا کرد و در درصدهای بالاتر نانوسیلیس کاهش یافت در عین حال رشد مقاومت فشاری و کششی در نمونه های حاوی نانوسیلیس در سنین بالای ۲۸ روز ناچیز می باشد. همراه کردن نانوسیلیس با میکروسیلیس در طرح اختلاط شماره ۷ نشان داد به ازای اختلاط ۲ درصد نانوسیلیس با ۵/۷ درصد میکروسیلیس مقاومت فشاری نسبت به نمونه های حاوی ۵/۷ درصد میکروسیلیس افزایش می یابد و اختلاط درصدهای بالاتر نانوسیلیس با میکروسیلیس موجب کاهش مقاومت فشاری شد. در طرح شماره ۶،۵ با افزودن میکروسیلیس به طرح اختلاط بصورت جایگزین درصدی از سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی گردید ضمناً رشد مقاومت کششی و فشاری در نمونه های حاوی میکروسیلیس در سنین اولیه قابل ملاحظه نبود و با گذشت زمان در بلند مدت تأثیر مضاعف داشت. در عین حال در درصدهای بالاتر میکروسیلیس نسبت به درصدهای پایین آن آهنگ افزایش مقاومت کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان داد اختلاط نانوسیلیس با درصدهای بالای میکروسیلیس مقرون به صرفه نبوده و اثر معکوس بر روی خواص بتن سبک دارد. اثر افزایشی اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس در روند کسب مقاومت فشاری در سنین اولیه بسیار قابل توجه است لذا اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس جهت دستیابی به مقاومت بالا در حداقل زمان ممکن در اجرای پروژه ها می تواند بر روند پیشرفت پروژه و هزینه های ناشی از مسئله زمان بسیار موثر باشد. از آن جا که معیار انتخاب طرح بهینه اختلاط بتن مقاومت فشاری و کششی بتن می باشد، لذا افزودن ۲ درصد نانوسیلیس به طرح اختلاط بصورت جایگزین سیمان که بالاترین مقاومت فشاری را می دهد طرح شماره ۷ به عنوان طرح بهینه معرفی می شود درصورت اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس طرح بهینه بصورت اختلاط ۲ درصد نانوسیلیس با ۷/۵ درصد میکروسیلیس پیشنهاد می شود. باید توجه داشت استفاده از بتن با وزن مخصوص کم در سازه های بتن مسلح موجب کاهش وزن مرده ساختمان و تبع آن برش پایه شده و از مقدار مصرف میلگرد و بتن می‌کاهد و در نتیجه از نظر سازه ای عملکرد بهتری خواهد داشت.

۴-۱- پیشنهادها

- بررسی اثر اختلاط نانوسیلیس با میکروسیلیس بر مقاومت خمشی نفوذ پذیری و مقاومت الکتریکی بتن سبک
- بررسی اثر نانوسیلیس بر خواص مکانیکی و دوام بتن سبک با استفاده از انواع دیگر سیمان
- بررسی اثر نانوسیلیس برخواص مکانیکی و دوام بتن سبک حاوی الیاف

منابع

۱. شاکری اقبال فرناز بهمن زاده و آرش ذوالفقارنسب ،۱۳۹۲ ارزیابی اقتصادی ناشی از کاهش وزن واحجام سازهها با استفاده از بتن سبک در ساختمان اولین کنفرانس ملی بتن سبک، تهران، دانشگاه تهران

۲. کاشانی ع استفاده از فناوری نانو در تکنولوژی بتن برای بهبود عملکرد ساختمانها چهارمین کنفرانس مدیریت ساخت و پروژه، تهران، ۱۳۹۶

۳. مقصودی علی اکبر نوری .میثم تاثیر دانه بندی سنگدانه ها بر فاز خمیری و مقاومت فشاری بتن سبک خود متراکم کنگره ملی بتن خود متراکم بتن نسل جدید)، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، ۱۳۹۰