تحقیقات بتن
سال سیزدهم، شمارهٔ سوم
پائیز ۹۹
ص ۱۳۶ – ۱۲۵
تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۳۰

یادداشت پژوهشی

مقایسهٔ آزمایشگاهی به‌کارگیری الیاف‌شیشه و الیاف‌فولادی در بتن شامل نانورس مونتموریلونیت

میثم زرین فر *
هیات علمی گروه عمران دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
علیرضا رهبری
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
حمیدرضا جوادی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر.

چکیده

استفاده از الیاف و نانو جهت بهبود عملکرد بتن در صنعت ساخت، معمول و مرسوم است. در این مقاله الیاف‌شیشه و فولاد، انتخاب و عملکرد آن‌دو در ترکیب با نانورس مونتموریلونیت بررسی شده‌است. هدف این مقاله استفاده از الیاف‌شیشه‌ای به جای الیاف‌فولادی با عملکرد مقاومتی یکسان است. الیاف‌شیشه ارزان‌تر و مقاومت بیشتری در برابر خوردگی دارد. به همین منظور نسبت وزنی نانورس به سیمان از ۰ تا ۲,۷ درصد و نسبت وزنی الیاف به سیمان از ۰ تا ٤,٥ درصد تغییر داده‌شد. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷،۲۸و۹۰، و آزمایش مقاومت کششی و جذب آب در سن ۲۸ روز انجام‌شد. نانورس مونتموریلونیت مقاومت فشاری بتن الیافی‌فولادی را ۸ درصد و مقاومت خمشی را ۱۵ درصد افزایش داده‌است. تاثیر نانورس بر ویژگی‌های مکانیکی بتن شامل الیاف‌شیشه از بتن شامل الیاف‌فولادی بیشتر است.نانورس مقاومت فشاری بتن الیافی شیشه‌ای را ٤۰ درصد و مقاومت خمشی را ۱۹ درصد افزایش داده‌است. مقایسه تاثیر نانورس مونتموریلونیت بر رفتار بتن الیافی شیشه‌ای و بتن الیافی فولادی نشان می‌دهد که نانورس نه‌تنها مقاومت بتن را بهبود می‌بخشد بلکه روند کاهشی مقاومت با افزایش الیاف‌شیشه را به روند افزایشی تغییر می‌دهد. آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نشان دادند که مقدار بهینه الیاف‌فولاد و شیشه برابر با ۳درصد می‌باشد. مقدار بهینه نانورس به نوع الیاف و آزمایش انجام‌شده وابسته‌است.

واژه‌های کلیدی: **نانومونتموریلونیت، الیاف‌فولادی، الیاف‌شیشه.**

* نویسنده مسئول: zarinfar@basu.ac.ir

۱- مقدمه

بتن یکی از پرکاربردترین مصالح در صنعت ساخت و ساز است. روش‌های مختلفی برای بهبود مشخصات بتن وجود دارد که یکی از روش‌ها استفاده از الیاف در بتن است. استفاده از الیاف در بهبود مشخصات مصالح، سابقهٔ دیرینه دارد. مخلوط کاه و خاک رس در نمای خانه‌های قدیمی گواه بهره‌گیری از مزایای الیاف در ساخت کامپوزیت‌هاست. پس از آن‌که استفاده از آزبست در سیمان به‌دلیل مضرات زیست‌محیطی کاهش یافت، تلاش برای یافتن جایگزین مناسب این الیاف افزایش یافت که می‌توان به الیاف شیشه، فولاد، کربن، آرامید، سلولزی و ... اشاره کرد[۱-۵]. هدف از تولید بتن الیافی بهبود مقاومت کششی و خمشی، شکل پذیری، جذب انرژی، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت خستگی، مقاومت در مقابل ترک، نفوذپذیری و دوام می‌باشد. اگرچه تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری به‌اندازه تاثیر الیاف بر مقاومت کششی یا خمشی نیست، اما به‌دلیل افزایش حجم در انتهای نمونه‌های بتنی همزمان با اعمال فشار، ترک‌های برشی در نمونه بوجود می‌آیند. الیاف استفاده‌شده در نمونه بتنی می‌تواند از ایجاد و گسترش این ترک‌ها جلوگیری نمایند و تاثیر مثبت بر مقاومت فشاری داشته‌باشند[۴]. الیاف‌شیشه و الیاف‌فولادی در زمره پرکاربردترین الیاف در صنعت بتن می‌باشند. الیاف‌شیشه به دلیل مقاومت مناسب در رطوبت و خوردگی، حفظ خواص مکانیکی در دماهای بالا و ارزان بودن[۶] و الیاف‌فولادی به‌دلیل مدول الاستیک، مقاومت کششی و شکل پذیری مناسب و سازگاری با سیمان در بتن مورد استفاده قرارگرفته‌اند[۴].

از آنجا که منشا ویژگی‌های مهم ساختار ژل CSH و دیگر فازهای سیمان در مقیاس نانو قرار دارد استفاده از نانوساختارها در صنعت بتن و سیمان روزبه‌روز در حال افزایش است. تکنولوژی نانو به درک، کنترل‌کردن و بازسازی موادی به اندازه نانومتر (معمولا کمتر از ۱۰۰ نانومتر) برای تولید موادی با ویژگی و کارآیی جدید اطلاق می‌شود[۷]. از مزایای مقیاس نانو در بتن می‌توان در فاز جامد یا در فاز سیال یا در سطح مشترک جامد – سیال یا جامد-جامد بهره‌گرفت[۸]. به دلیل ویژگی منحصربه‌فرد مواد نانو یعنی نسبت زیاد سطح به حجم، استفاده از مواد نانو می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد[۹]. مقالات بسیاری در متون فنی به بررسی تأثیر نانوساختارهای نانوسیلیس نانوتیتاتنیوم، نانوآلومینیوم، نانورس، نانوآهن، نانوتیوب کربن روی بتن پرداخته‌اند[۷-۸و۱۰]. ارزان بودن، در دسترس بودن، مقاومت و سختی مناسب از ویژگی‌های نانورس است که موجب استفاده از آن شده‌است[۹]. مونتموریلونیت به عنوان یک نانورس موجب بهبود مشخصات بتن و سیمان می‌شود. استفاده از این نانورس در ملات سیمان موجب کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت فشاری و خمشی می‌گردد[۱۱-۱۳].

گسیختگی الیاف در بتن ممکن است به دو صورت بوجود آید. اگر مقاومت برشی بین الیاف و بتن از مقاومت الیاف کمتر باشد، الیاف از بتن بیرون کشیده خواهندشد و در غیر این صورت پارگی در الیاف رخ می‌دهد. با تغییر شکل الیاف (به عنوان مثال استفاده از قلاب در انتهای الیاف و...)، با استفاده از افزودنی‌هایی که اصطکاک بین الیاف و بتن را افزایش می‌دهند (فوم سیلیکا، پوشش‌های شیمیایی و ....) و با افزایش مقاومت بتن می‌توان نیروی مورد نیاز برای بیرون کشیدن الیاف از بتن را افزایش داد[۴]. حفرات باقی‌مانده در سیمان‌سخت شده نقش مهمی روی مقاومت بتن دارند. حفرات در سیمان را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی نمود: ۱-حفرات ژل ۲-حفرات مویینه. حفرات نمی‌توانند بار تحمل کنند در نتیجه میزان مقاومت بتن را کاهش می‌دهند. حفرات مویینه از فضای پرشده با آب درون سیمان هیدراته بوجود می‌آیندکه موجب انتقال مواد شیمیایی مضر در سیمان می‌شوند و دوام را کاهش می‌دهند[۱۳]. اگر حفرات کل و حفرات مویینه در سیمان کاهش داده‌شوند یا بوسیله افزودنی‌هایی با اندازه برابر با حفرات مویینه ازحرکت مواد شیمیایی در داخل سیمان جلوگیری شود میزان مقاومت و دوام بتن بهبود می‌یابد[۸]. استفاده از نانو مونتموریلونیت از دوجهت بر خواص بتن‌های الیافی تاثیر می‌گذارد: اولا با کاهش حفرات درون سیمان هیدارته‌شده موجب متراکم‌تر شدن ساختار سیمان می‌شود[۱۲] ثانیا با اکسیدهای سیمان (CaO و SiO_2 و Al_2O_3) واکنش پوزولانی انجام می‌دهد و موجب افزایش مقاومت و کاهش نفوذپذیری سیمان می‌شود[۱۲-۱۳].

با افزودن نانورس مقاومت فشاری بیش از مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. زیرا مقاومت فشاری به مقدار کل حفرات و مقاومت خمشی علاوه بر کل حفرات، به مقدار حفرات بحرانی (بزرگتر از ۰/۱نانومتر) وابسته‌است[۱۳]. اگر نانورس کمتر از ۱درصد به نمونه

اضافه شود، مقدار کل حفرات کاهش و حفرات بحرانی افزایش می‌یابند [۱۳].

یکی از نقاط ضعف الیاف‌شیشه در واکنش با سیمان و در پروسه هیدراسیون است که موجب ترد شدن الیاف‌شیشه و کاهش مقاومت آن در طی زمان می‌شود[۴]. به این واکنش قلیایی، ASR اطلاق می‌شود[۱۲]. به همین دلیل در صنعت سیمان یا بتن، الیاف‌شیشه از نوع AR انتخاب می‌شوند که نسبت به واکنش قلیایی مقاومتر هستند. استفاده از سیمان کم آهک یا بدون آهک، افزودنی‌هایی که با هیدروکسیدکلسیم واکنش نشان می‌دهند، مواد شیمیایی متوقف‌کننده یا کندکننده رشد کریستال آهک از جمله روش‌های کاهش تأثیر منفی سیمان بر الیاف‌شیشه می‌باشند[۴].

نانورس مونتموریلونیت حل شدن C3S و تولید CSH را شتاب می‌بخشد. علاوه براین واکنش پوزولانی سیلیس موجود در نانورس با هیدروکسیدکلسیم، مقدار تولید CSH را افزایش می‌دهد[۱۱]. افزایش تولید CSH و کاهش مقدار CH درصورت استفاده از نانورس مونتموریلونیت بوسیله پروفیل DTA/TGA [۱۱] و نتایج XRD [۱۲] تایید شده‌است. با توجه به تاثیرمنفی هیدروکسیدکلسیم بر دوام الیاف‌شیشه[۱۲]، در این مقاله سعی شده‌است تا با استفاده از نانورس مونتموریلونیت دوام الیاف‌شیشه در مواجهه با سیمان افزایش داده‌شود.

در این مقاله بررسی مقایسه‌ای تأثیر استفاده از نانورس مونتموریلونیت در رفتار بتن با الیاف‌شیشه و الیاف‌فولادی در آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و جذب آب انجام شده‌است. اگر چه چانگ و همکاران به بررسی تاثیر نانورس مونتموریلونیت بر رفتار بتن پرداخته‌اند[۱۲]، اما بررسی ویژگی‌های بتن الیافی در حضور نانورس مونتموریلونیت، کمتر پرداخته شده‌است که نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه را ایجاد می‌نماید.

استفاده از الیاف‌فولادی در بتن معمول و مرسوم است. گران‌بودن الیاف‌فولادی تحقیقات را به سمت استفاده از مصالح ارزان‌تر اما با همان اثربخشی بربتن را افزایش داده‌است. به عنوان مثال علی و همکاران از پودر بدست‌آمده از ضایعات شیشه برای این منظور استفاده نموده‌است [۱۱]. در مقاله حاضر با جایگزینی پودر شیشه با الیاف‌شیشه و الیاف‌فولاد کوشش شده‌است تا تاثیربیشتر نانورس مونتموریلونیت بر الیاف‌شیشه نسبت به الیاف‌فولادی، با استفاده از آزمایش‌های درشت ساختار اثبات گردد.

از آنجا که الیاف‌شیشه ارزان‌تر از الیاف‌فولادی است و مقاومت بیشتری در برابر رطوبت ، خوردگی و دمای بالا دارد، در صورت افزایش ویژگی‌های مقاومتی می‌تواند به عنوان جایگزینی برای الیاف‌فولادی استفاده‌گردد. هدف از نگارش این مقاله پاسخ به این سوال است که آیا می‌توان با درصد خاصی از نانورس و الیاف‌شیشه به همان مقاومت الیاف‌فولادی رسید؟ پاسخ به این پرسش تنها با استفاده از یک پژوهش با مشخصات ماتریس یکسان برای الیاف‌شیشه والیاف فولاد امکان پذیراست.

۲- مصالح و روش‌ها

مشخصات مصالح مورد استفاده در این مقاله در جداول ۱ الی ۶ ذکر شده‌است. مشخصات شن و ماسه در جداول ۱ الی ۲ و دانه بندی ماسه در شکل ۱ نشان داده‌شده‌است.

شن و ماسه به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که الزامات استاندارد ۳۰۲ [۱۴] رعایت گردد. سیمان پرتلند تیپ۲ از کارخانه سیمان نهاوند (جدول۳)، الیاف‌فولادی از شرکت صنایع مفتولی زنجان (جدول۴)، الیاف‌شیشه از شرکت میسون (جدول۴)، نانورس از شرکت سیگما آلدریچ (جدول ۵) و فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی‌کربکسیلات‌اتر از شرکت شیمی‌ساختمان تهیه‌شد.

طرح اختلاط با استفاده از روش ACI-211 [۱۵] و با فرض اسلامپ ۱۰۰ میلیمتر انجام شده‌است. علت انتخاب این میزان اسلامپ، وجود الیاف در بتن است که موجب می‌شود کارآیی بتن کاهش‌یابد. به‌همین‌دلیل در مراجع پیشنهاد شده‌است مقدار اسلامپ ۵۰ میلیمتر بیش از مقدار مورد نیاز بتن معمولی (اسلامپ ۵۰ میلیمتر)، درنظرگرفته‌شود تا در هنگام مخلوط‌کردن گلوله‌شدن در الیاف رخ‌ندهد[۴]. برای افزایش روانی‌بتن، مقدار شن -نسبت به طرح اختلاط روش ACI-211- ۱۰ درصد کاهش داده‌شد. در ACI-211 نسبت حجم درشت‌دانه در واحد حجم بتن را برای اندازه ۱۹ میلیمتر و مدول نرمی۳، ۰/۶ معین کرده‌است. در طرح‌های اختلاط، این نسبت ۰/۵۴ در نظر گرفته‌شد.

در این مقاله ۴درصد مختلف وزنی الیاف نسبت به سیمان (۰٪، ۱٫۵٪، ۳٪ و ۴٫۵٪) و ۴درصد مختلف وزنی نانورس نسبت به سیمان

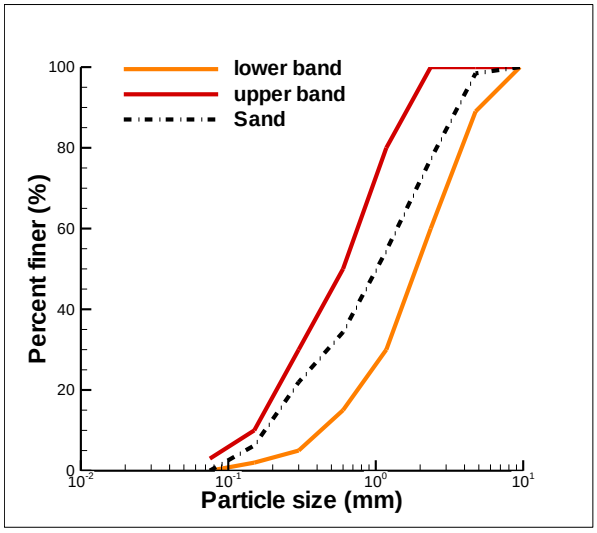
(۰٪، ۰٫۷٪، ۱٫۸٪ و ۲٫۷٪) بررسی شده‌است. افزودن الیاف بر کارآیی بتن تأثیر منفی می‌گذارد. معمولا برای افزایش کارآیی از نسبت درشت‌دانه به ریزدانه کاسته می‌شود[۱۶,۴]. برای الیاف‌فولادی نسبت ۱٫۲ پیشنهاد شده‌است. استفاده از نسبت ۱٫۱ برای الیاف‌شیشه عملکرد مشابهی با نسبت‌های کمتر از ۱ دارد[۱۶]. به همین دلیل از نسبت ۱٫۱ برای الیاف‌شیشه و فولاد در این مقاله استفاده شده‌است.

جدول ۱- دانه بندی ماسه

ویژگی فیزیکی		دانه بندی	
		شماره الک	مانده روی الک
مدول نرمی	۳٫۰۷	۴	۱۵٫۵
		۸	۲۱۲
		۱۶	۲۲۷
		۳۰	۲۰۲
		۵۰	۱۲۴
		۱۰۰	۱۵۷
		زیرالک	۶۲٫۳

جدول ۲- دانه بندی شن

ویژگی فیزیکی		دانه بندی	
		اندازه دانه‌ها	مانده روی الک
وزن واحد حجم	۱۷۲۰	۱۲٫۵	۶۰۰
		۹٫۵	۳۰۰
		۴٫۷۵	۱۰۰
		زیرالک	۰



شکل ۱- نمودار دانه بندی ماسه

جدول ۳- ویژگی شیمیایی سیمان

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	F.CaO	LOI
۲۱٫۶۶	۵٫۰۱	۳٫۴۳	۶۴٫۳۲	۱٫۸	۱٫۲	۰٫۹۵	۱٫۴۴

جدول ۴- مشخصات الیاف

شکل	L/D	طول (mm)	مقاومت (N/mm^2)	چگالی (gr/cm^3)	الیاف
قلاب دار	۶۷	۵۰	۱۰۵۰	۷٫۸۵	فولاد
خردشده	-	۶	۱۷۰۰	۲٫۷	شیشه

شکل ۲- الیاف‌شیشه و فولاد

جدول ۵- مشخصات نانورس مونتموریلونیت

چگالی	اندازه	مساحت سطح ویژه	هدایت الکتریکی	ضریب تبادل یونی	فاصله بین ذرات	رطوبت
0.5-0.7 gr/Cm^3	1-2 n m	220-270(m^2/gr)	-25 MV	48 (meg/100gr)	60 A^0	1-2%

Na_2O	CaO	TiO_2	K_2O	Mgo	LOI	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
0.98%	1.97%	0.62%	0.86%	3.29%	15.45%	5.62%	19.60%	50.95%

مجموع وزن نانورس و سیمان در طرح اختلاط ثابت است و با اضافه‌نمودن الیاف‌شیشه یا الیاف‌فولاد، به‌همان مقدار از حجم سنگ‌دانه‌ها کاسته‌می‌شود به‌گونه‌ای که نسبت وزنی شن به ماسه برابر با ۱,۱ گردد. با اضافه‌نمودن فوق‌روان‌کننده، حجم آب به همان میزان کاهش داده‌می‌شود. طرح اختلاط مورداستفاده در این مقاله در جدول ۶ نشان داده‌شده‌است. برای ساخت نمونه‌ها، ابتدا مصالح خشک درون میکسر بخوبی مخلوط می‌شوند. برای توزیع همگن، الیاف به‌تدریج و با عبور از الک به مخلوط اضافه می‌گردند. سپس آب و فوق‌روان‌کننده به مخلوط اضافه می‌شوند. مقدار زمان بهینه برای مخلوط‌کردن باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که به الیاف صدمه وارد نکند و الیاف بخوبی در مخلوط توزیع شوند. این مقدار برابر با ۱۸۰ ثانیه در نظر گرفته‌شد[۴].

۲۵۲ آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰ سانتیمتردر سنین ۷ ،۲۸ و۹۰ روزه (استاندارد ۳-۱۶۰۸ [۱۷])، ۸۴ آزمایش مقاومت خمشی روی نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰×۳۵ سانتیمتر (استاندارد۱۷۷۳۱ [۱۸]) و ۸۴ آزمایش جهت تعیین جذب آب بتن روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰ سانتیمتردر سن ۲۸ روزه (استاندارد ۱۵۴۲۷ [۱۹]) انجام گرفت. در شکل ۳ تصاویری از نمونه‌های بتنی نمایش داده‌شده‌است.

جدول۶- طرح اختلاط

طرح اختلاط	آب (Kg)	سیمان و نانورس (Kg)	شن (Kg)	ماسه (Kg)	الیاف‌شیشه (Kg)	الیاف فولاد (Kg)	فوق روان کننده (Kg)
۱	۲۱۳,۲	۳۸۰	۹۲۹	۸۳۱	۰	۰	۲,۴
۲	۲۱۱,۶	۳۸۰	۹۲۶	۸۲۸,۴	۵,۶	۰	۴
۳	۲۰۹,۶	۳۸۰	۹۲۲,۸	۸۲۵,۶	۱۱,۶	۰	۶
۴	۲۰۸	۳۸۰	۹۲۰	۸۲۲,۸	۱۷,۲	۰	۷,۶
۵	۲۱۱,۶	۳۸۰	۹۲۸	۸۳۰	۰	۵,۶	۴
۶	۲۰۹,۶	۳۸۰	۹۲۶,۸	۸۲۹,۲	۰	۱۱,۶	۶
۷	۲۰۸	۳۸۰	۹۲۶	۸۲۸,۴	۰	۱۷,۲	۷,۶

۳- تحلیل نتایج

نتایج بدست‌آمده از آزمون مقاومت فشاری در شکل‌های ۴ الی ۶ نمایش داده‌شده‌است. الیاف‌فولادی با SF، الیاف‌شیشه با GF و نانورس مونتموریلونیت با NC در شکل نمایش داده شده‌اند. مقاومت فشاری نمونه‌های شامل الیاف‌فولادی با افزایش درصد نانورس در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با سعی‌وخطا، بهترین فرم منحنی قابل برازش به غالب داده‌های مقاومت فشاری و خمشی از درجه ۲ بدست‌آمد. مقاومت فشاری۷ روزه نمونه‌ها از ۲۱مگاپاسکال (SF=0%,NC=0%) تا ۳۶ مگاپاسکال (SF=3%,NC=0.7%)، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها از ۲۹ مگاپاسکال تا ۴۲ مگاپاسکال (SF=3%,NC=0.7%) و مقاومت‌فشاری ۹۰ روزه نمونه‌ها از ۳۲ مگاپاسکال تا ۵۷ مگاپاسکال (SF=3%,NC=1.8%) افزایش یافته‌است.

شکل ۳- آماده سازی نمونه‌ها برای آزمایش مقاومت فشاری، خمشی و جذب آب

مقاومت فشاری نمونه‌های شامل الیاف‌شیشه با افزایش نانورس مرتبا افزایش می‌یابد. مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌ها از ۲۱مگاپاسکال تا ۳۵ مگاپاسکال (GF=3%,NC=2.7%)، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها از ۲۹ مگاپاسکال تا ۴۱ مگاپاسکال (GF=3%,NC=2.7%) و مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌ها از ۳۲ مگاپاسکال تا ۵۲ مگاپاسکال (GF=3%,NC=2.7%) افزایش یافته‌است. مقدار نانورس و الیاف بهینه برای نمونه‌های شامل الیاف‌فولادی در سنین ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۰/۷ و ۳ درصد و برای نمونه‌های شامل الیاف‌شیشه به ترتیب ۲,۷ و ۳ درصد می‌باشد. مقاومت فشاری با افزایش الیاف‌شیشه بدون استفاده از نانورس کاهش محسوسی داشته‌است (شکل ۴-۶ نانورس صفردرصد). به کاهش مقاومت بتن شامل الیافی شیشه‌ای در مراجع اشاره شده‌است. این کاهش مقاومت به‌دلیل واکنش‌قلیایی الیاف‌شیشه با سیمان بوجود می‌آید. این واکنش موجب می‌شود الیاف‌شیشه در سیمان حل شود و موجب کاهش مقاومت، کاهش شکل پذیری و جذب انرژی گردد[۴] اگر چه با استفاده از الیاف‌شیشه AR به دلیل زیرکونیای موجود در آن، مقاومت روند کاهشی کمتری دارد، اما کاهش مقاومت اتفاق می‌افتد[۴]. نانورس مونتموریلونیت، روندکاهشی مقاومت را به روند افزایشی تغییر داده‌است. به‌گونه‌ای که مقاومت فشاری ۴۰ درصد افزایش پیدا کرده‌است. چنین افزایش مقاومتی نشان‌دهنده آن است که تاثیر نانورس بر رفتار نمونه‌های شامل الیاف‌فولاد و الیاف‌شیشه متفاوت است. زیرا میزان افزایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های شامل الیاف‌فولادی کمتر از ۷ درصد است. این نتیجه در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تاییدشد. به نظرمی‌رسد که نانورس مونتموریلونیت واکنش بین الیاف‌شیشه و بتن را کاهش می‌دهد. نتیجه مشابهی برای بتن ساخته‌شده از پودر ضایعات شیشه گزارش شده‌است [۱۱]. علی و همکاران نشان دادند که نانورس به دلیل مصرف هیدروکسیدکلسیم موجود در سیمان و افزایش تراکم ساختار سیمان، میزان مقاومت فشاری را بهبود می‌بخشد[۱۱].

در نمونه‌های بدون نانورس، مقاومت GFRC کمتر از ۷۰ درصد مقاومت بهینه فشاری SFRC است. با افزایش نانورس به مقدار ۲,۷ درصد، مقاومت GFRC (GF=3%) به کمتر از ۱۰درصد حداکثر مقاومت بدست‌آمده از SFRC می‌رسد. به دلیل کاهش اندک مقاومت فشاری، می‌توان از الیاف‌شیشه ارزان‌تر به‌جای الیاف‌فولادی در بتن استفاده‌نمود.

میزان مدول خرابی بدست‌آمده از آزمایش مقاومت خمشی در شکل ۷ نشان داده‌شده‌است. میزان مقاومت خمشی الیاف‌فولادی بیش از مقدار مقاومت الیاف‌شیشه بدست آمده‌است. برای الیاف‌فولادی مقدار مقاومت خمشی تا ۳ درصد افزایش و سپس کاهش پیدامی‌کند. کاهش مقاومت خمشی پس از درصد معینی از

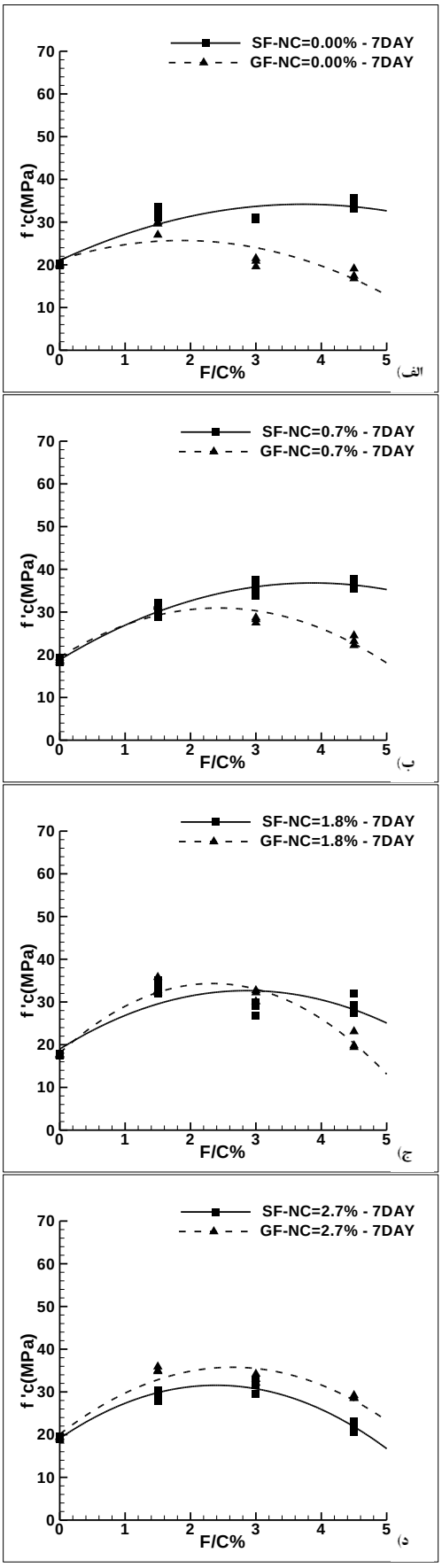
الیاف را می‌توان ناشی از عدم اتصال مناسب الیاف به سیمان و تراکم کم نمونه دانست[۴].

بصورت میانگین مدول گسیختگی از ۶ مگاپاسکال تا ۹,۱ مگاپاسکال افزایش داشته است. با افزایش نانورس مقدار مقاومت خمشی تا ۱,۸ درصد نانورس افزایش و سپس کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر بهینه‌ترین مقدار الیاف‌فولادی برای مقاومت خمشی ۳ درصد و بهینه‌ترین مقدار نانورس ۱,۸ درصد می‌باشد. مقاومت خمشی الیاف‌شیشه نیز تا ۳ درصد افزایش و سپس ثابت باقی می‌ماند یا کاهش کمی‌می‌یابد. با افزایش مقدار نانورس میزان مقاومت خمشی نمونه‌های شامل الیاف‌شیشه همواره افزایشی بوده‌است. به‌همین‌دلیل کمترین اختلاف بین مقاومت خمشی الیاف‌شیشه و الیاف‌فولادی در نانورس برابر با ۲,۸ درصد حاصل شده‌است.

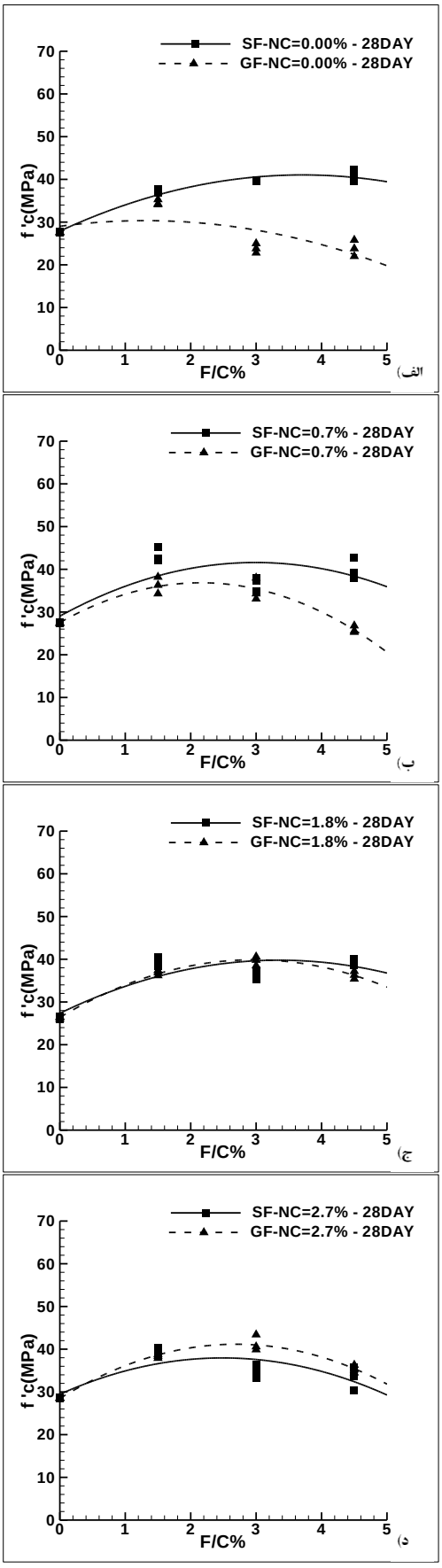
بصورت میانگین مدول گسیختگی از مقدار ۶ مگاپاسکال در الیاف صفر درصد تا ۸,۳ مگاپاسکال در الیاف ۳درصد و نانورس ۲,۸درصد افزایش می‌یابد. بهینه‌ترین مقدار الیاف‌شیشه برای مقاومت خمشی برابر با ۳ درصد و در نانورس برابر با ۲,۸ درصد بدست می‌آید. نانورس به‌دلیل کاهش حفرات موجود در سیمان، موجب متراکم‌تر شدن ساختار ژل می‌گردد. از سوی دیگر با مصرف هیدروکسیدکلسیم موجب افزایش مقدار ژل CSH شده و مقاومت را افزایش می‌دهد[۱۲].

مقدار بهینه نانورس برای الیاف‌شیشه و الیاف‌فولادی باهم متفاوت است. علت این تفاوت را می‌توان در تاثیر بیشتر نانورس بر الیاف‌شیشه دانست. ازآن‌جا که بین ژل سیمان و الیاف‌شیشه واکنش قلیایی رخ می‌دهد هر عاملی که موجب کاهش این واکنش شود، موجب بهبود عملکرد الیاف‌شیشه خواهدشد. به‌همین‌دلیل است که نانورس با مصرف‌کردن هیدروکسیدکلسیم و کاهش اثرات منفی آن تاثیر بیشتری بر الیاف‌شیشه داراست.

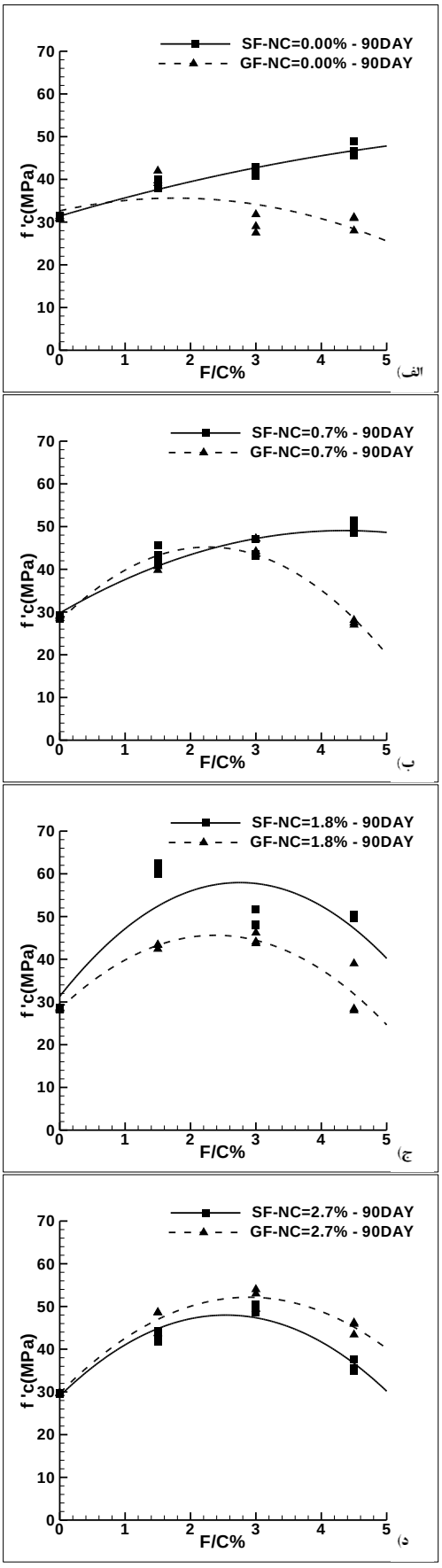
مقاومت خمشی بدست‌آمده از نمونه‌های شامل الیاف‌شیشه در تمامی‌درصدهای نانورس کمتر از مقاومت خمشی الیاف‌فولادی بدست‌آمده‌است. اما اختلاف حداکثر مقدار مقاومت خمشی برای درصد بهینه الیاف‌فولادی و درصد بهینه الیاف‌شیشه کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. در نتیجه الیاف‌فولادی را می‌توان با الیاف‌شیشه جایگزین نمود.



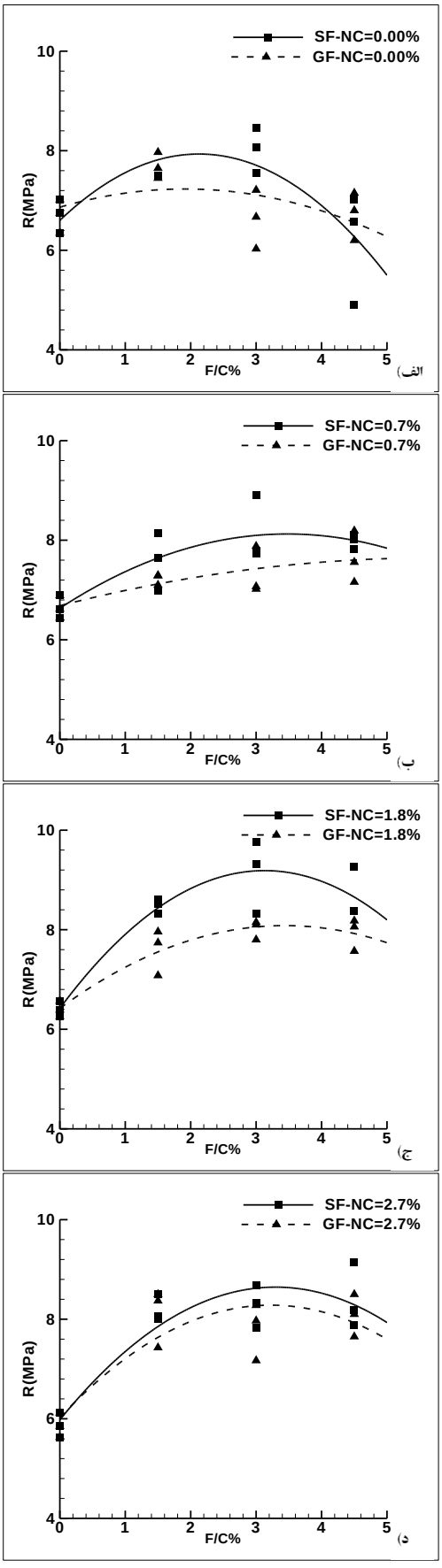
شکل ۴- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ۷ روزه برحسب نسبت الیاف به سیمان و درصد مونتموریلونیت



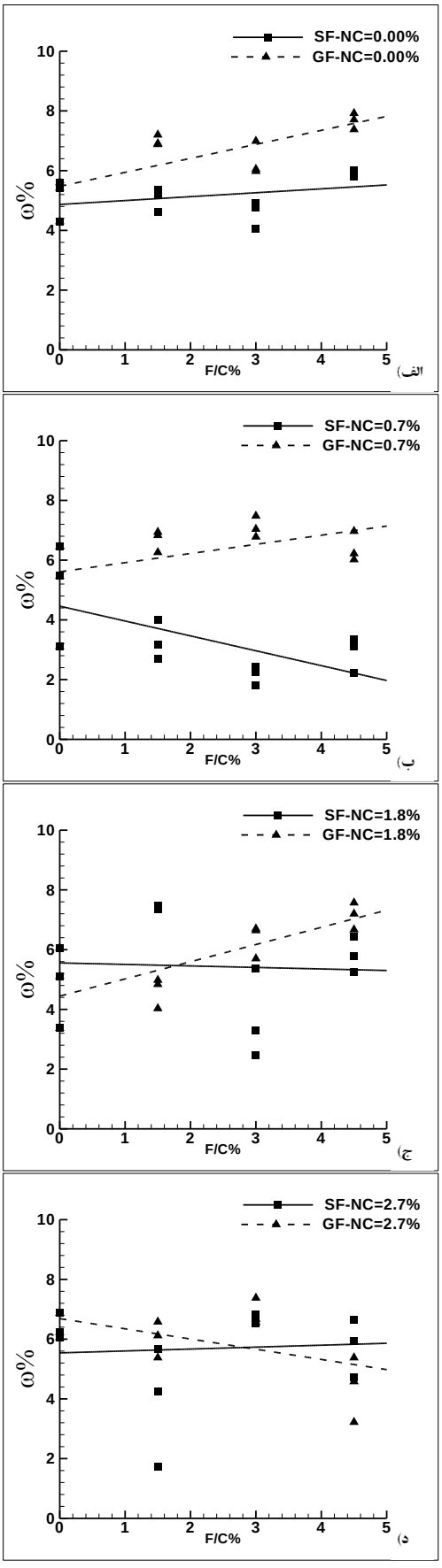
شکل ۵- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ۲۸ روزه برحسب نسبت الیاف به سیمان و درصد مونتموریلونیت



شکل ۶- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ۹۰ روزه برحسب نسبت الیاف به سیمان و درصد مونتموریلونیت



شکل ۷- مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی ۲۸ روزه برحسب نسبت الیاف به سیمان و درصد مونتموریلونیت



شکل ۸- جذب آب نمونه‌های بتنی ۲۸ روزه برحسب نسبت الیاف به سیمان و درصد مونتموریلونیت

مقدار مقاومت خمشی از یکسو به مقاومت ماتریس و از سوی دیگر به نوع الیاف وابسته‌است. مقاومت فشاری وابستگی بیشتری به مقاومت ماتریس دارد تا نوع الیاف بکار رفته در نمونه.

در شکل ۸ جذب آب نمونه‌های بتنی با سن ۲۸ روز نمایش داده‌شده‌است. با ثابت نگه‌داشتن مقدار نانورس، میزان جذب آب با افزایش مقدار الیاف‌فولادی تقریبا ثابت باقی مانده‌است. از سوی دیگر میزان جذب آب نمونه‌های بتنی شامل الیاف‌شیشه با افزایش مقدارالیاف، افزایش یافته‌است. همانگونه که درشکل ۷ مشاهده می‌شود، میزان جذب آب نمونه‌های شامل الیاف‌فولادی کمتر از نمونه‌های شامل الیاف‌شیشه می‌باشد. علاوه بر این کمترین جذب آب الیاف‌فولادی در نانورس ۰/۷ درصد و برای الیاف‌شیشه در نانورس ۲,۷ درصد بوجود آمده‌است. این نتیجه با نتایج بدست آمده از مقاومت فشاری و مشاهدات ارائه شده در متون فنی مطابقت دارد [۱۳,۱۲]. ساختار متراکم‌تر سیمان موجب می‌شود جذب آب کمتری در نمونه‌ها بوجودآید.

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله مقاومت فشاری، خمشی و جذب آب نمونه‌های بتنی شامل الیاف‌شیشه (GF)و الیاف فولادی(SF) مقایسه شدند. مقاومت فشاری و خمشی SFRC بیش از GFRC بدست آمد که به‌دلیل شکل‌پذیری و مقاومت نهایی بیشتر الیاف‌فولادی نسبت به الیاف‌شیشه‌ای است. حداکثر مقاومت فشاری و خمشی کمتر از ۱۰ درصد برای دو نوع الیاف با یکدیگر اختلاف داشتند. درنتیجه می‌توان از الیاف‌شیشه به جای الیاف‌فولادی در ساخت بتن الیافی استفاده نمود. با افزایش مقدار نانورس اختلاف مقاومتی بین دو نوع الیاف کمتر، و در نانورس ۲,۷ درصد مقاومت فشاری GFRC بیش از مقاومت فشاری SFRC شد و در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه تایید شد. این نتیجه بیان‌کننده این واقعیت است که تاثیر نانورس بر الیاف‌شیشه محدود به افزایش مقاومت بتن نمی‌شود و واکنش بین سیمان و الیاف‌شیشه را کاهش می‌دهد. مقدار بهینه نانورس برای الیاف‌فولادی و برای مقاومت خمشی ۱,۸ درصد و برای مقاومت فشاری و جذب آب ۷/ درصد بدست‌آمد. میزان نانورس بهینه برای الیاف‌شیشه در آزمایش مقاومت فشاری و خمشی برابر با ۲,۷ درصد بدست آمد. مقدار بهینه الیاف‌فولادی و شیشه از آزمایش مقاومت فشاری و خمشی برابر با ۳ درصد محاسبه شد.

٥- مراجع

[1]. Abtahi, Sayyed Mahdi, Mohammad Sheikhzadeh, and Sayyed Mahdi Hejazi. "Fiber-reinforced asphalt-concrete–a review." Construction and Building Materials 24.6 (2010): 871-877.

[2]. Afroughsabet, Vahid, Luigi Biolzi, and Togay Ozbakkaloglu. "High-performance fiber-reinforced concrete: a review." Journal of materials science 51.14 (2016): 6517-6551..

[3]. Hassanpour, Mahmoud, Payam Shafigh, and Hilmi Bin Mahmud. "Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement–a review." Construction and Building Materials 37 (2012): 452-461.

[4]. Johnston, Colin D. Fiber-reinforced cements and concretes. Crc Press, 2014.

[5]. Shah, Abid A., and Y. Ribakov. "Recent trends in steel fibered high-strength concrete." Materials & Design 32.8-9 (2011): 4122-4151.

[۶]. آرام, مهراد و میسمی, حسین. "مقایسهٔ مقاومتی بتن‌های حاوی الیاف برای تولید ورقهای بتنی با مقاومت بالا." مجله تحقیقات بتن, ۱,۳(۱۳۸۹): ۵۱-۵۹

[7]. Sanchez, Florence, and Konstantin Sobolev. "Nanotechnology in concrete–a review." Construction and building materials 24.11 (2010): 2060-2071.

[8]. Mukhopadhyay, Anal K. "Next-generation nano-based concrete construction products: a review." Nanotechnology in civil infrastructure. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. 207-223.

[9]. Al-Safy, Rawaa, et al. "Experimental investigation on the thermal and mechanical properties of nanoclay-modified adhesives used for bonding CFRP to concrete substrates." Construction and Building Materials 28.1 (2012): 769-778.

[10]. Norhasri, MS Muhd, M. S. Hamidah, and A. Mohd Fadzil. "Applications of using nano material in concrete: A review." Construction and Building Materials 133 (2017): 91-97.

[11]. Aly, M., et al. "Effect of nano clay particles on mechanical, thermal and physical behaviours of waste-glass cement mortars." Materials Science and Engineering: A 528.27 (2011): 7991-7998.

[12]. Chang, Ta-Peng, et al. "Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite." Journal of materials science 42.17 (2007): 7478-7487.

[13]. Kuo, Wen-Yih, Jong-Shin Huang, and Chi-Hsien Lin. "Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars." Cement and Concrete Research 36.5 (2006): 886-895.

[۱۴]. استاندارد ملی ایران, ۳۰۲, سنگ دانه‌های بتن-ویژگی‌ها. ۱۳۹۴.

[15]. ACI Committee 211. "Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete." American Concrete Institute, 1991.

[۱۶]. مستوفی نژاد, داوود. "بررسی تجربی خواص بتن مسلح به الیاف شیشه (GFRC)." استقلال, ۲۰,۱(۱۳۸۰), ۸۳-۹۵

[۱۷]. استاندارد ملی ایران, ۳-۱۶۰۸, بتن سخت شده- قسمت ۳: تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌ها- روش آزمون. ۱۳۹۳.

[۱۸]. استاندارد ملی ایران, ۱۷۷۳۱, مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری نقطه ای در مرکز-روش آزمون. ۱۳۹۲.

[۱۹]. استاندارد ملی ایران, ۱۵۴۲۷, بتن سخت شده- چگالی، جذب آب و حفرات- روش آزمون. ۱۳۹۶.

Experimental comparison of glass and steel fiber in concrete containing nano-montmorillonite

Meysam Zarinfar *
Faculty of civil engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan.
Alireza Rahbari
Master student of Islamic Azad University, Hamedan.
Hamidreza Javadi
Master student of Islamic Azad University, Malayer.

Abstract

The application of fiber and nano to improve the performance of concrete is common in the construction industry. In this study, the glass and steel fibers were selected, and their performances were investigated in combination with nano-montmorillonite. The purpose of this paper is to use glass fibers instead of steel fibers with the same strength. For this purpose, the weight ratio of nano-montmorillonite to cement was varied from 0 to 2.7%, and the weight ratio of fibers to cement was varied from 0 to 4.5%. Compressive strength tests were performed at the ages of 7, 28, and 90 days, flexural strength and water absorption tests were performed at the ages of 28 days. Nano-montmorillonite has increased the compressive strength of steel fiber concrete by 8 percent and the flexural strength by 15 percent. The influence of nano-clay on the mechanical properties of glass fiber concrete is greater than that of steel fiber concrete. Nano-montmorillonite has increased the compressive strength of glass fiber concrete by 40 percent and the flexural strength by 19 percent. Comparison of the effect of Nano-montmorillonite on the behavior of glass fiber reinforced concrete and steel fiber reinforced concrete shows that nanoclay not only improves the strength of the concrete but also eliminates the strength reduction caused by increasing volume fraction of glass fiber. The compressive and flexural strength tests showed that the optimal amount of steel and glass fibers is 3 percent. The optimum amount of nano-montmorillonite is dependent on the type of fiber and experiment.

Keywords: nano-montmorillonite, steel fiber, glass fiber.

* Corresponding Author: zarinfar@basu.ac.ir