تحقیقات بتن
سال ششم، شمارهٔ اول
بهار و تابستان ۹۲
ص۸۶ – ۷۳
تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۳

ارزیابی خصوصیات بتن الیافی حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی با استفاده از روش‌های غیرمخرب

علی صدر ممتازی*
دانشیار دانشکدهٔ فنی دانشگاه گیلان
محمدهادی طهمورثی
۲ – کارشناس ارشد عمران – سازه، دانشگاه گیلان
حسن نصرتی
۲ – کارشناس ارشد عمران – سازه، دانشگاه گیلان

چکیده

استفاده از بتن در صنعت ساخت و ساز روز به روز در حال افزایش است. با توجه به محدودیت عمر سازه‌های بتنی و همچنین تخریب سازه‌های بتنی در اثر عوامل طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و ... ، همواره با حجم انبوهی از بتن‌های تخریبی مواجه خواهیم بود که سبب تخریب محیط‌زیست خواهند شد. از طرفی منابع معدنی جهت تولید سنگدانه‌ها نیز محدود می‌باشند که در آینده‌ای نه چندان دور ناگزیر باید از این بتن‌های تخریبی به عنوان جایگزینی برای سنگدانه‌های طبیعی استفاده نمود تا بتوانیم منابع طبیعی را حفظ نماییم. در این پژوهش نسبت جایگزینی ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی با سنگدانه‌های معمولی برابر با درصدهای مشابه ۰ ، ۲۵ ، ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ ٪ می‌باشد. با افزایش استفاده از سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، کاهش در خصوصیات بتن بازیافتی، افزایش جذب آب و افت اسلامپ بتن مشاهده می‌شود که با استفاده از فوق‌روان کننده سعی در جبران این کاهش اسلامپ شده است. به منظور بهبود خواص مهندسی بتن بازیافتی و همچنین بررسی تاثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر خواص بتن بازیافتی، از الیاف پلی‌پروپیلن به طول ٦ میلی‌متر و با درصدهای حجمی مختلف ۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ استفاده شده است. در این تحقیق آزمایش‌های مقاومت فشاری، انقباض خشک، جذب آب، سرعت امواج فراصوتی، مقاومت الکتریکی و عکس‌برداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بر روی نمونه‌ها انجام گرفته است. با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در بتن‌های بازیافتی، کاهش سرعت امواج فراصوتی و درصد جذب آب نمونه‌ها، افزایش نتایج مقاومت الکتریکی نمونه‌ها و همچنین تأثیر نسبتاً منفی بر مقاومت‌های فشاری مشاهده شده است. در شرایط استفاده از ۰/۱ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در طرح‌های بتنی، انقباض نمونه‌ها بهبود می‌یابد ولی با استفاده از ۰/۲ و ۰/۳ درصد حجمی در طرح‌های بتنی، شاهد افزایش انقباض نمونه‌ها نسبت به طرح‌های فاقد الیاف خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی: سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، انقباض، مقاومت الکتریکی، سرعت امواج فراصوتی، الیاف پلی‌پروپیلن.

*نویسنده مسؤول: sadrmomtazi@yahoo.com

۱- مقدمه

در سالیان اخیر استفاده از بتن در سراسر جهان رشد چشمگیری داشته است و استفاده از بتن در صنعت ساخت روز به روز در حال افزایش است. با این روند افزایش در آینده‌ای نه چندان دور و به طور قطع با کمبود منابع معدنی مورد استفاده جهت تهیه سنگدانه‌های طبیعی مواجه خواهیم شد و ناگزیر باید به دنبال یافتن جایگزینی مناسب برای سنگدانه‌های طبیعی باشیم. با توجه به محدودیت عمر سازه‌های بتنی و همچنین تخریب سازه‌های بتنی بر اثر عوامل طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و ... همواره با حجم انبوهی از بتن‌های ضایعاتی و تخریبی مواجه هستیم که انباشته شدن آن‌ها در مکان‌های دفن زباله (Landfill) مشکلات زیادی را برای محیط زیست به وجود آورده است[۱و۲]. حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از سرعت روند کاهش نابودی منابع طبیعی یکی از اقدامات اساسی در جهت توسعهٔ پایدار می‌باشد. به طور مداوم توسعه صنعتی مشکلات جدی ناشی از دفن ضایعات ساخت و ساز و بتن‌های تخریبی را به همراه خواهد داشت. یک راه حل برای برطرف کردن این مسئله، استفاده از این بتن‌های تخریبی به عنوان سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، به عنوان جایگزینی برای سنگدانه‌های طبیعی می‌باشد که علاوه بر کاهش استفاده از منابع طبیعی، سعی در حفظ محیط زیست داشته باشیم[۳].تحقیقات دربارهٔ استفادهٔ مجدد از بتن تخریب شده و مصالح ساختمانی، به عنوان سنگدانه‌هایی برای بتن جدید، به پایان جنگ جهانی دوم بر می‌گردد[۴]. برای اولین بار بازیافت بتن‌های ضایعاتی ناشی از تخریب، ساخت و ساز بعد از جنگ جهانی دوم در کشور آلمان، توسط آقای khalaf و همکارانشان انجام شد. از آن به بعد کارهای تحقیقاتی گسترده‌ای در کشورهای توسعه یافته در مورد امکان استفاده مجدد از بتن‌های بازیافتی در بتن جدید انجام شده است[۱]. از حدود ۲۰ سال پیش، بتن حاصل از تخریب شاهراه‌ها و ساختمان‌های بتن‌آرمه در آمریکا و اروپا وارد صنعت بازیافت شده است. بتن بیشترین حجم را در میان زباله‌های ساختمانی دارد. در آمریکا ۶۷٪ از کل زباله‌های ساختمانی را بتن تشکیل می‌دهد[۵]. در جامعه اقتصادی اروپا سالانه حدود ۵۰ میلیون تن بتن تخریب می‌شود. حدود ۱۱ میلیون تن در انگلستان و حدود ۶۰ میلیون تن بتن در آمریکا به محل انباشت نخاله‌های ساختمانی حمل می‌شود. در عین حال در هر سال در آمریکا می‌توان حدود ۱۰ تا ۱۲ میلیون تن بتن را به نحوی مورد استفاده مجدد قرار داد[۶]. Adjukiewicz و همکارانش در سال ۲۰۰۲ به بررسی اثر سنگدانه‌های بازیافتی بر روی بتن با مقاومت بالا پرداختند. در این تحقیق خواص مکانیکی بتن بازیافتی با مقاومت بالا با بتن ساخته شده از سنگدانه‌های طبیعی مورد مقایسه قرار گرفته است و طی یک سری آزمایش از بتن‌های با عمر ۲ تا ۷ سال با مقاومت متوسط و بالا استفاده گردید که حداقل ۳ ماه قبل از استفادهٔ مجدد خرد شده بودند[۷]. در ژاپن صنعت ساختمان در حدود ۱۹٪ از کل ضایعات این کشور را تولید می‌کند؛ یعنی چیزی در حدود ۷۰ میلیون تن ضایعات در سال که با توجه به حجم بالای آن، نیاز به استفادهٔ مجدد از این ضایعات و حفظ محیط زیست دارد[۸]. در ایران نیز با توجه به رشد فزایندهٔ ساخت و ساز ساختمان‌های مسکونی از یک سو و الزام به بازسازی سازه‌های فرسوده توسط سیاستگذاران عرصهٔ مسکن از سوی دیگر به ترتیب سبب کاهش منابع سنگدانه‌های طبیعی و افزایش نخاله‌های ساختمانی می‌گردد. در این رابطه می‌توان به تولید ۱۲ میلیون تن نخاله ساختمانی در سال ۱۳۸۰ تنها در شهر تهران اشاره نمود[۹].

بتن الیافی یک بتن سیمانی معمولی تقویت شده با الیاف توزیع شده است. در بتن الیافی هزاران الیاف کوچک پخش می‌شوند و به صورت اتفاقی در بتن در مدت اختلاط مخلوط می‌شوند و بنابراین بهبود خواص بتن را در همه جهات داریم. الیاف به بهبود بهتر شکل‌پذیری بتن، مقاومت کششی بتن، مقاومت خستگی، مقاومت ضربه و ترک‌های انقباضی کمک می‌کند [۱۰]. بتن‌های مسلح به الیاف از آن جهت گسترش یافته‌اند که می‌توانند بسته به نوعشان باعث افزایش در سختی، مقاومت خمشی و مقاومت کششی شوند[۱۱]. دکتر علی صدرممتازی و همکارانشان طی مطالعاتی به این نتیجه رسیدند که مقاومت فشاری بتن با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن کاهش می‌یابد[۱۲].در تحقیقی دیگری ازآقای دکتر علی صدر ممتازی و همکارانشان نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت الیاف پلی‌پروپیلن بر مقاومت کششی بتن و همچنین تأثیر نسبتاً منفی این نوع الیاف بر روی مقاومت‌های فشاری و خمشی بودند[۱۳].تاناتجی و همکاران [۱۴] نفوذپذیری بتن حاوی الیاف پلی‌پروپیلن و دودهٔ سیلیس را مورد مطالعه قرار دادند. آنها بیان کردند که افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به بتن حاوی

دودهٔ سیلیس نفوذپذیری بتن را افزایش می‌دهد ولی استفاده از الیاف کوتاه‌تر منجر به کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود. بیلو داو و همکاران [۱۵] به این نتیجه رسیدند که اثرگذاری الیاف با طول کوتاه‌تر در جلوگیری از خرد شدن بتنِ در معرض حرارت بیشتر است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق سنگدانه‌های بتنی بازیافتی به عنوان ریزدانه و درشت‌دانه با درصدهای مشابه ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ جایگزین سنگدانه‌های طبیعی شده است. همچنین از الیاف پلی‌پروپیلن با درصدهای حجمی مختلف ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ در طرح‌ها استفاده شده است. پس از ساخت بتن به منظور تعیین خواص رئولوژی بتن تازه، آزمایش جریان اسلامپ، جهت بررسی خواص فیزیکی- مکانیکی بتن، آزمایش‌های بتن سخت شده شامل مقاومت فشاری، سرعت امواج فراصوتی، جذب آب، مقاومت الکتریکیو انقباض بر روی آزمونه‌ها انجام گرفته است. بعلاوه ساختار درونی بتن با استفاده از عکس‌برداری به روش SEM بررسی شده است. مشخصات کامل طرح‌های بتنی ساخته شده در جدول شمارهٔ ۱ بیان شده است.

جدول ۱- مشخصات طرح‌های اختلاط

نام طرح	شن طبیعی		درشت‌دانهٔ بازیافتی		ماسهٔ طبیعی		ریزدانهٔ بازیافتی		سیمان	آب	W/C	پلی پروپیلن	SP	اسلامپ
	%	Kg/m³	%	Kg/m³	%	Kg/m³	%	Kg/m³	Kg/m³	Kg/m³		%	Kg/m³	cm
CC	۱۰۰	۱۰۳۶/۴۲	۰	۰	۱۰۰	۸۵۱/۴	۰	۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰	_	۸
RC 25,25	۷۵	۷۷۷/۳۲	۲۵	۳۴۹/۵۸	۷۵	۶۳۸/۵۵	۲۵	۱۸۰/۰۸	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰	_	۷/۵
RC 50,50	۵۰	۵۱۸/۲۱	۵۰	۴۹۹/۱۶	۵۰	۴۲۵/۷۰	۵۰	۳۶۰/۱۵	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰	_	۶/۵
RC 75,75	۲۵	۲۵۹/۱۱	۷۵	۷۴۸/۷۴	۲۵	۲۱۲/۸۵	۷۵	۵۴۱/۲۳	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰	_	۶
RC 100,100	۰	۰	۱۰۰	۹۹۸/۳۲	۰	۰	۱۰۰	۷۲۰/۳۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰	_	۵
CC	۱۰۰	۱۰۳۶/۴۲	۰	۰	۱۰۰	۸۵۱/۴	۰	۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۱	۰/۴	۸
RC 25,25	۷۵	۷۷۷/۳۲	۲۵	۳۴۹/۵۸	۷۵	۶۳۸/۵۵	۲۵	۱۸۰/۰۸	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۱	۰/۹۳	۸
RC 50,50	۵۰	۵۱۸/۲۱	۵۰	۴۹۹/۱۶	۵۰	۴۲۵/۷۰	۵۰	۳۶۰/۱۵	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۱	۰/۸	۸
RC 75,75	۲۵	۲۵۹/۱۱	۷۵	۷۴۸/۷۴	۲۵	۲۱۲/۸۵	۷۵	۵۴۱/۲۳	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۱	۱	۸
RC 100,100	۰	۰	۱۰۰	۹۹۸/۳۲	۰	۰	۱۰۰	۷۲۰/۳۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۱	۱/۱۸	۸
CC	۱۰۰	۱۰۳۶/۴۲	۰	۰	۱۰۰	۸۵۱/۴	۰	۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۲	۰/۵۵	۸
RC 25,25	۷۵	۷۷۷/۳۲	۲۵	۳۴۹/۵۸	۷۵	۶۳۸/۵۵	۲۵	۱۸۰/۰۸	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۲	۰/۷۵	۸
RC 50,50	۵۰	۵۱۸/۲۱	۵۰	۴۹۹/۱۶	۵۰	۴۲۵/۷۰	۵۰	۳۶۰/۱۵	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۲	۰/۸۸	۸
RC 75,75	۲۵	۲۵۹/۱۱	۷۵	۷۴۸/۷۴	۲۵	۲۱۲/۸۵	۷۵	۵۴۱/۲۳	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۲	۱/۳۳	۸
RC 100,100	۰	۰	۱۰۰	۹۹۸/۳۲	۰	۰	۱۰۰	۷۲۰/۳۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۲	۱/۱۸	۸
CC	۱۰۰	۱۰۳۶/۴۲	۰	۰	۱۰۰	۸۵۱/۴	۰	۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۳	۰/۸۸	۸
RC 25,25	۷۵	۷۷۷/۳۲	۲۵	۳۴۹/۵۸	۷۵	۶۳۸/۵۵	۲۵	۱۸۰/۰۸	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۳	۱/۰۵	۸
RC 50,50	۵۰	۵۱۸/۲۱	۵۰	۴۹۹/۱۶	۵۰	۴۲۵/۷۰	۵۰	۳۶۰/۱۵	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۳	۱/۱	۸
RC 75,75	۲۵	۲۵۹/۱۱	۷۵	۷۴۸/۷۴	۲۵	۲۱۲/۸۵	۷۵	۵۴۱/۲۳	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۳	۱/۲۵	۸
RC 100,100	۰	۰	۱۰۰	۹۹۸/۳۲	۰	۰	۱۰۰	۷۲۰/۳۰	۳۷۵	۱۶۸/۷۵	۰/۴۵	۰/۳	۱/۵	Failed

۳- مصالح مصرفی

در تمامی طرح‌ها از سیمان پرتلند معمولی نوع ۱- ۴۲۵ استفاده شده است. به منظور تهیهٔ سنگدانه‌های بازیافتی بتنی برای انجام این پژوهش، ۴ متر مکعب بتن غیرمسلح با مشخصات معلوم (عیار سیمان $375 Kg/m^3$و مقاومت ۲۸روزه ۴۰ مگاپاسکال) ساخته شد و توسط دستگاه‌های جک و سنگ‌شکن شرکت پدوکال واقع در منطقه جوین استان گیلان خرد گردید. سنگدانه‌های به‌دست آمده از دستگاه سنگ شکن پس ازعبور از الک و با رعایت ملزومات آیین نامه ASTM C33دانه بندی شده و در ساخت طرح اختلاط های بتنی مورد استفاده قرار گرفت، تصاویر دستگاه

سنگ‌شکن و جک و همچنین تصاویر سنگدانه‌های بازیافتی بتنی به عنوان ریزدانه و درشت‌دانه به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، خصوصیات فیزیکی کلیه سنگدانه‌های مورد استفاده در جدول۲ ذکر گردیده است.

الف- دستگاه سنگ‌شکن

ب- دستگاه جک

شکل ۱- تصاویر دستگاه‌های سنگ‌شکن و دستگاه جک معدن شن و ماسه شرکت پدوکال واقع در شهر رستم‌آباد استان گیلان

الف- درشت‌دانه

ب- ریزدانه

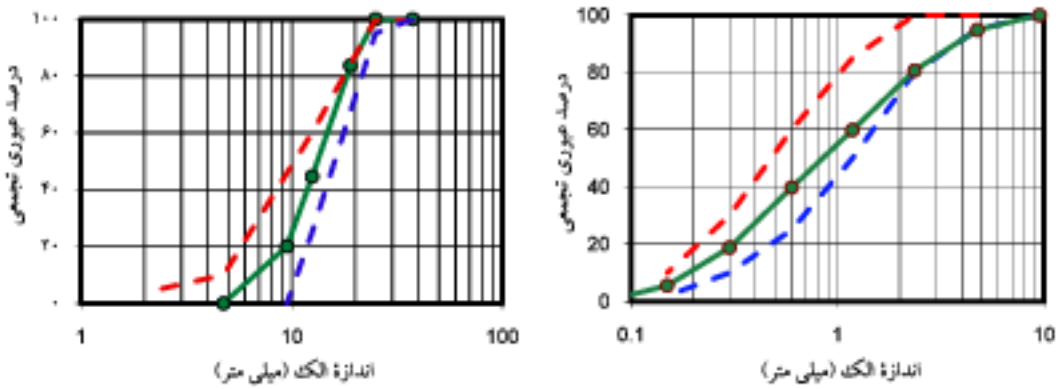
شکل ۲- سنگدانه‌های بازیافتی بتنی

جدول ۲- مشخصات سنگدانه‌های طبیعی و بازیافتی

شماره	مشخصات	سنگدانه‌های طبیعی و بازیافتی			
		شن طبیعی	شن بازیافتی	ماسهٔ طبیعی	ماسهٔ بازیافتی
۱	وزن مخصوص اشباع سطح خشک (Kg/m^3)	۲۷۲۰	۲۶۲۰	۲۶۵۱	۲۳۳۰
۲	درصد جذب آب	۱/۵	۵/۵	۲/۵	۷/۵
۳	اندازهٔ سنگدانه(mm)	۶-۱۹	۶-۱۹	۰-۶	۰-۶

منحنی‌های دانه‌بندی مصالح بازیافتی و مشخصات دانه‌بندی آنها به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۳ نشان داده شده است.

در ساخت طرح‌های بتن بازیافتی حاوی الیاف، از الیاف پلی‌پروپیلن به طول ۶ میلی‌متر استفاده شده است و همچنین در طرح اختلاط‌های بتنی جهت ثابت نگهداشتن اسلامپ بتن در محدودهٔ ۸ سانتی‌متر از فوق‌روان‌کننده FARCO PLAST P10-3R محصول شرکت شیمی ساختمان استفاده شده است.مقدار سیمان مورد استفاده در تمامی طرح‌ها ۳۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. مشخصات شیمیایی سیمان و الیاف پلی‌پروپیلن در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.



شکل ۳- منحنی‌های دانه‌بندی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی

جدول ۳- مشخصات دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی

اندازهٔ الک	درصد عبوری				
	ماسهٔ طبیعی	شن طبیعی نوع ۱	شن طبیعی نوع ۲	ریزدانه بازیافتی بتنی	درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی
mm۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
mm۱۹	۱۰۰	۹۹/۵	۸۱/۸	۱۰۰	۹۴/۴۱
mm۱۲/۵	۱۰۰	۵۵/۳	۳۸/۹	۱۰۰	۵۵/۴۱
mm۹/۵	۱۰۰	۳۰/۵	۱۲/۵	۱۰۰	۳۰/۸۹
mm۴/۷۵	۹۷/۲۶	۰	۰	۹۴/۸	۱۰/۸۳
mm۲/۳۶	۹۲/۹۶	۰	۰	۷۸/۶	۰
mm۱/۱۸	۷۷/۳۵	۰	۰	۵۷/۸	۰
μm۶۰۰	۴۹/۵۶	۰	۰	۳۷/۷	۰
μm۳۰۰	۲۲/۳۳	۰	۰	۱۶/۸	۰
μm۱۵۰	۳/۴۵	۰	۰	۵/۵	۰

جدول ۴- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۱

SiO_2	۲۱
CaO	۶۲
Al_2O_3	۵/۲۶
Fe_2O_3	۳
MgO	۲/۷
SO_3	۲/۱

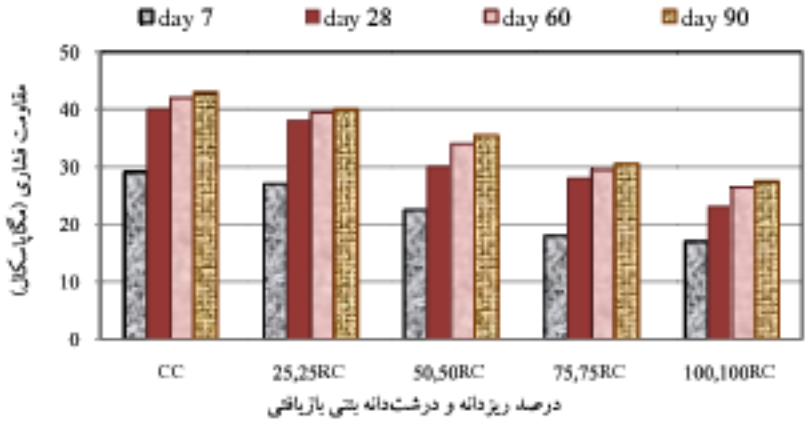
جدول ۵- مشخصات الیاف پلی‌پروپیلن

چگالی$[gr/cm^3]$	۰/۹۱ – ۰/۹
عکس العمل درمقابل آب	آبگریز
مقاومت کششی[ksi]	٤/٥ – ٦
نقطهٔ ذوب [سانتیگراد]	۱۷۵
هدایت گرمایی[W/m/k]	۰/۱۲
طول	mm۶

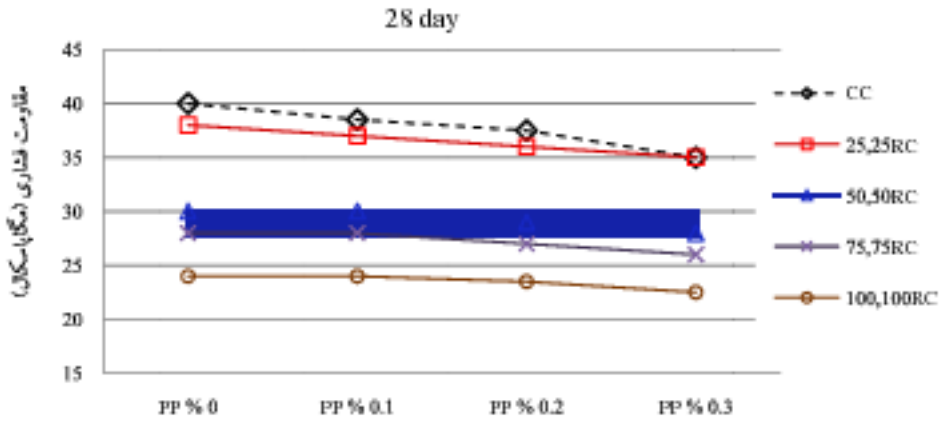
٤- بررسی نتایج آزمایشگاهی

٤-١- مقاومت فشاری

به‌منظور تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری طبق استاندارد BS 1881 مورد آزمایش قرار گرفته است. مقادیر مقاومت‌های فشاری بر حسب مگاپاسکال در سنین ۷ ، ۲۸ ، ۶۰ و ۹۰ روزه برای طرح‌های مختلف بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی با سنگدانه‌های طبیعی در شکل شمارهٔ ۴ آورده شده است و نتایج بیانگر این مسأله است که با افزایش درصدهای جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی با سنگدانه‌های معمولی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. در شکل ۵، تغییرات مقاومت فشاری در سن۲۸روزه بر اثر افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در بتن‌های بازیافتی نشان داده شده است. نتایج حاکی از این است که با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن در بتن حاوی سنگدانه‌های ضایعاتی بتنی، کاهش جزئی در مقاومت فشاری نمونه‌ها به دست می‌آید. علت این کاهش در مقاومت فشاری، مقاومت کمتر سنگدانه‌های بتنی نسبت به سنگدانه‌های طبیعی می‌باشد. ملات قدیمی چسبیده به سنگدانه‌های بازیافتی بتنی دارای مقاومت کمتری نسبت به سنگدانه‌های معمولی و همچنین ملات بتن جدید می‌باشد که این مسأله علت کاهش در مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی را شامل می‌گردد. لازم به ذکر است که تمامی طرح‌های حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، حتی در طرح‌هایی که ۱۰۰٪ سنگدانه‌های بازیافتی جایگزین سنگدانه‌های معمولی شده‌اند، دارای مقاومت مشخصه بالاتر از ۱۷ مگاپاسکال بوده و سازه‌ای می‌باشند.



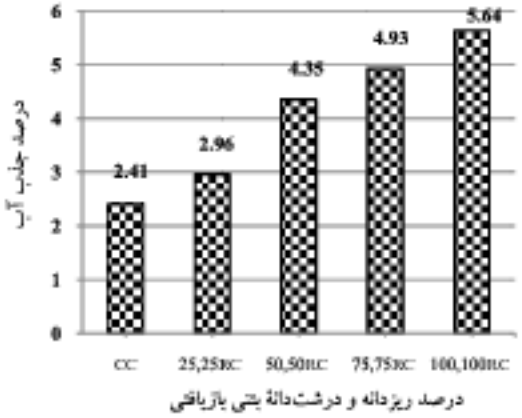
شکل ۴- مقاومت فشاری بتن‌های حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی



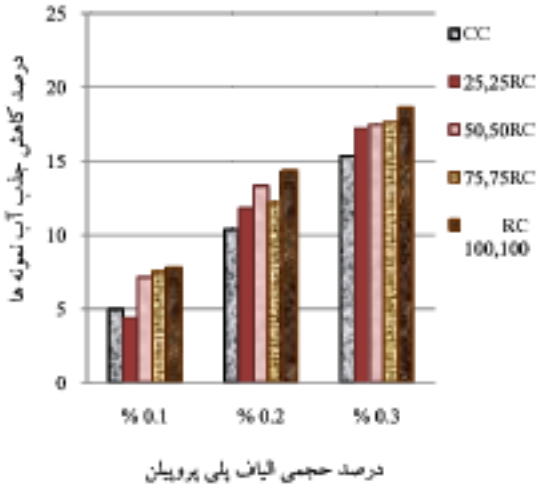
شکل ۵- مقاومت فشاری ۲۸روزه با درصدهای مختلف الیاف PP

٤-٢- جذب آب

آزمایش جذب آب ۲۴ ساعتهٔ نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C642 انجام گرفته است. با استفاده از درصدهای جایگزینی بیشتر سنگدانه‌های بازیافتی بتنی به صورت ریزدانه و درشت‌دانه در بتن جدید، جذب آب نمونه‌ها نسبت به بتن کنترل افزایش می‌یابد که نتایج آن در شکل شمارهٔ ۶ مشاهده می‌شود. اما با توجه به تحقیق حاضر، به کار بردن الیاف پلی‌پروپیلن باعث کنترل جذب آب نمونه‌ها می‌گردد که نتایج این کاهش در درصد جذب آب بتن‌های بازیافتی در شکل شمارهٔ ۷ آورده شده است.



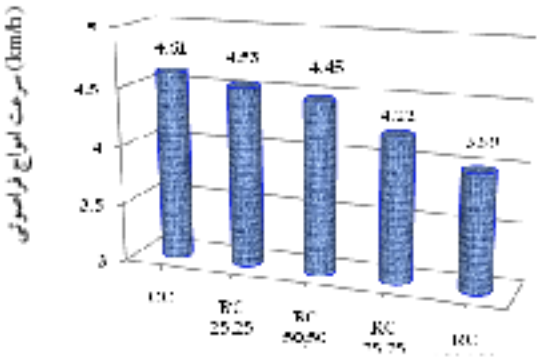
شکل ۶- نتایج درصد جذب آب نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه



شکل ۷- درصد جذب آب ۲۴ ساعتهٔ بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی در سن ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن

٤-٣- آزمایش سرعت امواج فراصوتی

یکی از متداول‌ترین آزمایش‌های غیرمخرب در محل به منظور ارزیابی کیفیت سازه‌های بتنی، استفاده از امواج مافوق صوت می‌باشد که به روش فراصوتی معروف است. در این آزمایش با توجه به سرعت پالس طولی در بتن، مقاومت آن تخمین زده می‌شود. در مطالعه حاضر بررسی سرعت امواج فراصوتی در آزمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C597 بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری انجام گرفته است. نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های فاقد الیاف در شکل ۸ دیده می‌شود. با افزایش درصدهای جانشینی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، کاهش سرعت امواج فراصوتی نتیجه گرفته می‌شود، اما بتن‌های مذکور با توجه به استاندارد منتشر شده توسط مرکز تحقیقات و مسکن، همچنان از کیفیت خوبی برخوردارمی‌باشند. رده‌بندی کیفیت بتن بر اساس سرعت عبور پالس صوتی در جدول ۶ نمایش داده شده است.

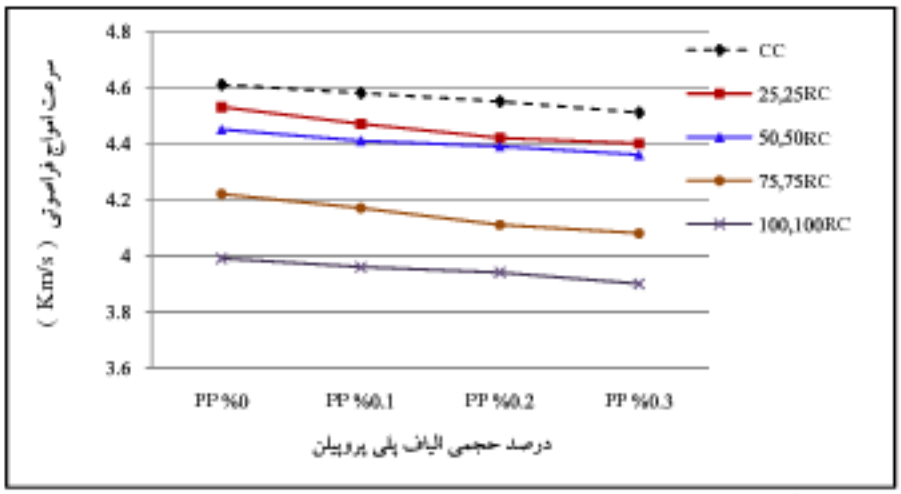


شکل ۸- نتایج سرعت امواج فراصوتی در سن ۲۸ روزه بر حسب مقادیر مختلف سنگدانه‌های بازیافتی بتنی

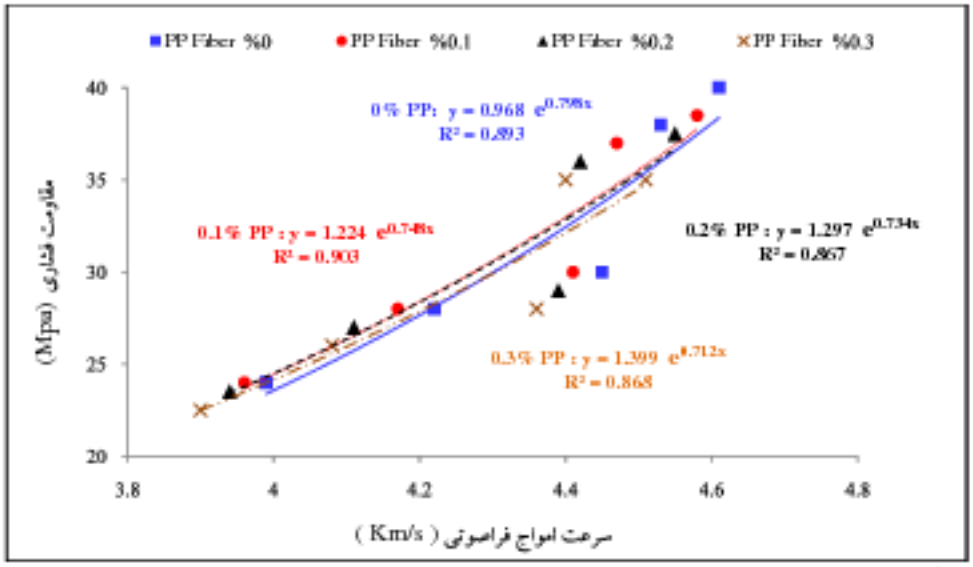
جدول ۶- طبقه‌بندی کیفیت بتن بر اساس سرعت پالس [۱۶]

سرعت پالس طولی Km/s	کیفیت بتن
بیشتر از ۴/۵	بسیار عالی
۳/۵ تا ۴/۵	خوب
۳ تا ۳/۵	مشکوک
۲ تا ۳	ضعیف
کمتر از ۲	خیلی ضعیف

با توجه به شکل شمارهٔ ۹، با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن نتایج سرعت امواج فراصوتی با کاهش بسیار جزئی رو به رو خواهد شد و همچنان بتن‌های بازیافتی حاوی درصدهای مختلف سنگدانه‌های ضایعاتی بتنی با کیفیت مطلوب می‌باشند. رابطهٔ تغییرات مقاومت فشاری بر حسب نتایج سرعت امواج فراصوتی در سن ۲۸ روزه برای طرح‌های حاوی درصدهای مشابه ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی به همراه افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در روابط ارائه شده در شکل ۱۰، y مقاومت فشاری نمونهٔ مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ بر حسب مگا پاسکال و x سرعت امواج فراصوتی بر حسب کیلومتر بر ثانیه می‌باشد. همانطور که مشخص است ضریب همبستگی نمودار در بتن‌های حاوی ۰/۱ درصد الیاف نسبت به نمودار فاقد الیاف بهبود یافته و در این حالت روش فراصوتی از دقت بیشتری در پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن برخوردار است ولی استفاده از ۰/۲ و ۰/۳ درصد الیاف پلی‌پروپیلن ضریب همبستگی نمودار و دقت روش فراصوتی را کاهش داده است.



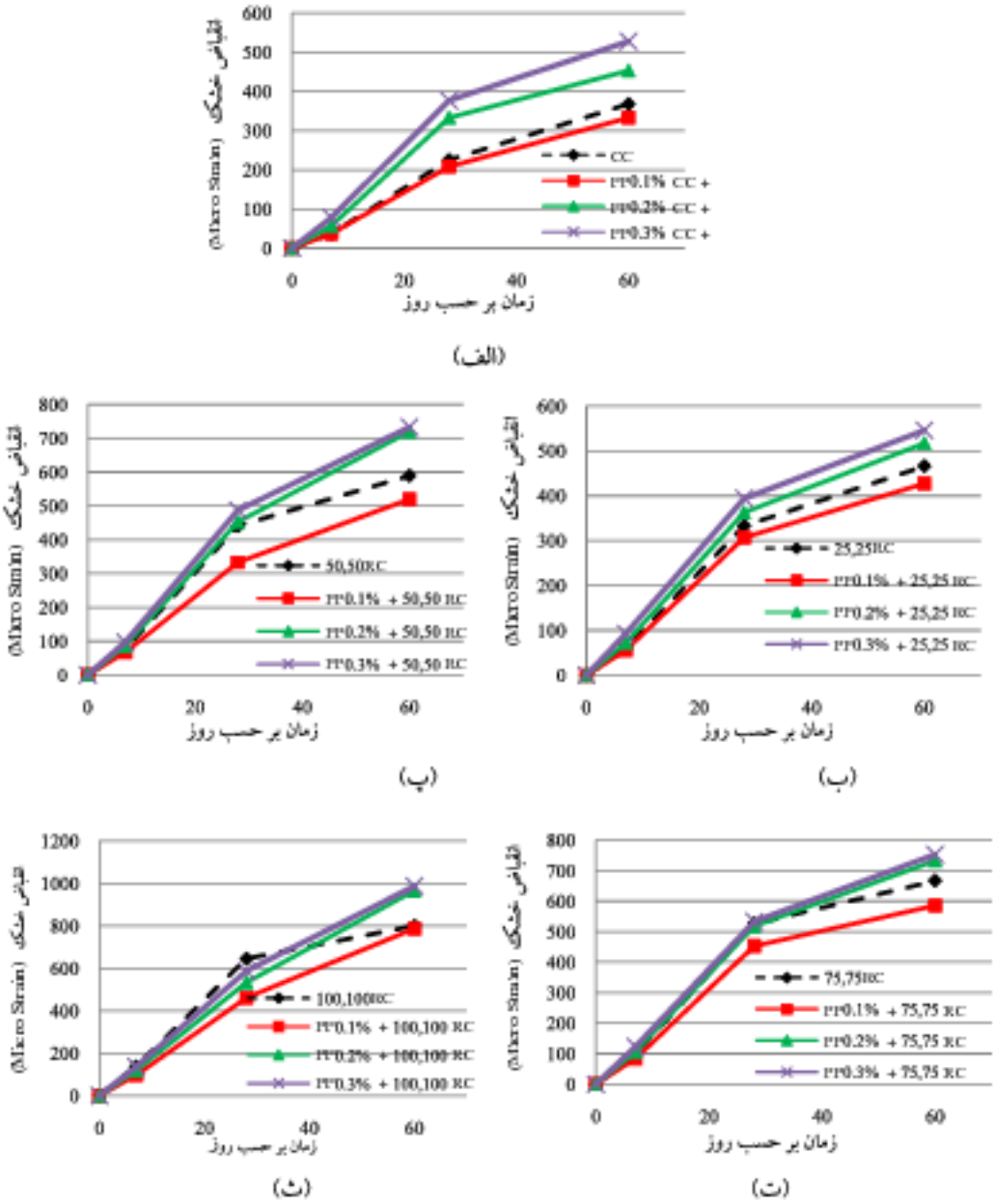
شکل ۹- نتایج سرعت امواج فراصوتی در سن ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن



شکل ۱۰- نتایج سرعت امواج فراصوتی بر حسب مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن

٤-٤- انقباض خشک

نتایج آزمایش انقباض بر روی بتن‌های حاوی درصدهای مشابه ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی به همراه ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در نمودارهای شکل ۱۱ رسم شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از ۰/۱ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در طرح‌های بتنی حاوی درصدهای مختلف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ ریزدانه و درشت‌دانه بازیافتی بتنی، انقباض نمونه‌ها کاهش می‌یابد و با استفاده از ۰/۲ و ۰/۳ درصد حجمی در طرح‌های بتنی، شاهد افزایش انقباض نمونه‌ها نسبت به طرح‌های بدون الیاف خواهیم بود.



شکل ۱۱- انقباض خشک نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن

با توجه به تحقیقی که آقای دکتر علی صدر ممتازی و آقای فصیحی در مورد تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر روی عملکرد ملات حاوی نانو سیلیس انجام دادند چنین روندی نیز گزارش شد. بر اساس تحقیق ایشان نتایج نمونه‌های تقویت شده با مقادیر مختلف

۰، ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن نشان داد که مقدار کمی از فیبر می‌تواند کمک مثبت به متوسط تغییر طول ناشی از انقباض خشک نمونه‌ها کند. در تمامی طرح‌های مسلح شده با ۰/۱ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن، انقباض بهبود می‌یابد. استفاده از مقادیر بالاتر از الیاف (بیشتر از ۰/۳ ٪) به وضوح برای تعدیل انقباض کار نمی‌کند. در حالت استفاده از ۰/۵ درصد الیاف، انقباض خشک در تمامی نمونه‌ها حتی بیشتر از طرح کنترل (فاقد الیاف) افزایش می‌یابد [۱۷].

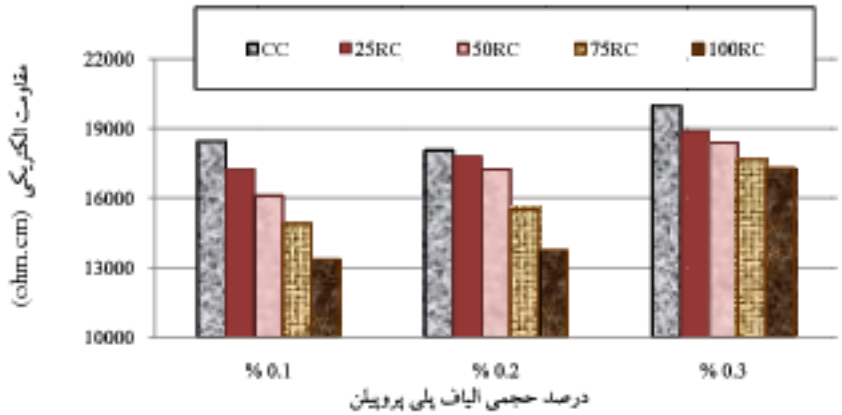
٤-٥- مقاومت الکتریکی

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن در کارگاه معمولاً از مقاومت‌سنج‌های چهارشاخه‌ای استفاده می‌کنند. از این وسیله می‌توان برای تعیین احتمال فعالیت خوردگی آرماتورهای بدون پوشش نیز استفاده کرد. مقاومت الکتریکی تخمینی از مقدار رطوبت، منافذ و اندازهٔ پیچ و خم منافذ داخل بتن می‌باشد. مقاومت الکتریکی شدیداً متأثر از کیفیت بتن (مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان و ...) می‌باشد.

چنانچه در جدول ۷ مشاهده می‌شود نرخ خوردگی در بتن را می‌توان با توجه به مقاومت الکتریکی آن تعیین کرد. نتایج مقاومت الکتریکی در شکل ۱۲ دیده می‌شود، با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی مقاومت الکتریکی بتن کاهش پیدا کرده است. این امر به دلیل افت کیفیت بتن بازیافتی نسبت به بتن معمولی می‌باشد، زیرا میزان تخلخل در بتن افزایش یافته و جذب آب آن افزایش پیدا می‌کند، لذا احتمال خوردگی آرماتورها بیشتر می‌شود. با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن از ۰/۱ تا ۰/۳ در بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها به صورت تدریجی افزایش یافته است، دلیل این موضوع قطع شدن ارتباط میان حفره‌های مویینهٔ بتن از سویی و عایق‌سازی سطحی بتن از سوی دیگر است. نرخ خوردگی درکلیه طرح اختلاط‌های حاوی الیاف مطابق جدول ۷ متوسط رو به کم می‌باشد ولی با افزایش درصد سنگدانه‌های بازیافتی احتمال خوردگی افزایش یافته است.

جدول ۷- نرخ خوردگی در بتن بر اساس مقاومت الکتریکی

نرخ خوردگی	مقاومت (Ohm-cm)
خیلی زیاد	<۵۰۰۰
زیاد	۵۰۰۰ – ۱۰۰۰۰
متوسط روبه کم	۱۰۰۰۰ – ۲۰۰۰۰
کم	> ۲۰۰۰۰

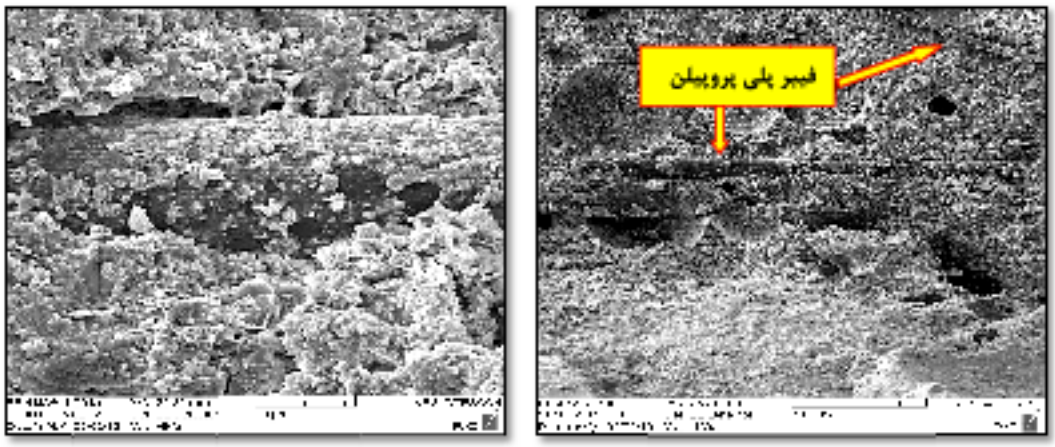


شکل ۱۲- نتایج مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف پلی‌پروپیلن

٤ – ٦- عکس‌برداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

نمونه‌های بتنی حاوی نسبت‌های مشابه ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی به همراه مقادیر مختلف ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در نظر گرفته شدند. پس از ۹۰ روز نگهداری در شرایط استاندارد از مخزن آب خارج شدند. قطعه‌ای به ابعاد تقریبی ۱ × ۱ × ۱ سانتی‌متر از محل شکست هر نمونه در آزمایش خمش استخراج شد. سپس به

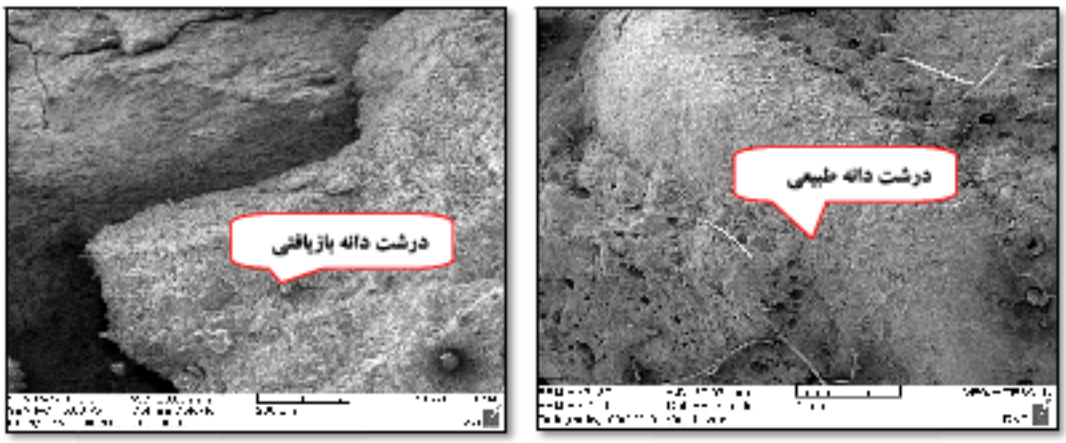
منظور تبخیر رطوبت موجود در آن، به مدت ۲۴ ساعت در آون نگهداری گردید. پس از خارج کردن از آون در ظرف در بسته قرار داده و به محل آزمایش برده شدند. به منظور افزایش هدایت سطحی و در نتیجه افزایش وضوح و کیفیت عکس‌برداری، سطح نمونه‌ها توسط لایهٔ نازکی از طلا به ضخامت تقریبی ۷ انگستروم پوشانیده شد. این کار توسط دستگاه اسپاتر صورت گرفت. شکل ۱۳ پیوستگی، یکپارچگی و اتصال کامل فیبر پلی‌پروپیلن با ماتریس سیمان در بتن حاوی ۰/۳ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن را نشان می‌دهد. این پیوستگی الیاف با ماتریس سیمان، قابل قبول بودن سازگاری استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن تا حد ۰/۳ درصد حجمی در بتن را نشان می‌دهد.



الف- با دقت تصویر ۲۰۰ میکرومتر و بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

ب- دقت تصویر ۲۰ میکرومتر و بزرگنمایی ۱۵۰۰ برابر

شکل ۱۳- پیوستگی و اتصال کامل فیبر پلی‌پروپیلن با ماتریس سیمان در بتن شاهد حاوی ۰/۳ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن



الف- سنگدانهٔ طبیعی (دقت ۱ mm و بزرگنمایی ۳۰ برابر)

ب- سنگدانهٔ بازیافتی(دقت ۲۰۰ µm و بزرگنمایی ۱۴۰برابر)

شکل ۱۴- پیوند سنگدانه‌ها با ماتریس سیمان در حضور ۰/۳ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن

شکل ۱۴-الف مرز بین سنگدانهٔ طبیعی و ماتریس سیمان را در حضور الیاف پلی‌پروپیلن نشان می‌دهد و بیان کنندهٔ اتصال و پیوند مناسب سنگدانهٔ طبیعی با ماتریس سیمان می‌باشد که در نهایت به مقاومت مناسب بتن حاوی سنگدانه‌های طبیعی را می‌انجامد. شکل ۱۴- ب پیوند نامناسب و عدم اتصال کامل سنگدانه‌های بازیافتی بتنی با ماتریس سیمان را نشان می‌دهد. با

توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، مقاومت پایین‌تر بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی نسبت به مقاومت بتن حاوی سنگدانه‌های طبیعی (بتن کنترل) را علاوه بر مقاومت کمتر سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به مقاومت سنگدانه‌های طبیعی که پیش‌تر به آن اشاره شد، می‌توان به پیوند نامناسب سنگدانه‌های بازیافتی بتنی با ماتریس سیمان در بتن حاوی ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی ارتباط داد.

۵- نتیجه‌گیری

- با افزایش نسبت‌های استفاده از ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی در بتن جدید، کاهش در مقاومت فشاری مشاهده شده و همچنین به علت قابلیت جذب آب بالای مصالح بازیافتی، جذب آب نمونه‌های بازیافتی بتنی افزایش یافته است. علت مقاومت کمتر و جذب آب بالای نمونه‌های بازیافتی بتنی، مقاومت کمتر و قابلیت جذب بالای ملات قدیمی سخت شدهٔ چسبیده به سنگدانه‌های بتنی نسبت به خود سنگدانه‌ها و ملات جدید می‌باشد.

- سنگدانه‌های بازیافتی بتنی عمدتاً مقاومت کمتری نسبت به سنگدانه‌های طبیعی دارند. چرا که مقاومت ملات چسبیده به سنگدانه‌های بازیافتی از مقاومت سنگدانه‌ها و همچنین از مقاومت ملات جدید کمتر می‌باشد. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی این مسأله را تأیید می‌کند.

- سنگدانه‌های بتنی در حین اختلاط تا حدی به دانه‌های ریزتر از خود تبدیل می‌شوند و از آنجایی که جذب آب ریزدانه‌ها بیشتر از جذب آب درشت‌دانه‌ها می‌باشد، بخش بیشتری از آب آزاد موجود در بتن مصرف شده و در نتیجه اسلامپ بتن حاوی سنگدانه‌های ضایعاتی بتنی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن اسلامپ بتن شدیداً کاهش می‌یابد که برای جبران افت اسلامپ از فوق روان‌کنندهٔ استفاده شده است.

- با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، سرعت امواج فراصوتی کاهش پیدا می‌کند.

- در شرایط استفاده از ۰/۱ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن در طرح‌های بتنی حاوی درصدهای مختلف ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ ریزدانه و درشت‌دانهٔ بازیافتی بتنی، انقباض نمونه‌ها بهبود می‌یابد و با استفاده از ۰/۲ و ۰/۳ درصد حجمی در طرح‌های بتنی، شاهد افزایش انقباض نمونه‌ها نسبت به طرح‌های بدون الیاف خواهیم بود.

- با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت الکتریکی بتن کاهش پیدا می‌کند و با افزایش درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن از ۰/۱ تا ۰/۳ درصد حجمی در بتن حاوی سنگدانه‌های بازیافتی بتنی، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

۶- مراجع

[1]. AkashRao, Kumar N. Jha ,SudhirMisra , "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete ", Conservation and Recycling 50 (2007) 71–81 , accepted 24 May 2006.

[2]. F.T. Olorunsogo, N. Padayachee , " Performance of recycled aggregate concrete monitored bydurability indexes" , Cement and Concrete Research 32 (2002) 179–185, accepted 6 August 2001,

[3]. AkashRao, Kumar N. Jha, SudhirMisra, "Use of aggregates from recycled constructionand demolition waste in concrete", Conservation and Recycling 50 (2007) 71–81accepted 24 May 2006.

[4]. Malhotra, V.M.Neville," Symposium on concrete technology in use of demolition waste in concrete ", By Wain Wright, PJ26, 179-197, (1995).

[5]. Frondition, K.Yannas, "Economics of concrete recycling in united state ", Advanced Research institute problems in the Recycling concrete, France, 25-28,PP 163-186, (1980).

[6]. Hansen, T.C (Editor), "Recycling of demolished concrete and masonry ", RILM (The international union of t esting and Research laboratories for materials and structures, Reports, (1992).

[7]. Ajdukiewicz, A.Kliszczewicz, "Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HP/HPC ", Cement and Concrete Composites, Vol, 24. PP 269-279, (2002).

[8]. Kiyoshi Eguchi, Kohji Teranishi, Akira Nakagome, Hitoshi Kishimoto, Kimihiko Shinozaki, MasafumiNarikawa ," Application of recycled coarse aggregate by mixture toconcrete construction ", Construction and Building Materials 21 (2007) 1542–1551 , accepted 5 December 2005.

[۹]. شکرچی‌زاده،محمد، لیبر، نیکلاس علی، ماهوتیان، مهرداد، محبی، علیرضا. و بهرادی پکتا، سجاد، " آزمایش‌های بتن

خودتراکم و و تفسیر نتایج به‌دست آمده در برآورد پایداری بتن تازه، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم"، اسفند ۱۳۸۵.

[10]. R. Brown, A. Shukla, K.R.Ntarjan, " Fiber reinforced of concrete structures ", University of Rhode Iland, (2002).

[11]. ACL Committee 544, " Measurements of properties fiber reinforced concrete ", ACI Mater J 1988; 85(6): 583-93.

[۱۲]. خداپرست حقی اکبر، صدرممتازی ع، منافیان م،" تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت بتن سبک حاوی EPS"، چهارمین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[13]. A. Sadrmomtazi, H.Nosrati,M.H.Tahmooresi, The effects of Polypropylene fibers and different pozzolans on the properties of lightweight self-compacting Concrete containing leca, 4rd International Conference on Concrete & Development,(2013).

[14]. H.Toutenji, S.McNevil, and Z.Bayasi, "Chloridee permeability and impact resistance of polypropylene fiber reinforced silica fume concrete " , Cement and Concrete Research, Vol 28, No 7, pp 961-968, (1998).

[15]. A.Bilodeau, V.K.R.Kodure, G.C.Hoff, " Optimization of the type and polypropylene fibers for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire ", Cement and Concrete Composites, 26 (2004) 163–174.

[۱۶]. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، " استاندارد آزمایش‌های تعیین مقاومت بتن در سازه (آزمایش‌های غیرمخرب و نیمه‌مخرب بتن) "، بهار ۱۳۷۹.

[17]. A. Sadrmomtazi, A. Fasihi, "Influence of polypropylene fibers on the performance of Nano Sio_2 incorporated mortar ", Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering, Vol 34, pp 385-395, Printed in the Islamic Republic of Iran, (2010).

Evaluation of Fiber Reinforced Concrete Containing Recycled Concrete Aggregates with Non-Destructive Methods

A. Sadrmomtazi*
Associate Professor, Faculty Of Engineering,University Of Guilan
M.H.Tahmouresi
M.S. Civil Engineering,University Of Guilan
H.nosrati
M.S. Civil Engineering,University Of Guilan

(Received: 2013/11/11 - Accepted: 2014/4/23)

Abstract

The use of concrete in the construction industry is growing day by day. Due to the limited life span of concrete structures and also the destruction of concrete structures by natural factors such as earthquakes, floods, hurricanes and ... we will always faced with massive amounts of waste concrete that will cause environmental damages. On the other hand natural resources are also limited for generating aggregates that in near future we should use waste concretes as recycled concrete aggregates for an alternative of natural aggregates to save the natural resources. In this study, the replacement proportion of fine and coarse recycled concrete aggregates with conventional aggregates, is the similar percentages of 0, 25, 50, 75 and 100%, which will include 5 mixing design. With increased use of recycled concrete aggregate, reduction of recycled concrete properties, a increase in water absorption and decrease in slump concrete can be observed that it has been tried to compensate this loss in the slump by using super plasticizer. In order to improve the engineering properties of recycled concrete and Study the Effect of polypropylene fibers on the properties of recycled concrete, the polypropylene fibers with the length of 6 mm and different volume percentages of 0.1, 0.2 and 0.3 percent were used that formed of 15 mixing design. In this study, the Compressive strength, Drying shrinkage, Water absorption, Ultrasonic pulse velocity, Electrical strength and SEM tests were done on the samples. withIncrease in the mass percentage ofpolypropylene fibersin recycledconcretes, decrease in results ofUltrasonic pula velocity and Water absorption, increase in Electrical strength results and alsonegativeeffectsonthe compressive strength have been observed. Interms of0.1 % by volume of polypropylenefibersinconcretedesign, Drying shrinkage improvedbutwith using 0.2and0.3 % by volume ofpolypropylenefibers, the Drying shrinkage increasedComparedwithsampleswithnofibers.

Keywords: Recycled concrete aggregate, Drying shrinkage, Electrical strength, Ultrasonic pulse velocity,poly-propylene fibers.

* Corresponding author: sadrmomtazi@yahoo.com