نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ویژه ۳، سال ۱۳۹۸، صفحه ۱۶۳ تا ۱۷۴

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارزیابی خصوصیات مکانیکی بتن حاوی سنگ‌دانه بازیافتی ناشی از ضایعات ساختمانی

بهاره هداوند[۱] ،عبدالرضا کریمی[۲]. سعید فرزین*[۳]. محسن احمدی[۴]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم

۲-استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم

۳-استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۴-دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

چکیده

امروزه با توجه به رشد جمعیت و در پی آن افزایش نیاز به مسکن،فعالیت ساخت و ساز نسبت به گذشته رونق بیشتری داشته و بنابراین حجم حاصل از دورریزهای ساختمانی نیز افزایش یافته‌است. این مساله باعث بروز مشکلات زیست محیطی بسیاری شده است. این ضایعات، پتانسیل استفاده در کارهای ساختمانی را دارا می‌باشند. بازیافت یکی از راه‌های مناسب برای مدیریت این ضایعات است زیرا علاوه بر کاهش حجم دورریزها بر استفاده مجدد آن‌ها تایید دارد و نیاز به استخراج و استفاده از منابع طبیعی را کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت این موضوع می‌توان از این ضایعات به عنوان جایگزین سنگ‌دانه در بتن استفاده کرد. در این پژوهش، به بررسی استفاده از این ضایعات به عنوان جایگزین بخشی از درشت‌دانه در بتن پرداخته شده‌است. در این راستا، تأثیر استفاده از این ضایعات بر روی مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. درصد جایگزینی این نوع سنگ‌دانه‌ها با درشت‌دانه طبیعی به میزان ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ می‌باشد. نسبت آب به سیمان نیز در این بتن‌ها ۰/۴۹ در نظر گرفته شده‌است. آزمایش‌ها برای دو زمان عمل آوری ۷ و ۲۸ روز انجام گرفته است. در ادامه به منظور تحلیل نتایج از تحلیل آماری انوا یک طرفه استفاده گشت. نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی، خواص مکانیکی بتن کاهش می‌یابد. البته افت در عملکرد بتن ناشی از جایگزینی در ترم‌های مقاومت فشاری، کششی خمشی چشمگیر نیست.

کلمات کلیدی: محیط زیست، ضایعات ساختمانی، سنگ‌دانه بازیافتی بتن، خصوصیات مکانیکی

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۶/۹/۰۶	۱۳۹۶/۱۲/۱۸	۱۳۹۷/۰۲/۰۸	۱۳۹۷/۰۲/۰۸	۱۳۹۸/۰۶/۱۰	doi: 10.22065/jsce.2018.108583.1394
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2018.108583.1394

*نویسنده مسئول: سعید فرزین

پست الکترونیکی: saeed.farzin@semnan.ac.ir

Evaluation of Concrete Mechanical Properties Containing Recycled Aggregate from Construction Waste

B. Hadavand A.R Karimi S. Farzin* M. Ahmadi

1-Graduate MSc, Faculty of Civil Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
2-Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
3-Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
4-PhD student, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

ABSTRACT

Nowadays considering the growth of the population and increasing the need for housing, construction activities have been booming more remarkably than the past. So, the volume of construction waste has increased which has caused many environmental problems. These derbies have potation to reuse in construction activities. Recycling is one of the best ways to manage this debris. Because it reduces the volume of waste. It also confirms to reusing, and it reduces the need to extract and uses natural resources. Considering the importance of this, this waste can be used as replacement of aggregates in concrete. In this study, the effect of different percentages of replacement of construction and demolition waste as coarse aggregate on mechanical properties of concrete has been investigated, and the effect of using these debris on compressive strength, tensile strength and flexural strength concrete was studied. The percentages of replacement are 0%, 10%, 20%, 30%, and 50%, and the water to cement ratio is 0.49. Tests were done for two curing time 7 and 28 days. Also, in order to analysing the results, statistical analysis of one-way ANOVA was carried out. The results show that with increasing the replacement rate, compressive strength, tensile strength and flexural strength are decreased, but these decreases aren't significant.

ARTICLE INFO

Receive Date: 27 November 2017
Revise Date: 09 March 2018
Accept Date: 28 April 2018

Keywords:

The environment,
Construction waste,
Recycled aggregates,
Mechanical properties,
Sensitivity

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.108583.1394

*Corresponding author: S. Farzin
Email address: saeed.farzin@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

حجم ضایعات ساختمانی به حدی زیاد است که امروزه این مسئله نه تنها در ایران بلکه در کشورهای پیشرفته نیز به یک مشکل اجتماعی و زیست محیطی تبدیل شده است [۱]. مطابق با آمار سال ۱۳۹۴ شهر تهران به تنهایی سالانه حدود ۱۸/۲۵ میلیون تن ضایعات ساختمانی تولید می‌کند [۲]. البته آمار دقیقی در رابطه با سایر شهرها وجود ندارد اما با توجه به سانحه خیزی کشور و توسعه فرایند ساخت‌وساز می‌توان گفت که سالانه حجم قابل توجهی ضایعات ساختمانی در کشور تولید می‌شود [۳].

بتن از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است که ویژگی اصلی آن ارزان بودنن و در دسترس بودن مواد اولیه آن می‌باشد. کاربرد بتن را می‌توان در تمامی کارهای عمرانی از قبیل ساختمان، مخازن، نیروگاه‌ها، جاده‌ها و.... دید [۴]. به دلیل محدود بودن منابع تجدید ناپذیر استفاده از مصالح بازیافتی غیر قابل اجتناب است از اینرو ضایعات ساختمانی پتانسیل خوبی برای بازیافت دارند. ضایعات ساختمانی را می‌توان پس از جداسازی ازمواد زائدی همچون پلاستیک، فلزات، گچ و چوب خرد کرده و به عنوان سنگ‌دانه در بتن استفاده کرد [۵]. همچنین به دلیل کاهش در انتقالات، استفاده از محصولات بازیافتی باعث می‌شود که کربن دی اکسید و سایر آلاینده‌های کمتری تولید شوند و از این رو این محصولات به صرفه جویی در انرژی و کاهش آلودگی هوا کمک می‌کنند [۶]. در تحقیقی که در ایالات متحده امریکا انجام شد، با بازیافت تعداد دفعات رفت و آمد ماشین آلات ساختمانی تا محل دفن تا ٪۸۵ کاهش می‌یابد که این کمک شایانی در کاهش آلودگی ناشی از انتقالات می‌کند [۷].

بطور کلی سنگ‌دانه‌های بازیافتی را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی کرد: سنگ‌دانه بازیافتی که فقط شامل ضایعات بتن است؛ سنگ‌دانه بازیافتی که فقط شامل ضایعات بنایی است و سنگ‌دانه بازیافتی که شامل مخلوط آوارهای ضایعات بتن و باقی مانده مصالح بنایی است. معمولا حجم دسته سوم از سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به بقیه بیشتر است [۸]. به هر حال با توجه به اینکه منابع طبیعی کم هستند و عامل محدود کننده برای کشورها محسوب می‌شوند، می‌توان روند رو به رشد بازیافت نخاله‌های ساختمانی را انتظار داشت[۹]. همچنین امروزه از آنجا که سبک‌سازی در سازه‌ها به دلایلی چون بهبود عملکرد سازه، کاهش اتلاف انژری و... مورد توجه بسیار قرار گرفته‌است [۱۰]، با توجه به وزن کمتر این بتن‌ها نسبت به بتن معمولی می‌توان از آن‌ها با هدف کاهش وزن سازه استفاده کرد.

هر چند مطالعات در زمینه استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی در بتن بازیافتی کم است [۱۱]. اما در سال‌های اخیر چندین محقق استفاده از این سنگ‌دانه‌ها به عنوان جایگزینی سنگ‌دانه طبیعی در تولید بتن را مورد مطالعه قرار دادند [۱۲و ۱۳]. در ادامه به اهم این پژوهش ها اشاره شده است. در آزمایشی که توسط زوران و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد، نشان داده شد که می‌توان از این ضایعات به عنوان جایگزین درشت‌دانه در بتن خود متراکم استفاده کرد [۱۴]. مقاومت فشاری بتن بازیافتی معمولاً کمتر از مقاومت فشاری بتن معمولی است [۱۵و ۱۶]. مقاومت فشاری بتن بازیافتی به مقاومت سنگ‌دانه بازیافتی، درصد جایگزینی سنگ‌دانه بازیافتی، نسبت آب به سیمان و شرایط رطوبتی سنگ‌دانه بازیافتی بستگی دارد [۱۷و ۱۸]. اتکسبریا و همکارانش (۲۰۰۷) کاهش ۲۰-۲۵٪ مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن را برای جایگزینی کامل درشت‌دانه با ثابت نگه داشتن W/C بدست آورند. ایشان اظهار داشتند که تا جایگزینی ۲۵٪ تغییر قابل توجهی برای مقاومت فشاری بتن دیده نمی‌شود [۱۹]. شیروانی بید آبادی و همکارش (۱۳۹۶) به بررسی تأثیر ابعاد و نرخ جایگزینی سنگ‌دانه بازیافتی در بتن پرداختند. نتایج نشان داد جایگزینی ماسه بازیافتی تا میزان ۳۰ درصد کاهش چندانی بر مقاومت فشاری بتن ندارد[۲۰]. در آزمایش انجام شده توسط راو (۲۰۰۷) برای جایگزینی ۱۰۰ درصد از اینگونه سنگدانه ها، کاهش ۱۵-۲۰٪ مقاومت کششی بدست آمد. [۲۱].

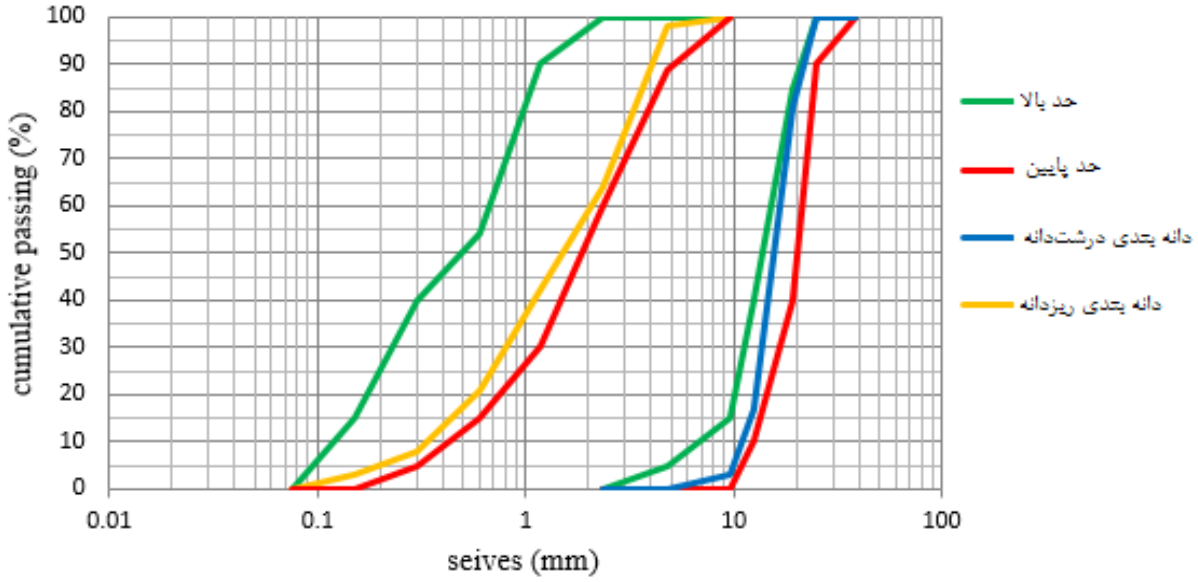
هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خصوصیات بتن حاوی سنگ‌دانه بازیافتی است. در این راستا، سنگ‌دانه بازیافتی به مقدار ٪۰، ٪۱۰، ٪۲۰، ٪۳۰ و٪۵۰ جایگزین درشت‌دانه طبیعی شده است و خواص مکانیکی بتن بازیافتی از جمله مقاومت فشاری، مقاومت کششی و

مقاومت خمشی بررسی گردید. سن نمونه‌ها ۷و ۲۸ روزه بوده و شرایط عمل آوری در داخل آب و در دمای محیط بوده‌است. سه تکرار برای هر نمونه انجام گرفت که میانگین آن‌ها در نتایج گزارش شده است.

۲-مصالح مصرفی

۲-۱- سنگ‌دانه طبیعی

سنگدانه‌های طبیعی مورد استفاده در این تحقیق از نوع سیلیسی می‌باشد که از شرکت نانو بتن امین شهر قم تهیه گریده است. مدول نرمی ریزدانه مصرفی ۳ و درصد ذرات رد شده از الک شماره‌ی ۲۰۰ مطابق با استاندارد ملی کمتر از ۵ درصد می‌باشد. شکل ۱ نمودار دانه‌بندی را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد دانه‌بندی در محدوده‌ی مجاز استاندارد ملی قرار داد.

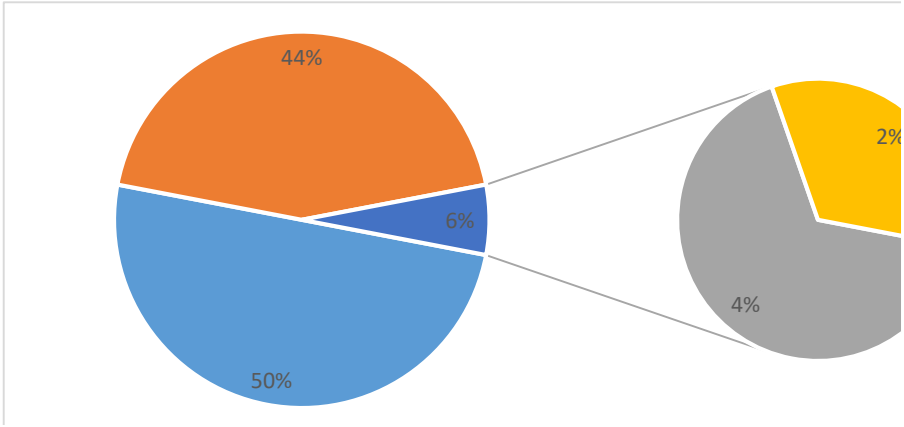


شکل۱ نمودار دانه‌بندی

۲-۲- سنگ‌دانه بازیافتی

مصالح بازیافتی در این تحقیق شامل بتن، آجر، سرامیک و شیشه می‌باشد (شکل ۲) که پس از تفکیک و جداسازی مواد از جمله خاک، آسفالت، پلاستیک و چوب به صورت دستی خرد شد. در این پژوهش به منظور حذف اثر اندازه سنگدانه‌های بازیافتی بر خصوصیات بتن، دانه‌بندی یکسانی برای درشت‌دانه‌های طبیعی و بازیافتی در نظر گرفته شده است. شکل ۳ ترکیب و درصد جرمی مصالح بازیافتی را نشان می‌دهد. آزمایشات درصد جذب آب، درصد رطوبت و مقامت سایشی بر روی سنگ‌دانه طبیعی و بازیافتی انجام شد. نتایج آن در جدول ۱ نشادن داده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشخص است جذب آب و درصد سایش سنگ‌دانه بازیافتی بیشتر از سنگ‌دانه طبیعی است.

شکل ۲ مصالح بازیافتی



شکل ۳ترکیب و درصد سنگدانه های بازیافتی

جدول ۱ مشخصات فیزیکی سنگدانه طبیعی و بازیافتی

مصالح	درصد رطوبت	جذب آب	درصد سایش
شن	۰/٪.۹۴	۰/٪.۹	۳۳٪.
ماسه	۰/٪.۸۹	۲/٪.۳	-
مصالح بازیافتی	۰/٪.۸۶	۷/٪.۶۶	۵۷٪.

۲-۳- سیمان

سیمان استفاده شده در این مطالعه سیمان پرتلند تیپ ۱ بوده است که حداقل مقاومت ۲۸ روزه آن ۳۲۵ کیلو گرم بر سانتی‌مترمربع است. جدول ۲ مشخصات شیمیایی سیمان را نشان می‌دهد.

جدول ۲ مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲

	SiO_2	Ca O	Fe_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	SO_3	LI
درصد وزنی٪	۱۹/۳	۵۷/۷	۴/۳۲	۴/۴۲	۰/۱۶	۰/۲۸	۲/۳۲	۹/۷۸

۳- طرح اختلاط

طرح اختلاط مورد استفاده در این پژوهش به روش حجمی و بر اساس ACIC211 با در نظر گرفتن مقاومت فشاری ۲۰ MPa، نسبت آب به سیمان ۰/۴۹ و مقدار شن، ماسه، سیمان و آب در حجم یک متر مکعب به ترتیب ۱۰۴۲، ۷۸۰، ۴۰۰ و ۱۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب است. شرایط عمل‌آوری در داخل آب و در دمای محیط حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی در سنین ۷ و ۲۸ روز صورت گرفت.

۴-تحلیل حساسیت

در این قسمت برای تحلیل نتایج، از تحلیل آماری انوا (ANOVA) یک طرفه با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۰/۹۵ استفاده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است در اکثر موارد اختلافات معنادار بوده است. (اعداد داخل پرانتز مربوط به سن هفت روزه است.) لذا افزودن سنگ‌دانه بازیافتی در مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی تغییر ایجاد می‌کند. در مورد اثر متقابل جایگزینی ۳۰ و ۵۰ درصد برای دو مقاومت کششی و خمشی در سن بیست و هشت روزه مقدار P بیشتر از ۰/۰۵ بوده است و در نتیجه این مورد برای این دو مقاومت اثر عمده گذاشته است.

جدول ۳ تحلیل آماری انوا

پارامتر	متغییر	P مقاومت فشاری	P مقاومت کششی	P مقاومت خمشی
۰./۰۰	۱۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)
	۲۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)
	۳۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)
	۵۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۱)
۱۰/۰۰	۲۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۰)
	۳۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۲۰ (۰/۰۱۵)	۰/۰۳۱ (۰/۰۱۷)
	۵۰/۰۰	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۲۰ (۰/۰۱۵)	۰/۰۴۰ (۰/۰۲۵)
	۱۰/۰۰	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۰)
۲۰/۰۰	۳۰/۰۰	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۳۵ (۰/۰۲۰)	۰/۰۳۸ (۰/۰۲۱)
	۵۰/۰۰	۰/۰۲۰ (۰/۰۰۰)	۰/۰۵۰ (۰/۰۳۰)	۰/۰۵۰ (۰/۰۳۰)
۳۰/۰۰	۵۰/۰۰	۰/۰۵۰ (۰/۱۳۰)	۰/۰۹۰ (۰/۰۵۰)	۰/۰۷۰ (۰/۰۴۰)

۵- نتایج و بحث

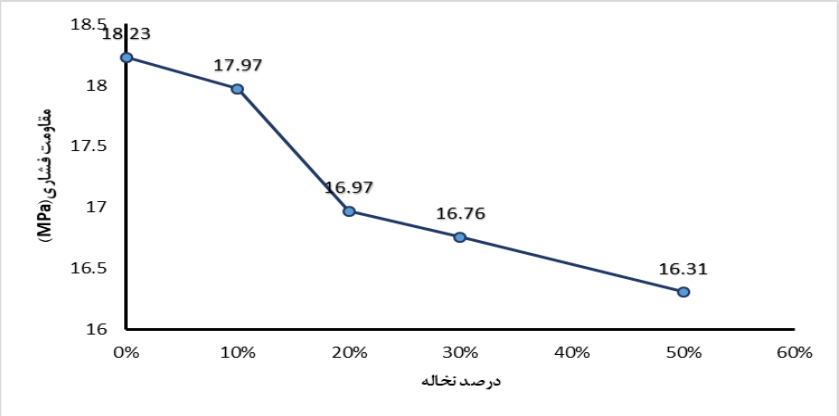
۵-۱- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر مطابق با استاندارد BS1881-116 صورت گرفت.. استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود و با افزایش درصد جایگزینی مقاومت فشاری کاهش بیشتری پیدا می‌کند. مطابق با پژوهش‌های گذشته به طور کلی با افزایش جایگزینی سنگ‌دانه‌های بازیافتی خواص مکانیکی بتن افت پیدا می‌کند [۲۲].

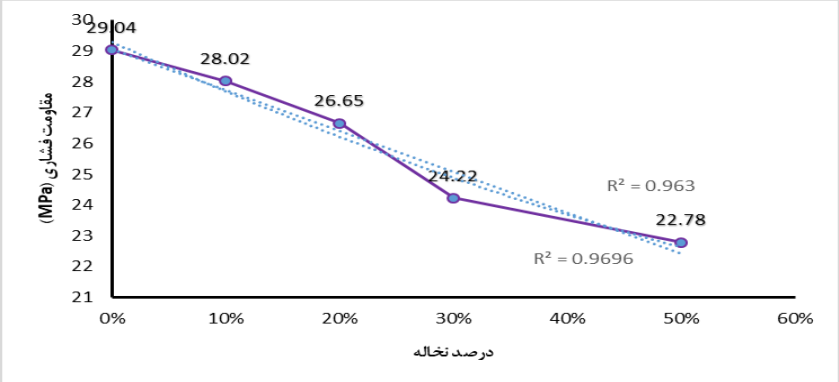
مطابق با شکل ۴ و ۵ برای حالت هفت روزه در درصد جایگزینی‌های مختلف مقاومت فشاری بین ۹۸٪ تا ۸۹٪ مقدار اولیه بدست آمد و در سن ۲۸ روزه مقاومت فشاری بین ۹۶٪ تا ۷۸٪ مقدار اولیه بدست آمد. دلیل عمده کاهش مقاومت، جذب آب زیاد در مصالح بازیافتی و چسبندگی ضعیف بین سنگ‌دانه بازیافتی و ملات قدیمی و خمیر سیمان است که باعث ایجاد ترک عرضی و شکاف در بتن می‌شود. همچنین در حین اختلاط قسمت‌های ضعیف سنگ‌دانه بازیافتی خرد شده و سبب می‌شود ریزدانه در مخلوط بتن افزایش یابد که خود باعث افت مقاومتی بتن می‌گردد. در مورد زمان عمل‌آوری با افزایش زمان عمل‌آوری افت مقاومت فشاری بیشتری مشاهده می‌شود. علت بروز این روند آن است که در سنین ابتدایی واکنش‌های هیدراتاسیون و فراورده‌های ناشی آن که ارتقای سختی بتن را سبب می‌گردد، هنوز کامل توسعه نیافته‌است. با گذشت زمان و توسعه واکنش‌های هیدراتاسیون و رسیدن ملات به مشخصات آرمانی خود اثر سنگ‌دانه بازیافتی نمود بیشتری پیدا می‌کند و در نتیجه با افزایش زمان عمل‌آوری افت مقاومت فشاری بیشتری مشاهده می‌شود. همان‌طورکه از نتایج پیداست کاهش مقاومت فشاری چشمگیر نیست و این را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که به علت وجود خلل و فرج زیاد و شکستگی‌های سنگ‌دانه بازیافتی، خمیر سیمان به درون حفرات نفوذ کرده و درگیری بهتری بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه بازیافتی بوجود می‌آورد. لذا افت زیاد مقاومت را تا حدی جبران می‌کند. این موضوع با نتایج لوپزگیار و همکارانش (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که تا جایگزینی ۵۰٪ ، درصد جایگزینی بر تغییرات مقاومت فشاری تأثیر خاصی ندارد [۲۳].

درصدکاهش مقاومت فشاری بتن بر اساس درصدهای مختلف درشت‌های بازیافتی برای حالت ۲۸ روزه نیز در شکل ۵ مشخص شده است. براساس شکل، معادله خطی ۱ رابطه‌ی مقاومت فشاری ۲۸روزه بتن بر اساس نرخ جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی را نشان می‌دهد. در این رابطه y درصد مقاومت فشاری بتن MPa و x نرخ جایگزینی سنگ‌دانه طبیعی می‌باشد.

$$y = -13.03x+29.073 \quad (۱)$$



شکل ۴- مقاومت فشاری ۷روزه بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی



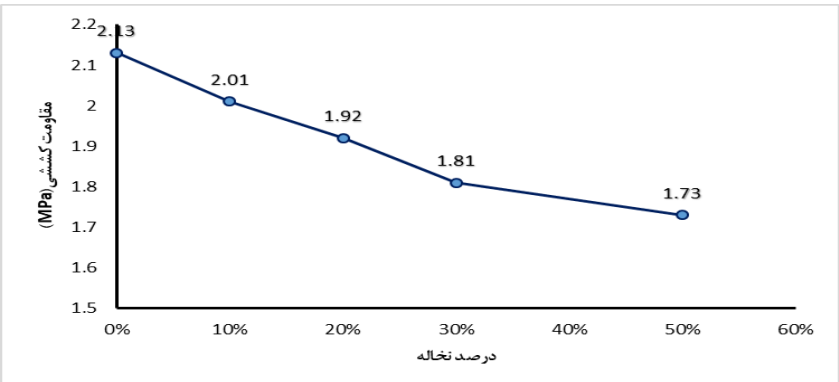
شکل ۵- مقاومت فشاری ۲۸روزه برحسب درصدهای مختلف جایگزینی

۵-۲- مقاومت کششی

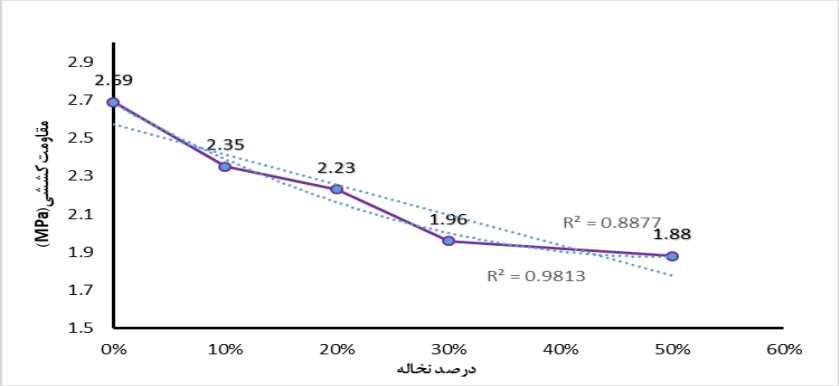
بعد از ریختن بتن در قالب و عمل‌آوری در سن ۷ و ۲۸ روز، آزمون مقاومت کششی مطابق با استاندارد ASTMC496-96 صورت گرفت. این آزمون بر روی استوانه با ابعاد ۱۵×۳۰ سانتیمتر که به صورت افقی تحت بارگذاری قرار می‌گیرد با سرعت بارگذاری بین ۵۱ تا ۱۰۲KN/Min انجام گردید. این روش آزمایش با اعمال نیروی فشاری قطری روی طول نمونه استوانه تا گسیختگی نمونه انجام شد. مشابه مقاومت فشاری، افزودن سنگ‌دانه بازیافتی باعث کاهش مقاومت کششی می‌شود و با افزایش درصد جایگزینی شیب افت بیشتر می‌شود. مطابق با شکل ۶ در حالت ۷ روزه، در درصد جایگزینی‌های مختلف مقاومت کششی بین ٪۹۴ تا ٪۸۱ مقدار اولیه بدست آمده است. با توجه به شکل ۷ در سن ۲۸ روزه، مقاومت کششی بین ٪۸۷ تا ٪۷۰ مقدار اولیه بدست آمده است. این نتایج با نتایج محققین قبلی نیز مطابقت دارد. مطابق آزمایش کشش مستقیم بتن صورت پذیرفته توسط آجدوکیویسز و همکارش (۲۰۰۲)، تفاوت مقاومت بیست و هشت روزه بتن بازیافتی و بتن شاهد در جایگزینی ٪۵۰ ، کم‌تر از ٪۱۰ بدست آمد [۱۶]. همچنین مشابه مقاومت فشاری، با افزایش مدت عمل‌آوری از ۷ تا ۲۸ روز افت مقاومت کششی ناشی از جایگزینی سنگ‌دانه‌های بازیافتی نمود بیشتری پیدا می‌کند و دلایلی که در مقاومت فشاری ذکر شد برای مقاومت کششی نیز قابل توجیه است.

درصدکاهش مقاومت کششی بتن بر اساس درصدهای مختلف درشت‌های بازیافتی برای حالت ۲۸ روزه نیز در شکل ۷ مشخص شده است. بر اساس شکل ۷، معادله منحنی ۲ رابطه‌ی مقاومت کششی ۲۸روزه بتن بر اساس نرخ جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی را نشان می‌دهد. در این رابطه y درصد مقاومت کششی بتن MPa و x نرخ جایگزینی سنگ‌دانه طبیعی می‌باشد.

$$y = 3.2769\,x^2 - 3.2542\,x + 2.6823 \qquad (۲)$$



شکل ۶- مقاومت کششی ۷روزه بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی



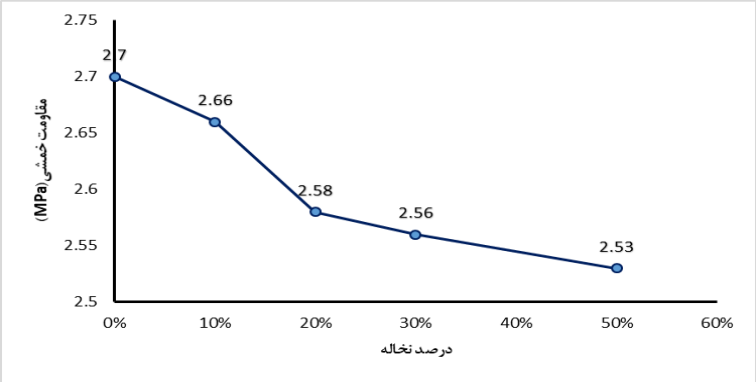
شکل ۷-مقاومت کششی۲۸ روزه بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی

۳-۵- مقاومت خمشی

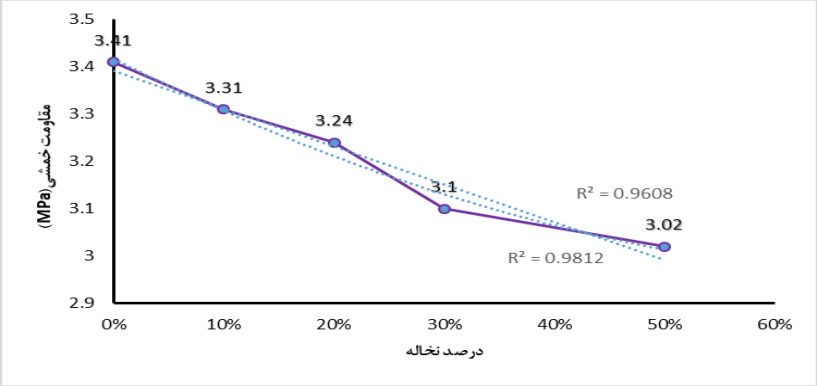
آزمون مقاومت خمشی چهار نقطه‌ای مطابق با استاندارد ASTMC1018 بر روی نمونه‌های تیری شکل با ابعاد ۵۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر انجام گشت. استفاده سنگ‌دانه بازیافتی باعث کاهش مقاومت خمشی نیز می‌شود و با افزایش درصد جایگزینی افت بیشتر می‌شود. نتایج آزمون در شکل‌های ۸ و ۹ آمده است. برای حالت هفت روزه در درصد جایگزینی‌های مختلف مقاومت خمشی بین ٪۹۸تا ٪۹۳ مقدار اولیه بدست آمد. در سن ۲۸ روزه نیز مقاومت خمشی بین ٪۹۷ تا ٪۸۸ مقدار اولیه بدست آمده است. مشابه به دو حالات قبلی با افزایش زمان عمل آوری افت مقاومت خمشی ناشی از جایگزینی سنگ‌دانه‌های بازیافتی بیشتر می‌شود و دلایلی که در دو مقاومت قبل ذکر شد برای مقاومت خمشی نیز قابل توجیه است. این نتایج با نتایج احمدی و همکارانش (۱۳۹۴) مغایرت دارد. ایشان اظهار داشتند که مقاومت خمشی بتن با درصدهای مختلف سنگ‌دانه بیش‌تر از بتن با سنگ‌دانه طبیعی می‌باشد و دلیل آن را چسبندگی بهتر مصالح بازیافتی با خمیر سیمان دانستند [۵].

درصدکاهش مقاومت خمشی بتن بر اساس درصدهای مختلف درشت‌های بازیافتی برای حالت ۲۸ روزه نیز در شکل ۹ مشخص شده است. این شکل، مقاومت خمشی ۲۸روزه بتن بر اساس نرخ جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی را نشان می‌دهد. در رابطه ۳، پارامتر y درصد مقاومت خمشی بتن MPa و x نرخ جایگزینی سنگ‌دانه طبیعی می‌باشد.

$$y = -0.8014x + 3.3923 \quad (۳)$$

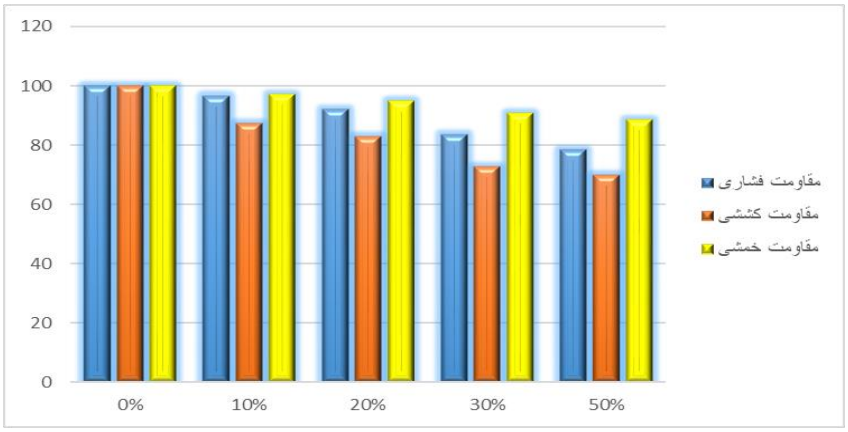


شکل ۸- مقاومت خمشی۷روزه بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی



شکل۹-مقاومت خمشی۲۸ روزه بر حسب درصدهای مختلف جایگزینی

شکل ۱۰ مقایسه بین درصد مقاومت فشاری، کششی و خمشی برای نرخ‌های مختلف جایگزینی در حالت ۲۸ روزه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است درصد مقاومت فشاری و خمشی کسب شده بیشتر از درصد مقاومت کششی متناظر آن است و جایگزینی مصالح بازیافتی اثر منفی‌تری بر روی مقاومت کششی بتن دارد. علت این تفاوت مکانیسم حاکم بر آزمایش مقاومت کششی است. در آزمایش مقاومت کششی به واسطه نوع بارگذاری در راستای ارتفاع استوانه افقی، فاز انتقالی بین سنگ‌دانه و ملات نقش تعیین کننده‌ای در مقاومت نمونه در مقابل دو نیم شدن دارد و چون فاز انتقالی به علت وجود یک ملات قدیمی چسبنده به سنگ‌دانه بازیافتی ضعیف‌ترین بخش بتن بازیافتی است منجر به افت مقاومت کششی بیشتر نسبت به مقاومت فشاری و خمشی می‌شود.



شکل ۱۰ - مقایسه درصد مقاومت فشاری، کششی و خمشی در حالت ۲۸ روزه

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور کاهش ضایعات ساختمانی و استفاده مجدد از این ضایعات به عنوان جایگزینی سنگ‌دانه درشت طبیعی در بتن، به بررسی خواص بتن‌های بازیافتی پرداخته شد و رفتار مکانیکی این بتن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اهم نتایج بدست آمده عبارت اند از:

۱- با افزایش درصد استفاده از درشت‌دانه بازیافتی در بتن، کاهش مقاومت فشاری مشاهده شده‌است. علت مقاومت فشاری کم‌تر قابلیت جذب آب بالای مصالح بازیافتی و چسبندگی ضعیف بین سنگ‌دانه بازیافتی و ملات قدیمی و خمیر سیمان است. عامل دیگر افزایش ریزدانه بتن، به دلیل سست بودن سنگ‌دانه بازیافتی و خرد شدن این سنگ‌دانه‌ها در حین اختلاط است. کاهش مقاومت فشاری برای جایگزینی ۵۰٪ از همه بیشتر بوده است.

۲- افت مقاومت فشاری زیاد نیست و این به علت تخلل زیاد و شکستگی مصالح بازیافتی است که باعث می‌شود خمیر سیمان به داخل حفرات نفوذ کند و درگیری بهتری بین خمیر سیمان و مصالح بازیافتی ایجاد شود.

۳- با افزایش سن عمل آوری افت مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی نمود بیشتری پیدا می‌کند. این امر به دلیل تکمیل فرایند گیرش در سن‌های بالاتر بتن است.

۴- در مورد مقاومت کششی و مقاومت خمشی نیز نتایج مشابه با مقاومت فشاری بدست آمد. هر چند به دلیل مکانیزم شکست آزمون مقاومت کششی افت بیشتری نسبت به مقاومت فشاری مشاهده شد.

۵- کاهش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی چشمگیر نبوده و استفاده از ضایعات ساختمانی به عنوان درشت دانه با تغییر حداقل در خواص امکان پذیر است. به نظر می‌رسد مهمترین معضل در این بتن‌ها جذب آب بالای مصالح است که می‌توان با بکار بردن تدابیری از جمله افزودن آهک یا خیساندن از قبل سنگ‌دانه بازیافتی تا حدودی جذب آب بالا را کاهش داد.

۶- به عنوان پژوهش‌های آتی می‌توان به بررسی نقش افزودنی‌ها در بتن بازیافتی اشاره کرد.

مراجع

[1] Poon, C. S., Kou, S. C. and Lam, L. (2002). Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks .*Construction and Building Materials* 16:281-289.

[2] Bazigar, M. (2015). *Tehran Environmental Protection Agency.*

[3] Sartipi por, F. (2015). Possibility of recycling materials in post-traumatic reconstruction (Concrete recycling case). *Housing and rural environment.*

[4] Khalil, Z.V.A., Moradi, N. (2016). Laboratory study of the effect of nanoclay and fly ash on compressive strength of sand and cement mortar. *Scientific and Research Journal of Structural Engineering and Construction* 1: 38-48.

[5] Ahmadi, M., Farzin, S., Hassani, A., Motamedi, M. (2017). Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. *Construction and Building Materials* 144: 392–398.

[6] Lennon M. (2005).Recycling Construction and Demolition Wastes. *A Guide for Architect and Contractors. The Institution Recycling Network*. 57.

[7] Howard, K. (2009). The Cement Sustainability Initiatve .*World Business Counsil for Sustainable Development.*

[8] Silva, R.V., de Brito, J., Dhir, R.K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials* 65: 201–217.

[9] Marinkovic´, S., Radonjanin, V., Malešev, M., Ignjatovic´, I. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management* 30:2255–2264.

[10] Dabagh, H., Mohamaddost, H. (2017). The effect of different geometry fibers on mechanical properties of concrete structural containing Scoria seed. *Scientific and Research Journal of Structural Engineering and Construction.*1: 25-17.

[11] Bravo, M., De Brito, J., Pontes, J., Evangelista, L. (2015). Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of Cleaner Production* 99: 59-74.

[12] Evangelista, L., de Brito, J. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cem Concr Compos*. 29: 397–401.

[13] Khatib, JM., (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cem Concr Res*. 35: 763–9.

[14] Zoran, J., Grdic, G., Despotovic, M. (2010). Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate, Facultyof civil Engineering and Architecture of Nis,Serbi. *Construction and Building Materials*.24: 1129-1133.

[15] Crentsil Sagoe, K., Brown, T., Taylor, A. (2001). Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cem. Concr. Res*. 31: 707–712.

[16] Ajdukiewicz, A., Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cem. Concr. Compos*. 24: 269–279.

[17] McNeil, K., Kang, T.H.-K. (2013). Recycled concrete aggregates: a review. *Int. J. Concr. Struct. Mater*. 7: 61–69.

[18] Carneiro, C.A., Lima, M.B, Leite, R.D.T. (2014). Compressive stress–strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete. *Cement Concr.Compos*. 46 :886–893

[19] Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cem Concr Res*. 37: 735–42.

[20] Shirani, M., Akbari, M. (2017). Evaluation of mechanical properties of fibers recycled concrete: Impact of dimensions and amount of recycled aggregates, type and volume of fibers. . *Scientific and Research Journal of Structural Engineering and Construction*. 4: 138-150.

[21] Rao, A., Kumar, N., Sudhir M. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling* 50: 71–81.

[22] Choi, W.C. and Yun, W.C, (2012). Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading. *Engineering Structure*, Vol. 41: 285–293.

[23] López-Gayarre, F., López-Colina, C., Serrano-López, MA. García Taengua, E., Lópe Martínez,A (2011). Assessment of properties of recycled concrete by means of a highly fractioned factorial design of experiment. *Constr. Build. Mater*. 25: 3802–3809.

[24] Ahmadi, M., Hasani, l., Kermani, M. (2015). The role of metal recycled metal tires on concrete containing recycled aggregate from construction waste. *Concrete Research of Ghilan*. 2: 57-68.