فصلنامه رویکردهای نوین در تحقیقات علوم پایه، فنی و مهندسی
سال چهارم، شماره ۱۲،بهار ۱۴۰۰
ISSN: ۲٦٤٥-٥٤٣٩
www.jonarbset.ir

پیشنهاد استفاده از دور ریز کارخانه سنگبری به عنوان مصالح بازیافتی در بتن از لحاظ عملکردی و بررسی اقتصاد طرح و حفظ محیط زیست

محمد صیادی [۱،*]، محسن قمی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، ایران (نویسنده مسئول)

[۲] دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، ایران

چکیده

طی سالیان گذشته مطالعات وسیعی برروی بتن های حاوی خاکستر پوسته برنج و سنگدانه بازیافتی انجام گردیده که نشانگر مزایای آن بتن ها بوده است. مقایسه مصالح بتن بازیافتی از انباشت‌های نخاله‌های کارخانه سنگ‌بری جهت بکارگیری در مخلوط‌های آزمایشگاهی وجه تمایز این مطالعه با مطالعات پیشین در این موضوع است. در کنار آزمایشات مکانیکی و بررسی عملکرد بتن بازیافتی و مقایسه بتن معمولی، ارزیابی اقتصاد طرح و حفظ محیط زیست نیز بررسی میگردد. هدف اصلی این پژوهش، دستیابی و معرفی بهینه‌ترین شرایط استفاده و بکارگیری مصالح بازیافتی سنگ‌بری در تولید بتن است. ارزیابی و مقایسه میزان اثرپذیری هر یک از پارامترهای بتن سخت شده از قبیل خواص مکانیکی و خواص مهندسی (مقاومت فشاری و کششی) در نتیجه بکارگیری مقادیر جایگزینی سنگ‌دانه‌های بازیافتی، همچنین حفظ منابع محیط زیست که در بسیاری از صنایع تجدید ناپذیر و یا در بازه‌های زمانی بسیار بلند تجدید می‌گردد، کاهش پسماندهای ساختمانی و آلودگی محیط زیست، ایجاد اشتغال و منافع اقتصادی از دیگر اهدافی است که در این تحقیق دنبال می شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد مکانیکی، خاکستر پوسته‌ی برنج، میکروسیلیس، سنگ دانه بازیافتی، مقاومت فشاری و کششی بتن.

۱- مقدمه

بتن یکی از رایج‌ترین مصالح ساخت و ساز در دنیا می‌باشد که در مقادیر انبوهی تولید می‌گردد و یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی بتن سیمان پرتلند می‌باشد از این رو مقدار تولید سیمان در دنیا افزایش چشمگیری پیدا کرده است در هنگام تولید یک سیمان حدود یک تن گاز دی اکسیدکربن به اتمسفر منتشر می‌شود. به همین دلیل نیازمند بررسی مواد جایگزینی که سازگار با محیط زیست هستند به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در ساخت بتن می‌باشد. این مواد با جانشینی سیمان سبب کاهش تولید سیمان و در نتیجه کاهش انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر می‌شوند[۱]. این مواد مکمل سیمانی نام دارند. خاکستر پوسته‌ی برنج و سنگ دانه های بازیافتی از جمله مواد مکمل سیمانی می‌باشند که جایگزین بخشی ازسیمان و سنگ-دانه می‌شوند و دارای مزایای زیست محیطی زیادی هم هستند [۲].

سنگدانه‌های بازیافتی بتن را معمولاً می‌توان هم به‌عنوان جایگزین بخشی از ریزدانه یا درشت‌دانه و هم جایگزین کل ریزدانه یا درشت‌دانه یا هر دو در نظر گرفت. سنگدانه‌های ناشی از بازیابی بتن عمدتاً جذب آب بالاتر و مقاومت کمتری نسبت به سنگ دانه‌های طبیعی دارند چرا که مقاومت ملات چسبیده از مقاومت سنگدانه کمتر می‌باشد از طرفی ملات موجود در روی سنگ دانه‌های بازیافتی به سبب تخلخل بیشتر نسبت به سنگ دانه، دارای جذب آب بیشتری می‌باشد [۲].

Ajdukiewicz و Alina در سال ۲۰۰۲ [۳]، به بررسی اثر سنگ‌دانه‌های بازیافتی بر روی بتن با مقاومت بالا پرداختند. در این تحقیق خواص مکانیکی بتن بازیافتی با بتن با مقاومت بالا ساخته شده از سنگ‌دانه‌های طبیعی مورد مقایسه قرار گرفته است و طی یک سری از آزمایش از بتن‌های با عمر ۲ تا ۷ سال با مقاومت متوسط و بالا استفاده گردید که حداقل سه ماه قبل از استفاده مجدد خرد شده بودند.

در تحقیقی که توسط Ehsani در سال ۲۰۱۷ [٤] انجام شد نیز با وجود استفاده از مرغوب ترین سنگ‌دانه‌های آجری بازیافتی در ساخت بتن نتایج آزمایش مشخص کرد که بتن حاصل از سنگ‌دانه‌های آجری بازیافتی از کیفیت پایین تری نسبت به بتن ساخته شده با سنگ‌دانه‌های سنگی و طبیعی بود است. و پیشنهاد شد که بتن حاصل از سنگ‌دانه‌های آجری جهت استفاده از دیوارهایی که بار کمی را بروی خود تحمل می‌کنند یا برای دیوارهای جداکننده فضا همانند پارتیشن استفاده شود.

D’angelo و همکاران در سال ۲۰۱۱ [٥]، اثرات فوق پلاستیسیته کنندگی و هولاریتی محلول قلیایی هیدروکسید سدیم را بر کارایی، ریز ساختار و مقاومت فشاری بتن خود متراکم ژئوپلیمر (SCGC)مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که کارایی و مقاومت فشاری با افزایش دوز فوق پلاستیسیته کننده بهبود یافته است.

Vejmelková و همکارانش در سال۲۰۱۵ [٦] ، به تجزیه و تحلیل خواص مهندسی بتن حاوی زئولیت طبیعی به عنوان مواد مضاعف پرداختند و خواص مکانیکی، فیزیکی و دوام بتن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که ۹۵ درصد زئولیت در مخلوط بتن مناسب‌ترین مقدار است.

Hamad در سال ۲۰۱۷ [۷] با علاقه اولیه و اجتناب ناپذیر به استفاده از جایگزین های جزئی یا محصولات جانبی به عنوان مواد مکمل به طور عمده توسط اجرای کنترل آلودگی هوا حاصل از صنعت تولید سیمان منجر شد. افزایش پوسته محصول جانبی گرفته شده از فرآیند آسیاب برنج، با حدود نسبت ۲۰۰ کیلوگرم در یک تن برنج، حتی در دمای بالا آن را به ۴۰ کیلوگرم کاهش می دهد. این مقاله مزایای حاصل از نسبت های مختلف خاکستر پوسته برنج(RHA) بر شاخص های بتن را از طریق ۵ طرح مخلوط با نسبت ۵ ،۱۰ ،۱۵ ،۲۰ و ۲۵ ٪ RHA به وزن سیمان علاوه بر ۱۰٪ میکروسیلیکا(MS) با مخلوط مرجع با ۱۰۰ ٪سیمان پرتلند مقایسه شود. نتایج تست نشان داد که رابطه مثبت بین ۱۵ ٪جایگزینی RHA با افزایش

مقاومت فشاری حدود ۲۰ ٪سطح مطلوب توانایی ها و خواص دوام به طور کلی با اضافه شدن به ۲۰ ٪افزایش می یابد، فراتر از آن با کاهش اندک پارامترهای قدرت در حدود ۵،۴٪همراه است. نتایج مشابهی برای نسبت جذب آب به احتمال زیاد ناخوشایند است. نفوذ یون کلرید با افزایش میزان جایگزینی سیمان در حدود ۲۵ درصد نسبت به مقادیر اولیه (حدود کمتر از یک پنجم) افزایش می‌یابد.

Zareei و همکاران در سال۲۰۱۶ [۸]، از لحاظ آزمایشی به بررسی اثرات Nano-Sio2 بر ویژگی های خمیر سفت شده سیمان پرداختند. جو و همکارانش نیز به مطالعه ی اثر Nano-Sio2 بر مشخصه‌ی ملات‌های سیمانی پرداختند.

Mohamed در سال ۲۰۱۷ [۹]، در پژوهشی، تلاش‌ها و وضعیت فعلی و تاثیر نانو سیلیکا بر خواص ملات سیمان برای درک بهتر مواد و کاربردهای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله همچنین تاثیر الیاف S- Glass بر خواص مکانیکی بتن را نشان می دهد.

در پژوهش حاضر، با استفاده از جایگزین کردن خاکستر پوسته برنج به جای سیمان در تولید بتن سبب کاهش هزینه‌های تولید در ساخت بتن می‌شود به دلیل اینکه خاکستر پوسته برنج به طور طبیعی دارای سیلیس و خاصیت پوزولانی می‌باشد. از طرفی دیگر خاکستر پوسته برنج به دلیل دارا بودن سیلیس طبیعی از مضراتی که پوزولانی با سیلیس مصنوعی ایجاد می‌کند در امان می‌باشد و در واقع این احتمال را میرود که اگر از خاکستر استفاده میشود نتیجه‌ی مطلوب‌تری نسبت به سیمان در بتن گرفته شود. در ادامه با استفاده از سنگ‌دانه‌های بازیافتی به عنوان مصالح مصرفی از قبیل (شن، ماسه) در بتن درصد چشم‌گیری از حجم مصالح مصرفی (شن، ماسه) در بتن کاهش پیدا می‌کند که سبب کاهش هزینه‌ی ساخت بتن می‌شود کما این که از یک نوع بازیافت در ساخت بتن استفاده کردیم که ممکن است وارد محیط زیست شده و باعث آلودگی و تخریب آن شود.

۲- روش کار آزمایشگاهی

مواد و مصالح مصرفی جهت انجام آزمایش‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۲-۱- سیمان

سیمان مصرفی در تمام آزمایش‌ها سیمان پرتلند ضد سولفات متوسط (تیپ دو) از محصول‌های کارخانه بجنورد ایران می‌باشد. طبق آزمایش‌های انجام شده، تمام مشخصات سیمان مصرفی کاملا مطابق با استانداردهای لازم می‌باشد. آزمایش‌های مقدماتی سیمان نیز که در آزمایشگاه تکنولوژی بتن قابل انجام می‌باشند بر روی سیمان انجام شده.

جدول ۱- مشخصات سیمان مصرفی

نوع آزمایش	نتیجه	شماره آزمایش در استاندارد مربوطه
وزن مخصوص سیمان	۱۵/۳□□/□m^3	ASTM-C188-89
زمان گیرش اولیه سیمان	پس از ۳ ساعت	ASTM-C191-82
غلظت نرمال سیمان	۰/۲۶	ASTM-C187-86

۲-۲- آب

آب مصرفی در ساخت بتن از آب شرب شهرستان چالوس ایران می‌باشد، که با توجه به مصرف آشامیدنی آن برای ساختن بتن بدون مشکل است. در ضمن مقدار مصرف بهینه آب در این بتن $\square/\square\square$ ۳/۴ می‌باشد.

۲-۳- سنگدانه

شن مورد استفاده در اینپژوهش از نوع سنگ شکسته کارخانه‌ای می‌باشد. حداکثر ۲۱میلیمتر دارای جذب آب ۱/۰۳درصد و وزن مخصوص ۲۷۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

جدول ۲- جدول دانه بندی شن

شماره الک	وزن پر	وزن خالی	وزن خالص
$\frac{1}{\frac{1}{2}}$	۳۸۴/۵۲	۳۸۴/۵۲	۰
۱	۴۷۱/۴۷	۴۷۱/۴۷	۰
$\frac{3}{4}$	۷۱۳/۱۴	۴۴۵	۲۶۸/۱۴
$\frac{1}{2}$	۸۵۳/۹۶	۴۶۲/۰۲	۴۴۵/۱۱
$\frac{3}{8}$	۵۸۹/۲۳	۴۰۸/۸۵	۱۸۰/۳۸
۴	۶۱۲/۴۷	۴۴۵/۱۳	۱۶۷/۳۵
ظرف آخر	۳۱۴/۲۵	۲۰۸/۸۵	۱۰۵/۴۰

۲-۴- ماسه

ماسه مورد استفاده نیز از بستر رودخانه تهیه شده و حداکثر اندازه دانه‌های آن $\square\square$ ۴/۸۰ بوده، دارای جذب آب ۵/۱۲ درصد و وزن مخصوص ۲۵۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

جدول ۳- جدول دانه بندی ماسه.

شماره الک	وزن پر	وزن خالی	وزن خالص
۸	۱۱۲۱/۱۲	451/45gr	۶۶۹/۶۷ gr
۱۶	۶۱۲/۲۳ gr	316/16gr	۲۹۶/۰۷ gr
۳۰	۴۲۳/۴۳ gr	292/38gr	۳۳۱/۰۵ gr
۵۰	۴۱۲/۲۵ gr	288gr	۱۲۴/۲۵ gr
۱۰۰	۲۹۸/۸۹ gr	254/82gr	۴۴/۰۷ gr
۲۰۰	۳۰۰/۱۲ gr	255/93gr	۴۴/۱۹ gr
ظرف آخر	۲۶۱/۱۰ gr	208/91gr	۵۲/۱۹□□

مدول نرمی، عدد منفردی است که از نتایج آزمایش دانه‌بندی ماسه به دست می‌آید و برابر است با مجموع درصدهای تجمعی مانده روی الک شماره ۱۰۰ و الک‌های بالای آن، تقسیم بر صد و نشان دهنده متوسط اندازه دانه‌های ماسه است. مدول نرمی کم نشان دهنده ریزدانه بودن ماسه و مدول نرمی زیاد نشان دهنده درشت دانه بودن آن است [۱۰]. استاندارد ASTM C33 تصریح کرده است که مدول نرمی ماسه مورد استفاده برای ساخت بتن باید بین ۱/۳ تا ۳/۲ باشد.

۵-۲- خاکستر پوسته برنج و میکروسیلیس

مشخصات خاکستر پوسته شلتوک برنج مصرفی در جدول ۴ آمده است. همچنین تصویری از خاکستر پوسته شلتوک برنج در شکل ۱ و میکروسیلیس مصرفی در شکل ۲ آمده است.

جدول ۴- مشخصات خاکستر پوسته شلتوک برنج مصرفی

ساختار	پودر
رنگ	قهوه ای
چگالی	۲/۳۰ gr/cm^3
میزان مصرف بهینه	۱۲ و ۱۵ درصد وزن سیمان مصرفی

میکروسیلیس یک محصول فرعی حاصل از کوره های الکتریکی از نوع غوطه ور در جریان تولید سیلیسیم یا آلیاژهای سیلیسیم، بخصوص آلیژ فروسیلیس است. ذرات میکروسیلیس معمولا کروی شکل و با قطر متوسطی حدود ۰/۱تا۰/۲ میکرون به حالت غیر کریستاله هستند. میزان سیلیس آن ۸۵٪ تا ۹۵٪است، که بستگی به نوع محصول و کارخانه سیلیس دارد. هدف اصلی کاربرد میکروسیلیس در ابتدا به عنوان جایگزین نمودن بخشی از سیمان با این مواد زائد برای کاهش هزینه سیمان

مصرفی بوده ولی امروزه با افزایش قیمت میکروسیلیس در اکثر کشورهای جهان کاربرد فوق دیگر مقرون به صرفه نیست، بنابر این میکروسیلیس به عنوان یک ماده که جایگزین بخشی از سیمان می‌شود، جهت به دست آورد خواص مورد نیاز به مخلوط بتن اضافه می‌گردد.

میکروسیلیس بکار رفته در این تحقیق تولید کارخانه جات فروسیلیس ایران بوده که دارای توده ویژه ۲/۲□□/□□^{۳} و سطح بلین ۲/۲۰m^2/gr می‌باشد و آزمایش شیمیایی آن در جدول ۵ و همچنین مشخصات میکروسیلیس در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول۵- مشخصات شیمیایی میکروسیلیس مورد استفاده در این پایان نامه.

میکروسیلیس	ترکیبات شیمیایی
۹۴/۷۷	$SiO_۲$
۰/۸۷	$Fe_۲O_۳$
۱/۳۲	$Al_۲O_۳$
۰/۴۹	CaO
۰/۹۷	MgO
۰/۳۱	$Na_۲O$
۱/۰۱	$K_۲O$
۰/۱۶	$P_۲O$
۰/۱	$SO_۳$

جدول۶- مشخصات میکروسیلیس مصرفی

ساختار	کروی و غیر کریستاله
رنگ	خاکستری مایل به سفید
چگالی	۲/۱۲□□/□□^{۳}

PH	۷
میزان مصرفی	۱۲درصد وزن سیمان
دانه بندی	۰/۰۵تا ۰/۱۵ میکرون
درصد بهینه	۱۱درصد وزن سیمان

شکل ۲- میکروسیلیس مصرفی.

شکل ۱- خاکستر پوسته شلتوک برنج مصرفی.

۶-۲- نخاله‌های کارخانه سنگبری

نخاله‌های کارخانه سنگبری بعد از انتقال به آزمایشگاه قطعات و تکه های بزرگ آن به صورت دستی تفکیک شده و همچنین تکه‌های ریزتر از ۲۵میلی‌متر با الک نمودن روی الک یک اینچ جداسازی و تفکیک شده است. سنگ دانه های بازیافتی طبق برنامه از پیش تعیین شده قرار است در چند طرح اختلاط مختلف جایگزین درصدهایی از شن در بتن قرار گیرند. بنابراین این لازم است دانه بندی اسن سنگدانه های طبق جدول ۷ بدست آید.

جدول۷- جدول دانه بندی سنگدانه های بازیافتی

خالص	خالی	پر	شماره الک
۰	۳۸۴/۵۲	۳۸۴/۵۲	$\frac{1}{2}$
۴۵.۶۹/۴۲	۴۷۱/۴۷	۵۱۷/۱۶	۱

۷۶۹/۹۸	۴۴۵	۱۲۱۴/۹۸	۳/۴
۱۵۱/۱۲	۴۶۲/۰۲	۶۱۳/۱۴	۱/۲
۹۰/۴۳	۴۰۸/۸۵	۴۹۸/۸۶	۳/۸
۱۹/۹۹	۴۴۵/۱۳	۴۶۵/۱۲	۴
۹۱/۲۹	۲۰۸/۸۵	۳۰۰/۱۴	ظرف آخر

۳- طرح اختلاط

طبق برنامه از پیش تعیین شده، ابتدا می بایست یک طرح اختلاط برای بتن اولیه (نمونه شاهد) در نظر گرفت. جدول ۸ طرح اختلاط نمونه شاهد نشان داده شده است.

جدول۸- طرح اختلاط بتن شاهد.

شن	ماسه	سیمان	آب	مقاومت بتن
۱۱۴۰□□/□^{3}	۸۲۰□□/□^{3}	۳۵۰□□/□^{3}	۱۷۸ kg/m^3	۲۵۰ Kg/cm^2

لازم به توضیح است مقادیر ذکر شده در جدول ۳۸ برای یک متر مکعب بتن در نظر گرفته شده است و برای درصد حجمی مورد نظر در این آزمایش می بایست نسبتی از آن در نظر گرفته شود. شکل ۳ نمونه ساخته شده طرح اختلاط شاهد را نشان می دهد.

شکل ۳- ساخت نمونه شاهد.

پس از ساخت نمونه شاهد، در این گام به دنبال بدست آوردن درصد ایده آل خاکستر پوسته برنج و یا میکروسیلیس هستیم. در در نمونه مختلف یکی با ۱۲ درصد و دیگری با ۱۵ درصد جایگزین سیمان، دو نمونه مختلف بتن برای خاکستر پوسته برنج و همچنین ساخته شده است که نتیجتا درصد ایده آل بدست آید. جدول ۹ طرح اختلاط نمونه های حاوی خاکستر پوسته برنج و میکروسیلیس را نشان میدهد. لازم به توضیح است به دلیل اضافه کردن خاکستر و یا میکروسیلیس به طرح، می بایست درصدی روان کننده به طرح ها اضافه گردد.

جدول ۹- طرح اختلاط بتن حاوی خاکستر پوسته برنج یا میکروسیلیس.

نمونه	آب kg/m^3	روان کننده kg/m^3	خاکستر یا میکروسیلیس kg/m^3	سیمان kg/m^3	ماسه kg/m^3	شن kg/m^3
۱۲٪	۱۷۵,۳۳	۲,۶۷	۴۲	۳۰۸	۸۲۰	۱۱۴۰
٪ ۱۵	۱۷۵.۳۳	۲,۶۷	۵۲,۵	۲۹۷.۵	۸۲۰	۱۱۴۰

لازم به توضیح است مقادیر ذکر شده در جدول ۹ برای یک متر مکعب بتن در نظر گرفته شده است و برای حجم مورد نظر در این آزمایش می بایست نسبتی از آن در نظر گرفته شود. شکل ۴ نمونه ساخته شده طرح اختلاط خاکستر پوسته برنج و میکروسیلیس را نشان می دهد.

شکل ۴- ساخت نمونه با خاکستر پوسته برنج و میکروسیلیس.

پس از انجام آزمایش بر روی نمونه های حاوی خاکستر پوسته برنج و میکروسیلیس که تفسیر آن در جدول ۱۰ ذکر گردیده، نمونه دارای ۱۲ درصد پوسته برنج، مقاومت و عملکرد بهتری نسبت به نمونه های دیگر دارد. بنابراین این درصد ایده آل پوسته برنج در این پایان نامه، ۱۲ میباشد و نتیجتاً طرح اختلاط متناظر آن، برای بتن بازیافتی باسنگدانه درنظر گرفته خواهد شد. در ادامه، دو نوع طرح اختلاط مختلف برای بتن دارای پوسته برنج ۱۲٪، و سنگدانه بازیافتی در نظر گرفته شده است، اولی شامل

۳۰ درصد و طرح دومی شامل ۴۰ درصد سنگدانه بازیافتی جایگزین شن در نظر گرفته شده است. هدف انتخاب طرح اختلاط ایده آل بتن دو نوع مختلف درصد سنگدانه بازیافتی بر اساس نتایج آزمایشگاهی برای بتن حاوی پوسته برنج مباشد.

جدول ۱۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه های حاوی پوسته برنج و میکروسیلیس.

عنوان طرح	۷روزه Kg/cm^2	۲۸روز Kg/cm^2
٪۱۲خاکستر	۲۰۹	۳۵۳
٪۱۵خاکستر	۱۸۹	۲۶۳
٪۱۲میکروسیلیس	۲۱۶	۳۱۰
٪۱۵میکروسیلیس	۲۰۵	۲۵۶

شکل ۵- نمونه ای از بتن با خاکستر پوسته برنج حاوی سنگدانه بازیافتی.

جدول ۱۱ طرح اختلاط نمونه های حاوی خاکستر پوسته برنج با دو درصد مختلف سنگدانه بازیافتی را نشان میدهد.

جدول ۱۱- طرح اختلاط بتن حاوی خاکستر پوسته برنج و سنگدانه بازیافتی جایگزین شن.

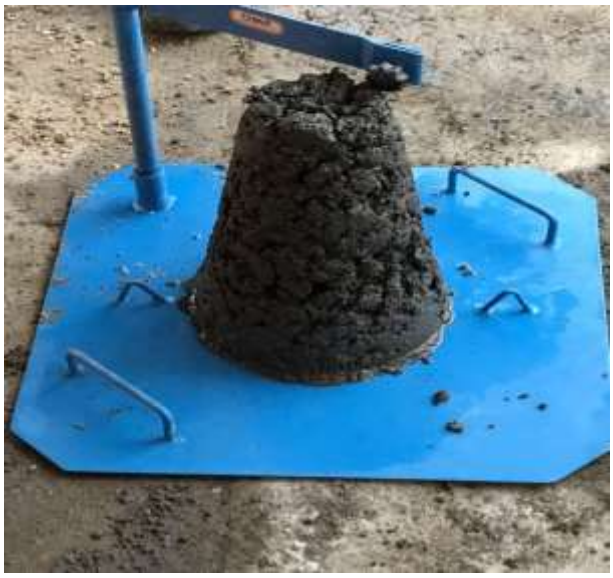
سنگدانه بازیافتی kg/m^3	شن kg/m^3	**ماسه** kg/m^3	**سیمان** kg/m^3	**خاکستر** kg/m^3	**روان کننده** kg/m^3	**آب** kg/m^3	نمونه سنگدانه بازیافتی
۳۴۲	۷۹۸	۸۲۰	۳۰۸	۴۲	۲,۶۷	۱۷۵,۳۳	۳۰٪
۴۵۶	۶۸۴	۸۲۰	۳۰۸	۴۲	۲,۶۷	۱۷۵.۳۳	٪ ۴۰

هدف نهایی این تحقیق، پس از ایده آل سازی نمونه شاهد با خاکستر پوسته برنج، بررسی درصد مناسب جایگزین کردن سنگدانه های بازیافتی کارخانجات سنگبری بجای شن می باشد. در ادامه با ارائه نتایج آزمایشگاهی، بهترین درصد سنگدانه بازیافتی ارائه خواهد شد.

۴- آزمایش اسلامپ

بر طبق آیین نامهACI116-R90 کارایی عبارتست ازخاصیتی از بتن یا ملات تازه مخلوط شده که تعیین کننده سهولت و یکنواختی در مخلوط نمودن، درجا ریختن، متراکم کردن و یا پرداخت نمودن سطح آن است. بر طبق استاندارد ASTM C125کارایی، خواص تعیین کننده کار لازم برای جابجایی بتن تازه مخلوط شده با حداقل کاهش در یکنواختی آن است.

برای انجام آزمایش اسلامپ بتن تازه را در سه لایه داخل مخروط اسلامپ ریخته و هر لایه را با استفاده از تخماق ۲۵ مرتبه میکوبیم به طوری که ارتفاع هر لایه پس از تراکم تقریبا یک سوم ارتفاع قالب باشد و چنانچه پس از متراکم ساختن لایه فوقانی سطح بتن پایین‌تر از لبه‌های قالب قرار گیرد، مجددا مقداری بتن روی آن ریخته و با میله توسط حرکات غلتکی سطح آن را صاف می‌کنیم. عمل بلند کردن قالب باید تقریبا در طی پنج ثانیه و با یک حرکت مداوم رو به بالا بدون آن که حرکت جانبی یا چرخشی به قالب یا بتن اعمال شود، صورت گیرد. جدول ۱۲، نتایج آزمایش اسلامپ را نشان میدهد.



شکل۶- انجام آزمایش اسلامپ.

جدول ۱۲- آزمایش اسلامپ.

آزمایش	٪۳۰سنگ‌دانه بازیافتی و خاکستر پوسته‌ی برنج	٪۴۰سنگ‌دانه بازیافتی و خاکستر پوسته‌ی برنج
اسلامپ	۹	۱۰

همانطورکه در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود نتایج آزمایش اسلامپ در محدوده ۷ تا ۱۰ سانتیمتر قرار دارد که با توجه به عیار سیمان و نسبت‌های آب به سیمان به کار رفته قابل قبول می‌باشد.

۵- آزمایش‌های بتن سخت شده

۵-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نمونه‌ها قبل از آزمایش از حوضچه خارج شده و سطح آنها خشک می‌شود. سپس نمونه های مکعبی مورد آزمایش از جهتی که سطح نمونه در تماس با قالب مکعبی بوده، بین دو صفحه دستگاه (شکل ۷) قرار داده می شود و نیروی قائمی با سرعت ثابت توسط دستگاه به نمونه مکعبی اعمال می‌شود تا مکعب در اثر نیروی فشاری دچار گسیختگی شود و بیشترین بار اعمال شده در زمان گسیختگی ثبت می‌شود و از تقسیم این نیرو بر سطح مکعب، مقاومت فشاری نمونه حاصل می‌شود. جدول ۱۳ میانگین مقاومت فشاری نمونه ها را نشان میدهد.

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (1)$$

σ= تنش فشاری

P= بار اعمال شده به نمونه

A= مساحت یک وجه مکعب

شکل ۳-۷: انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن.

جدول ۱۳- میانگین مقاومت فشاری نمونه ها

عنوان طرح	۷روزه (Kg/Cm^2)	۲۸روزه (Kg/Cm^2)
٪۳۰سنگ‌دانه بازیافتی	۲۰۱	۲۵۳
٪۴۰سنگ‌دانه بازیافتی	۲۰۶	۲۸۲

با توجه به جدول ۱۳، میتوان مشاهده کرد که چه در میانگین مقاومت ۷ روزه و چه در میانگین مقاومت ۲۸ روزه، بتن دارای درصد ایده آل شده پوسته برنج حاوی ۴۰ درصد سنگ دانه بازیافتی نتایج به مراتب بهتری نیست به نمونه حاوی ۳۰ دصد سنگدانه بازیافتی دارد.

۲-۵- آزمایش مقاومت کششی

آزمایش مقاومت کششی به روش دو نیم نمودن نمونه‌ی استوانه‌ای بدین صورت انجام می گیرد که نیروی فشاری از ناحیه سطح جانبی استوانه و به صورت یکنواخت روی نمونه که به صورت افقی بین دو صفحه دستگاه آزمایش قرار گرفته اعمال می-شود تا اینکه گسیختگی در طول نمونه اتفاق بیفتد و بیشترین بار اعمال شده در زمان گسیختگی ثبت می‌گردد. این آزمایش در سن۷ و ۲۸ روز و بر روی دو نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و مطابق استاندارد(۲۸)C496 ASTM انجام شد. مقدار تنش کششی از ۲ رابطه به دست می آید. جدول ۱۴، مقاومت کششی نمونه‌ها را نشان میدهد.

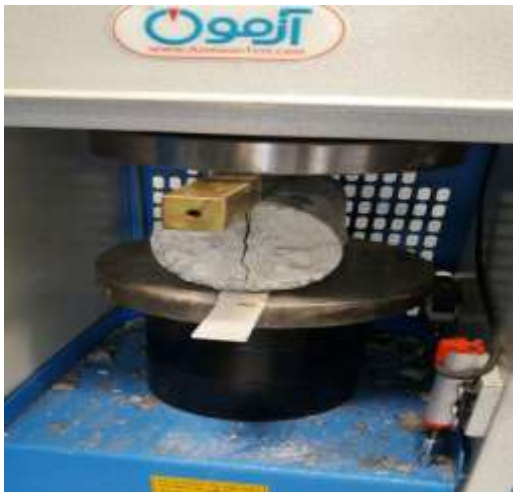
$$F = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot D} \qquad (2)$$

D: قطر نمونه بر حسب cm

L: طول نمونه بر حسبcm

P: بار اعمال شده به نمونهkg

F: مقاومت کششی دو نیم شده بر حسب kg/cm^2



شکل ۸- انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن.

جدول ۱۴- مقاومت کششی نمونه‌ها.

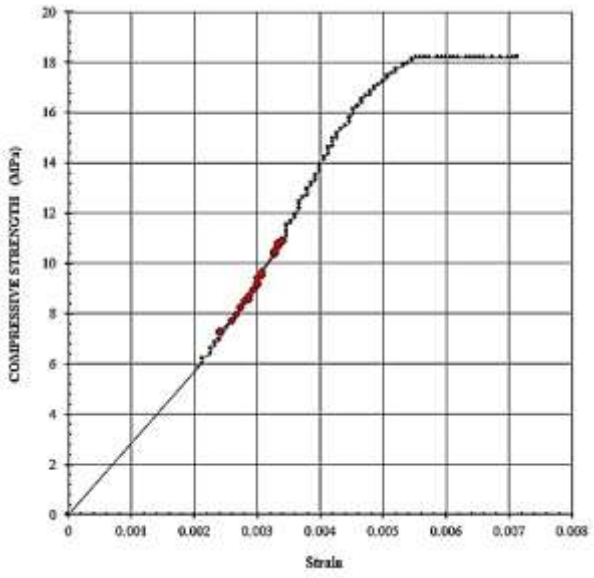
مقاومت کششی بر حسب kg/cm^2	
۲۸روز	عنوان طرح
۳۷	۳۰٪
۴۳	۴۰٪

با توجه به آزمایش مقاومت کششی جدول ۱۴ که نتیجه آزمایش را نشان می‌دهد مشخص می‌شود که مقاومت کششی ۴۰٪ بیشتر از ۳۰٪ می‌باشد.

۳-۵- آزمایش مدول الاستیسیته

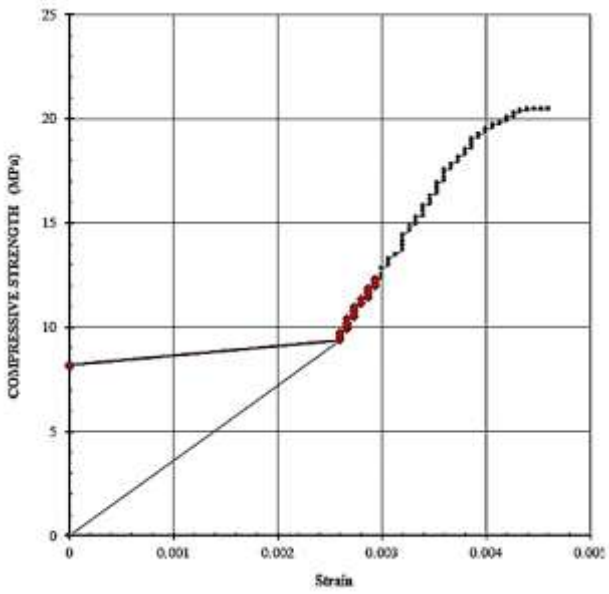
یکی دیگر از آزمایشات مهم در تعیین خصوصیات مکانیکی بتن سخت شده آزمایش مدول الاستیسیته است. برای انجام این آزمایش با نصب کرنش سنج با دقت بالا بر روی نمونه‌های استوانه ای با قطر ۱۵و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و قرار دادن نمونه به صورت قائم بین صفحات بارگذاری، کرنش نمونه استوانه‌ای در اثر نیروهای مختلف تعیین می‌شود. بر اساس استاندارد ASTM C ۴۶۹ مدول الاستیسیته به عنوان نسبت مقادیر تنش به کرنش برای بتن سخت شده در هر سنی و هر شرایط عمل‌آوری تعریف می‌شود. مقادیر مدول به‌دست آمده از این طریق معمولا کمتر از مقادیر مدول به دست آمده تحت اعمال بار سریع مانند بارهای دینامیکی می‌باشد. این آزمایش برای هر طرح اختلاط در سن ۲۸روز و بر روی دو نمونه انجام شد.

نتایج آزمون مدول الاستیسیته استاتیکی در شکل های ۹ و ۱۰ آورده شده است. مدول الاستیسیته بتن، با تغییر و افزایش مقاومت، افزایش می‌یابد، و با توجه به اینکه مدول الاستیسیته بتن تحت تأثیر مدول الاستیسیته اجزای تشکیل دهنده آن ازجمله سنگ‌دانه قرار دارد، بنابراین افزایش مدول الاستیسیته با تغییر جنس سنگدانه که با کاهش تخلخل خمیر سیمان و افزایش مقاومت فشاری همراه است، بدیهی است، در ضمن هر چه مقاومت بالاتر باشد، بتن شکننده‌تر خواهد شد.



شکل ۹- مدول الاستیسته ۳۰ درصد سنگدانه بازیافتی.

شکل ۹ نشان‌دهنده‌ی مدول الاستیسیته طرح یک بتن حاوی ۱۲ درصد خاکستر پوسته‌ی برنج و ۳۰ درصد سنگ دانه‌ی بازیافتی می‌باشد که نشان می‌دهد مدول الاستیسیته آن ۱۸/۵۳ مگاپاسکال می‌باشد.



شکل ۱۰– مدول الاستیسته ۴۰ درصد سنگدانه بازیافتی.

شکل ۱۰ نشان‌دهنده‌ی مدول الاستیسیته طرح دو بتن حاوی ۱۲ درصد خاکستر پوسته‌ی برنج و ۴۰ درصد سنگ دانه‌ی بازیافتی می‌باشد که نشان می‌دهد مدول الاستیسیته آن۲۰/۳۶ مگاپاسکال می‌باشد.

۶- نتایج

۱. با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش، بهترین درصد اختلاط بین پوسته برنج و میکروسیلیس، مربوط به خاکستر پوسته برنج، با جایگزینی ۱۲ درصد وزنی خاکستر بجای سیمان می باشد.

۲. نتایج آزمایش اسلامپ در محدوده ۷ تا ۱۰ سانتیمتر قرار دارد که با توجه به عیار سیمان و نسبت‌های آب به سیمان به کار رفته قابل قبول می‌باشد در ضمن اسلامپ ۴۰ درصد بتن حاوی سنگدانه بازیافت شده و خاکستر پوسته‌ی برنج بیشتر از ۴۰ درصد آن می‌باشد.

۳. میانگین مقاومت فشاری۷روزه بتن حاوی ۴۰ درصد سنگدانه بازیافت شده و خاکستر پوسته‌ی برنج ۲۰۶ و میانگین ۳۰ درصد آن ۲۰۱ می‌باشد که نشان دهنده بیشتر بودن نمونه‌ی ۴۰ درصد می‌باشد.

۴. میانگین مقاومت فشاری۲۸ روزه بتن حاوی ۴۰ درصد سنگدانه بازیافت شده و خاکستر پوسته‌ی برنج ۲۸۲ و میانگین ۳۰ درصد آن ۲۵۳ می‌باشد که نشان دهنده بیشتر بودن نمونه‌ی ۴۰ درصد می‌باشد.

۵. مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن حاوی ۴۰ درصد سنگدانه بازیافت شده و خاکستر پوسته‌ی برنج برابر ۴۳ و میانگین ۳۰ درصد آن ۳۷ می‌باشد که نشان دهنده بیشتر بودن مقاومت کششی نمونه‌ی ۴۰ درصد می‌باشد.

۶. میانگین مدول الاستیسته بتن حاوی ۳۰ درصد سنگدانه بازیافتی و خاکستر پوسته‌ی برنج ۱۸،۵۳ و میانگین مدول الاستیسته بتن حاوی ۴۰ درصد سنگدانه بازیافتی و خاکستر پوسته‌ی برنج ۲۰،۳۶ می‌باشد که نشان دهنده‌ی بیشتر بودن مدول الاستیسته نمونه‌ی ۴۰ درصد می‌باشد.

منابع

۱- Malhotra, V.M. (1999). Role of supplementary cementing materials in reducing greenhouse gas emissions. In *Infrastructure regeneration and rehabilitation improving the quality of life through better construction. International conference* (pp. ۲۷-۴۲).

۲- Rao, A., Kumar, N., Misra, S., 2007. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Conservation and Recycling, 50, 71-81

۳- Ajdukiewicz, A., Alina, K., 2002. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. Cement Concrete Composites, 24, 269-279.

٤- A. Ehsani, M. Nili, and K. Shaabani, "Effect of nanosilica on the compressive strength development and water absorption properties of cement paste and concrete containing Fly Ash," KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 21, no. 5, pp. 1854-1865, 2017.

٥- D'angelo, J., Case, E. D., Matchanov, N., Wu, C. I., Hogan, T. P., Barnard, J., ... & Kanatzidis, M. G. (2011). Electrical, thermal, and mechanical characterization of novel segmented-leg thermoelectric modules. *Journal of electronic materials*, *40*(10), 2051

٦- Vejmelková, E., Koňáková, D., Kulovaná, T., Keppert, M., Žumár, J., Rovnaníková, P., ... & Černý, R. (2015). Engineering properties of concrete containing natural zeolite as supplementary cementitious material: Strength, toughness, durability, and hygrothermal performance. *Cement and Concrete Composites*, *55*, 259-267.

۷- A. J. Hamad, "Size and shape effect of specimen on the compressive strength of HPLWFC reinforced with glass fibres," Journal of King Saud University-Engineering Sciences, vol. 29, no. 4, pp. 373-380, 2017

۸- S. A. Zareei, F. Ameri, F. Dorostkar, and M. Ahmadi, "Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties," Case studies in construction materials, vol. 7, pp. 73-81, 2017

۹- A. M. Mohamed, "Influence of nano materials on flexural behavior and compressive strength of concrete," HBRC Journal, vol. 12, no. 2, pp. 212-225, 2016.

۱۰- Sharma, R.K., 2014. Effect of substitution of cement with rice husk ash on compressive strength of concrete using plastic fibres and super plasticizer.KSCE Journal of Civil Engineering, 18(7), 2138-2142.