

ارزیابی مقاومت فشاری بتن در اثر جایگزینی خاکستر مخروط کاج با سیمان

هاشم جهانگیر^۱، منصور باقری^{۲*}، سید محمد جواد دلاوری^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

بتن یکی از رایج‌ترین مصالح پرکاربرد در صنعت ساختمان است که به علت وجود سیمان در خود به عنوان بخش اصلی، مصالحی زیان بار برای محیط زیست محسوب می‌شود. فرآیند تولید سیمان بسیار انرژی‌بر و آسیب‌رسان است به طوری که مقادیر فراوانی از گازهای گلخانه‌ای را وارد محیط می‌کند. پژوهش‌گران تلاش می‌کنند با یافتن روش‌هایی، نسل نوینی از بتن‌های دوست‌دار محیط زیست را معرفی کنند. در این مقاله، از خاکستر به وجود آمده از میوه‌ی مخروطی شکل درخت کاج به عنوان جایگزین و کاهش‌دهنده‌ی میزان مصرف سیمان در طرح اختلاط بتن بهره‌جویی شده است. از آنجا که خاکستر مورد استفاده در این پژوهش علاوه بر کاهش مصرف سیمان، باعث جلوگیری از انباشته شدن مخروط کاج در طبیعت و در نتیجه ایجاد آلودگی زیست محیطی می‌گردد، آثار مخرب زیست محیطی تولید بتن را نیز کاهش می‌دهد. برای این منظور، میوه‌ی درخت کاج جمع‌آوری و سوزانده شد و خاکستر باقی‌مانده مورد استفاده قرار گرفت. میزان ۲۰ درصد وزنی خاکستر کاج در نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای استاندارد، جایگزین سیمان مصرفی شد و اثر آن بر مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها ارزیابی شد. ارزیابی‌ها نشان دادند استفاده از این میزان از خاکستر کاج، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود و از این رو، می‌تواند گامی مهم در راستای بهره‌جویی بهینه از مواد و مصالحی باشد که در نگاه نخست بی‌فایده به نظر می‌رسند.

کلمات کلیدی: خاکستر مخروط کاج، سیمان، مقاومت فشاری، نمونه‌های مکعبی، نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2018.126900.1517	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2018.126900.1517	۱۳۹۷/۰۶/۳۰	۱۳۹۷/۰۴/۱۶	۱۳۹۷/۰۴/۱۶	۱۳۹۷/۰۳/۲۱	۱۳۹۷/۰۱/۲۳
				*نویسنده مسئول:		منصور باقری
				پست الکترونیکی:		mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

Estimation of concrete compressive strength by substitution of pinyon pine ash for cement

Hashem Jahangir¹, Mansour Bagheri^{2*}, Seyed Mohammad Javad Delavari³

1- Ph.D. Student of structural engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor of civil engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

3- Bachelor Student of civil engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

ABSTRACT

Nowadays, one of the most popular ways to get a more sustainable cement industry is using additions as cement replacement. However, there are many civil engineering applications in which the use of sustainable cements is not extended yet, such as special foundations, and particularly micro piles, even though the standards do not restrict the cement type to use. These elements are frequently exposed to the sulphates present in soils. The purpose of this research is to study the effects of using pinyon pine ash as a substitution for ordinary Portland cement and reduce its content in the concrete mix design. For this reason, 20 % of pinyon pine ash with respect to cement weight was used and the compressive strength of concrete is obtained from testing cubic and standard cylinder specimens. Considering the results obtained, using pinyon pine ash increase the compressive strength of concrete. On the other hand, more axial micro cracks were occurred in pinyon included specimens and their colour were darker comparing to representative specimens without pinyon pine ash. This study shows that using pinyon pine ash could be an effective and Eco-friendly alternative for ordinary Portland cement in industry and construction and could reduce the dangerous effects of using cement in concrete.

ARTICLE INFO

Received: 12/04/2018

Revised: 11/06/2018

Accepted: 07/08/2018

Keywords:

Pinyon Pine ash

Cement

Compressive Strength

Cubic Specimens

Cylinder Specimens

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.126900.1517

*Corresponding author: Mansour Bagheri.

Email address: mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

۱- پیشگفتار

از دوران گذشته تا کنون، مصالح ساختمانی گوناگونی توسط انسان مورد استفاده قرار گرفته است. در این میان می توان چوب، سنگ، فولاد و بتن را به عنوان پر مصرف ترین مصالح ساختمانی نام برد. بتن که در واقعیت یک نوع سنگ ساخته شده توسط بشر می باشد، از جمله مصالح ساختمانی است که به دلیل دارا بودن خواص مناسب استفاده از آن در حال افزایش است [۱ و ۲]. سیمان به عنوان بخش اصلی بتن، مصالحی استراتژیک شناخته می شود و به طور چشمگیری در حال تولید است. سیمان با توجه به ویژگی های خود مصالحی زیان بار برای محیط زیست محسوب می شود. فرآیند تولید این مصالح بسیار انرژی بر و آسیب رسان است به طوری که مقادیر فراوانی از گازهای دی اکسید کربن CO_2 ، نیتروژن NO و اکسید سولفور SO_2 را تولید می کند [۳]. طبق آمار انجمن سیمان پر تلند، هر سال ۳/۸ میلیارد متر مکعب سیمان تولید می شود و در اثر آن حدود ۱/۳۵ هزار میلیون تن گاز دی اکسید کربن وارد محیط می گردد [۴]. وجود این مقدار گاز دی اکسید کربن در محیط، باعث افزایش دما، تولید گازهای گلخانه ای و در نهایت تغییر اقلیم آب و هوایی خواهد شد.

از آنجا که بتن یکی از رایج ترین مصالح پر کاربرد در صنعت ساختمان است، پژوهشگران تلاش می کنند با یافتن روش هایی، استفاده از مواد و مصالح معدنی به کار رفته در بتن را کاهش دهند. هزینه های فراوان استفاده از مواد معدنی و همین طور ملاحظات زیست محیطی نسبت به دفع ضایعات منابع طبیعی، پژوهشگران را وادار کرده است تا بهینه ترین روش ها را برای صنعت مصالح ساختمانی و بتنی بیابند [۵ - ۱۰]. برای پیشبرد این هدف، در سال های اخیر نسل نوینی از بتن های دوست دار محیط زیست معرفی شده اند و کارایی آن ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. ساخت بتن با استفاده از مواد دورریز و بازیافتی دارای ویژگی های پوزولانی [۱۱]، دود و بخار سیلیس^۱ [۱۲]، نانو سیلیس^۲ [۱۳]، سرباره های کوره^۳ حاصل از انفجار آتشفشان ها [۱۴] و گونه های مختلف خاکستر شامل خاکستر بادی با میزان کلسیم اندک^۴ [۱۵]، خاکستر بادی با میزان کلسیم فراوان^۵ [۱۶]، خاکستر کوره ای حاصل از زغال سنگ^۶ [۱۷]، خاکستر پوسته ی برنج^۷ [۱۸] و دیگر خاکسترها [۱۹] از جمله راهکارهای پیشنهادی برای کاهش میزان مصرف سیمان در سازه های بتنی است.

امروزه استفاده از خاکسترهای بادی با میزان کلسیم اندک مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است [۲۰]. با استفاده از این خاکسترها می توان میزان مصرف سیمان در بتن، بدون ایجاد هیچ گونه تغییری در ویژگی های مکانیکی و مقاومت فشاری و کششی در آن، را کاهش داد [۲۱]. مخروط درخت کاج، به عنوان یک ماده مضر برای محیط زیست، می تواند خاکستری با میزان کلسیم اندک تولید کند و با دارا بودن ویژگی پوزولانی، باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان می شود. از طرف دیگر، با توجه به آب و هوای گرم و خشک موجود در بیشتر نقاط ایران، کشور ما منبع فراوانی از میوه ی درخت کاج را در بر دارد. در اطراف بسیاری از شهرها و در داخل آن ها، به منظور سبز نگه داشتن محیط های شهری و جلوگیری از ایجاد گرد و غبار در منطقه های مسکونی و تجاری، تعداد فراوانی از درخت های کاج کاشته شده اند.

با توجه به زیان بار بودن میوه ی درخت کاج برای محیط زیست و دارا بودن ویژگی های مناسب آن از یک طرف و هم چنین وجود تعداد فراوانی از درخت های کاج در منطقه های مختلف ایران از طرف دیگر، در این مقاله، میزان اثرگذاری خاکستر این میوه به عنوان جایگزینی برای سیمان در بتن مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف، ۲۰ درصد وزنی از خاکستر کاج جایگزین سیمان می شود و اثر آن بر مقاومت فشاری نمونه ها مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این فرآیند، ابتدا میوه ی خشک شده ی درخت کاج سوزانده می شود و سپس خاکستر آن جمع آوری خواهد شد و در هنگام اختلاط، اندازه ی ذرات خاکستر آن به میکرون می رسد. نمونه های آزمایشگاهی، مکعبی و استوانه ای در نظر گرفته شده اند که بر اساس آیین نامه ی آبا و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تحت آزمون فشاری قرار می گیرند.

¹ Silica fume

² Nano silica

³ Furnace slag

⁴ Low calcium fly ash

⁵ High calcium fly ash

⁶ Bottom ash

⁷ Rice husk ash

۲- مشخصات مصالح مورد استفاده

در این بخش، به معرفی ویژگی‌های هر یک از مصالح استفاده شده در طرح اختلاط نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای استاندارد پرداخته می‌شود.

۲-۱- سیمان

سیمان ماده‌ای چسبنده است که قابلیت چسباندن ذرات به یکدیگر و تشکیل دادن جسمی یکپارچه را دارا می‌باشد. سیمان ۱۰ الی ۱۲ درصد حجم بتن را شامل می‌شود. سیمان از ترکیب مصالح آهکی، سیلیس، رس و اکسیدهای معدنی در دمای ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد ساخته می‌شود. بر اساس ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، نوع سیمان مورد استفاده برای تهیه بتن بجز در مواردی که در دفترچه مشخصات فنی به نحو دیگری تصریح شده باشد، باید از نوع سیمان پرتلند ۲ یا ۵ باشد [۲۲ - ۲۴]. سیمان مورد استفاده در این مقاله سیمان تیپ ۲ شرق می‌باشد که ویژگی‌های آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات سیمان پرتلند تیپ ۲

ردیف	ویژگی‌های شیمیایی	مقدار
۱	درصد اکسید سیلیسیم SiO_2 (حداقل)	۰۰/۲۰
۲	درصد اکسید آلومینیوم Al_2O_3 (حداکثر)	۰۰/۶
۳	درصد اکسید آهن Fe_2O_3 (حداکثر)	۰۰/۶
۴	درصد اکسید منیزیم MgO (حداکثر)	۵
۵	درصد تری‌اکسید گوگرد SO_3 (حداکثر)	۰۰/۳
۶	درصد کسر وزن در اثر سرخ شدن (حداکثر)	۰۰/۳
۷	درصد باقی‌مانده نامحلول (حداکثر)	۷۵/۰
۸	درصد سه کلسیم آلومینات C_3A (حداکثر)	۰۰/۸

۲-۲- مصالح سنگی

مصالح درشت دانه به دو دسته‌ی شن و ماسه تقسیم‌بندی می‌شوند. مصالح سنگی حدود ۶۶ تا ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل می‌دهند [۲۵]. مصالح سنگی مورد نیاز در این مقاله از شرکت بنیاد بتن خراسان تهیه شدند. نمایی از این مصالح در شکل ۱ آمده است که در بخش سوم نشان داده خواهند شد.

۲-۳- آب

ناخالصی‌های موجود در آب ممکن است در زمان گیرش سیمان و مقاومت بتن اثر گذاشته و اختلالاتی بوجود آورد. در اکثر استانداردها آب مناسب برای بتن، آبی است که برای آشامیدن مناسب باشد. طبق استاندارد به عنوان یک قاعده کلی هر آبی که PH آن بین ۶ الی ۸ بوده و طعم شور نداشته باشد می‌تواند برای بتن استفاده شود. اصولاً آبی که برای بتن مناسب است، برای عمل آوری آن نیز مطلوب خواهد بود. به طور کلی توصیه می‌شود، آبی که برای عمل آوردن بتن مصرف می‌شود، از مواردی که ممکن است روی بتن سخت شده اثر بگذارد، عاری باشد [۲۶].

۲-۴- خاکستر مخروط کاج

در این مقاله، به منظور دستیابی به خاکستر میوهی مخروطی شکل کاج، ابتدا مقداری از آن‌ها جمع‌آوری شده است. سپس، با رعایت نکات ایمنی، این میوه‌ها که خشک هم بودند، در کوره‌ای بسته و در محیطی با دمای حدود ۳۵۰ درجه سانتیگراد سوزانده شده‌اند و خاکستر تولید شده از احتراق مورد استفاده قرار گرفته است. پس از سرد شدن خاکسترهای گردآوری‌شده، آن‌ها آسیاب می‌شوند تا ناخالصی‌های احتمالی در آن‌ها گرفته شود و آماده‌ی اضافه‌شده به مخلوط بتن باشند. جدول ۲، ویژگی‌های شیمیایی خاکستر کاج را گزارش کرده است.

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی خاکستر کاج

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ترکیب شیمیایی
۲۸/۷	۱۷/۱۳	۵/۲۸	۱/۰۹	۴۱/۷	۲/۵۹	۰/۳۷	۲/۴۵	درصد ترکیب موجود در خاکستر کاج

۳- طرح اختلاط

با فراهم کردن مصالح مورد نیاز شامل، سیمان، آب، مصالح سنگی و خاکستر مخروط کاج و با توجه به میزان مصرف هر کدام از آن‌ها در واحد حجم بتن مطابق با جدول ۳، برنامه‌ی مورد نیاز برای بتن‌ریزی انجام شد. تعداد نمونه‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله، دو عدد نمونه‌ی مکعبی و دو عدد نمونه‌ی استوانه‌ای استاندارد است [۴].

جدول ۳: مقدار مصرفی مصالح بتن طرح اختلاط بتن حاوی خاکستر کاج برای حجم واحد بتن (kg)

مصالح	آب	سیمان	خاکستر کاج	شن	ماسه
بتن بدون خاکستر کاج	۱۸۶	۳۵۰	...	۹۱۴/۷۵	۸۷۰/۵۸۲
بتن همراه با خاکستر کاج	۱۹۵	۲۸۰	۷۰	۹۱۴/۷۵	۸۷۰/۵۸۲

پس از محاسبه‌ی مقدار مصرفی هر کدام از مصالح مورد نیاز برای بتن‌ریزی، مقدار سیمان، آب و مصالح سنگی وزن شده و به‌طور جداگانه تفکیک می‌شوند. برای آماده‌سازی خاکستر مخروط کاج، پیش از وزن کردن، آن‌ها آسیاب می‌شوند تا ناخالصی‌های احتمالی به‌وجود آمده در آن‌ها گرفته شود و مخلوطی همگن از بتن نتیجه شود. شکل ۱ مرحله‌هایی از آماده‌سازی مصالح مورد نیاز در مخلوط بتن را نشان داده است.



شکل ۱: آماده کردن مصالح جهت ساخت.

۴- آزمون‌های مقاومت فشاری

در این مقاله، دو نمونه مکعبی $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ و دو نمونه استوانه‌ای $15\text{cm} \times 30\text{cm}$ برای هر یک از حالت‌های طرح اختلاط بتن بدون خاکستر مخروط کاج و همراه با خاکستر مخروط کاج ساخته شد. این نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در حوضچه‌ی آب نگهداری شدند. شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب نمونه‌ها پس از بتن‌ریزی و چگونگی قرارگیری آن‌ها در حوضچه‌ی آب را نشان می‌دهند.



شکل ۲: نمونه‌ها پس از بتن‌ریزی.



شکل ۳: قرارگیری نمونه‌ها در حوضچه‌ی آب.

پس از گذشت ۲۸ روز عمل‌آوری نمونه‌ها، برای تعیین مقاومت فشاری، آن‌ها زیر جک قرار داده شدند. در آزمایش مقاومت فشاری، مکعب‌ها را به نحوی در دستگاه فشاری قرار گرفتند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن ریزی، مجاور قالب بودند، در تماس با رکاب فوقانی و تحتانی دستگاه قرار بگیرند. به عبارت دیگر وضعیت مکعب، در هنگام آزمایش عمود بر وضعیت آن در موقع بتن ریزی در قالب در نظر گرفته شد. شکل ۴ و شکل ۵ به ترتیب قرارگیری نمونه‌های مکعبی در دو حالت بدون خاکستر (نمونه‌های شاهد) و همراه با خاکستر کاج و شکل ۶ و شکل ۷ به ترتیب قرارگیری نمونه‌های استوانه‌ای شاهد و همراه با خاکستر کاج در زیر جک آزمون مقاومت فشاری را نشان می‌دهند.



شکل ۴: قرارگیری نمونه‌های مکعبی شاهد در زیر جک.



شکل ۵: قرارگیری نمونه‌های مکعبی دارای خاکستر کاج در زیر جک.



شکل ۶: قرارگیری نمونه‌های استوانه‌ای شاهد در زیر جک.



شکل ۷: قرارگیری نمونه‌های استوانه‌ای دارای خاکستر کاج در زیر جک.

بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، نمونه‌ی استاندارد، نمونه‌ای استوانه‌ای به ابعاد $150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ می‌باشد. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی، باید مقاومت آن‌ها به مقاومت نظیر نمونه‌ی استاندارد استوانه‌ای تبدیل شود. برای این تبدیل، از ضریب‌های r_1 (ضریب تبدیل مقاومت نمونه‌ی استوانه‌ای استاندارد به مقاومت نمونه‌ی استوانه‌ای غیر استاندارد)، r_2 (ضریب تبدیل مقاومت نمونه‌ی مکعبی به ابعاد 200 mm به مقاومت نظیر نمونه‌ی مکعبی با ابعادی غیر از 200 mm) و r_3 (ضریب تبدیل مقاومت نمونه‌ی استوانه‌ای استاندارد به مقاومت نظیر نمونه‌ی مکعبی به ابعاد 200 mm) مطابق جدول ۴، جدول ۵ و جدول ۶ بهره‌جویی می‌شود.

جدول ۴: مقدار ضریب r_1

$a \times 2a$	100×200	150×300	200×400	250×500	300×600
r_1	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱

جدول ۵: مقدار ضریب r_2

مکعبی b	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
r_2	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰

جدول ۶: مقدار ضریب r_3

مقاومت فشاری نمونه‌ی مکعبی (MPa)	≤ 25	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
r_3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه‌ی استوانه‌ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

نتیجه‌های آزمون‌های فشاری و مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد در دو حالت بدون خاکستر کاج (نمونه‌های شاهد) و همراه با خاکستر کاج برای نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای به ترتیب در جدول ۷ و جدول ۸ بر حسب واحدهای kg/cm^2 و MPa گزارش شده‌اند.

جدول ۷: مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه‌های مکعبی

نمونه	مقاومت فشاری مکعبی		r_2	r_3	مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد	
	kg/cm^2	MPa			kg/cm^2	MPa
A1	۳۰۸	۳۰/۲۰	۱/۰۰	۱/۱۹۸	۲۵۷	۲۵/۲۱
A2	۳۳۰	۳۲/۳۶	۱/۰۰	۱/۱۸۶	۲۷۸	۲۷/۲۶
M1	۳۴۴	۳۳/۷۴	۱/۰۰	۱/۱۷۸	۲۹۲	۲۸/۶۳
M2	۳۲۷	۳۲/۰۶	۱/۰۰	۱/۱۸۸	۲۷۵	۲۶/۹۷

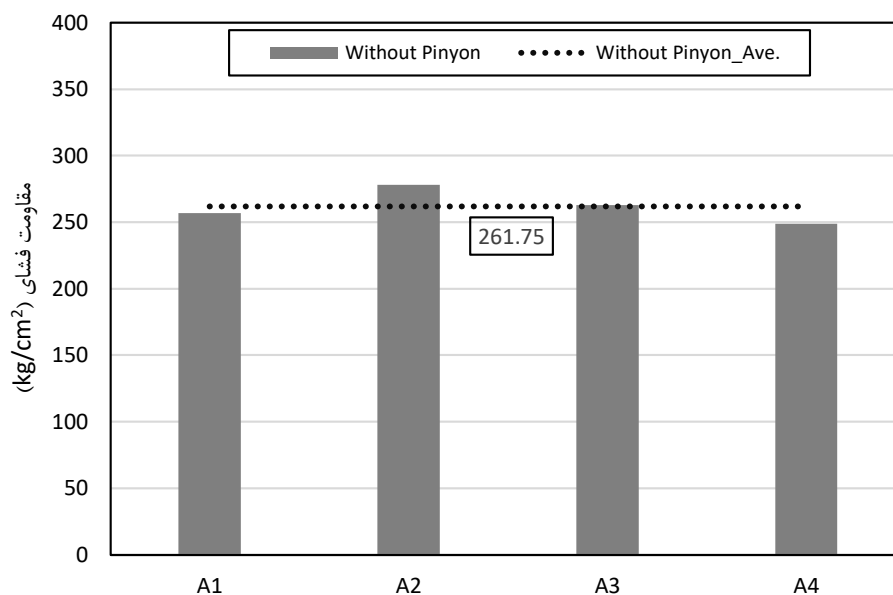
جدول ۸: مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه‌های استوانه‌ای

نمونه	مقاومت فشاری مکعبی		r_1	مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد	
	kg/cm^2	MPa		kg/cm^2	MPa
A3	۲۶۳	۲۵/۷۹	۱/۰۰	۲۶۳	۲۵/۷۹
A4	۲۴۹	۲۴/۴۲	۱/۰۰	۲۴۹	۲۴/۴۲
M3	۲۶۴	۲۵/۸۹	۱/۰۰	۲۶۴	۲۵/۸۹
M4	۲۸۶	۲۸/۰۴	۱/۰۰	۲۸۶	۲۸/۰۴

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، از آن‌جا که نمونه‌های مکعبی دارای اندازه‌ی $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ بوده‌اند، ضریب r_2 مطابق جدول ۵ برابر با ۱/۰۰ و مقدار ضریب r_3 به کمک درون‌یابی مقدارهای گزارش شده در جدول ۶ محاسبه شده‌اند. با توجه به این‌که نمونه‌های استوانه‌ای دارای اندازه‌ی $150\text{mm} \times 300\text{mm}$ بوده‌اند، مقدار ضریب r_1 در جدول ۸، مطابق با جدول ۴، برابر ۱/۰۰ در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد به همراه میانگین آن‌ها در نمونه‌های شاهد در جدول ۹ و شکل ۸ و در نمونه‌های دارای خاکستر کاج در جدول ۱۰ و شکل ۹ گزارش شده‌اند.

جدول ۹: مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه در نمونه‌های شاهد

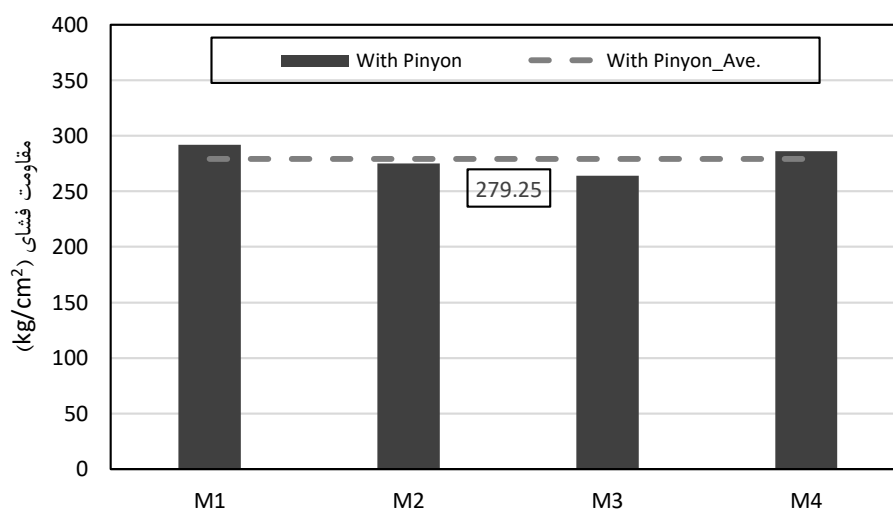
نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	
	kg/cm^2	MPa
A1	۲۵۷	۲۵/۲۱
A2	۲۷۸	۲۷/۲۶
A3	۲۶۳	۲۵/۷۹
A4	۲۴۹	۲۴/۴۲
میانگین	۲۶۱/۷۵	۲۵/۶۷



شکل ۸: مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه در نمونه‌های شاهد.

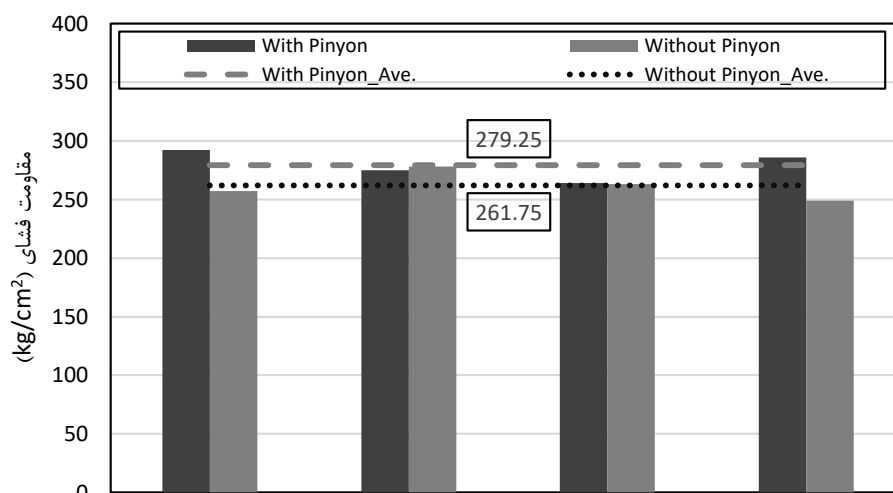
جدول ۱۰: مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی خاکستر کاج

نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	
	kg/cm ²	MPa
M1	۲۹۲	۲۸/۶۳
M2	۲۷۵	۲۶/۹۷
M3	۲۶۴	۲۵/۸۹
M4	۲۸۶	۲۸/۰۴
میانگین	۲۷۹/۲۵	۲۷/۳۸



شکل ۹: مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی خاکستر کاج.

به منظور مقایسه‌ی دقیق‌تر، مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های دارای خاکستر مخروط کاج در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: مقایسه‌ی مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد ۲۸ روزه در نمونه‌های شاهد و حاوی خاکستر کاج.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، میانگین مقاومت فشاری معادل استوانه‌ای استاندارد برای نمونه‌های شاهد برابر 261.75 kg/cm^2 ($25/67 \text{ MPa}$) و در نمونه‌های دارای خاکستر کاج برابر 279.25 kg/cm^2 ($27/38 \text{ MPa}$) می‌باشد. از این رو، با جایگزینی ۲۰٪ وزنی خاکستر مخروط کاج به عنوان جایگزین سیمان در نمونه‌های بتنی، مقاومت فشاری معادل ۶/۶۸٪ افزایش پیدا کرده است. در ادامه، چگونگی شکست نمونه‌های مکعبی در دو حالت بدون خاکستر کاج (نمونه‌های شاهد) و دارای خاکستر مخروط کاج به ترتیب در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: چگونگی شکست نمونه‌های مکعبی شاهد

شکست نمونه‌های استوانه‌ای در دو حالت بدون خاکستر کاج (نمونه‌های شاهد) و دارای خاکستر مخروط کاج به ترتیب در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: چگونگی شکست نمونه‌های مکعبی حاوی خاکستر کاج.



شکل ۱۳: چگونگی شکست نمونه‌های استوانه‌ای شاهد



شکل ۱۴: چگونگی شکست نمونه‌های استوانه‌ای حاوی خاکستر کاج

مقایسه‌ی شکل ۱۱ و شکل ۱۲ و هم‌چنین شکل ۱۳ و شکل ۱۴ نشان می‌دهد نمونه‌های دارای خاکستر مخروط کاج ترک‌های محوری بیشتری دارند و رنگ آن‌ها در مقایسه با نمونه‌های بدون خاکستر کاج تیره‌تر است. از طرف دیگر، نتیجه‌ها بیان‌گر زودگیر بودن این گونه از بتن در هنگام اختلاط بودند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد تا با به‌کارگیری خاکستر میوه‌ی مخروطی‌شکل درخت کاج، میزان از سیمان مصرفی در طرح اختلاط بتن کاهش پیدا کند. از آنجا که خاکستر مورد استفاده در این پژوهش علاوه بر کاهش مصرف سیمان، باعث عدم جلوگیری از انباشته شدن مخروط کاج در طبیعت و در نتیجه ایجاد آلودگی زیست محیطی می‌گردد، آثار مخرب زیست محیطی تولید بتن را نیز کاهش می‌دهد. در این مقاله مشاهده شد که نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد خاکستر کاج دارای میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزهای برابر با $279/25 \text{ kg/cm}^2$ ($27/38 \text{ MPa}$) هستند که در مقایسه با نمونه‌های بدون خاکستر کاج (نمونه‌های شاهد) که دارای میانگین مقاومت فشاری $261/75 \text{ kg/cm}^2$ ($25/67 \text{ MPa}$) بودند، معادل با $6/68\%$ افزایش پیدا کرده است. بررسی شکست نمونه‌ها نشان می‌دهد که ترک‌های محوری ایجادشده در نمونه‌های دارای خاکستر مخروط کاج نسبت به نمونه‌های شاهد بیشتر است. هم‌چنین، نتیجه‌ها نشان دادند که استفاده از خاکستر کاج، رنگ بتن را تغییر می‌دهد و باعث گیرایی سریع‌تر خمیر سیمان می‌شود. از این رو می‌توان از این مصالح به عنوان جایگزینی مناسب برای سیمان مصرفی در بتن استفاده کرد و از تخریب محیط زیست و ایجاد گازهای گلخانه‌ای در اثر تولید سیمان جلوگیری کرد.

مراجع

- [1] Mathur VK. (2006) Composite materials from local resources. *Constr Build Mater*; 20: 470–477.
- [2] Salem ZTA, Khedawi TS, Baker MB, et al. Effect of Waste Glass on Properties of Asphalt Concrete Mixtures. *Jordan J Civ Eng*; 11.
- [3] Cartuxo F, de Brito J, Evangelista L, et al. (2016) Increased durability of concrete made with fine recycled concrete aggregates using superplasticizers. *Materials (Basel)*; 9: 98.
- [4] Andreu G, Miren E. (2014) Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. *Constr Build Mater*; 52: 227–235.
- [5] Bjork F. (1999) Concrete Technology and Sustainable Development. In: *CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*.
- [6] Aitcin P-C. (2000) Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow. *Cem Concr Res*; 30: 1349–1359.
- [7] Berndt ML. (2009) Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate. *Constr Build Mater*; 23: 2606–2613.
- [8] Jayapalan AR, Lee BY, Kurtis KE. (2013) Can nanotechnology be green? Comparing efficacy of nano and microparticles in cementitious materials. *Cem Concr Compos*; 36: 16–24.
- [9] D'Alessandro A, Fabiani C, Pisello AL, et al. (2016) Innovative concretes for low-carbon constructions: a review. *Int J Low-Carbon Technol*; 12: 289–309.
- [10] Liew KM, Sojobi AO, Zhang LW. (2017) Green concrete: Prospects and challenges. *Constr Build Mater*; 156: 1063–1095.
- [11] Lothenbach B, Scrivener K, Hooton RD. (2011) Supplementary cementitious materials. *Cem Concr Res*; 41: 1244–1256.
- [12] Wu M, Li C, Yao W. (2017) Gel/space ratio evolution in ternary composite system consisting of Portland Cement, silica fume, and fly ash. *Materials (Basel)*; 10: 59.
- [13] Zhang P, Wan J, Wang K, et al. (2017) Influence of nano-SiO₂ on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review. *Constr Build Mater*; 148: 648–658.
- [14] Ortega JM, Esteban MD, Rodriguez RR, et al. (2017) Long-Term Behaviour of fly ash and slag cement grouts for micropiles exposed to a sulphate aggressive medium. *Materials (Basel)*; 10: 598.
- [15] Velázquez S, Monzó JM, Borrachero M V, et al. (2014) Assessment of pozzolanic activity using methods based on the measurement of electrical conductivity of suspensions of Portland Cement and pozzolan. *Materials (Basel)*; 7: 7533–7547.
- [16] Marks Michałand Glinicki M, Gibas K. (2015) Prediction of the Chloride Resistance of Concrete Modified with High Calcium Fly Ash Using Machine Learning. *Materials (Basel)*; 8: 8714–8727.
- [17] Kalaw ME, Culaba A, Hinode H, et al. (2016) Optimizing and characterizing geopolymers from ternary blend of Philippine coal fly ash, coal bottom ash and rice hull ash. *Materials (Basel)*; 9: 580.

- [18] Xu W, Lo TY, Wang W, et al. (2016) Pozzolanic reactivity of silica fume and ground rice husk ash as reactive silica in a cementitious system: A comparative study. *Materials (Basel)*; 9: 146.
- [19] Aprianti E. (2017) A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production--a review part II. *J Clean Prod*; 142: 4178–4194.
- [20] Hemalatha T, Ramaswamy A. (2017) A review on fly ash characteristics--Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. *J Clean Prod*; 147: 546–559.
- [21] Norhasri MSM, Hamidah MS, Fadzil AM. (2017) Applications of using nano material in concrete: A review. *Constr Build Mater*; 133: 91–97.
- [22] Khatib JM, Negim EM, Sohl HS, et al. (2012) Glass powder utilisation in concrete production. *Eur J Appl Sci*; 4: 173–176.
- [23] Pereira P, Evangelista L, De Brito J. (2012) The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Constr Build Mater*; 28: 722–729.
- [24] Saikia N, de Brito J. (2014) Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Constr Build Mater*; 52: 236–244.
- [25] Ismail S, Ramli M. (2013) Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Constr Build Mater*; 44: 464–476.
- [26] Topcu IB, Canbaz M. (2004) Properties of concrete containing waste glass. *Cem Concr Res*; 34: 267–274.