ارزیابی آزمایشگاهی جایگزینی ماسه با خرده شیشه در بتن

سید محمد جواد دلاوری[۱]، مبین استواری[۲]، شیما بیجاری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند

۳- دانش‌آموخته دکترای عمران از دانشگاه علم و صنعت ایران

Smjdelavari@gmail.com

چکیده

با توسعه روز افزون فعالیت‌های بتنی، اقتصاد، مقاومت و کیفیت آن اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. ظرفیت محدود محل دفن زباله، کاهش منابع معدنی مناسب، اثرات منفی محیط زیستی و مصالح سنگدانه عوامل اصلی در بازیافت مواد زاید جامد و پسماند در دنیا هستند و شیشه از مهم‌ترین پسماندهای جامد می باشد که حدود ۷درصد پسماندهای جامد را تشکیل می دهد از این رو با جایگزینی مناسب شیشه‌های ضایعاتی به سنگدانه‌های استفاده شده در بتن، می‌توان علاوه بر صرفه اقتصادی، از هزینه دفع این گونه ضایعات نیز جلوگیری نمود. در این مقاله، از خرده شیشه ضایعاتی به عنوان جایگزین ماسه بتن و نانو سیلیس به عنوان جایگزین سیمان استفاده شده است و سه طرح اختلاط شاهد، بتن حاوی ۱۵درصد خرده شیشه و ترکیب ۱۵ درصدخرده شیشه و ۳درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان، ساخته شد. هر کدام از طرح اختلاط‌ها چهار نمونه(دو مکعبی و دو استوانه ای) داشت و در مجموع دوازده نمونه ساخته شد. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روز تعیین گردید. نمونه‌های دارای ترکیب خرده شیشه و نانو سیلیس، نسبت به دو طرح اختلاط شاهد و خرده شیشه علمکرد بهتری را نشان دادند.

کلمات کلیدی: اثرات منفی محیط زیستی، کاهش منابع معدنی، خرده شیشه، نانو سیلیس، مقاومت فشاری بتن

Laboratory evaluation of sand replacement with glass in concrete

Seyed Mohammadjavad Delavari [1], Mobin Ostovari [2], Shima Bijari [3]

1- Student of Civil Engineering, Birjand University of Technology
2- Student of Civil Engineering, Birjand University of Technology
3- Earthquake Doctor, Iran University of Science & Technology

Smjdelavari@gmail.com

Abstract

With the increasing development of concrete activities, economics, strength and quality are of particular importance. The limited capacity of landfill, the reduction of appropriate mineral resources, negative environmental effects and aggregates are the main factors in the recycling of solid and waste solid waste in the world, and glass is one of the most important solid wastes, accounting for about ۷٪ of solid waste. With the appropriate replacement of waste glasses with aggregates used in concrete, it can be economical to avoid the cost of disposing of such waste. In this paper, waste fractal glass was used as a substitute for concrete and nano silica as a substitute for cement. Three control designs, concrete containing ۱۵٪ glass jar and ۱۵٪ glass fiber composition and ۳٪ nano silica Replacing cement were constructed. Each mixing plan had four samples (two cubes and two cylinders), and a total of twelve samples were made. The compressive strength of the samples was determined at ۲۸ days. Particularly glassy and nano-silica samples showed better results than two blend patterns.

Keywords: Negative environmental effects, Mineral resources reduction, glass particle, Nanosilica, Compressive strength of concrete

۱. مقدمه

بتن یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است که معمولاً از مخلوط نمودن سیمان پرتلند، ماسه، سنگ شکسته و آب ساخته می‌شود[۱]. در فعالیت‌های عمرانی مصرف بتن به دلیل مزایای بسیار زیاد در اشکال مختلف و در کاربردهای متنوع رو به افزایش است در واقع بتن پر مصرف ترین ماده ساختمانی است. سرانه تولید بتن سازه‌ای در جهان به ازای هر نفر در سال حدود یک تن می باشد یعنی در جهان در هر سال در حدود ۶میلیارد تن بتن تولید و مصرف می شود و در هر سال حدود ۱تا ۱/۵درصد این تولید و مصرف افزایش می یابد[۲]. با این حال گسترش کاربرد و افزایش میزان تولید بتن باعث گردیده است که نیاز به مصالح اولیه جهت ساخت آن مانند سیمان و سنگدانه‌ها افزایش یابد. این مصالح عموماً از منابع طبیعی استخراج می شوند که باتوجه به

کمبود منابع طبیعی و مشکلات زیست محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه آنان، می‌تواند باعث کاهش تولید بتن و عدم سودمندی از فواید چشمگیر آن گردد. لذا، ضرورت استفاده از مواد جایگزین مناسب در تولید بتن که کاهش تخریب محیط زیست را به دنبال داشته باشند، روز به روز بیشتر احساس می‌گردد[۳]. حجم دفن زباله‌های صنعتی و ساختمانی در حال گسترش است. با توجه به تخمین‌های زده شده در چند سال اخیر، با افزایش ۲/۹ درصد مصالح طبیعی روبرو بوده‌ایم [۴و۵]. تلاش محققان بر این است که روشی بیابند تا استفاده از مواد و مصالح معدنی را کاهش دهند. یکی از راهکارها در مدیریت مصالح این گونه آوارها، بازیافت و استفاده دوباره آن‌ها است. این امر مهم می تواند از دیدگاه زیست محیطی به جهت جلوگیری از انباشت مواد ضایعاتی در طبیعت نیز مفید واقع گردد. از جمله مواد ضایعاتی که شاهد تولید حجم قابل توجهی از آن در سرتاسر دنیا می باشیم، شیشه است. سازمان ملل در سال ۲۰۰۴میزان تولید پسماندهای جامد در کل جهان را حدود ۲۰۰میلیون تن تخمین زد که بیش از ۷درصد آن سهم ضایعات شیشه بوده است. از آنجا که ضایعات شیشه موادی غیرقابل تجزیه هستند و سالیان متمادی در طبیعت به شکل اولیه باقی می‌مانند، بازیافت آن‌ها برای حفاظت از محیط زیست امری ضروری است با این حال متاسفانه نرخ بازیافت شیشه در بسیاری از کشورها به میزان قابل توجهی پایین است. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۴ میزان تولید روزانه ضایعات شیشه در هنگ کنگ حدود ۳۰۰ تن بوده و تنها کمتر از ۱۰درصد آن‌ها بازیافت شده‌اند، سالانه در تهران بیش از ۵۲ هزار تن ضایعات شیشه تولید می‌گردد که بخش زیادی از آن‌ها به همراه سایر پسماندها دفن می‌شوند و متاسفانه نرخ بازیافت ماهانه کمتر از ۲درصد است. از این رو، بهره‌گیری از راه حل‌های جایگزین جهت بازیافت این گونه ضایعات امری اجتناب ناپذیر است. یکی از روش‌های عملی که مزایای زیست محیطی و اقتصادی فراوانی دارد استفاده از ضایعات شیشه در تولیدات بتنی و ملات به عنوان جایگزین بخشی از مصالح سنگی طبیعی ریزدانه و درشت دانه و یا بخشی از سیمان است[۶]. مطالعات گوناگون نشان می‌دهد که می توان از شیشه حاصل از منابع متفاوت به‌عنوان جایگزین بخشی از سنگدانه و یا سیمان در تولید بتن بهره جست. البته بیشترین توجه به جایگزینی شیشه به عنوان بخشی از ریزدانه و یا سیمان معطوف شده است [۳]. عامری و همکاران خرده‌های شیشه را با نسبت‌های ۰،۵،۱۰،۱۵و۲۰ درصد جایگزین قسمتی از دانه های لیکا نمودند. نتایج حاصله نشان داد بیشترین افزایش مقاومت، مربوط به ۵ درصد خرده شیشه بوده است[۷].

در این مقاله، نتایج یک پژوهش آزمایشگاهی در زمینه استفاده از شیشه های ضایعاتی در بتن ارائه شده است. در این تحقیق از شیشه‌های ضایعاتی که برای استفاده مجدد در چرخه تولید مناسب نیستند به عنوان جایگزین بخشی از ریزدانه و همچنین به عنوان ماده پرکننده استفاده شده است. و ۱۵ درصد خرده شیشه‌ها جایگزین ماسه شد و نانو سیلیس به میزان ۳درصد وزن سیمان به عنوان ماده افزودنی استفاده شد و اثر آن بر مقاومت فشاری نمونه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفت و با توجه به گزارش‌های متنوع در ارتباط با جایگزینی دانه بندی با شیشه‌های ضایعاتی در بتن‌های معمولی، به این منظور این گزارش می‌تواند سرآغاز تحقیق‌های مفصل‌تر باشد.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲-۱ مشخصات مصالح مورد استفاده

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

۲-۱-۱مصالح سنگی

دانه‌بندی سنگدانه‌ها عامل تعیین کننده‌ای در مقدار کارایی مخلوط بتن است. کارایی به نوبه خود بر مقدار آب و سیمان لازم در مخلوط اثر می‌گذارد، جداشدگی و آب انداختن بتن را کنترل می‌کند و بر نحوه بتن‌ریزی و پرداخت سطح بتن اثر دارد. بنابراین دانه‌بندی سنگدانه در تعیین نسبت مواد تشکیل دهنده مخلوط بتن اهمیت بسیار زیادی دارد. مصالح به دو دسته درشت دانه(بادامی و نخودی) و ریزدانه(ماسه) تقسیم‌بندی می‌شوند. مصالح سنگی حدود ۶۶تا۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق شن مصرفی(بادامی و نخودی) از نوع شکسته و ماسه مصرفی از نوع شسته از معادن شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی تهیه گردید نمایی از این مصالح در شکل ۱ آمده است[۸].

شکل ۱- مصالح سنگی

۲-۱-۲ سیمان

سیمان مصرفی در ایران معمولا سیمان پرتلند، نوع ۲ می‌باشد که مهم‌ترین ویژگی آن مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها و نمک‌ها است. لازم به ذکر است که زمان گیرش سیمان نوع ۲ مانند سیمان معمولی (نوع ۱) می‌باشد و چون در بسیاری از کارخانه‌های تولید سیمان در ایران این نوع سیمان تولید می‌شود، بنابراین در تحقیق حاضر از سیمان تیپ۲ قاین استفاده شده که ویژگی‌های آن در جدول ۱ آمده است[۹]:

جدول۱- مشخصات شیمیایی سیمان تیپ ۲ قاین

ردیف	ویژگی های شیمیایی	مقدار
۱	درصد اکسید سیلیسیم SIO_2	۲۲/۵
۲	درصد اکسید آلومینیوم AL_2O_3	۵/۴۸
۳	درصد اکسید آهن Fe_2O_3	۵/۵۲
۴	درصد اکسید منیزیم MgO	۲
۵	درصد تری اکسیدگوگرد SO_3	۱/۳
۶	درصد کلرور آلومینات C_3A	۵/۱۸
۷	درصد دی کلسیم سیلیکات	۳۴/۱
۸	درصد تری کلسیم سیلیکات	۳۷/۳

۲-۱-۳ آب

آب مورد استفاده در ساخت طرح های اختلاط و عمل آوری نمونه ها، از آب آشامیدنی شهر بیرجند است.

۲-۱-۴ خرده شیشه

شیشه استفاده شده در این پژوهش مطابق شکل ۲به صورت خرده‌شیشه از ضایعات شیشه های مصارف ساختمانی بر اساس دانه بندی، مطابق با استاندارد ASTM C۳۳ و همانند شن و ماسه تهیه شده است[۱۰].

شکل۲- مراحل تهیه خرده‌های شیشه

۲-۱-۵ نانوسیلیس

نانوسیلیس مصرفی در این مقاله از شرکت صنعت آوران ویستا تهیه شد. جدول۲ خصوصیات و مشخصات فیزیکی نانوسیلیس شرکت وند شیمی را نشان می دهد.

جدول۲- خصوصیات فیزیکی نانوسیلیس شرکت صنعت آوران ویستا

رنگ	ویسکوزیته	وزن مخصوص(گرم بر سانتی متر مکعب)	PH	حالت	درصدجامد
شیری	۱۵	۱/۳۸۶-۱/۴۰۳	۱/۹-۹/۹	مایع	۵۰

۲-۲ طرح اختلاط

با فراهم کردن مصالح مورد نیاز جهت ساخت نمونه‌ها، با توجه به میزان مصرف هر کدام از آن‌ها در واحد حجم بتن مطابق با جدول ۳، برنامه‌ی مورد نیاز برای بتن‌ریزی انجام شد. در این طرح اختلاط نمونه A شاهد، نمونه B حاوی ۱۵ درصد خرده شیشه و نمونه C حاوی ۱۵ درصد خرده شیشه و ۳ درصد نانو سیلیس است. تمامی این آزمایشات در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشگاه صنعتی بیرجند انجام شد.

جدول۳-مقدار مصرفی مصالح طرح اختلاط برای حجم واحد بتن (بر حسب کیلوگرم)

مصالح / نمونه‌ها	آب	سیمان	شن	ماسه	خرده شیشه	نانوسیلیس
A	۲۴۵	۳۵۰	۷۲۲	۱۰۸۳	-	-
B	۲۴۵	۳۵۰	۷۲۲	۹۲۰/۵۵	۱۶۲/۴۵	-
C	۲۴۵	۳۳۹/۵	۷۲۲	۹۲۰/۵۵	۱۶۲/۴۵	۱۰/۵

۳-۲ ساخت آزمونه ها

قبل از اختلاط، ابتدا ذرات شیشه با آب موجود در آزمایشگاه شسته شده تا مواد زائد از سطح شیشه‌ها زدوده شود. برای اختلاط ابتدا سیمان، مصالح سنگی و خرده شیشه به مدت یک دقیقه به صورت خشک توسط میکسر با هم مخلوط شده و سپس آب در حین اختلاط اضافه شده است. پس از آماده شدن مخلوط‌ها، اقدام به نمونه‌گیری از بتن مطابق استاندارد ASTM C-۱۷۲ برای انجام آزمایش های مربوطه شد[۱۱]. در این راستا ابتدا سطوح داخلی قالب‌ها به وسیله روغن مخصوص به اندازه کافی چرب شده، تا پس از سخت شدن بتن، نمونه‌ها به راحتی از قالب جدا گردند. سپس بتن در قالب‌های مکعبی (۱۵×۱۵×۱۵) و استوانه‌ای (۱۵×۳۰) در سه لایه ریخته شد و هر لایه توسط کوبه مخصوص به تعداد ۲۵ضربه کوبیده شد و بعد از ریختن لایه سوم، سطح نمونه‌ها با استفاده از خط‌کش صاف گردید و بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها به حوضچه عمل آوری منتقل گردید و به مدت ۲۸ روز نگهداری شدند. شکل ۳و ۴به ترتیب نمونه ها پس از بتن ریزی و چگونگی قرارگیری آن‌ها در حوضچه ی آب را نشان می‌دهند.

شکل۳-نمونه ها پس از بتن ریزی

شکل۴- قرارگیری نمونه ها در حوضچه آب

۴-۲ آزمون های مقاومت فشاری

در این مقاله، دو نمونه مکعبی ۱۵cm×۱۵cm×۱۵cmو دو نمونه استوانه‌ای۱۵cm× ۳۰cmبرای هر یک از حالت‌های طرح اختلاط بتن ساخته شد. برای تعیین مقاومت فشاری آن‌ها زیر جک قرار داده شدند. در آزمایش مقاومت فشاری، مکعب‌ها 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 ۵و۶به ترتیب قرارگیری نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای در زیر جک آزمون مقاومت فشاری و نحوه گسیختگی نمونه‌ها را نشان می‌دهند.

شکل۵- قرارگیری نمونه ها در زیر جک

شکل۶- نحوه گسیختگی نمونه‌ها

نتیجه‌های آزمون‌های فشاری در سه حالت بدون خرده شیشه (نمونه‌های شاهد)، همراه با خرده شیشه و ترکیب خرده شیشه و نانو سیلیس برای نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای در جدول ۴ گزارش شده‌است.

جدول۴- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه

نمونه	مقاومت فشاری ۲۸روزه(kg/cm^2)				
	۱	۲	۳	۴	میانگین
A	۳۱۹	۳۱۰	۲۹۹	۳۱۷	۳۱۱/۲۵
B	۲۷۱	۲۶۴	۲۵۴	۲۶۹	۲۶۴/۵
C	۳۶۷	۳۵۶	۳۴۳	۳۶۴	۳۵۷/۵

۳. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر استفاده از ضایعات شیشه در بتن، اقبال زیادی یافته که لزوم بررسی اثرات این ضایعات را بر خواص رفتاری و مکانیکی بتن ضروری می سازد. دلیل استفاده از بتن با شیشه‌های ضایعاتی می‌تواند جلوگیری از تخریب بیشتر محیط زیست و همچنین بهبود برخی از مشخصات بتن باشد. در این مقاله تلاش شد تا با به‌کارگیری خرده شیشه‌های ضایعاتی، میزانی از ماسه مصرفی در طرح اختلاط بتن کاهش پیدا کند. از سه طرح اختلاط شاهد، بتن حاوی ۱۵درصد خرده شیشه و ترکیب ۱۵ درصدخرده شیشه و ۳درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان، استفاده شد، و نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی خرده شیشه نسبت به نمونه شاهد کاهش مقاومت دارند و نمونه‌های حاوی نانو سیلیس مقاومت بیشتری را نسبت به دو طرح اختلاط شاهد و بتن حاوی خرده شیشه دارا می باشند. از این رو می‌توان از این مصالح به عنوان جایگزینی مناسب برای ماسه مصرفی در بتن استفاده کرد و از تخریب محیط زیست و کاهش منابع معدنی جلوگیری کرد.

۴. مراجع

[۱] منصوری ورنوسفادرانی، اسماعیل.(۱۳۸۹). بررسی تجربی نفوذپذیری بتن‌های عادی و خودتراکم. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه عمران.دانشگاه رازی.

[۲] مرادی شقاقی، طالب، علاقی پور، حسن، شاهدی فرد، مسعود(۱۳۹۳). بررسی آزمایشگاهی مقاومت بتن حاوی ماده افزودنی گیاهی ماهور،۲(۷)،۶۹-۷۹.

[۳] کاووسی، علی، موسوی، سیدیاسین(۱۳۹۶). عملکردبتن حاوی شیشه ضایعاتی در نسبت پایین آب به چسباننده،۱(۱۰)،۱۲۵-۱۳۴.

[۴] Cartuxo, F., de Brito, J., Evangelista, L., Jiménez, J.R., and Ledesma, E.F. (۲۰۱۶). “Increased durability of concrete made with fine recycled concrete aggregates using superplasticizers.” Materials, ۹ (۹۸), ۱-۲۶

[۵] Castro, S., and de Brito, J. (۲۰۱۳). “Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates.” Journal of Cleaner Production, ۴۱, ۷-۱۴

[۶] راحت دهمرده، سامان، میرابی مقدم، محمد حسن، سرگزی مقدم، محمدصالح(۱۳۹۷). ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد بتن خودتراکم حاوی ذرات شیشه تحت شرایط مهاجم اسید سولفوریک،۳ (۵)، ۲۰۰-۲۲۰.

[۷] ساجدی، سیدفتح الله، دارش، فرزاد(۱۳۹۷). بررسی آزمایشگاهی کارایی و خواص مکانیکی بتن حاوی پودر شیشه و خرده شیشه ضایعاتی با کاربردهای جداگانه و همزمان ،۶ (۵۰)، ۱۱۵۵-۱۱۷۶.

[۸] مستوفی نژاد، داوود(۱۳۸۲). تکنولوژی و طرح اختلاط بتن. اصفهان: انتشارات ارکان.

[۹] سایت کارخانه سیمان قاین(http://www.qayencement.com).

[١٠] ASTM C٣٣, "Standard Specification for Concrete Aggregates". USA: American Society for Testing and Materials.

[١١] ASTM C-١٧٢, "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete". USA: American Society for Testing and Materials.