Archive of SID

نشریه علمی – پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۶، شماره ویژه ۴، سال ۱۳۹۸، صفحه ۱۶۵ تا ۱۸۰

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)

www.jsce.ir

ارزیابی و مقایسه تاثیر پوزولان‌های زئولیت، میکروسیلیس و خاکستربادی بر خواص مکانیکی بتن‌های بازیافتی ساخته‌شده از صد درصد درشت‌دانه‌های بازیافتی

حسن جلیلی‌فر[۱]، سیدفتح اله ساجدی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

امروزه محدودیت‌های دسترسی به منابع سنگدانه‌های طبیعی در تولید بتن در بسیاری از کشورها به یکی از معضلات تبدیل شده است. بتن به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین محصولات بشر، عامل مصرف مقادیر زیادی از سنگدانه‌ها می‌باشد. جهت مرتفع نمودن این نیاز، امروزه بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته از انواع مختلف سنگدانه‌های بازیافتی به عنوان جایگزین مناسبی برای سنگدانه‌های طبیعی استفاده می‌کنند. تحقیق حاضر به بررسی تاثیر جایگزینی کامل درشت‌دانه‌های بتنی بازیافت شده به‌جای درشت‌دانه‌های طبیعی در بتن پرداخته است. جهت بهبود کیفیت بتن‌های بازیافتی، پوزولان‌های میکروسیلیس، زئولیت طبیعی و خاکستربادی در درصدهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. جهت تعیین و مقایسه مشخصات مکانیکی بتن‌ها، ۱۱ طرح اختلاط ساخته شده و آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه، آزمایش‌های مقاومت کششی دونیم‌شدن، ضریب ارتجاعی و سرعت امواج فراصوت در سن ۲۸ روزه انجام شدند. نتایج نشان دادند که در مقایسه با سایر پوزولان‌ها، میکروسیلیس به‌ویژه در سطح جایگزینی ٪۱۰، تاثیر چشم‌گیری در بهبود مقاومت فشاری بتن تماماً بازیافتی از خود نشان می‌دهد. نتایج کاربرد زئولیت طبیعی در بتن تماماً بازیافتی نیز نشان داد که این پوزولان به‌ویژه در سطح جایگزینی ٪۱۰، بیشتر در نقش یک ماده کاهنده مصرف مواد سیمانی عمل نموده و نقش کم‌تری در بهبود خواص مکانیکی بتن بازیافتی در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر مواد پوزولانی به نسبتی که منجر به بهبود مقاومت فشاری بتن بازیافتی می‌شوند، قادر نیستند تا باعث بهبود مقاومت کششی دونیم‌شدن و ضریب ارتجاعی بتن‌های بازیافتی در مقایسه با بتن معمولی گردند.

کلمات کلیدی: بتن بازیافتی، میکروسیلیس، خاکستربادی، زئولیت طبیعی، خواص مکانیکی.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2018.117501.1448 :doi
۱۳۹۶/۱۱/۱۰	۱۳۹۷/۰۳/۱۶	۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۱۳۹۸/۱۰/۰۱	https://10.22065/jsce.2018.117501.1448

*نویسنده مسئول: سیدفتح اله ساجدی

پست الکترونیکی: f_sajedi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluating and comparing the effect of zeolite, micro-silica, and fly ash on the mechanical properties of recycled concrete made of 100% recycled aggregates

Hasan Jalilifar[1], Seyed Fathollah Sajedi[2]*

1- Ph.D. student, Department of Civil Engineering, ,Ahvaz Branch, IAU, Ahvaz, Iran
2- Associate professor, Department of Civil Engineering, ,Ahvaz Branch, IAU, Ahvaz, Iran

ABSTRACT

Today, restrictions on access to natural aggregate resources in concrete production have become one of the problems in many countries. Concrete, as one of the most widely used human products, is a factor in consuming a large amount of aggregate. To meet this need, today many developed countries use different types of recycled aggregates as a suitable alternative to natural aggregates. The present study investigates the effect of complete replacement of recycled concrete coils instead of coarse natural aggregates in concrete. In order to improve the quality of recycled concrete, the pozzolans like as micro-silica, natural zeolite and fly ash were used in different percentages. In order to determine and compare the mechanical properties of concrete, 11 mixing designs were made and compressive strength tests at 7, 28 and 91 days, indirect tensile strength (SPT), modulus of elasticity and ultrasound velocity tests at 28 days of age were performed. The results showed that micro-silica, especially at the 10% replacement level, has a dramatic effect on the improvement of the compressive strength of fully recycled concrete compared to other pozzolans. The results of the application of natural zeolite in fully recycled concrete showed that this pozzolan, especially in the 10% substitution, act as a cementitious reducing agent and play a lesser role in improving the mechanical properties of recycled concrete compared to recycled concrete without pozzolan. On the other hand, pozzolanic materials, in a way that improves the compressive strength of recycled concrete, are not able to improve the tensile strength and the modulus of elasticity of the recycled concrete compared to conventional concrete.

ARTICLE INFO

Received: 30 January 2018
Revised: 06 June 2018
Accepted: 12 July 2018

Keywords:
Recycle concrete,
Micro-silica,
Fly ash,
Natural zeolite,
Mechanical properties

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.117501.1448

*Corresponding author: Seyed Fathollah Sajedi
Email address: f_sajedi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در میان تعاریف مختلفی که از فرآیند بازیافت صورت پذیرفته، بازیافت محصولات ساختمانی به میزان بسیار زیادی مورد توجه قرار گرفته است. حجم زیاد تولید نخاله‌های ساختمانی از یک سو و محدودیت‌های موجود برای اختصاص مکان مناسب جهت دپوی این مواد از سویی دیگر مختصصان را بر آن داشته تا به دنبال یافتن راهکارهای مناسب جهت استفاده مجدد از این مواد باشند. مقالات منتشر شده در زمینه شناخت رفتار محصولات پایه سیمانی ساخته شده از مصالح بازیافتی در دو دهه اخیر رشد چشم‌گیری داشته‌اند [۱] به نحوی که مجموع مقالات ارائه شده با موضوع بتن بازیافتی در تارنمای ساینس دایرکت[1] از ابتدای قرن حاضر تاکنون بیش از سه برابر مجموع مقالات ارائه شده در قرن گذشته بوده است.

اگرچه شناخت دقیق رفتار بتن‌های بازیافتی تحت تاثیر عواملی مانند منبع تولید سنگدانه، نحوه اختلاط مصالح، ویژگی‌های سطحی و بافتی، ترکیبات تشکیل‌دهنده و ریزساختار سنگدانه‌های بازیافتی نسبت به بتن‌های معمولی پیچیده‌تر می‌باشد [۲]، ولی به طور کلی ضعف-های فیزیکی سنگدانه‌های بازیافتی اعم از تخلخل زیاد، جذب آب بالا و چگالی پایین‌تر [۳] آن‌ها از مهم‌ترین عواملی هستند که منجر به تولید بتن با مشخصه‌های مکانیکی ضعیف‌تر می‌گردد؛ ولی محققان توانسته‌اند تا با روش‌های بهبود خواص فیزیکی سنگدانه‌ها مانند زدودن ملات چسبیده با استفاده از روش‌های مکانیکی [۴]، حرارتی [۵]، پیش غوطه‌ورسازی در آب [۶]، اسید [۷] و یا استفاده از امولسیون پلیمر [۸]، ارائه روش‌های مختلف اختلاط این مصالح [۹,۱۰] و نیز معرفی طرح مخلوط مخصوص بتن‌های بازیافتی [۱۱] رفتار مکانیکی بتن‌های بازیافتی را به بتن‌های معمولی نزدیک‌تر کنند.

نقطه مشترک در نتایج کسب‌شده مطالعات پیشین در آن است که بتن‌های بازیافتی ساخته شده با جایگزینی کم سنگدانه‌های بازیافتی در مقایسه با بتن‌های معمولی، با نوسانات کمی در مشخصات مکانیکی روبرو می‌شوند [۱۲,۱۳] در حالی که بیشتر محققان بر کاهش مقاومت-های مکانیکی این بتن‌ها در جایگزینی‌های بیشتر تاکید دارند [۱۴,۱۵]. برخی از محققان نیز با استفاده از روش‌هایی مانند کاربرد مواد پوزولانی توانسته‌اند در سطوح جایگزینی بالاتر از ٪۵۰ نیز به مشخصه‌های مکانیکی مطلوبی دست یابند [۳,۱۶]. لازمه ترویج اندیشه مبتنی بر توسعه پایدار در صنعت بتن، حفظ سنگدانه‌های طبیعی و کاهش استفاده از آن‌ها در ساخت بتن‌های معمولی می‌باشد که منوط به آن است که نگاه ویژه‌ای به ساخت بتن‌های ٪۱۰۰ بازیافتی گردد. این مقاله تلاش می‌کند تا تاثیر جایگزینی کامل سنگدانه‌های درشت بازیافتی بتنی را مورد بررسی قرار دهد. به همین جهت سه پوزولان مختلف، هر یک در سه سطح جایگزینی به بتن‌های تماماً بازیافتی افزوده شده و رفتار مکانیکی هر یک از این بتن‌ها با حضور پوزولان مورد شناسایی واقع شده و با بتن معمولی مقایسه شدند. برای شناخت رفتار بتن‌های بازیافتی ساخته‌شده، آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه، آزمایش‌های ضریب ارتجاعی، مقاومت کششی دونیم‌شدن و سرعت انتشار امواج فراصوت در سن ۲۸ روز انجام گردیدند

برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش بتن‌های ساخته شده از جایگزینی ٪۱۰۰ درشت‌دانه‌های بتنی بازیافتی ساخته شدند. جهت بهبود سطح کیفی خواص مکانیکی بتن‌های بازیافتی از پوزولان میکروسیلیس در سطوح جایگزینی ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵، خاکستربادی در سطوح ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ و زئولیت طبیعی در سطوح ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ استفاده شده است. طرح اختلاط بتن مرجع مطابق مبانی طرح مخلوط ملی بتن ایران [۱۷] و براساس مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه به مقدار ۴۰ مگاپاسکال ارائه شده است. پس از ساخت، تمامی نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاه قرار داده شدند و پس از گذشت ۲۴ ساعت اقدام به بازنمودن قالب‌ها شده و تا سررسیدهای تعیین شده، نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C192[۱۸] در حوضچه آب با دمای ۲۵±۲ °C عمل‌آوری شدند. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه در مجموع بر روی

[1] Science Direct

www.SID.ir

Archive of SID

۹۹ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر براساس استاندارد ASTM C109 [۱۹]، آزمایش تعیین ضریب ارتجاعی در سن ۲۸ روزه در مجموع بر روی ۳۳ نمونه استوانه‌ای ۳۰۰ x ۱۵۰ میلی‌متری براساس استاندارد ASTM C469 [۲۰]، آزمایش تعیین مقاومت کششی دونیم‌شدن در سن ۲۸ روزه در مجموع بر روی ۳۳ نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر براساس استاندارد ASTM C496 [۲۱] و هم‌چنین قبل از شکستن نمونه‌های مکعبی ۲۸ روزه، آزمایش تعیین سرعت امواج فراصوت براساس استاندارد ASTM C597 [۲۲] برروی ۳۳ نمونه انجام گردید. تصاویر مربوط به آزمایش‌های صورت گرفته شده در تصویر شماره ۱ ارائه شده است.

الف: آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سنین مختلف روی نمونه‌های مکعبی

ب: آزمایش تعیین ضریب ارتجاعی استاتیکی در سن ۲۸ روزه روی نمونه‌های استوانه‌ای

ج: آزمایش تعیین مقاومت کششی دونیم‌شدن ۲۸در سن روزه روی نمونه‌های استوانه‌ای

د: آزمایش تعیین سرعت انتشار امواج فراصوت در سن ۲۸روزه روی نمونه‌های مکعبی

تصویر شماره ۱: آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های ساخته شده در تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و مصالح

مواد سیمانی

مواد سیمانی استفاده شده در این پژوهش شامل سیمان پرتلند نوع ۲، پودر میکروسیلیس، زئولیت طبیعی و خاکستربادی می‌باشند. ترکیبات شیمیایی هر یک از این مواد سیمانی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول شماره ۱: ترکیبات شیمیایی مواد سیمانی استفاده شده در تحقیق

	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	LOI
سیمان	۲۱/۲۸	۳/۷	۶/۱	۶۴/۳۴	۲/۱	۲/۱۳	۲/۲
زئولیت طبیعی	۶۸	۱/۵	۱۱/۵	۲/۵	–	–	۱۲/۲
میکروسیلیس	۹۴/۷۳	۰/۸۷	۱/۲۳	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۱	–
خاکستربادی	۵۶/۷	۵/۳	۲۸/۲	۲/۸	۵/۲	۰/۶۸	۳/۷

سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های به‌کار رفته شامل ریزدانه طبیعی با حداکثر اندازه ۴ میلی‌متر و درشت‌دانه طبیعی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر می‌باشند. جهت بررسی تاثیر جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی، از درشت‌دانه‌های بازیافتی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر استفاده گردید. سنگدانه‌های بازیافتی شامل قطعات شکسته شده از شمع‌های بتنی و ساختمان‌های بتنی تخریب‌شده در شهر اهواز می‌باشند. مشخصات مکانیکی سنگ-دانه‌های بازیافتی و مقایسه نتایج آن‌ها با سنگ‌دانه‌های طبیعی در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۲: مقایسه مشخصات مکانیکی سنگدانه های بازیافتی و طبیعی استفاده شده

نوع سنگدانه	حداکثر اندازه (mm)	چگالی اشباع با سطح خشک (kg/m^3)	چگالی خشک شده در کوره (kg/m^3)	جذب آب (٪)	میزان ملات چسبیده به سنگدانه (٪)	
					۴/۷۵-۹/۵ (mm)	۹/۵-۱۹ (mm)
طبیعی	۱۹	۲/۸	۲/۵۷	۳/۲۳	-	-
بازیافتی	۱۹	۲/۳۳	۲/۱۹	۶/۴۴	۵۳-۶۶	۴۷-۶۲

آب و مواد افزودنی

آب مصرف شده در تحقیق، آب شرب اهواز بوده که جهت دست‌یابی به کارایی مطلوب از فوق‌روان‌کننده پایه پلی‌کربکسیلات با چگالی [۳] $1/1\pm0/02$ g/cm استفاده شد. درصد بهینه استفاده از فوق‌روان‌کننده مربوطه، معادل ٪۱ وزنی مصالح سیمانی بوده است.

طرح اختلاط

در این مطالعه دو دسته از بتن‌های معمولی و بازیافتی به ترتیب تحت عناوین اختصاری CC و RC مورد استفاده قرارگرفته است. بتن معمولی به عنوان بتن مرجع از سنگدانه‌های درشت و ریزکاملا طبیعی ساخته شد، در حالی که در بتن‌های بازیافتی سنگدانه‌های درشت بازیافتی در سطح ٪۱۰۰ با درشت‌دانه‌های طبیعی جایگزین شدند. جهت بهبود کیفیت بتن‌های ساخته شده، از میکروسیلیس (SF)، زئولیت طبیعی (Z) و خاکستربادی (FA) استفاده گردید. تمام بتن‌های حاوی میکروسیلیس در سه سطح جایگزینی ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ وزنی سیمان،

www.SID.ir

Archive of SID

بتن‌های حاوی زئولیت در سه سطح ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ وزنی سیمان و بتن‌های حاوی خاکستربادی در سه سطح ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ وزنی سیمان ساخته شدند. در تمام طرح‌های اختلاط ارائه شده نسبت آب به سیمان معادل ۰/۳۶ و مجموع مواد سیمانی مصرفی معادل ۴۲۰ کیلوگرم در متر مکعب بوده است. فرآیند اختلاط مصالح در مخلوط‌کن آزمایشگاهی ۱۵۰ لیتری و براساس فرآیند تعریف شده در ادامه صورت پذیرفته است:

- در مرحله اول تمام سنگدانه‌های درشت‌دانه به همراه ثلث آب و نصف مواد پوزولانی به مدت ۱ دقیقه در مخلوط‌کن مخلوط شدند. هدف اصلی از انجام این کار براساس ایده نشات گرفته شده از روش تام و همکاران[2] تحت عنوان روش دو مرحله ای (TSMA)[3] [۹] بوده و جهت حصول اطمینان از نفوذ کامل دوغاب مواد پوزولانی در حفرات موجود در سطح سنگدانه‌های بازیافتی و ایجاد یک لایه از مواد سیمانی چسبنده روی سطح سنگدانه‌ها برای بهبود اتصال سطح ملات‌های قدیم و جدید می باشد (تصویر شماره ۲).
- در مرحله دوم نصف ماسه، نصف سیمان و ثلث آب مصرفی به مخلوط قبلی اضافه شدند و به مدت ۲ دقیقه مصالح با یکدیگر مخلوط گردیدند.
- در مرحله سوم مصالح باقی‌مانده شامل نصف ماسه، نصف مواد پوزولانی، نصف سیمان و ثلث آب به مخلوط اضافه شدند و به مدت ۶ دقیقه اختلاط ادامه یافت.

سایر موارد و اطلاعات لازم در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند.

(الف) (ب) (ج)

تصویر شماره ۲: سنگدانه‌های بازیافتی غوطه ور شده در دوغاب (الف) میکروسیلیس (ب) زئولیت طبیعی (ج) خاکستربادی

نتایج آزمایشگاهی

مقاومت فشاری ۷ روزه

نتایج حاصل از مقاومت فشاری ۷ روزه در جدول شماره ۴ و نمودار شماره ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این بازه زمانی بتن معمولی به مقاومت ۳۵/۱ مگاپاسکال رسید در حالی که بتن تماماً بازیافتی با ٪۱۹ کاهش مقاومتی معادل ۲۸/۳ مگاپاسکال را کسب نمود. در میان بتن‌های بازیافتی حاوی زئولیت طبیعی مقاومت‌های ۳۲/۲، ۲۷/۵ و ۲۰/۶ مگاپاسکال به ترتیب برای بتن‌های حاوی ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ زئولیت کسب گردید که در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان، بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ زئولیت طبیعی با ٪۱۴ رشد و بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۲۰ و ٪۳۰ زئولیت طبیعی به ترتیب با ٪۳ و ٪۲۷ کاهش در مقاومت فشاری ۷ روزه مواجه شدند.

2 Tam et al.

3 Two Stage Mixing Approach (TSMA)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۳ : جزئیات طرح‌های اختلاط مورد استفاده در تحقیق

نمایه	سیمان (kg)	پوزولان (kg)			آب (lit)	فوق‌روان کننده (lit)	ماسه (kg)	شن طبیعی (kg)	شن بازیافتی (kg)
		زئولیت	میکروسیلیس	خاکستربادی					
CC	۴۲۰	–	–	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۸۱۵	۰
RC100	۴۲۰	–	–	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-Z10	۳۷۸	۴۲	–	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-Z20	۳۳۶	۸۴	–	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-Z30	۲۹۴	۱۲۶	–	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-SF5	۳۹۹	–	۲۱	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-SF10	۳۷۸	–	۴۲	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-SF15	۳۵۷	–	۶۳	–	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-FA15	۳۵۷	–	–	۶۳	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-FA25	۳۱۵	–	–	۱۰۵	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵
RC100-FA35	۲۷۳	–	–	۱۴۷	۱۵۰	۲/۴	۸۸۸	۰	۸۱۵

جدول شماره ۴ : مشخصات مکانیکی بتن‌های معمولی و بازیافتی

نمایه	مقاومت فشاری (MPa)			مقاومت کششی دونیم‌شدن در سن ۲۸روزه (MPa)	ضریب ارتجاعی در سن ۲۸ روزه (GPa)	سرعت امواج فراصوت در سن ۲۸ روزه (km/s)
	۹۱روزه	۲۸روزه	۷روزه			
CC	۵۲/۲	۴۴/۲	۳۵/۱	۳/۹	۳۹/۷	۴۵/۴
RC100	۴۱/۱	۳۶/۴	۲۸/۳	۳/۰	۲۸/۵	۵۶/۳
RC100-Z10	۳۹/۸	۳۶/۳	۳۲/۲	۲/۷	۲۸/۳	۴۲/۴
RC100-Z20	۳۳/۲	۳۲/۴	۲۷/۵	۲/۵	۲۳/۸	۴۰/۷
RC100-Z30	۲۵/۴	۲۳/۷	۲۰/۶	۲/۳	۲۳/۹	۳۸/۸
RC100-SF5	۴۴/۱	۳۹/۹	۳۷/۰	۳/۰	۲۸/۱	۴۳/۶
RC100-SF10	۵۶/۴	۵۱/۷	۴۰/۵	۳/۶	۳۰/۱	۴۴/۵
RC100-SF15	۴۳/۴	۴۰/۷	۳۴/۳	۳/۰	۲۸/۳	۴۲/۳
RC100-FA15	۳۶/۱	۳۰/۵	۲۳/۶	۲/۲	۲۶/۶	۳۶/۵
RC100-FA25	۳۷/۱	۳۲/۵	۲۲/۴	۱/۹	۲۳/۳	۳۷/۱
RC100-FA35	۲۸/۳	۲۲/۱	۱۹/۲	۲/۱	۲۱/۹	۲۸/۷

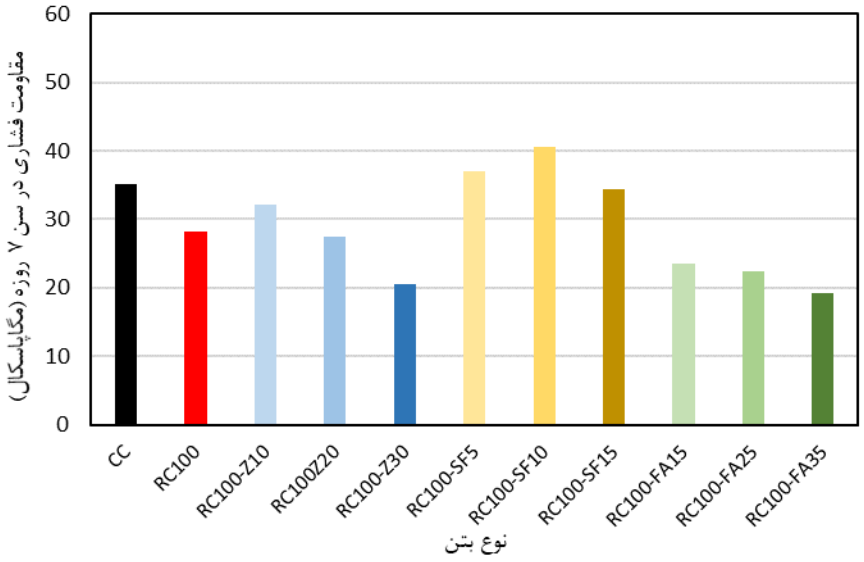
در بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس رفتار کاملاً متفاوتی نسبت به سایر بتن‌های حاوی دیگر پوزولان‌ها مشاهده شده است؛ به این ترتیب که بتن‌های بازیافتی ساخته شده از ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ میکروسیلیس نه تنها توانستند در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان به

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب با ٪۳۱، ٪۴۳ و ٪۲۱ رشد مواجه شوند، بلکه بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۵ و ٪۱۰ میکروسیلیس در مقایسه با بتن معمولی نیز به رشد ٪۵ و ٪۱۶ رسیدند و بتن بازیافتی حاوی ٪۱۵ میکروسیلیس صرفاً با ٪۲ کاهش روبرو گردید. این امر نشان می‌دهد که میکروسیلیس توانسته است در کوتاه مدت تاثیر بسیار زیادی در کسب مقاومت بتن‌های بازیافتی از خود نشان دهد، به نحوی که باعث ارتقاء کیفیت بتن تماماً بازیافتی در مقایسه با بتن معمولی شود.

همان‌گونه که در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود، خاکستربادی به عنوان یک ماده پوزولانی نتوانسته در مقایسه با سایر پوزولان‌ها باعث بهبود کیفیت بتن‌های تماماً بازیافتی شود، چرا که در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان، بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ خاکستربادی به ترتیب با ٪۱۷، ٪۲۱ و ٪۳۲ کاهش در مقاومت فشاری ۷ روزه روبرو شدند و به طور میانگین در مقایسه با بتن معمولی ٪۳۸ کاهش مقاومت نشان دادند.



نمودار شماره ۱- مقاومت فشاری ۷ روزه انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

مقاومت فشاری ۲۸ روزه

نمودار شماره ۲ و جدول شماره ۴ بیانگر مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه انواع بتن‌های ساخته شده در تحقیق می‌باشند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقاومت فشاری بتن معمولی ۴۴/۲ و بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان ۳۶/۴ مگاپاسکال شده است. در مقایسه با مقاومت-های ۷ روزه، هر یک به ترتیب با ٪۲۶ و ٪۲۹ رشد روبرو شدند. برای بتن‌های بازیافتی حاوی زئولیت طبیعی همانند بازه ۷ روزه، روند کاهش مقاومت فشاری با افزایش میزان پوزولان روی داده است؛ به نحوی که مقاومت فشاری برای بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ زئولیت طبیعی از ۳۶/۳ به ۳۲/۴ و ۲۳/۷ مگاپاسکال برای بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۲۰ و ٪۳۰ زئولیت طبیعی رسیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود افزودن ٪۱۰ زئولیت طبیعی تاثیری در کاهش مقاومت این نوع بتن بازیافتی در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان ندارد، ولی بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۲۰ و ٪۳۰ زئولیت طبیعی در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان به ترتیب ٪۱۱ و ٪۳۵ با کاهش مقاومت روبرو شدند، این در حالی است که در مقایسه با بتن معمولی به ترتیب با ٪۱۸، ٪۲۷ و ٪۴۶ کاهش مقاومت روبرو گردیدند. لذا می‌توان چنین عنوان کرد که مقادیر بیشتر از ٪۱۰ از زئولیت طبیعی به میزان چشم‌گیری در کاهش مقاومت بتن بازیافتی موثر می‌باشند.

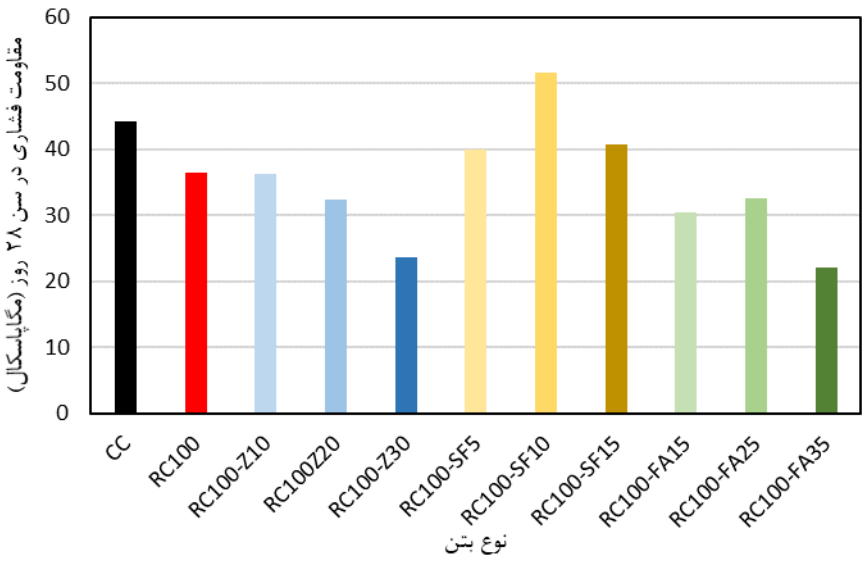
در مقابل رفتار بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس قابل توجه است، به نحوی که در ادامه نتایج مطلوب کسب شده در سن ۷ روزه، مقاومت‌های ۲۸ روزه بتن‌های حاوی ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ میکروسیلیس معادل ۳۹/۹، ۵۱/۷ و ۴۰/۷ مگاپاسکال شدند که این نشان‌دهنده

www.SID.ir

Archive of SID

٪۱۰، ٪۴۲ و ٪۱۲ رشد مقاومت نسبت به مقاومت بتن بازیافتی بدون پوزولان می‌باشد. نکته قابل توجه افزایش ٪۱۷ مقاومت فشاری بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس نسبت به بتن معمولی است. نکته قابل تامل در آن است که متوسط رشد مقاومت بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان در بازه ۷ روزه ٪۳۲ بوده که پس از گذشت ۲۸ روز این میزان از رشد متوسط به حدود ٪۲۱ کاهش یافته است، که این امر بیانگر کاهش تاثیر مطلوب میکروسیلیس در درازمدت بر مقاومت فشاری بتن بازیافتی می‌باشد.

درخصوص بتن‌های حاوی خاکستربادی در ادامه همان رفتار ۷ روزه هم‌چنان مقاومت فشاری بتن‌های حاوی این پوزولان نسبت به مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن بازیافتی بدون پوزولان کمتر می‌باشند، به نحوی که مقادیر ۳۰/۵، ۳۲/۵ و ۲۲/۱ مگاپاسکال به ترتیب برای بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ خاکستربادی کسب شده است. این امر نشان از افت مقاومت به ترتیب به میزان ٪۱۶، ٪۱۱ و ٪۳۹ نسبت به مقاومت فشاری بتن بازیافتی بدون پوزولان و به طور متوسط ٪۳۶ نسبت به مقاومت بتن معمولی دارد. از مقایسه مقادیر افت مقاومت این بتن‌ها در بازه ۲۸ روزه نسبت به بازه ۷ روزه می‌توان چنین استنباط کرد که متوسط کاهش مقاومت بتن‌های بازیافتی حاوی خاکستربادی با گذشت زمان کمتر شده است و انتظار می‌رود که به مرور زمان فاصله ایجاد شده تحت تاثیر رفتار پوزولانی دراز مدت خاکستربادی کاهش یابد.



نمودار شماره ۲- مقاومت فشاری ۲۸ روزه انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

مقاومت فشاری ۹۱ روزه

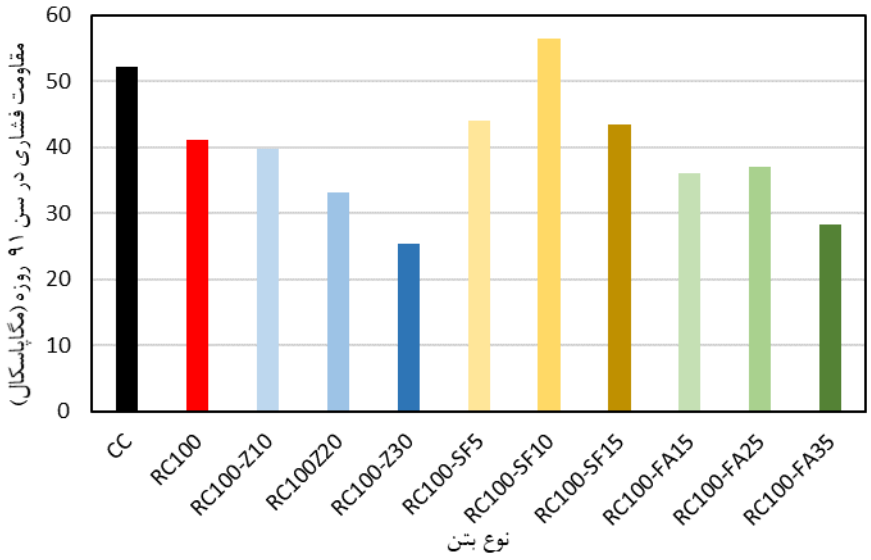
در نمودار شماره ۳ مقاومت‌های فشاری ۹۱ روزه بتن‌های تماماً بازیافتی ارائه شده است. همان‌گونه که در نمودار مذکور مشاهده می‌شود، در میان تمام بتن‌های بازیافتی حاوی پوزلان تنها بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس می‌باشد که مقاومتی بیشتر از مقاومت بتن معمولی کسب کرده است. در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان نیز صرفاً بتن‌های بازیافتی حاوی مقادیر ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ میکروسیلیس توانسته‌اند از مقاومت بیشتری برخوردار گردند. این مقادیر به ترتیب ۴۴/۱، ۵۶/۴ و ۴۳/۴ مگاپاسکال می‌باشند که در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان ٪۷، ٪۳۷ و ٪۵ رشد داشتند. در میان بتن‌های حاوی زئولیت نیز هم‌چنان بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ است که مقاومتی نزدیک به بتن بازیافتی بدون پوزولان دارد، ولی نتوانسته تا منجر به بهبود مقاومت فشاری در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان گردد. به عبارت دیگر می‌توان چنین عنوان کرد که استفاده از زئولیت طبیعی به میزان ٪۱۰ در بتن‌های بازیافتی باعث می‌شود تا این پوزولان بیشتر نقش جایگزین مواد سیمانی را ایفا نماید و نقش کمتری در بهبود مقاومت فشاری از خود نشان دهد. گواه این ادعا در کاهش میزان مقاومت

www.SID.ir

Archive of SID

فشاری در جایگزینی‌های بیشتر از ٪۱۰ می‌باشد، جایی که مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۲۰ و ٪۳۰ زئولیت طبیعی به ترتیب با ٪۱۹ و ٪۳۸ کاهش نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان روبرو شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود برای بتن‌های بازیافتی حاوی خاکستربادی همان روند مقاومتی در بازه ۲۸ روزه نیز تکرار شده است و مقاومت فشاری ۹۱ روزه هم‌چنان برای سطح جایگزینی ٪۲۵ از خاکستربادی نسبت به سایر سطوح مطلوب‌تر می‌باشد. ولی به طور کلی، میانگین مقاومت‌های کسب‌شده بتن‌های بازیافتی حاوی این پوزولان نسبت به بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس به میزان زیادی، کمتر و از بتن‌های بازیافتی حاوی زئولیت به میزان کمی، بیشتر می‌باشند. همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید و نیز در مطالعات کوو و پون [۳] مشاهده شده، بهبود مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی حاوی خاکستربادی امری قابل انتظار می‌باشد، چرا که متوسط اختلاف مقاومت‌های کسب شده این بتن‌ها در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان در بازه ۹۱ روزه به میزان ٪۱۷ رسیده است، در حالی که این اختلاف در بازه ۷ روزه ٪۲۳ و در بازه ۲۸ روزه ٪۲۲ ثبت گردیده است.



نمودار شماره ۳- مقاومت فشاری ۹۱ روزه انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

ضریب ارتجاعی استاتیکی

نمودار شماره ۴ نشان‌دهنده ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های معمولی و بازیافتی می‌باشد. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود در بازه زمانی ۲۸ روزه بتن معمولی ضریب ارتجاعی ۳۹/۷ گیگاپاسکال را کسب کرده است، در حالی که مقاومت بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان با ٪۲۸ کاهش به مقدار ۲۸/۵ گیگاپاسکال رسیده است. میزان افت ضریب ارتجاعی استاتیکی کسب‌شده در این پژوهش برای بتن بازیافتی بدون پوزولان در مقایسه با نتایج ارائه شده توسط ژائو و همکاران[4] [۲۳] از مقادیر کم‌تری برخوردار می‌باشند. برای بتن‌های بازیافتی حاوی زئولیت، در سطح جایگزینی ٪۱۰، کاهش چشم‌گیری در ضریب ارتجاعی استاتیکی نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان دیده نمی‌شود، در حالی‌که برای جایگزینی‌های ٪۲۰، ٪۳۰ و ٪۱۶ کاهش ضریب ارتجاعی استاتیکی نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان و ٪۴۰ نسبت به بتن معمولی حاصل گردید. ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس اگر چه در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار می‌باشند، ولی هم‌چنان اختلاف معنی‌داری با ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن معمولی دارند، به نحوی که بتن-های بازیافتی حاوی ٪۵ و ٪۱۵ میکروسیلیس به ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن بازیافتی بدون پوزولان رسیده ولی نسبت به بتن معمولی با ٪۲۹ کاهش روبرو شدند. تاثیر مطلوب و بهینه مصرف ٪۱۰ میکروسیلیس در ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن بازیافتی را می‌توان در بهبود

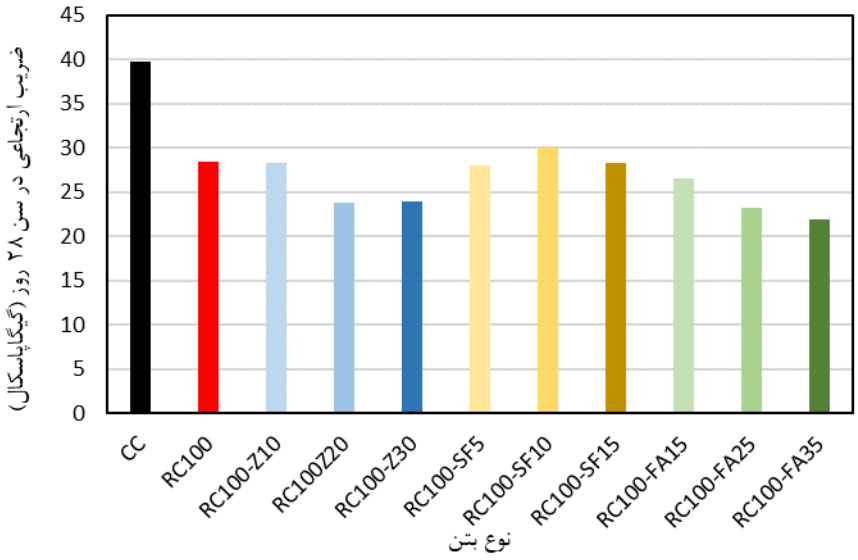
[4] Xiao et al.

www.SID.ir

Archive of SID

۱/۶ گیگاپاسکالی این بتن در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان مشاهده کرد، ولی این بتن نیز همانند سایر بتن‌های بازیافتی حاوی پوزولان در مقایسه با بتن معمولی ضریب ارتجاعی استاتیکی کمتری، معادل ۳۰/۱ گیگاپاسکال را کسب کرده است.

همان‌گونه که در نمودار شماره ۴ مشاهده می‌شود خاکستربادی در مقایسه با سایر پوزولان‌ها تاثیر کم‌تری در بهبود ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های بازیافتی از خود نشان داد به نحوی که بجز سطح جایگزینی ٪۱۵ از این پوزولان، سایر درصدهای جایگزینی، در بتن بازیافتی، منجر به کسب ضریب ارتجاعی استاتیکی کم‌تری نسبت به بتن‌های بازیافتی حاوی سایر مواد پوزولانی شده است. بتن‌های بازیافتی حاوی ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ خاکستربادی به ترتیب به مقادیر ضریب ارتجاعی استاتیکی ۲۶/۶، ۲۳/۳ و ۲۱/۹ گیگاپاسکال رسیدند، که در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان به ترتیب ٪۷، ٪۱۸ و ٪۲۳ و در مقایسه با بتن معمولی ٪۳۳، ٪۴۱ و ٪۴۵ کاهش را نشان می‌دهند. نتایج کسب‌شده برای بتن‌های تماماً بازیافتی حاوی ٪۲۵ و ٪۳۵ قرابت زیادی به نتایج ثبت شده توسط کوو و پون [۳] دارد، ولی میزان افت ضریب ارتجاعی استاتیکی در این بتن‌ها نسبت به بتن معمولی در مقایسه با نتایج آن‌ها به مراتب بیش‌تر می‌باشد. لذا می‌توان چنین استنباط کرد که در میان پوزولان‌های استفاده شده، تنها میزان مصرف ٪۱۰ از میکروسیلیس است که می‌تواند باعث بهبود ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن بازیافتی در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان شود و سایر مقادیر و انواع پوزولان‌های مصرف شده در این پژوهش، در سطح جایگزینی ٪۱۰۰ مصالح درشت‌دانه بازیافتی تاثیر محسوسی در بهبود ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن تماماً بازیافتی نخواهند داشت. بعلاوه پوزولان‌هایی مانند زئولیت طبیعی در سطح جایگزینی ٪۱۰ و میکروسیلیس در سطوح جایگزینی ٪۵ و ٪۱۵ نمی‌توانند در نقش بهبوددهنده ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های تماماً بازیافتی مورد استفاده قرار گیرند و صرفاً می‌توانند به عنوان کاهنده مصرف سیمان به‌کار روند.



نمودار شماره ۴ – ضریب ارتجاعی استاتیکی ۲۸ روزه انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

مقاومت کششی دونیم‌شدن

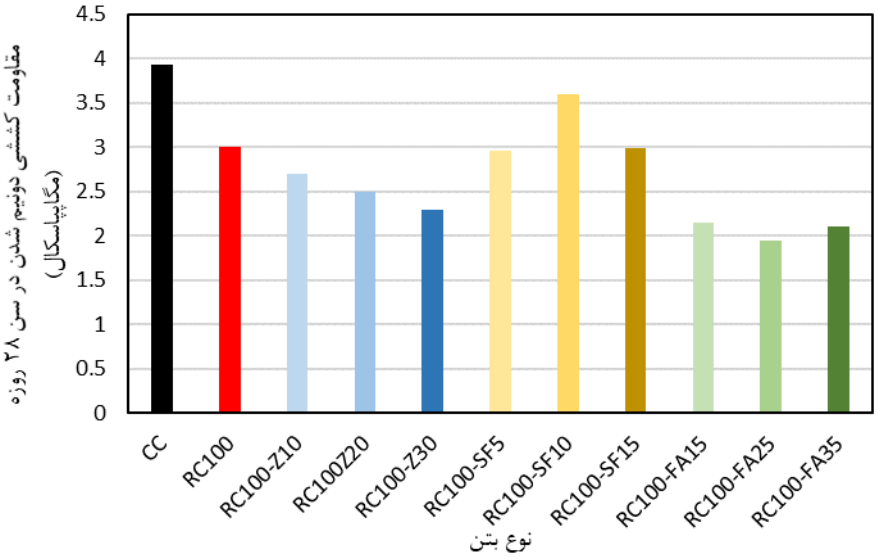
نتایج حاصل از انجام آزمایش مقاومت کششی‌دونیم‌شدن در نمودار شماره ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بتن معمولی مقاومتی معادل ۳/۹ مگاپاسکال را کسب کرده است، در حالی که بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان با ٪۲۴ کاهش به مقاومت کششی ۳/۰ مگاپاسکال رسیده است. در بتن‌های تماماً بازیافتی حاوی زئولیت، مقاومت کششی همانند سایر خواص مکانیکی، با افزایش مقدار زئولیت، رو به کاهش رفته است، به نحوی که افزایش مصرف زئولیت در بتن بازیافتی از ٪۱۰ تا ٪۳۰ منجر به کاهش مقاومت کششی دونیم‌شدن به میزان ٪۱۰ تا ٪۱۷ نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

نکته قابل توجه در استفاده از میکروسیلیس در آن است که این پوزولان به میزانی که منجر به بهبود مقاومت فشاری بتن تماماً بازیافتی در مقایسه با بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان می‌شود، نمی‌تواند منجر به بهبود مقاومت کششی دونیم‌شدن گردد؛ همان‌طور که در نمودار شماره ۵ مشاهده می‌شود، سطوح جایگزینی ٪۵ و ٪۱۵ مقاومت کششی معادل بتن بازیافتی بدون پوزولان را کسب کرده و صرفاً بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس توانسته از مقاومتی بیشتر از مقاومت بتن بازیافتی بدون پوزولان برخوردار گردد. این ادعا را می‌توان در مقایسه نتایج حاصل از نمودارهای شماره ۲ و ۵ نیز مشاهده کرد، جایی که متوسط رشد مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس در مقایسه با بتن‌های بازیافتی بدون پوزولان ٪۲۱ شده در حالی که این میزان برای مقاومت کششی دونیم‌شدن ٪۶ ثبت گردیده است.

مقاومت‌های کششی دونیم‌شدن برای بتن‌های بازیافتی حاوی خاکستربادی در مقایسه با سایر بتن‌های بازیافتی با افت قابل توجهی روبرو شدند به نحوی که مصرف ٪۱۵، ٪۲۵ و ٪۳۵ از آن در بتن بازیافتی منجر به کسب مقاومت به ترتیب ۲/۲، ۱/۹ و ۲/۱ مگاپاسکال شده است. این سطح از کاهش در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان معادل ٪۲۸، ٪۳۵ و ٪۳۰ بوده و مجموعه آن‌ها در مقایسه با بتن معمولی با ٪۴۷ افت مواجه شده است. بنابراین می‌توان گفت که خاکستربادی نیز مانند سایر پوزولان‌ها نتوانسته به نسبتی که در بهبود مقاومت فشاری موثر بوده در بهبود مقاومت کششی موثر واقع گردد.



نمودار شماره ۵- مقاومت کششی دونیم‌شدن ۲۸ روزه انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

سرعت انتشار امواج فراصوت

نمودار شماره ۶ بیانگر سرعت انتشار امواج فراصوت در نمونه‌های بتنی می‌باشد. هر مقدار بیانگر متوسط سرعت انتشار موج در سه نمونه بتنی می‌باشد. خطوط سیاه ترسیم شده روی نمودار بیانگر محدوده کیفیت تعیین شده بتن براساس دسته‌بندی انجام شده توسط وایتهورست [۲۴] می‌باشند که به ترتیب از بالا به پایین نشان‌دهنده محدوده سطح کیفی عالی، خوب، مشکوک، ضعیف و خیلی ضعیف هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بتن معمولی در مرز مشترک میان سطح کیفی عالی و خوب قرار واقع شده، در حالی که بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان در فاصله کمی از مرز مشترک میان سطح کیفی خوب و مشکوک قرار گرفته است که این امر نشان‌دهنده افت سطح کیفی این نوع بتن می‌باشد.

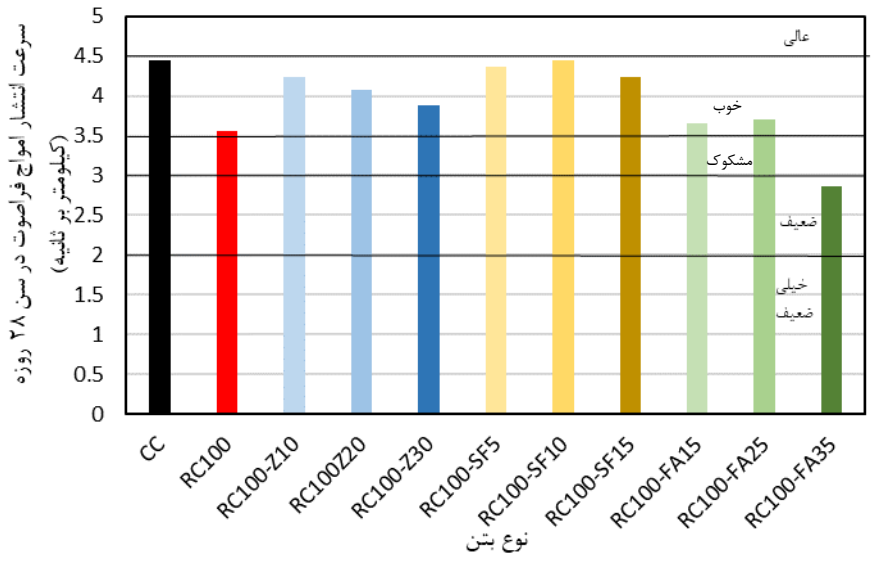
بتن‌های تماماً بازیافتی حاوی زئولیت اگر چه با افزایش مقدار زئولیت مصرفی با کاهش کیفی مواجه گردیده‌اند، ولی هم‌چنان در محدوده سطح کیفی خوب واقع هستند؛ در حالی که بهبود سطح کیفی بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس و تبدیل کردن آن‌ها به یک جسم چگال‌تر، در افزایش سرعت انتقال امواج در این بتن‌ها، ملاحظه می‌شود که هر سه سطح جایگزینی ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ به مقادیری بسیار

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیک به بتن معمولی رسیده‌اند که این امر احتمالاً نشان از متراکم‌تر شدن بتن‌های بازیافتی تحت اثر واکنش‌های پوزولانی ناشی از میکروسیلیس دارد.

افت سطح کیفی سرعت انتشار امواج در بتن‌های بازیافتی جایی بیشتر دیده می‌شود که این بتن‌ها حاوی خاکستربادی می‌باشند، به نحوی که بیشترین مقدار ثبت‌شده در میان سطوح مختلف استفاده از خاکستربادی متعلق به سطح جایگزینی ٪۲۵ است، که نزدیک به مرز سطح کیفی مشکوک قرار گرفته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مصرف ٪۳۵ خاکستربادی باعث شده تا بتن تماماً بازیافتی از نظر تراکم در سطح کیفی ضعیفی قرار گیرد و در اثر تخلخل زیاد موجود در این بتن، سرعت انتشار امواج به ۲/۹ کیلومتر بر ثانیه برسد.



نمودار شماره ۶- سرعت امواج فراصوت در انواع بتن‌های معمولی و بازیافتی

جمع‌بندی

این تحقیق با هدف بررسی امکان دست‌یابی به بتن دارای ٪۱۰۰ درشت‌دانه بازیافتی با حداقل مقاومت مشخصه ۲۸ روزه ۴۰ مگاپاسکال ارائه شد. از ۳ دسته پوزولان مصرف شده، میکروسیلیس نشان داد که از سن ۷ روزه نیز قادر به تامین هدف می‌باشد؛ در حالی که سایر پوزولان‌ها مانند خاکستربادی و زئولیت در کوتاه مدت تاثیر محسوسی بر مقاومت فشاری در این بتن ندارند. زئولیت نیز نشان داد که در سطح جایگزینی ٪۱۰ می‌تواند ماده مناسبی به عنوان جایگزین سیمان در بتن تماماً بازیافتی باشد. بتن تماماً بازیافتی در مقایسه با بتن معمولی با کاهش چشم‌گیری در ضریب ارتجاعی استاتیکی مواجه شد، در حالی‌که از میان پوزولان‌های مختلف، فقط ٪۱۰ میکروسیلیس نشان داد که می‌تواند باعث افزایش ضریب ارتجاعی استاتیکی نسبت به بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان شود.

دیگر نتیجه مهم کسب شده، عدم توانایی پوزولان‌های مصرف شده در بهبود مقاومت کششی دونیم‌شدن در مقایسه با بهبودی است که در مقاومت فشاری بتن‌های تماماً بازیافتی ایجاد می‌کنند. بتن تماماً بازیافتی نشان داد که از نظر تراکم با استفاده از معیار سرعت انتشار فراصوت در مرز میان سطح کیفی "خوب" و "مشکوک" قرار می‌گیرد، در حالی که استفاده از زئولیت و میکروسیلیس در تمامی سطوح استفاده شده، بتن تماماً بازیافتی را در سطح کیفی "خوب" قرار دادند؛ و اینکه خاکستربادی در بازه ۲۸ روزه تاثیر مطلوبی در متراکم‌تر کردن بتن تماماً بازیافتی نداشته است.

نتایج

در این تحقیق خواص مکانیکی بتن‌های ٪۱۰۰ بازیافتی حاوی درشت‌دانه‌های بتنی بازیافتی ساخته شده از درصدهای مختلف میکروسیلیس، زئولیت طبیعی و خاکستربادی در مقایسه با بتن معمولی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. در مجموع ۱۶۵ نمونه مکعبی و

www.SID.ir

Archive of SID

استوانه‌ای در قالب ۱۱ طرح اختلاط جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه و آزمایش‌های ضریب ارتجاعی، مقاومت کششی دونیم شدن و تعیین سرعت امواج فراصوت در سن ۲۸ روزه مورد استفاده واقع شدند. نتایج کلیدی حاصل، به شرح زیر می‌باشند:

- در بازه زمانی ۷ روزه در میان بتن‌های تماماً بازیافتی، صرفاً در بتن‌های حاوی میکروسیلیس امکان دستیابی به مقاومتی نزدیک و یا بیشتر از بتن معمولی می‌باشد. علاوه بر تمام سطوح جایگزینی میکروسیلیس، مصرف ٪۱۰ زئولیت طبیعی در بتن‌های تماماً بازیافتی منجر به افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه نسبت به بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان می‌گردد.
- علی‌رغم بیشتر بودن مقادیر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های بازیافتی حاوی میکروسیلیس نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان، تاثیر مطلوب میکروسیلیس در مقاومت فشاری بتن‌های تماماً بازیافتی در مقایسه با بازه ۷ روزه، در بازه ۲۸ روزه کاهش می‌یابد. در بتن‌های بازیافتی حاوی زئولیت طبیعی فقط سطح جایگزینی ٪۱۰ است که به مقاومتی نزدیک به مقاومت بتن بازیافتی بدون پوزولان می‌رسد.
- در بازه ۹۱ روزه در میان بتن‌های تماماً بازیافتی فقط بتن بازیافتی حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس به مقاومتی بیشتر از مقاومت بتن معمولی دست یافت. نتایج حاصل از مصرف زئولیت طبیعی نیز نشان داد که استفاده از سطح جایگزینی ٪۱۰ این پوزولان باعث شده تا این پوزولان بیشتر نقش جایگزین مواد سیمانی را ایفا نماید و نقش کمتری در بهبود مقاومت فشاری از خود نشان دهد. در تمام این بازه زمانی نیز مقاومت فشاری بتن‌های تماماً بازیافتی حاوی خاکستربادی نسبت به مقاومت فشاری بتن‌های بازیافتی بدون پوزولان، کمتر بود.
- در مقایسه با بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان، تمام سطوح جایگزینی میکروسیلیس و نیز جایگزینی ٪۱۰ زئولیت طبیعی باعث شده تا تغییرات محسوسی در ضریب ارتجاعی بتن تماماً بازیافتی ایجاد نگردد. بیشترین ضریب ارتجاعی بتن تماماً بازیافتی متعلق به بتن حاوی ٪۱۰ میکروسیلیس است که نسبت به ضریب ارتجاعی بتن طبیعی حدود ٪۲۴ کمتر می‌باشد.
- اگرچه استفاده از ٪۱۰ میکروسیلیس منجر به کسب مقاومت کششی دونیم‌شدن بیشتری نسبت به بتن بازیافتی بدون پوزولان می‌گردد، ولی هیچ یک از سایر سطوح جایگزینی پوزولان‌ها نمی‌توانند به نسبتی که در بهبود مقاومت فشاری بتن بازیافتی موثرند، در بهبود مقاومت کششی دونیم‌شدن موثر واقع گردند.
- براساس نتایج حاصل از سرعت امواج فراصوت، بتن معمولی در سطح کیفی مرز مشترک میان عالی و خوب قرار گرفت، در حالی که بتن تماماً بازیافتی بدون پوزولان در مرزی نزدیک به سطح کیفی مشکوک واقع گردید. استفاده از دو پوزولان میکروسیلیس و زئولیت طبیعی باعث شد تا بتن‌های تماماً بازیافتی در محدوده سطح کیفی خوب واقع گردند. اگر چه خاکستربادی نیز توانست تا به میزان جزئی در بهبود سطح کیفی بتن تماماً بازیافتی در مقایسه با بتن بازیافتی بدون پوزولان موثر واقع شود، ولی جایگزینی ٪۳۵ این پوزولان، کیفیت بتن بازیافتی را به محدوده ضعیف تنزل داد.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری‌های خوب شرکت‌های "سالار بتن اهواز" و" ایمن خاک جنوب" به خاطر در اختیار قرار دادن مصالح و تجهیزات آزمایشگاهی کمال تشکر را دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Leite, M. B., & Monteiro, P. J. M. (2016). Microstructural analysis of recycled concrete using X-ray microtomography. Cement and Concrete Research, 81, 38-48.

[2] Bonifazi, G., Capobianco, G., Serranti, S., Eggimann, M., Wagner, E., Di Maio, F., & Lotfi, S. (2015). The ITZ in concrete with natural and recycled aggregates: Study of microstructures based on image and SEM analysis. Delft University of Technology.

[3] Kou, S. C., & Poon, C. S. (2013). Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash. *Cement and Concrete Composites*, *37*, 12-19.

[4] Gjorv, O. E., & Sakai, K. (Eds.). (1999). *Concrete technology for a sustainable development in the 21st century*. CRC Press.

[5] Tateyashiki, H., Shima, H., Matsumoto, Y., & Koga, Y. (2001). Properties of concrete with high quality recycled aggregate by heat and rubbing method. *Proceedings of JCI*, *23* (2), 61-66.

[6] Katz, A. (2004). Treatments for the improvement of recycled aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *16* (6), 597-603.

[7] Tam, V. W., Tam, C. M., & Le, K. N. (2007). Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. Resources, Conservation and Recycling, 50 (1), 82-101.

[8] Kou, S. C., & Poon, C. S. (2010). Properties of concrete prepared with PVA-impregnated recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites, 32 (8), 649-654.

[9] Tam, V. W., Gao, X. F., & Tam, C. M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. Cement and concrete research, 35 (6), 1195-1203.

[10] Jalilifar, H., Sajedi, F., & Afshar, R. (2016). Exprimental effect of using silica fume and fly ash on mechanical properties of recycled concretes. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), 3 (11), 67-71.

[11] Fathifazl, G., Abbas, A., Razaqpur, A. G., Isgor, O. B., Fournier, B., & Foo, S. (2009). New mixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate. Journal of Materials in Civil Engineering, 21 (10), 601-611.

[12] Jalilifar, H., Sajedi, F., & Kazemi, S. (2016). Investigation on the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Recycled Concrete. Civil Engineering Journal, 2 (1), 13-22.

[13] Limbachiya, M., Meddah, M. S., & Ouchagour, Y. (2012). Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. Construction and Building Materials, 27(1), 439-449.

[14] Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J., & Sulieman, M. Z. (2012). Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. Construction and Building Materials, 26 (1), 565-573.

[15] Rao, M. C., Bhattacharyya, S. K., & Barai, S. V. (2011). Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load. Construction and Building Materials, 25 (1), 69-80.

[16] Manzi, S., Mazzotti, C., & Bignozzi, M. C. (2013). Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate. Cement and Concrete Composites, 37, 312-318.

[17] Iranian Management Organization, (2003). Iranian Concrete Code (ICC). 6 ed., 120, Tehran, Iran.

[18] ASTM C192 / C192M-16a.; (2016). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken.

[19] ASTM C109/C109M-07.; (2007). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken.

[20] ASTM C469 / C469M-14.; (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken.

www.SID.ir

Archive of SID

[21] ASTM C496 / C496M-11.; (2004). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken.

[22] ASTM C597-16.; (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM International, West Conshohocken.

[23] Xiao, J., Li, J., & Zhang, C. (2005). Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. Cement and concrete research, 35 (6), 1187-1194.

[24] Whitehurst, E. A. (1951). Soniscope tests concrete structures. In Journal Proceedings. 47 (2), 433-444.

www.SID.ir