

تأثیر جایگزینی سرباره در خواص بتن خودتراکم حاوی سنگدانه‌های درشت بازیافتی

جاسم عافیتی سلیم*

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

پریسا رزم آرا

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

سعید سعیدی جم

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

چکیده

امروزه مسئله پسماند و مدیریت آن یکی از معضلات مهم دنیا محسوب می‌گردد. در این پژوهش بتن بازیافتی ساخته شده و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن اندازه‌گرفته شده و درشت‌دانه آن پس از انجام آزمایش‌های دانه‌بندی و جذب آب آماده استفاده در بتن خودتراکم شده است و این بتن با درصد‌های مختلف سرباره و درشت‌دانه بازیافتی بصورت هم‌زمان ساخته شده است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی بیانگر آن بوده است که استفاده از سرباره و درشت‌دانه به ترتیب در ۱۵ و ۲۵ درصد جایگزینی حالت بهینه را داشته، هرچند که مقاومت اولیه در سن ۷ روزه کم بوده ولی در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه مقاومت فشاری و کششی افزایش یافته است. نتایج آزمایش‌های جریان اسلامپ و حلقه آ. نیز بیانگر افزایش کارایی و روانی بتن خودتراکم با استفاده از درصد‌های بیشتر سرباره می‌باشد و درشت‌دانه بازیافتی نیز باعث کاهش روانی، افزایش درصد جذب آب و کاهش قابلیت عبوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن خودتراکم، سرباره، سنگدانه بازیافتی، مقاومت فشاری.

* نویسنده مسئول: civil_869@yahoo.com

۱- مقدمه

دادند. در این تحقیق مشخص گردید امکان ساخت این نوع بتن با جایگزینی ۵۰ درصد سیمان با خاکستر بادی و یا ۶۰ درصد آن با سرباره وجود دارد [۲].

در سال ۲۰۰۹ کو و پون، نشان دادند که ویژگی‌های بتن خودتراکم ساخته شده از ماسه رودخانه‌ای و شن و ماسه بازیافتی (با ۱۰۰٪ درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی برای هر دو) تفاوت ناچیزی با هم دارند، یعنی می‌توان از ۱۰۰٪ درشت‌دانه و ریزدانه بازیافتی در بتن خودتراکم استفاده کرد [۳].

جوگر دیچ و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی خصوصیات بتن خودتراکم دارای درشت‌دانه‌های بازیافتی پرداختند. در این تحقیق سه نوع مخلوط بتن ساخته شد که سنگدانه‌های درشت بازیافتی با ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد سنگدانه‌های درشت طبیعی جایگزین شدند، در همه مخلوط‌های بتن درصدها ثابت بودند. نتایج بدست آمده نشان داد که خصوصیات هر سه نوع بتن خودتراکم ساخته شده، تفاوت ناچیزی باهم دارند و سنگدانه‌های درشت بازیافتی می‌توانند در بتن خودتراکم مورد استفاده قرار گیرند [۴].

در سال ۲۰۱۳ بال و پاندا خصوصیات بتن خودتراکم با درصد‌های مختلف جایگزینی درشت‌دانه بازیافتی را بررسی کردند. طبق نتایج در ۳۰ درصد جایگزینی درشت‌دانه بازیافتی، نتیجه مطلوبی مشاهده شد و در درصد‌های بیشتر مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کششی نسبت به درشت‌دانه طبیعی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد [۵].

در سال ۱۳۹۱ رضانیان پور و کاظمیان به بررسی کاربرد مواد جایگزین سیمان (سرباره کوره آهن‌گدازی و دوده سیلیسی) در بتن خودتراکم و نقش آن‌ها در توسعه پایدار پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه آزمایشگاهی در خصوص تأثیر سرباره کوره آهن‌گدازی و دوده سیلیسی بر دوام بتن‌های خودتراکم پرمقاومت در برابر نفوذ یون کلراید بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد توام دوده سیلیسی و سرباره تأثیر بسیار خوبی در کاهش نفوذپذیری مخلوط‌های بتنی خودتراکم پرمقاومت داشته است، به‌گونه‌ای که در نهایت مخلوط حاوی ۱۰ درصد دوده سیلیسی و ۱۰ درصد سرباره به‌عنوان مخلوط بتنی با عملکرد مناسب از منظر دوام معرفی شد [۶].

فدایی و همکاران در سال ۱۳۹۳، ویژگی‌های مکانیکی بتن خودتراکم ساخته شده با استفاده از باطله مجتمع معدن مس

از آغاز گسترش کاربرد بتن مسلح، مشکلات اجرایی ناشی از کاربرد مخلوط‌های بتن معمولی موجب گرایش به مخلوط‌های با روانی بیشتر مخصوصاً در میان متولیان اجرای سازه‌های بتنی شده بود، ولی از آنجا که افزایش روانی در گرو استفاده آب بیشتر در مخلوط بتن بود و از طرفی تأثیر افزایش میزان آب به سیمان بر کاهش مقاومت و دوام بتن شناسایی شده بود، این سوال برای متخصصان بتن ایجاد شده بود که چگونه می‌توان بدون تأثیر منفی برخواص بتن در جهت سهولت اجرای سازه‌های بتنی، روانی مخلوط را افزایش داد. با گذشت زمان و پیدایش روان‌کننده‌ها و فوق‌روان‌کننده‌ها به‌عنوان نسل جدیدی از افزودنی‌ها، بسیاری از مشکلات اجرایی بتن که ناشی از استفاده از بتن‌های با کیفیت خوب ولی کارایی کم بود، از میان برداشته شد. نهایتاً در اوایل دهه هشتاد میلادی به‌دنبال کاهش نیروی کار ماهر در صنعت ساخت و ساز و تراکم نامناسب بتن ناشی از افزایش حجم آرماتورهای مصرفی که باعث کاهش کیفیت کارهای اجرایی انجام گرفته شده بود، نظریه‌ی بتن خودتراکم، بتنی که بتواند تحت وزن خود و بدون نیاز به لرزاندن متراکم شده و تمام زوایای قالب را پر کند، به‌عنوان راه حلی توسط اوکامورا در سال ۱۹۸۶ مطرح شد. لازمه‌ی تحقیق بر روی بتن خودتراکم مطالعه‌ی عمیق کارایی بتن بود که توسط اوزاوا و ماکاوا در دانشگاه توکیو صورت گرفت. مدل اولیه‌ی بتن خودتراکم در سال ۱۹۸۸ تکمیل شد و در همین سال این نوع بتن برای اولین بار در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل‌قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی ارائه داد [۱].

در این پژوهش سعی شده با کاربرد مواد جایگزین سنگدانه‌ها و سیمان در بتن خودتراکم بصورت هم‌زمان علاوه بر ساخت بتن خودتراکم مناسب، موضوع پسماند و بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات صنعتی را پیشینه نمود، که با انجام این عمل از محصولات ثانویه و جانبی استفاده مفید شده و مصرف منابع طبیعی کاهش می‌یابد و علاوه بر کاهش مصرف در انرژی باعث کاهش آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی نیز می‌گردد.

۱-۱- تحقیقات صورت گرفته

لاچمی و همکاران در سال ۲۰۰۳ مطالعه‌ای در خصوص ایجاد بتن خودتراکم کم هزینه با استفاده از خاکستر بادی و سرباره انجام

۲-۱- مصالح مورد استفاده. سرچشمه به عنوان جایگزین بخشی از مواد سیمانی را بررسی کردند. بدین منظور، ابتدا آنالیز فیزیکی و شیمیایی روی باطله‌ها و سیمان انجام گرفت. سپس با ساخت نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری با درصد‌های مختلف ماده باطله به میزان ۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۳۰، ۰/۳۵ و ۰/۴۰؛ آزمایش‌های بتن خمیری مانند جریان اسلامپ، قیف V، جعبه U و حلقه J روی بتن خودتراکم تازه انجام شد و در نهایت، برای دستیابی به طرح مخلوط بهینه شامل مناسب‌ترین درصد استفاده از ماده باطله از سهم مواد سیمانی کل، آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی انجام شد و بر اساس معیار مقاومت فشاری ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روزه، درصد بهینه جایگزینی برای این ماده شبه سیمانی انتخاب گردید. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی با درصد قابل ملاحظه‌ای از این ماده، با نمونه بتنی بدون سرباره تفاوت چندانی ندارد [۷].

۱- آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM C 136-96
۲- آزمایش تعیین ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 128

۲-۱-۲- شن
شن مورد استفاده از نوع شکسته می‌باشد و آزمایش‌های زیر بر روی آن انجام شده است [۹،۱۱]:

۱- آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM C 136
۲- آزمایش تعیین ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 127

۲-۱-۳- سیمان
در همه طرح اختلاط‌ها، از سیمان نوع دو کارخانه سیمان هگمتان با وزن مخصوص ۳/۱۵ استفاده شده است.

۲-۱-۴- درشتدانه بازیافتی
به دلیل وجود سیمان و مقداری ریزدانه چسبیده به درشت‌دانه بازیافتی درصد جذب آب بالا رفته و بر اساس استاندارد ASTM C 127 برابر با ۹/۴۵ درصد می‌باشد. همچنین اندازه بزرگترین درشتدانه بازیافتی برابر با ۱۹ میلی‌متر و وزن مخصوص آن برابر با ۲/۵۱ می‌باشد.

۲-۱-۵- فوق روان کننده و آب مصرف
فوق روان کننده مصرفی بر پایه کربوکسیلات، تهیه شده از شرکت شیمی بتن بهینه و از افزودنی‌های نوع G می‌باشد. مقدار مصرف فوق‌روان کننده به صورت چشمی و با سعی و خطا و با معیار رسیدن به اسلامپ حدود ۶۵ سانتی‌متر تعیین گردیده است. آب مصرفی نیز از آب شرب همدان استفاده شده است.

۲-۱-۶- سرباره کوره بلند ذوب آهن^۱
سرباره یک پوزولان مصنوعی است که به طور معمول محصول جانبی کارخانه‌های ذوب آهن است. وزن مخصوص سرباره مورد

در این تحقیق بکارگیری سنگدانه‌های بتن بازیافتی به عنوان درشت‌دانه با درصد‌های جایگزینی مختلف نسبت به درشت‌دانه طبیعی (۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱/۰۰) و سرباره با درصد‌های (۰/۰، ۰/۲۵ و ۱/۰) به جای سیمان جهت ساخت بتن خودتراکم بررسی شده است که به طور کلی ۱۵ طرح اختلاط حاصل شده تا تأثیر این مواد در بتن خودتراکم مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

۲- روند آزمایش‌ها

در این تحقیق بکارگیری سنگدانه‌های بتن بازیافتی به عنوان درشت‌دانه با درصد‌های جایگزینی مختلف نسبت به درشت‌دانه طبیعی (۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱/۰۰) و سرباره با درصد‌های (۰/۰، ۰/۲۵ و ۱/۰) به جای سیمان جهت ساخت بتن خودتراکم بررسی شده است که به طور کلی ۱۵ طرح اختلاط حاصل شده تا تأثیر این مواد در بتن خودتراکم مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

¹ Ground Granulated Blast Furnace Slag

استفاده ۲/۴۳ می باشد. در جدول ۱ مشخصات شیمیایی سرباره مورد استفاده در این تحقیق که از کارخانه ذوب آهن اسدآباد تهیه شده آمده است.

۲-۱-۲- پودرسنگ

از پودرسنگ ساوه استفاده شده است که جنس آن کربنات کلسیم با خلوص بالای ۹۰ درصد می باشد. این پودر با ۶۰ درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون به عنوان لزوجت دهنده استفاده شده است.

۲-۲- نمونه های مورد بررسی

در این پژوهش ابتدا بتن بازیافتی با طرح اختلاط مشخص ساخته شده که مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن گرفته شده و پس از خرد کردن نمونه ها توسط پیکور دستی، آزمایش دانه بندی و جذب آب

بر روی درشت دانه بازیافتی انجام شده و مصالح بازیافتی برای استفاده در بتن خودتراکم آماده شده است. در مجموع ۱۵۰ نمونه ی بتنی که در ۱۵ طرح مخلوط و هر طرح ۱۰ نمونه بتنی، که این ۱۰ نمونه شامل ۶ نمونه برای آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه هر کدام دو نمونه، ۲ نمونه برای آزمایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه و ۲ نمونه برای آزمایش تعیین درصد جذب آب در سنین ۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه بود، ساخته شد. نمونه ها حاوی درصد های مختلف جایگزینی درشت دانه بازیافتی و سرباره به نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۸ و مقدار مواد سیمانی ۴۳۰ کیلوگرم در مترمکعب ساخته شدند و پس از ۲۴ ساعت قالب برداری انجام گرفت و نمونه ها برای مراقبت و عمل آوری به حوضچه آب با دمای حدود ۲۰ درجه سانتی گراد انتقال داده شدند.

جدول ۱- درصد ترکیبات شیمیایی سرباره کوره بلند ذوب آهن

Pb	S	MnO	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
۰	۰	۰/۴	۱/۳	۹/۵	۳۶/۷	۱۶	۳۳/۲	سرباره

جدول ۲- نسبت های اجزای مخلوط بتن های خودتراکم

معرف مخلوط	آب به سیمان (W/C)	آب (Kg/m ³)	سیمان (Kg/m ³)	سرباره مصرفی (Kg/m ³)	ماسه (Kg/m ³)	شن (Kg/m ³)	شن بازیافتی (Kg/m ³)	پودرسنگ (Kg/m ³)	فوق روان کننده (Kg/m ³)
CA0S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA0S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA0S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۷۷۰	۰	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA25S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۵۷۷/۵	۱۹۲/۵	۱۰۰	۳/۴۴
CA50S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA50S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA50S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۱۰۰	۳/۸۷
CA75S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۱۹۲/۵	۵۷۷/۵	۱۰۰	۴/۰۸
CA75S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۱۹۲/۵	۵۷۷/۵	۱۰۰	۴/۰۸
CA75S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۱۹۲/۵	۷۷۵/۵	۱۰۰	۴/۰۸
CA100S0	۰/۴۸	۲۰۶	۴۳۰	۰	۹۳۵	۰	۷۷۰	۱۰۰	۵/۱۶
CA100S15	۰/۴۸	۲۰۶	۳۶۵/۵	۶۴/۵	۹۳۵	۰	۷۷۰	۱۰۰	۵/۱۶
CA100S25	۰/۴۸	۲۰۶	۳۲۲/۵	۱۰۷/۵	۹۳۵	۰	۷۷۰	۱۰۰	۵/۱۶

یک بر وزن مخصوص خود تقسیم می شود تا نسبت های صحیح بدست آید. مقادیر بدست آمده در حجم بتن مورد نیاز در آزمایشگاه ضرب میشود تا مقادیر صحیح بدست آید. به عنوان مثال چنانچه قصد تولید ۲۰۰ لیتر بتن را داشته باشیم مقادیر جدول در ۲۰۰/۱۰۰۰ ضرب و سپس توزین می شود. محاسبه نسبت های طرح های اختلاط بتن بر اساس روش طرح مخلوط ملی ایران انجام شد. طرح های اختلاط در جدول ۲ ارائه شده است. نامگذاری نمونه ها نیز بر اساس درصد استفاده از سرباره و مصالح بازیافتی در جدول ۳ ارائه شده است.

به دلیل متفاوت بودن وزن مخصوص شن طبیعی و شن بازیافتی در رابطه حجم مطلق دو مولفه در نظر گرفته شد به عبارت دیگر در طرح اختلاط ملی در وحله اول میزان شن طبیعی بر وزن مخصوص خود و در وحله دوم میزان شن بازیافتی بر وزن مخصوص شن بازیافتی تقسیم شد. مقادیر نسبت اجزای مخلوط از رابطه حجم مطلق طرح مخلوط ملی بتن به دست آمده است که این مقادیر را برای یک مترمکعب بتن تولیدی بیان می دارد. وزن مخصوص سرباره نیز با سیمان متفاوت بوده به نحوی که کلیه مواد سیمانی در رابطه حجم مطلق به صورت جداگانه هر

جدول ۳- نامگذاری آزمون ها

CA10 OS25	CA10 OS15	CA10 OS0	CA75 S25	CA75 S15	CA75 S0	CA50 S25	CA50 S15	CA50 S0	CA25 S25	CA25 S15	CA25 S0	CA0 S25	CA0 S15	CA0 S0	نام نمونه
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۷۵	۷۵	۵۰	۵۰	۵۰	۲۵	۲۵	۲۵	۰	۰	۰	درصد جایگزینی (CA)
۲۵	۱۵	۰	۲۵	۱۵	۰	۲۵	۱۵	۰	۲۵	۱۵	۰	۲۵	۱۵	۰	درصد جایگزینی (S)

و سهولت در ساخت و کاهش حجم نمونه ها از آزمون های مکعبی ۱۰۰ میلی متری استفاده شده است که در سطح بین المللی با ذکر ابعاد قالب مرسوم است. این آزمون ها پس از بیرون آورده شدن از قالب، جهت عمل آوری به درون حوضچه آب با دمای تقریبی ۲۰ درجه سانتی گراد انتقال یافتند و در سنین مورد نظر (۷، ۲۸ و ۹۱ روزه) از آب خارج و آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی آن ها صورت گرفته است. جهت تعیین مقاومت فشاری از جک بتن شکن محصول شرکت آزمون تست با ظرفیت ۲۰۰ تن و با سرعت بارگذاری سه کیلونیوتن بر ثانیه مطابق استاندارد استفاده شده است.

۳-۲- آزمایش های انجام شده

۳-۲-۱- آزمایش جریان اسلامپ

این آزمایش یکی از آزمایش های رایج برای سنجش خصوصیات بتن خودتراکم است و به منظور تعیین توانایی تغییر شکل بتن تحت اثر وزن خود بدون هیچ قیدی بجز اصطکاک صفحه جریان تعریف شده است. آزمایش جریان اسلامپ مطابق استاندارد EFNARC انجام شده است [۱۲].

۳-۲-۲- آزمایش حلقه J

این آزمایش که در دانشگاه Paisley اسکاتلند توسعه یافته است، به نوعی شبیه سازی عبور بتن از بین موانع به خصوص آرماتورهای متراکم موجود در قالب می باشد. از این آزمایش می توان برای تعیین ویژگی قابلیت عبور بتن تازه که خود متأثر از دو پارامتر اساسی تنش تسلیم و لزجت خمیری می باشد استفاده نمود. آزمایش حلقه J مطابق استاندارد EFNARC انجام شده است [۱۲].

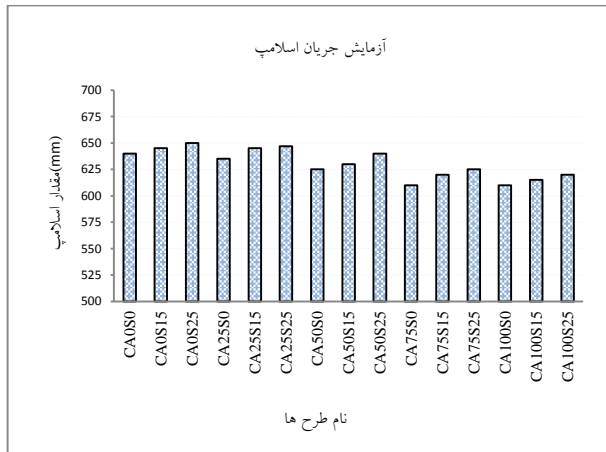
۳-۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری

این آزمایش متداول ترین آزمایشی است که در مورد کیفیت بتن سخت شده صورت می گیرد. برای تعیین مقاومت فشاری مخلوط ها

۳-۲-۴- آزمایش تعیین مقاومت کششی

این آزمایش بر اساس روش استاندارد ASTM C 496 بر روی آزمون های استوانه ای انجام می گیرد [۱۴]. شرایط تهیه و نگهداری این نمونه ها مانند نمونه های فشاری است. روش انجام آزمایش بدین صورت است که قطر و ارتفاع نمونه اندازه گیری شده و دو سطح قاعده نمونه توسط دو خط عمود بر هم علامت گذاری می شود و سپس نمونه در بین صفحات جک بتن شکن قرار می گیرد. برای تقسیم متوازن فشار از دو تیغه چوبی در بالا و پایین نمونه ها استفاده می شود. بار به تدریج افزایش یافته و در اثر فشار در

افزایش سرباره سیر صعودی روانی را دارد، ولی با افزایش درصد جایگزینی درشت‌دانه بازیافتی کاهش مقدار اسلامپ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- تغییرات اسلامپ نمونه‌های حاوی سرباره و درشت‌دانه بازیافتی

جهت عمود بر امتداد فشار، کشش ایجاد شده و نمونه گسیخته می‌شود. افزایش بار یکنواخت بوده و با سرعتی معادل ۷ تا ۱۴ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع در دقیقه تا زمان گسیختگی نمونه خواهد بود. در این زمان حداکثر بار وارده توسط دستگاه قرائت و ثبت شده و توسط روابطی به تنش گسیختگی تبدیل می‌شود.

۲-۳-۵- آزمایش تعیین درصد جذب آب نمونه‌ها

این آزمایش بر اساس روش استاندارد RILEM بر روی آزمون‌های مکعبی در سنین مورد نظر (۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه) انجام شده است [۱۵]. آزمون‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب درآورده شده و به مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع قرار می‌گیرند، سپس وزن اشباع اندازه‌گیری شده و آن‌ها را برای خشک شدن درون آون به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد. وزن خشک آزمون‌ها نیز اندازه‌گیری شده و با استفاده از روابط مقدار درصد جذب آب آزمون‌ها محاسبه گردید.

۲-۲- نتایج آزمایش حلقه J

با افزایش درصد مصالح بازیافتی در آزمایش حلقه J، قابلیت عبور کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تنش تسلیم و لزجت بتن کاهش یافته که این پدیده موجب افزایش جذب آب مصالح سنگی و نتیجه جذب آب بالای مصالح بازیافتی شده و نیز با ازدیاد اصطکاک داخلی بتن به دلیل سطح بیشتر، سنگدانه‌های بازیافتی همخوانی دارد.

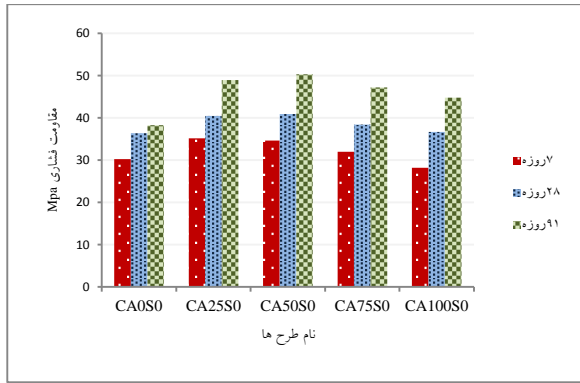
۳-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به اینکه در این پژوهش، برای هر سن مخلوط بتن خودتراکم دو آزمون ساخته شده است، در این بخش مقادیر میانگین مقاومت‌های فشاری ملاک عمل قرار می‌گیرد. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۷ روزه کم بوده، به طوری که در چند طرح اول مقدار مقاومت سیر صعودی داشته و پس از رسیدن به مقدار بهینه جایگزینی سرباره و مصالح بازیافتی، سیر نزولی داشته و در برخی نمونه‌ها کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد را نیز داشته‌ایم. دلیل این امر را این گونه می‌توان توجیه نمود که سرباره به علت خاصیت پوزولانی که دارد می‌تواند باعث بهبود رشد مقاومت فشاری شود، اما به علت اینکه روند هیدراسیون سیمان حاوی سرباره کندتر از سیمان تنها می‌باشد، در سنین

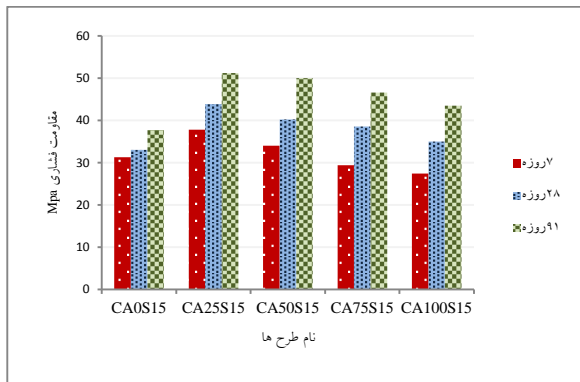
۳-ارائه و تفسیر نتایج

۳-۱- نتایج آزمایش جریان اسلامپ

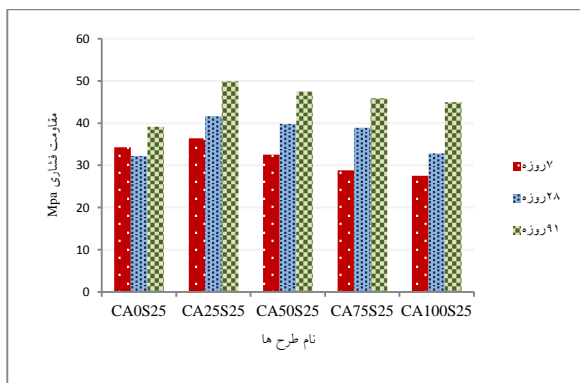
با توجه به شکل ۱ کاهش توانایی جریان و بروز پدیده انسداد با افزایش درصد جایگزینی درشت‌دانه بازیافتی به جای شن طبیعی قابل مشاهده است. بیشترین مقدار کاهش روانی در مقایسه با نمونه بتن شاهد مربوط به نمونه CA100S0 می‌باشد و نمونه CA0S25 نیز دارای بیشترین مقدار روانی نسبت به نمونه بتن شاهد می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که سنگدانه‌های بازیافتی به علت داشتن سطح ویژه بالاتر نسبت به سنگدانه‌های طبیعی، باعث کاهش لزجت بتن، افزایش مقدار جذب آب و کاهش میزان روانی می‌گردند. این در حالی است که استفاده هم‌زمان از سرباره به علت وزن مخصوص بیشتر و جذب آب کم آن، باعث افزایش مقدار روانی می‌گردد. در شکل ۱ سرباره با درصدهای ۰، ۲۵ و ۱۵ درصد نشان داده شده که با افزایش درصد سرباره مقدار اسلامپ افزایش یافته همچنین تأثیر هم‌زمان درشت‌دانه بازیافتی نیز قابل ملاحظه است، که با افزایش درصد جایگزینی درشت‌دانه بازیافتی هم‌زمان با جایگزینی سرباره مقدار جریان اسلامپ کاهش یافته است. در شکل ۱ درشت‌دانه بازیافتی با درصدهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نشان داده شده که تأثیر



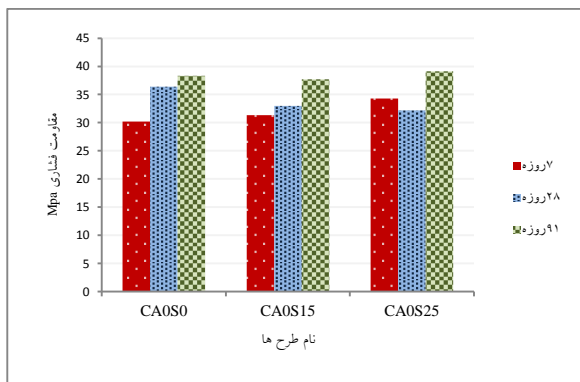
شکل ۲- جایگزینی ۰٪ سرباره و تأثیر آن بر مقاومت فشاری



شکل ۳- جایگزینی ۱۵٪ سرباره و تأثیر آن بر مقاومت فشاری

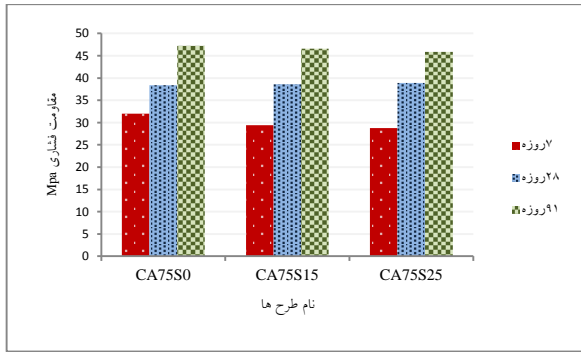


شکل ۴- جایگزینی ۲۵٪ سرباره و تأثیر آن بر مقاومت فشاری

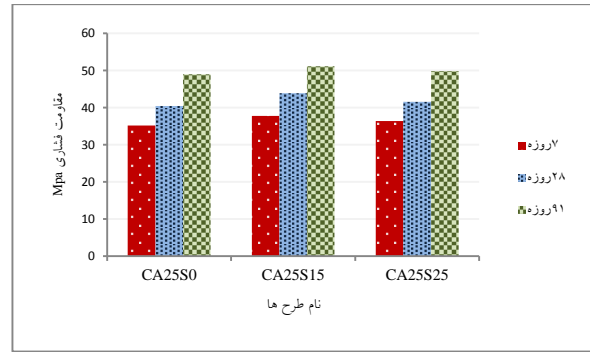


شکل ۵- جایگزینی ۰٪ درشت دانه بازیافتی و تأثیر آن بر مقاومت فشاری

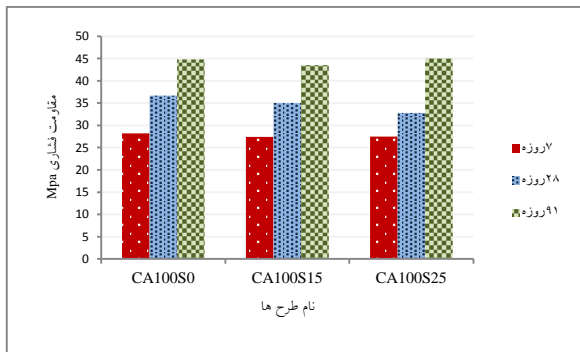
اولیه رشد چندانی در مقاومت فشاری مشاهده نشده، ولی با افزایش سن نمونه‌ها در ۲۸ و ۹۱ روزه شاهد رشد مقاومت فشاری می‌باشیم. شکل ۲، ۳ و ۴ بیانگر جایگزینی ۰، ۱۵ و ۲۵ درصد سرباره به جای سیمان می‌باشد. در شکل ۲ که جایگزینی سرباره صفر است بهترین نتایج در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ روزه مربوط به جایگزینی ۲۵ تا ۵۰ درصد درشت دانه بازیافتی می‌باشد همچنین در شکل ۳ با جایگزینی ۱۵ درصد سرباره و ۲۵ درصد درشت دانه بازیافتی بهترین نتایج حاصل شده است، اما با بالا رفتن درصد جایگزینی این دو در شکل ۴ شاهد کاهش مقاومت فشاری هستیم. شکل ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب مربوط به جایگزینی ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد درشت دانه بازیافتی به جای درشت دانه طبیعی می‌باشد. در شکل ۵ که جایگزینی درشت دانه بازیافتی صفر است با افزایش درصد جایگزینی سرباره مقدار مقاومت فشاری بیشتر می‌شود. در شکل ۶ که ۲۵ درصد درشت دانه بازیافتی و ۱۵ درصد سرباره جایگزین شده بهترین نتیجه را داشته‌ایم. در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی به نسبت روند نزولی و کاهش در مقدار مقاومت فشاری را شاهد هستیم که افزایش درصد جایگزینی سرباره نیز تأثیر مثبت داشته و باعث شده که این روند با شیب ملایم‌تری پیش برود. طرح‌های دارای ۱۵ درصد سرباره در سن ۷ روزه مقاومت مناسبی داشته که بیشتر از مقاومت نمونه شاهد بوده، در سن ۲۸ روزه نیز مانند نمونه‌های ۷ روزه افزودن ۱۵ درصد سرباره تأثیر مناسبی داشته و نتایج مقاومتی خوبی حاصل شده است. نمونه‌های سن ۹۱ روزه، با افزودن ۱۵ تا ۲۵ درصد سرباره بهترین نتایج را ارائه داده‌اند که نشانگر این است که، فعالیت پوزولانی سرباره بعد از ۲۸ و ۹۱ روز ادامه داشته و شاهد رشد مقاومتی نمونه‌ها می‌باشیم. تأثیرات درشت دانه بازیافتی نیز قابل درک است به صورتی که در سن ۷ روزه با افزودن ۲۵ تا ۵۰ درصد مصالح بازیافتی مقاومت بیشتری از مقاومت نمونه شاهد حاصل شد که نتیجه خوبی بوده و در سن ۲۸ روزه نیز افزودن ۲۵ درصد مصالح بازیافتی مقاومتی بیشتر و نزدیک به مقاومت نمونه شاهد حاصل شد که قابل قبول است و در سن ۹۱ روزه نیز افزودن ۲۵ درصد از مصالح بازیافتی بهترین نتیجه را داده است.



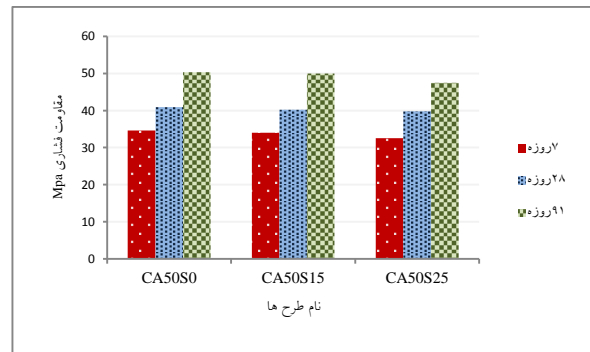
شکل ۸- جایگزینی ۷۵٪ درشت‌دانه بازیافتی و تأثیر آن بر مقاومت فشاری



شکل ۶- جایگزینی ۲۵٪ درشت‌دانه بازیافتی و تأثیر آن بر مقاومت فشاری



شکل ۹- جای گزینی ۱۰۰٪ درشت‌دانه بازیافتی و تأثیر آن بر مقاومت فشاری

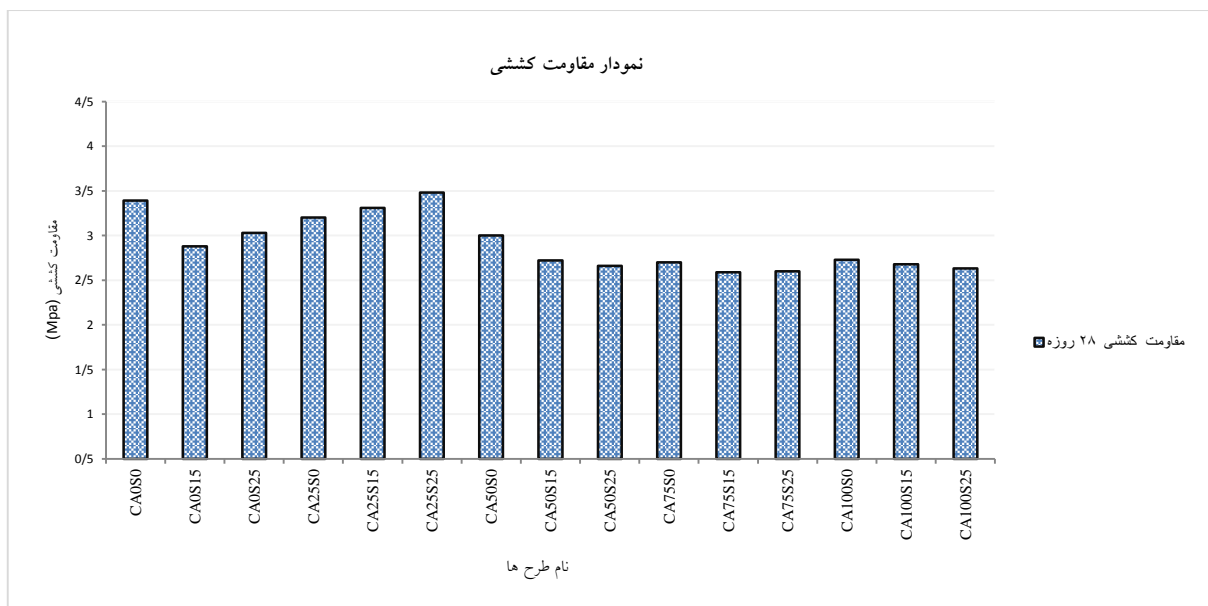


شکل ۷- جایگزینی ۵۰٪ درشت‌دانه بازیافتی و تأثیر آن بر مقاومت فشاری

نسبت به نمونه شاهد مشاهده می‌کنیم. در این آزمایش نیز با افزودن ۱۵ و ۲۵ درصد سرباره نتایج مناسبی نسبت به درصد‌های دیگر مشاهده شده است و در تأثیر درشت‌دانه بازیافتی نیز در میزان ۲۵ درصد جای گزینی آن تقریباً نتایج مناسب و قابل قبولی حاصل شده است.

۳-۴- نتایج آزمایش مقاومت کششی

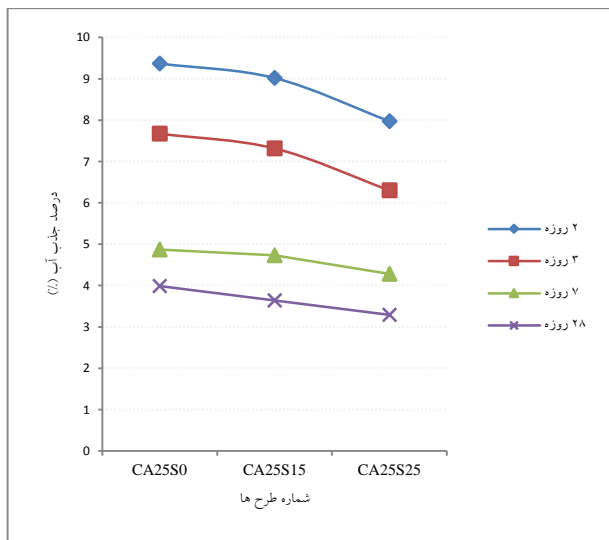
در شکل ۱۰ روند تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه ارائه شده است. در نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی طرح ۶ نسبت به نمونه شاهد مقاومت کششی بیشتری را دارد که بعد از آن روند نزولی مقاومتی را



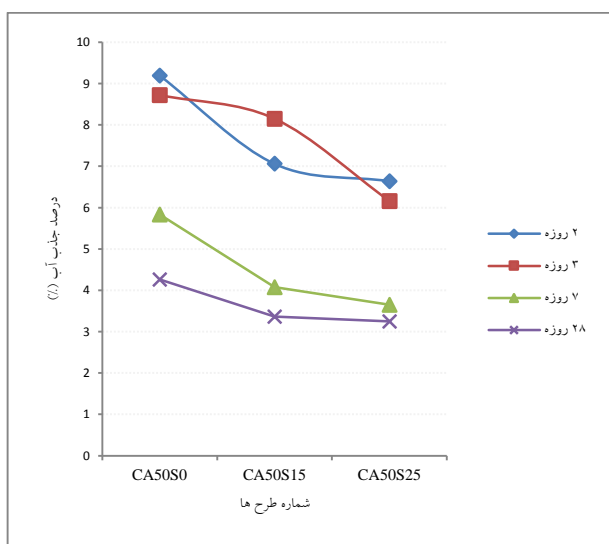
شکل ۱۰- روند تغییرات مقاومت کششی بتن خودتراکم حاوی سرباره و درشت‌دانه بازیافتی در سن ۲۸ روزه

۳-۵- نتایج آزمایش جذب آب

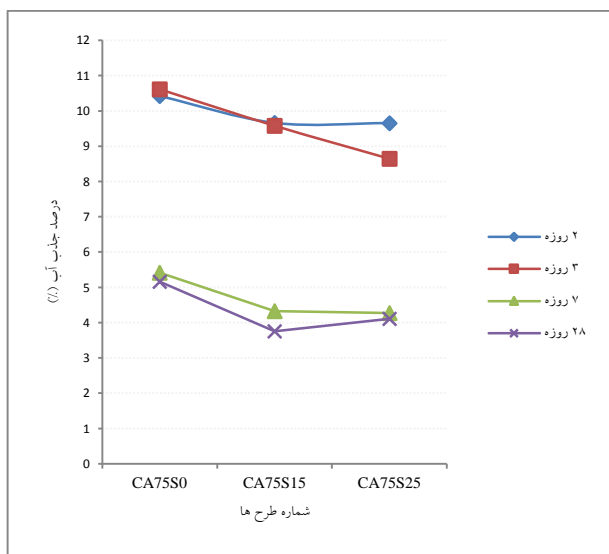
همان‌طور که از نتایج و نمودارهای حاصل شده مشخص است افزایش درصد جایگزینی سرباره به دلیل وزن مخصوص بالای سرباره و جذب آب کمتر آن باعث کاهش جذب آب نمونه‌ها می‌شود در حالی که درشت‌دانه بازیافتی به علت داشتن سطح مخصوص بالاتر نسبت به درشت‌دانه معمولی جذب آب بیشتری نیز دارد. از تحلیل شکل‌های ۱۱ تا ۱۵ متوجه خواهیم شد که بیشترین درصد جذب آب مربوط به طرح شماره ۱۳ (CA100S0) می‌باشد. جذب آب نمونه‌های بتنی شاخصی از مقدار نفوذپذیری آن‌ها نیز می‌باشد. هر مقدار که درصد جذب آب نمونه بتنی کمتر باشد، مقدار نفوذپذیری و در نتیجه احتمال ورود مواد مهاجم به داخل بتن و خرابی‌های ناشی از آن نیز کمتر می‌شود و دوام سازه بالاتر می‌رود. جذب آب بتن وابسته به عوامل متعددی از جمله نسبت آب به سیمان، عیار سیمان، درصد جایگزینی مواد پوزولانی و... می‌باشد. با توجه به یکسان بودن نسبت آب به سیمان، مقدار جذب آب دو روزه نمونه‌ها به نحوی بوده که در طرح مخلوط شماره ۳ (CA0S25) کمترین درصد جذب آب و در طرح مخلوط شماره ۱۳ (CA100S0)، که درصد جایگزینی مصالح بازیافتی ۱۰۰ درصد است بیشترین درصد جذب آب حاصل شده است و نتایج ما بین این دو نیز روند صعودی افزایش درصد جذب آب را نشان می‌دهند. در کل می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عیار سیمان و جایگزینی آن با درصد‌های مختلفی از سرباره باعث کاهش درصد جذب آب در بتن می‌گردد. با توجه به این نمودارها مشخص است که میزان درصد جذب آب با افزایش درصد جایگزینی مصالح بازیافتی روند صعودی داشته و سرباره نیز تأثیر کاهنده در این مقدار دارد.



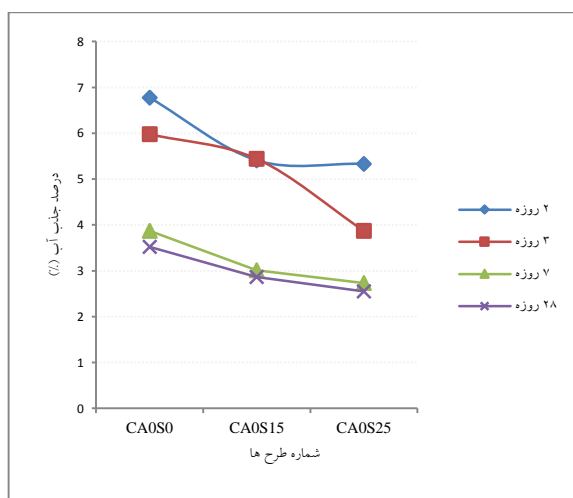
شکل ۱۲- جذب آب بتن خودتراکم با ۵٪ درشت‌دانه بازیافتی



شکل ۱۳- جذب آب بتن خودتراکم با ۵٪ درشت‌دانه بازیافتی



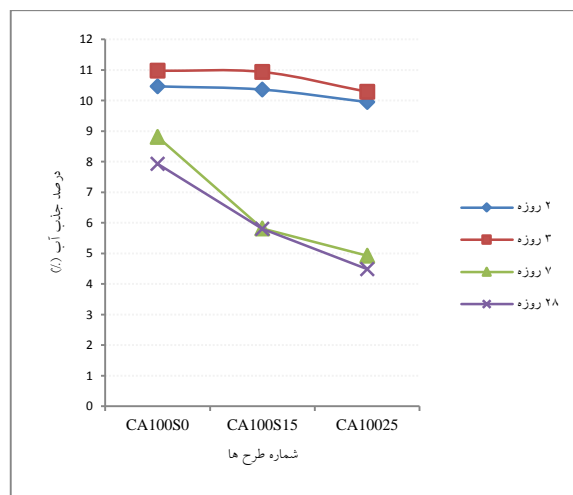
شکل ۱۴- جذب آب بتن خودتراکم با ۷۵٪ درشت‌دانه بازیافتی



شکل ۱۱- جذب آب بتن خودتراکم با ۰٪ درشت‌دانه بازیافتی

۵- مراجع

- [1] Ozawak, Maekawa k, and Okamura H. (1992). Development of High performance concrete. University of Tokyo, Faculty of Engineering jurnal.
- [2] Lachemi M, Hossain K.M.A, Lambros V, Bouzoubaa N, "Development of Cost-Effective Self-Consolidating Concrete Incorporating Fly Ash, Slag Cement, or Viscosity-Modifying Admixture", ACI Materials Journal/Sep-Oct (2003).
- [3] Kou S.C and Poon C.S.(2009). Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. China: Journal of Cement & Concrete Composites.Vol.31,pp.(622-627).
- [4] Zoran Jure Grdic, Gordana A. Toplicic-Curcic, Iva M.Despotovic, Nenad S.Ristic.(2010). "Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate", Faculty of civil Engineering and Architecture of Nis, Serbia, Construction and Building Materials Vol.24, pp. (1129-1133).
- [5] Panda K.C and Bal P.K. (2013). Properties of self compacting concrete using recycled coarse aggregate. Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference on Engineering, SOA University, India, Vol.51, pp.(622-627).
- [6] رمضانیاں پور، علی اکبر، کاظمیان، علی. "مروری بر نفوذناپذیری و مقاومت بتن خودتراکم در برابر نفوذ یون کلراید در مقایسه با بتن معمولی"، چهارمین سمینار ملی بتن خودتراکم ایران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، اسفند (۱۳۹۱).
- [7] فدایی، مصطفی، میرحسینی، سیدرضا، فدایی، محمدجواد، نجف آبادی پور، تورج (۱۳۹۳). بررسی ویژگی‌های مکانیکی بتن خودتراکم ساخته شده با استفاده از باطله مجتمع معدن مس سرچشمه به‌عنوان جایگزین بخشی از مواد سیمانی. کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران.
- [8] Priano Carla, Senas Lilia, Marfil Silvina. (2016). Influence of recycled aggregates on properties of self-consolidating concretes. Construction and Building Materials Vol. 113, pp.(498-505).
- [9] ASTM C136 - 96 :Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- [10] ASTM C128: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- [11] ASTM C127: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.



شکل ۱۵- جذب آب بتن خودتراکم با ۱۰٪ درشت‌دانه بازیافتی

۴- نتیجه‌گیری

- آزمایش‌های جریان اسلامپ، حلقه ل، مقاومت فشاری، مقاومت کششی و درصد جذب آب بر روی نمونه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر نتایج زیر را در برداشته‌است:
- ۱- سرباره باعث کاهش جذب آب و افزایش روانی بتن خودتراکم خواهد شد ولی درشت‌دانه بازیافتی باعث کاهش روانی و احتمال بروز پدیده انسداد خواهد شد.
 - ۲- با توجه به افزایش سطح مخصوص در مصالح بازیافتی و به تبع آن بالاتر رفتن میزان جذب آب آن‌ها، حجم خمیر سیمان مورد نیاز به جهت حصول کارایی مدنظر افزایش می‌یابد.
 - ۳- بیشترین تأثیر مقاومتی در نمونه‌های حاوی ۰/۱۵ درصد سرباره و ۰/۲۵ درصد درشت‌دانه بازیافتی قرار دارد.
 - ۴- استفاده از ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ درصد سرباره و ۰/۲۵ درصد درشت‌دانه بازیافتی باعث بهبود نتایج مقاومت کششی شده است.
 - ۵- مقاومت فشاری اولیه ۷ روزه بتن‌های حاوی سرباره در حد کمی بوده ولی بعد از گذشت زمان، مقاومت‌های قابل قبولی در سنین ۲۸ و ۹۱ روز از خود نشان می‌دهد، به‌عبارت دیگر روند هیدراسیون سیمان حاوی سرباره کندتر انجام می‌شود.
 - ۶- جای‌گزینی سرباره به‌جای سیمان موجب کاهش مقاومت فشاری بتن خودتراکم برای مقادیر بیشتر از ۰/۱۵ درصد در سنین مختلف می‌شود. همچنین جای‌گزینی درشت‌دانه بازیافتی نیز به‌جای درشت‌دانه طبیعی با مقادیر بیشتر از ۰/۲۵ درصد باعث کاهش خصوصیات مقاومتی بتن خودتراکم می‌گردد.

[12] EFNARK, The European Guidelines for Self – Compacting Concrete, May 2005.

[13] ASTM C496: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

[14] CPC 11.1: Absorption of water by concrete by immersion. Ibid. in 'RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials', (E&FN Spon, London, 1994).

Effects of Slag Substitution on the Properties of Self-Consolidating Concrete including Recycled Coarse Aggregates

J. Afiati Salim *

M.Sc. , the Faculty of civil Engineering- Islamic Azad University - Hamedan Branch

P. Razmara

Assistant Professor of the Faculty of civil Engineering- Islamic Azad University - Hamedan Branch

S. Saeidijam

Assistant Professor of the Faculty of civil Engineering- Islamic Azad University - Hamedan Branch

Abstract

In this study, the feasibility of the use of slag from blast furnaces as an alternative to a percentage of cement and recycled coarse aggregate and simultaneously as a substitute for natural coarse aggregate was investigated, both of which are secondary and waste products and are fine for the construction of self-consolidating concrete blends. For this purpose, mixtures with 0, 15%, and 25% of slag volume replaced cement, and mixtures with 25%, 50%, 75%, and 100% of recycled coarse aggregate replaced natural coarse aggregate in the 15 mix design with a water-cement ratio 48%. For characterizing the mechanical properties of recycled self-consolidating concrete containing slag flexural strength testing at ages 7, 28, and 91 days were measured. Furthermore, to determine the rheological properties of self-consolidating concrete slump flow and J ring tests were used. The water absorption tests were also used as an indicator of permeability and durability of concrete at ages 2, 3, 7, and 28 days and the tensile strength test was also conducted at 28 days. The results show that the compressive strength of slag samples containing 7-day aged was a little, but gradually after a while reasonable strength was achieved at age of 28 and 91 days. The best result of this study showed that cement replacement by 15 percent of slag and natural coarse aggregate replacement by 25 percent of recycled coarse aggregate, in terms of compressive strength, tensile strength, water absorption and rheological properties of self-consolidating concrete permissible and acceptable results were obtained.

Keywords: Self-Compacting Concrete , Slag , Recycled aggregate , Compressive Strength.

* Corresponding Author: civil_869@yahoo.com