

بررسی آزمایشگاهی تأثیر سرباره کارخانه فولاد اهواز بر خواص بتن های سیمان - سرباره ای

سیدفتح اله ساجدی *

گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

غلامعباس بهرامی نیا

گروه عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران.

چکیده

در این تحقیق ۷ طرح اختلاط با ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ سرباره کارخانه فولاد اهواز به صورت پودر شده جایگزین بخشی از سیمان شدند و نمونه های ساخته شده در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه تحت آزمایش های لازم قرار گرفتند. آزمایش های اسلامپ، وزن مخصوص بتن تازه، مقاومت فشاری، مقاومت کششی دونیم شدن، مقاومت الکتریکی، جذب آب حجمی و عمق نفوذ آب نمونه های ساخته شده، از بتن های مرجع و سیمان - سرباره ای انجام شدند. نتایج نشان داد که پودر سرباره تا سن ۵۶ روزه بر خواص مکانیکی نمونه ها اثر قابل ملاحظه ای نداشته، اما با گذشت زمان، مقاومت فشاری نمونه حاوی ۴۰٪ سرباره در سن ۱۲۰ روزه نسبت به نمونه مرجع ۱٪ و همین طور مقاومت کششی دونیم شدن نمونه های حاوی ۳۰٪ سرباره در سن ۱۲۰ روزه نسبت به نمونه مرجع ۴٪ افزایش نشان دادند؛ هرچند مقدار افزایش در مقاومت فشاری ناچیز به نظر می رسد، اما نشانگر این است که تا سن ۱۲۰ روز سرباره دارای اثر مثبت بر مقاومت فشاری است. درصد جذب آب در سن ۱۲۰ روزه در نمونه حاوی ۴۰٪ سرباره، نسبت به نمونه مرجع ۳/۴٪ افزایش نشان داد. مقاومت الکتریکی نمونه حاوی ۴۰٪ سرباره در سن ۱۲۰ روزه ۳۷٪ کاهش و عمق نفوذ آب در نمونه حاوی ۴۰٪ سرباره نسبت به نمونه مرجع نیز ۲/۸ میلی متر افزایش نشان دادند.

واژه های کلیدی: بتن سیمان - سرباره ای، خواص مکانیکی، دوام، سرباره کارخانه فولاد اهواز.

* نویسنده مسئول: sajedi@iauahvaz.ac.ir

۱- مقدمه

سرباره فولاد نسبت به بتن مرجع بیشتر شده است [۸]. در تحقیقی توسط راو و همکاران نشان داده شد که، جایگزینی سرباره فولاد به جای بخشی از سیمان باعث افزایش سرعت امواج عبوری از نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه می‌شود. با توجه به نتایج این تحقیق جایگزینی ۴۰٪ سرباره فولاد به عنوان بخشی از سیمان بیشترین تأثیر مثبت را بر تراکم بتن دارد [۹]. فو و همکاران در مطالعه‌ای تأثیرات افزودنی‌های قلیایی را بر سیمان‌های حاوی مقادیر بالای سرباره فولاد بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن مخلوطی از این مواد نتایج بهتری نسبت به کاربرد تکی آن‌ها خواهد داشت. از جمله مواد افزودنی که آن‌ها استفاده کردند، آلونیت، میرابیلیت و ژپس کلسینه را می‌توان نام برد. براساس نتایج این تحقیق مقدار و نوع فعال‌سازها برای بهبود و تأثیر خواص سیمان بسیار مهم هستند که البته این موضوع به نوع سرباره هم‌بستگی دارد [۱۰]. در خصوص نوآوری این تحقیق قابل ذکر است که طبق نتایج آزمایش XRF بر سرباره مصرفی (جدول ۱) مشهود است که درصد اکسید آهن موجود در سرباره کارخانه فولاد اهواز ۴۳٪ است، که بسیار بالا است و با سرباره‌های متداول دنیا تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد.

با همین نگاه و با شدت کمتر می‌توان به درصد سیلیس موجود در این سرباره نگریست. هدف اصلی انجام این تحقیق با استفاده از این نوع سرباره این است که تأثیرات این نوع سرباره متفاوت که تاکنون تحقیقات لازم در مورد آن انجام نشده، بر خواص رئولوژی، مکانیکی و دوام ملات‌های حاوی آن صورت پذیرد. با توجه به مطالعات انجام گرفته درباره سرباره کوره آهن‌گدازی، در این تحقیق سرباره آهن‌گدازی پودر شده کارخانه فولاد اهواز به میزان ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ جایگزین سیمان شدند و خواص رئولوژی و برخی خواص مکانیکی و دوامی نمونه‌ها در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه مشخص گردید. به علاوه درصد سرباره جایگزین نیز تعیین شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سیمان مصرفی

سیمان مصرفی در ایران معمولاً سیمان پرتلند نوع ۲ می‌باشد که مهم‌ترین ویژگی آن مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها و نمک‌ها

بتن یکی از مصالح پرمصرف در ساخت سازه‌های مهندسی است [۱]. برخی خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب بتن از یک سو و سهولت تولید آن از سوی دیگر بتن را به پرمصرف‌ترین مصالح در صنعت ساخت‌وساز تبدیل نموده است [۲]. بتن به راحتی پس از شکل‌گیری در داخل قالب، خواص مکانیکی قابل قبولی پیدا نموده و بهبود خواص آن به مرور زمان کامل می‌گردد. جذب انرژی بالا و مقاوم بودن آن در برابر آتش‌سوزی از دیگر مزایای بتن می‌باشد [۳]. سرباره فولاد محصول فرعی و غیرفلزی تولیدشده در فرایند-های تولید فلزات از طریق ذوب سنگ معدن آن در کوره ذوب می‌باشد که بسته به نوع فلز و نحوه اجرای عملیات تولیدی، دارای مشخصات متفاوتی بوده و به این ترتیب در دودسته کلی سرباره کوره بلند و سرباره کوره قوسی تقسیم‌بندی می‌شود [۴]. سرباره مانند سیمان ماده‌ای خردشده است و شکل تیز گوشه دارد. کارایی بتن ساخته‌شده با استفاده از سرباره، مقداری بیشتر از بتن معمولی است، دلیل این امر این است که بافت سطحی سرباره صاف‌تر از سیمان است. همچنین چگالی سرباره در حدود ۲/۹ و چگالی سیمان ۳/۱ تن بر مترمکعب است که این امر نیز باعث می‌شود با جایگزینی سرباره به عنوان بخشی از سیمان، مخلوط بتن افزایش حجم پیدا کند و موجب افزایش کارایی گردد. از طرفی سرباره باعث افزایش زمان افت کارایی می‌شود و در نتیجه زمان حمل و نقل بتن سرباره‌ای افزایش می‌یابد [۵]. استفاده از سرباره به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در ساخت بتن رو به فزونی است. این رویکرد در ایران به دلایلی ضعیف است و دلیل عمده این مسئله نبود تحقیقات وسیع بر روی کارکرد سرباره‌ها ناشی از فعالیت کند پوزولانی آن‌ها است. به همین دلیل آیین‌نامه‌های داخلی درصد مجاز ترکیب این نوع پوزولان با سیمان را به ۲۰٪ محدود نموده است [۶]. مستوفی‌نژاد و نظری‌منفرد در تحقیقی با استفاده از ترکیب ۱۰٪ سرباره فولاد و ۱۵٪ پودر سنگ آهک جایگزین سیمان، ضمن اقتصادی نمودن طرح اختلاط، دوام بتن‌ها را افزایش دادند. همچنین به کارگیری چنین ترکیبی برای ساخت بتن در مجاورت یون سولفات عملکرد مناسبی از خود نشان داد [۷]. بریندآ و همکاران در تحقیقی به بررسی خواص دوام و خوردگی بتن حاوی سرباره فولاد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقاومت فشاری و مقاومت کششی دونیم شدن بتن‌های حاوی ۴۰٪

۲-۱-۲- سرباره کارخانه فولاد اهواز

سرباره فولادی مورد استفاده در تحقیق از کارخانه فولاد اهواز به صورت سنگ‌دانه تهیه و سپس به روش گندله یا پلت توسط شرکت نرم کوبان ساوه تبدیل به پودر سرباره، با چگالی ۲,۵۶ گرم بر سانتی متر مکعب تهیه و در شرایط مطلوب دپو و نگهداری شد، ترکیبات شیمیایی این سرباره که حاصل آزمایش طیف‌نگاری فلوئورسانس اشعه ایکس می‌باشد، در جدول ۱ ترکیبات شیمیایی این سرباره ارائه شده است.

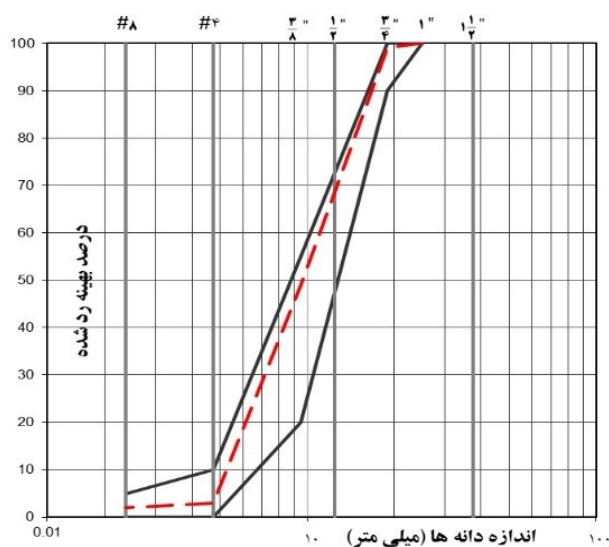
است. زمان‌گیری سیمان نوع ۲ مانند سیمان معمولی (نوع ۱) می‌باشد. چون در بسیاری از کارخانه‌های تولید سیمان در ایران این نوع سیمان تولید می‌شود، بنابراین در تحقیق حاضر از این نوع سیمان استفاده شده است. سیمان استفاده شده در این تحقیق از کارخانه سیمان کارون، با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب و سطح ویژه (بلین) ۲۹۲۲ گرم بر مترمربع تهیه و در شرایط مطلوب دپو و نگهداری شد و الزامات استاندارد ۳۸۹ ایران [۱۱]، و ASTM C150 [۱۲] را دارا بود.

جدول ۱- نتایج آزمایش XRF انجام شده روی سیمان و سرباره مصرفی در تحقیق (%)

MnO	K2O	Na2O	MgO	TiO2	CaO	Fe2O3	P2O5	Al2O3	SiO2	مشخصات
۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۰۲	۴	۰/۴۱	۶۱/۷	۴/۶	۰/۰۸	۴/۱۶	۲۱	سیمان نوع ۲ کارون
۰/۲۹	۰/۱۷	-	۸/۳	۱/۳	۱۹/۵	۴۳/۰	۰/۴۸	۵/۷	۲۰/۱	پودر سرباره شرکت فولاد اهواز

۲/۶۴ گرم بر سانتی متر مکعب مطابق با استاندارد ASTM C128

بوده و میزان ضریب نرمی ۳/۲۱ و جذب آب آن ۱/۶ (مطابق با استاندارد ASTM C127) می‌باشد. در جدول ۲ مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌های مصرفی در تحقیق نشان داده شده است. این سنگدانه‌ها از محل تأمین ماسه مصرفی از معادن شهرستان شوشتر در استان خوزستان تهیه شدند. در شکل ۱ منحنی دانه‌بندی ماسه استفاده شده در تحقیق ارائه شده است [۱۵].



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی مخلوط شن درشت‌دانه و ریزدانه مصرفی

۳-۱-۲- درشت‌دانه‌ای مصرفی (شن)

دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان کارایی مخلوط بتن است. کارایی به نوبه خود بر مقدار آب و سیمان لازم در مخلوط اثر می‌گذارد و جداسازی و آب انداختن بتن را پایش می‌کند و بر نحوه بتن‌ریزی و پرداخت سطح بتن تأثیر دارد. بنابراین دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها در تعیین نسبت مواد تشکیل‌دهنده مخلوط بتن اهمیت بسیار زیادی دارد [۱۳].

در این تحقیق شن مصرفی از نوع شکسته بوده که از معادن شهرستان اندیمشک در استان خوزستان تهیه گردید و حداکثر اندازه اسمی آن ۱۹/۵ و ۱۲/۵ میلی‌متر (شن نخودی) بوده است. آزمایش وزن مخصوص و جذب آب مطابق استاندارد ASTM C127 شده است [۱۴].

وزن مخصوص اشباع با سطح خشک شن‌های بادامی و نخودی به ترتیب ۲/۶۵ و ۲/۶۲ و وزن مخصوص ظاهری ۱/۶۱ و ۱/۶۲ گرم بر سانتی متر مکعب و هم‌چنین جذب آب آن‌ها نیز ۰/۷۱ و ۰/۹۱ درصد تعیین گردید. در شکل ۱ دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های استفاده شده در تحقیق ارائه شده است.

۴-۱-۲- ریزدانه‌های مصرفی (ماسه)

ریزدانه‌های مصرفی در این تحقیق ماسه شکسته و شسته شده با وزن

جدول ۲- مشخصات سنگ‌دانه‌های مصرفی در تحقیق

شرح	شن درشت	شن ریز	ماسه
وزن مخصوص	۲/۶۵	۲/۶۲	۲/۶۴
درصد جذب آب	۰/۷۱	۰/۹۱	۱/۶
شکل	تمام شکسته	تمام شکسته	طبیعی
درصد شکستگی	۹۴	۹۸	طبیعی

شدید آب می‌باشد، از شرکت دوروچم خاورمیانه^۱ تهیه گردید. مشخصات فنی این فوق روان‌کننده در جدول ۳ ارائه شده است. ضمناً آب این فوق روان‌کننده به‌عنوان بخشی از آب اختلاط لحاظ شده است [۲۷].

۲-۱-۱-۶- آب

از آب شرب اهواز به‌عنوان آب مصرفی در ساخت و عمل‌آوری طرح‌های اختلاط استفاده شد. نمونه‌ها پس از ساخت و قالب‌گیری در محیط‌های آب عمل‌آوری شدند. مشخصات شیمیایی آب شرب در جدول ۴ ارائه شده است.

۲-۱-۵- فوق روان‌کننده

در این تحقیق فوق روان‌کننده با نام تجاری Flowcem R900 که یک فوق روان‌کننده اصلاح‌شده از نسل سوم و کاهش‌دهنده

جدول ۳- مشخصات فنی فوق روان‌کننده مصرفی در تحقیق

ظاهر	وزن مخصوص	کلرید محلول در آب	قلیائیت	pH	یون کلر
قهوه‌ای	۱/۰۶	۰/۰۰۳۵	۰/۰۳۲	۳/۹۶	ندارد

جدول ۴- مشخصات شیمیایی آب شرب اهواز مصرفی در تحقیق

عنصر	CaCO ₃	SO ₄	Cr ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg
mg/lit	۳۶۰۰۰	۳۸۴	۴۱۶	۲۲	<۱	۸۰۰۰	۲۹۰۰

pH آب مصرفی ۷/۱۳ می‌باشد.

۲-۲- طرح اختلاط‌های تحقیق

بر اساس تحقیقات انجام پذیرفته قبلی [۱۰-۶]، جایگزینی سرباره با بخشی از سیمان با درصد‌های زیاد، کاهش قابل‌ملاحظه خواص مکانیکی مورد انتظار را در پی داشته، اما دلیل قاطع برای این پدیده مطرح نشده است.

بنابراین پس از ساخت طرح مرجع، ۷ طرح اختلاط پودر سرباره با نسبت‌های ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ جایگزین سیمان ساخته شده گردید. روش نام‌گذاری طرح‌های اختلاط به این صورت است که C بیانگر بتن و S بیانگر سرباره و عدد پس از حرف لاتین بیانگر درصد استفاده از مصالح به‌عنوان جایگزین می‌باشد. بطور مثال C70S30، به این معناست که بتن دارای ۳۰٪ سرباره جایگزین سیمان و ۷۰٪ سیمان است. RC به‌عنوان بتن مرجع تعریف شده است. در جدول ۵ جزئیات طرح‌های اختلاط نهایی تحقیق ارائه شده است.

۲-۲-۱- عمل‌آوری نمونه‌ها

سعی گردید تا تمام موارد ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های بتنی در آزمایشگاه براساس استاندارد ASTM C192 انجام گردد [۱۶]. قبل از ریختن مصالح به داخل مخلوط‌کن، ابتدا جداره آن کمی مرطوب شد تا رطوبت سنگدانه‌ها تغییر نکند. برای آماده کردن مخلوط، ابتدا ماسه به همراه سیمان و سرباره در مخلوط‌کن ریخته شده و به مدت ۲ دقیقه با هم مخلوط شدند. سپس نصف آب مصرفی و فوق روان‌کننده به آن اضافه و اختلاط انجام شد و آب باقیمانده به آرامی اضافه و نهایتاً به مدت ۶ دقیقه دیگر اختلاط ادامه پیدا کرد. پس از آماده شدن مخلوط‌ها، از بتن مطابق استاندارد ASTM C172 برای انجام آزمایش‌های مربوطه نمونه‌گیری شد [۱۷]. در این راستا ابتدا سطوح داخلی قالب‌ها به‌وسیله روغن مخصوص به اندازه کافی چرب شدند تا پس از سخت شدن بتن، نمونه‌ها به راحتی از قالب جدا گردند. سپس بتن در قالب‌های

¹ www.irandurocem.com

مکعبی و استوانه‌ای استاندارد در سه لایه ریخته و هر لایه توسط کوبه مخصوص به تعداد ۲۵ ضربه کوبیده شد و پس از کوبش هر لایه، سطح نمونه‌ها با استفاده از خط‌کش صاف و سپس در زیر یک پوشش مرطوب در شرایط ۹۰٪ رطوبت، به مدت 24 ± 2 ساعت قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب خارج و C511 رعایت شد [۱۸].

جدول ۵- جزئیات طرح اختلاط‌های تحقیق (Kg/m^3)

ردیف	درصد سرباره جایگزین	نام طرح	وزن مصالح				شن شنخودی	شن بادامی
			سرباره	سیمان	ماسه	آب (Lit)		
۱	۰	RC	۰	۳۹/۶	۹۴/۸	۳۸/۳	۳۳/۲	
۲	۲۰	C80S20	۷/۹۰	۳۱/۷۰	۹۴/۱	۳۸	۳۳	
۳	۳۰	C70S30	۱۱/۸۸	۲۷/۷۲	۹۳/۷	۳۷/۸	۳۲/۹	
۴	۴۰	C60S40	۱۵/۸۴	۲۳/۷۶	۹۳/۳	۳۷/۷	۳۲/۷	
۵	۵۰	C50S50	۱۹/۸	۱۹/۸	۹۳	۳۷/۵	۳۲/۶	
۶	۶۰	C40S60	۲۳/۷۶	۱۵/۸۴	۹۲/۶	۳۷/۴	۳۲/۵	
۷	۷۰	C30S70	۲۷/۷۲	۱۱/۸۸	۹۲/۲	۳۷/۲	۳۲/۴	

۱. میزان رطوبت موجود ماسه ۵/۸٪ بوده است که با احتساب ۱/۶٪ میزان جذب آب ماسه، میزان رطوبت اضافی در ماسه برابر ۴/۲٪ می‌باشد.
 $(100 = 3/87) / (4/2 * 92/2)$ رطوبت موجود در ماسه برای ساخت نمونه آزمایشگاهی که مقدار به دست آمده از آب طرح اختلاط کم و به ماسه اضافه شد.

۲. همچنین میزان رطوبت شن درشت ۱/۴۱٪ می‌باشد که ۰/۷۱٪ میزان جذب آب شن می‌باشد. مقدار ۰/۷۰٪ آب اضافه در شن درشت موجود بوده و همانند بند یک محاسبه گردید.

۳. میزان رطوبت شن ریز ۲/۵٪ بوده است که ۰/۹۱٪ جذب آب می‌باشد که مقدار ۱/۵۹٪ آب اضافه در شن درشت موجود بوده و همانند بند یک محاسبه گردید.

۳- آزمایش‌ها و تفسیر نتایج

۳-۱- تفسیر آزمایش‌های رئولوژی

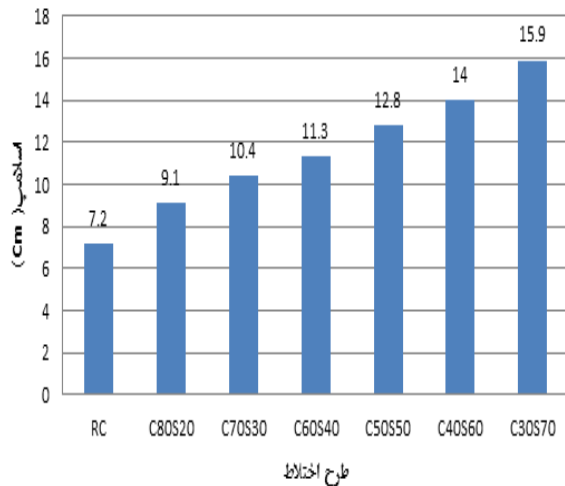
۳-۱-۱- اسلامپ بتن

طرح‌ها موجب افزایش اسلامپ نسبت به طرح مرجع می‌شود، لیکن استفاده طرح پودر سرباره در بتن در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره به میزان ۲۶٪ نسبت به مرجع باعث افزایش اسلامپ شده است، هم-چنین طرح حاوی ۷۰٪ سرباره به میزان ۱۲۰٪ نسبت به طرح مرجع افزایش اسلامپ نشان می‌دهد.

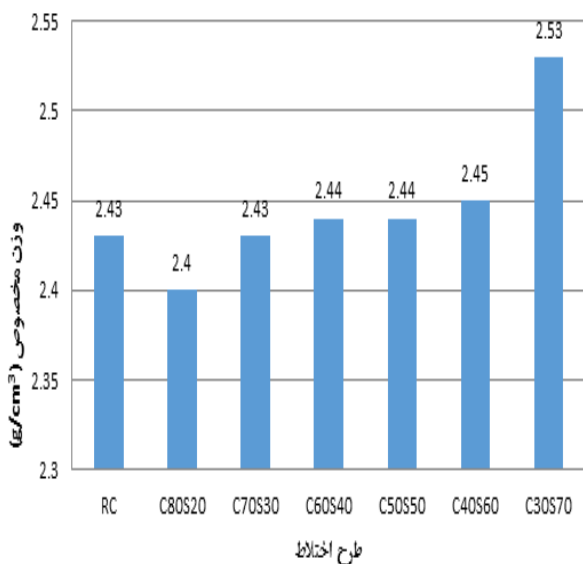
برای سنجش روانی بتن‌های تازه از آزمایش اسلامپ بر اساس استاندارد ASTM C143 استفاده شد. این آزمایش برای اندازه‌گیری لزجت مخلوط در حالت تازه به کار می‌رود [۱۹]. آزمایش اسلامپ، کارایی بتن را نمی‌سنجد ولی می‌تواند از آن برای توصیف روانی بتن استفاده کرد. همچنین برای پی بردن به تغییرات در یکنواختی مخلوط بتن با نسبت‌های اسمی معین، بسیار مفید است. در شکل ۲ مشهود است که افزودن سرباره در تمام

۳-۱-۲- وزن مخصوص بتن تازه

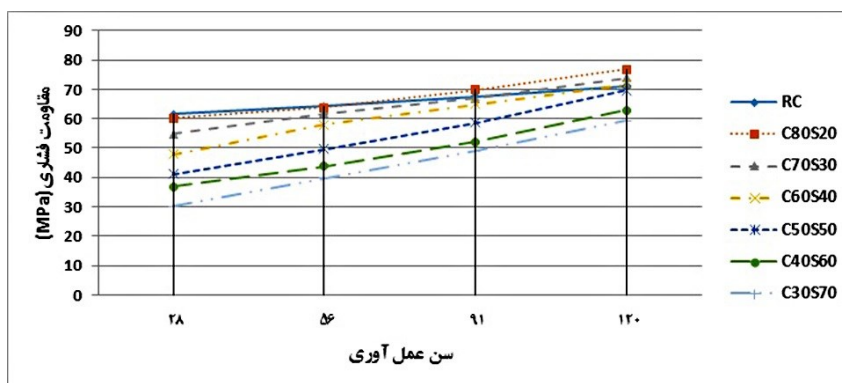
پس از آماده شدن مخلوط‌های بتنی، اقدام به نمونه‌گیری از آن‌ها مطابق استاندارد ASTM C172 برای تعیین وزن مخصوص بتن تازه بر اساس استاندارد ۳۲۰۳-۶ "مؤسسه استاندارد و تحقیقات



شکل ۲- درصد افزایش اسلامپ طرح‌های اختلاط نسبت به طرح مرجع



شکل ۳- وزن مخصوص طرح‌های اختلاط‌های تحقیق



شکل ۴- نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف از طرح‌های اختلاط در تحقیق

طبق شکل ۴ مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع با کاهش ۲/۱۷٪ به ۶۰/۲۸ مگاپاسکال می‌رسد. مقاومت فشاری نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با کاهش ۱۱٪ نسبت به نمونه مرجع به ۶۱/۶۲ مگاپاسکال است، در حالی که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره،

صنعتی ایران (سازمان ملی استاندارد ایران) "منطبق بر استاندارد ASTM C138 استفاده شده است [۲۰]. نتایج به دست آمده در خصوص وزن مخصوص بتن تازه طرح‌های اختلاط ساخته شده همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود وزن مخصوص بتن تازه-ی طرح‌های اختلاط ساخته شده در نمونه‌های حاوی ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ نزدیک به هم هستند، وزن نمونه مرجع نسبت به نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره حدود ۱/۵٪ افزایش را نشان می‌دهد. اما نمونه‌های حاوی ۷۰٪ سرباره نسبت به نمونه مرجع با ۴/۱٪ افزایش، بیشترین وزن مخصوص دارد.

۳-۲- تفسیر نتایج مقاومت فشاری

نمونه‌های مکعبی استاندارد پس از عمل آوری در آب، به مدت ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روز مطابق استاندارد ASTM C511، از حوضچه خارج و آزمایش تعیین مقاومت فشاری، با جک هیدرولیکی بتن-شکن، با سرعت بارگذاری ۱۳۵۰ کیلوگرم بر ثانیه، بر اساس استاندارد BS1888، بر روی نمونه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک انجام پذیرفت، هر طرح اختلاط در هر سن دارای ۳ نمونه می‌باشد، نتایج نهایی میانگین سه نمونه در صورت عدم تجاوز از انحراف معیار ۱/۴ مگاپاسکال طبق استاندارد ASTM C192، بیانگر مقدار مقاومت فشاری می‌باشد، در غیر این صورت داده مورد نظر حذف و میانگین دو مقاومت فشاری باقیمانده لحاظ می‌شود. نتایج مقاومت فشاری برای سنین ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه می‌باشد. مقدار نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط به صورت نمودار شکل ۴ نشان داده شده است.

نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره جایگزین سیمان به ۸٪ رسیده و در ۳۰٪ و ۴۰٪ سرباره جایگزین سیمان در سن ۱۲۰ روزه به ترتیب ۴٪ و ۰/۷٪ افزایش را نشان می‌دهد. هرچند مقدار افزایش ۰/۷٪ ناچیز به نظر می‌رسد، اما از آنجایی که نشانگر این است که تا سن ۱۲۰ روزه سرباره دارای اثر مثبت بر مقاومت فشاری می‌باشد، قابل ذکر است.

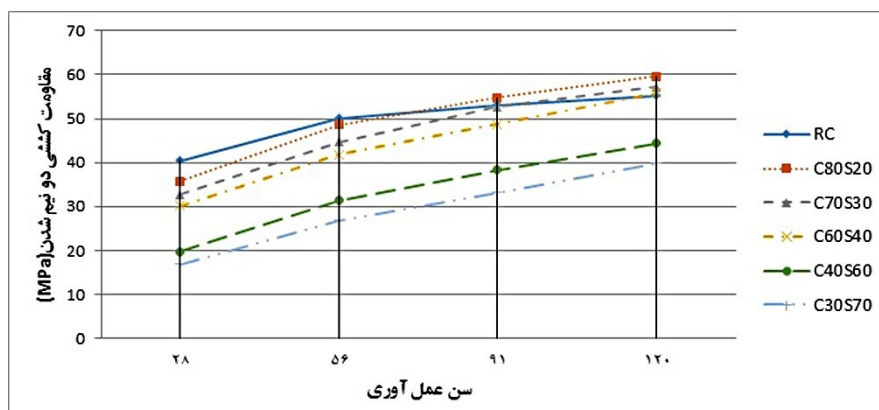
۳-۳- تفسیر نتایج مقاومت کششی دونیم شدن

نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب، مطابق استاندارد ASTM C511 از حوضچه خارج و آزمایش مقاومت کششی دونیم‌شدن با استفاده از جک هیدرولیکی بتن-شکن، با سرعت بارگذاری ۰/۹۴ کیلونیوتن بر ثانیه، بر اساس استاندارد ASTM C496 بر روی نمونه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک انجام پذیرفت [۲۱]. در محاسبه مقاومت کششی دو-نیم‌شدن از هر طرح ۳ نمونه تهیه و پس از شکست آنها میانگین مقاومت نمونه‌ها برای مقدار P موجود از رابطه (۱) استفاده شد.

$$T = (2P) / \pi LD \quad (1)$$

در رابطه (۱) T بیانگر مقاومت کششی به روش دونیم‌شدن برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، P حداکثر بار اعمال‌شده برحسب کیلوگرم، L طول نمونه برحسب سانتی‌متر و D قطر نمونه برحسب سانتی‌متر می‌باشند.

۵۴/۷۳ مگاپاسکال رسیده است. مقاومت فشاری در سن ۱۲۰ روزه برای نمونه مرجع ۷۱/۱۶ مگاپاسکال است، درحالی‌که در نمونه‌های حاوی ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ سرباره با افزایش ۸٪، ۴٪ و ۰/۷٪ به ۷۶/۶۹، ۷۳/۹۱ و ۷۱/۶۵ مگاپاسکال نشان می‌دهد، مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با ۲٪، ۱۲٪ و ۱۷٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۶۹/۷، ۶۲/۸ و ۵۹/۳ مگاپاسکال کاهش را نشان می‌دهد. نتایج مقاومت فشاری در سنین ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه در شکل ۴ ارائه شدند. تأثیر سرباره کوره آهن‌گدازی بر مقاومت فشاری در روزهای اولیه گیرش در مقایسه با بتن مرجع در حد پایین قرار داشته، ولی با گذشت زمان مقاومت نمونه‌ها به بتن مرجع نزدیک و نسبت نمونه‌های حاوی ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ سرباره بیشتر از نمونه مرجع شده است. همچنین نسبت ۵۰٪ جایگزینی سرباره به نمونه مرجع نزدیک می‌باشد. مقدار بیش از ۵۰٪ سرباره در بتن باعث افت مقاومت فشاری شده است. یکی از دلایل تأثیر دیر هنگام سرباره می‌تواند میزان آهن زیاد موجود در نمونه سرباره تهیه شده از کارخانه فولاد اهواز باشد. در جدول ۱ اشاره شد که بیش از ۴۳٪ و همچنین دی‌اکسیدسیلیکون به میزان ۲۱٪ باعث روند کند بهبود خواص مکانیکی گردیده اند، اما تأثیر ۲۰٪ سرباره در سن ۹۱ روزه نسبت به نمونه مرجع موجب افزایش ۳٪ مقاومت فشاری می‌باشد. همچنین در سن ۱۲۰ روزه مقاومت



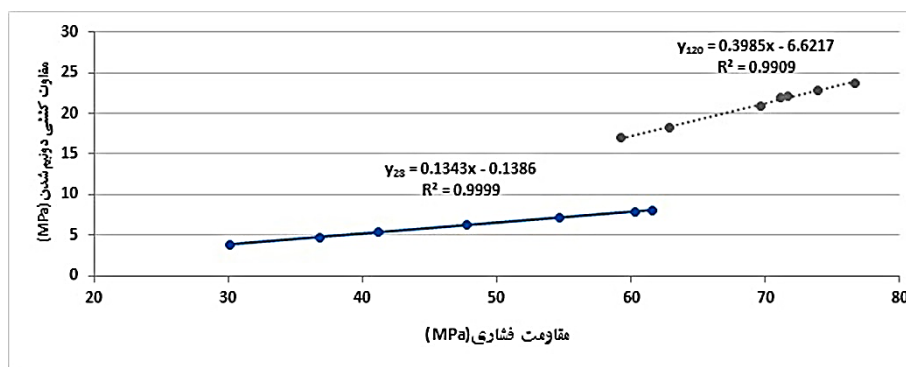
شکل ۵- نتایج مقاومت کششی دونیم‌شدن نمونه‌ها در سنین مختلف از طرح اختلاط‌های تحقیق

خمشی نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با کاهش ۲۲٪، ۳۴٪، ۴۱٪ و ۵۲٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۶/۳، ۵/۴، ۴/۸ و ۳/۹ مگاپاسکال شده است. نتایج مربوطه در شکل ۵ ارائه شدند. مقاومت کششی دونیم‌شدن در سن ۱۲۰ روزه برای نمونه مرجع ۲۲ مگاپاسکال است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره

نتایج مربوطه در شکل ۵ ارائه شدند. مقاومت کششی دونیم‌شدن در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع ۸/۱ مگاپاسکال است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با کاهش ۲/۵٪ به ۷/۹ مگاپاسکال رسیده است. مقاومت کششی دونیم‌شدن نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با کاهش ۱۱٪ نسبت به نمونه مرجع به ۷/۲ مگاپاسکال رسیده است. مقاومت

نمونه مرجع در سنین پایین می باشد. مطابق شکل ۵ مشاهده می شود با افزایش جایگزینی سرباره به جای سیمان، مقدار مقاومت کششی دونیم شدن نمونه ها در سن ۲۸ روزه دچار کاهش مقاومت نسبت به نمونه مرجع شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد که در سن ۹۱ روزه نمونه ها، تأثیر ۲۰٪ نسبت به نمونه مرجع ۳/۵٪ افزایش یافته است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، تأثیر جایگزینی سرباره به میزان ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ در سن ۱۲۰ روزه نسبت به نمونه مرجع دارای افزایش مقاومت کششی دونیم شدن است، که علت آن پیشرفت بیش تر واکنش های هیدراسیون سیمان و واکنش سرباره در طول زمان می باشد.

با افزایش ۸٪ به ۲۳/۷ مگاپاسکال رسیده است. مقاومت کششی دونیم شدن نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش ۴٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲۲/۹ مگاپاسکال رسیده است. مقاومت کششی دونیم شدن نمونه های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با کاهش ۰/۵٪، ۶٪، ۱۷٪ و ۲۳٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۲۱/۹، ۲۰/۷، ۱۸/۲ و ۱۷ مگاپاسکال شده است. با توجه به نتایج آزمایش ۱۲۰ روزه و اختلاف درصد رشد مقاومت نمونه دارای سرباره نسبت به نمونه مرجع می توان گفت که علت آن پیشرفت بیش تر واکنش های هیدراسیون سیمان و واکنش سرباره در طول زمان است که همین مسئله باعث ایجاد اختلاف زیاد بین نمونه های دارای سرباره نسبت به



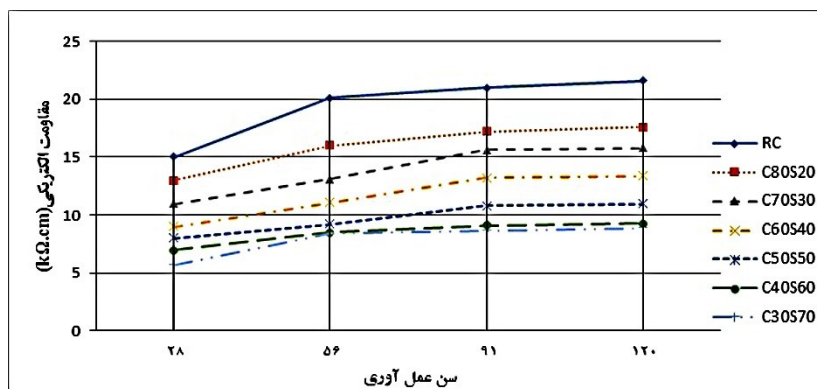
شکل ۶- رابطه بین مقاومت های فشاری و کششی دونیم شدن بتن های سیمان- سرباره ای در سنین ۲۸ و ۱۲۰ روزه

یک نزدیک می باشد، می توان با دقت قابل قبولی مقدار مقاومت خمشی نسبت به مقاومت فشاری را به دست آورد.

۳-۴- تفسیر نتایج مقاومت الکتریکی

اندازه گیری مقاومت الکتریکی طبق استاندارد ACI-222 انجام گردید. این آزمایش با استفاده از دو صفحه مسی یا برنجی که بر سطح آزمون بتنی اشباع از آب به کمک خمیر سیمان تازه می چسبند و مقاومت الکتریکی به کمک یک جریان متناوب با فرکانس مشخص به دست می آید، انجام شده است. با داشتن سطح بتن و فاصله بین دو صفحه فلزی، مقاومت ویژه الکتریکی آزمایش ها برحسب $k\Omega.cm$ تعیین می شود [۲۲]. مقاومت الکتریکی با نفوذپذیری بتن در برابر یون کلر ارتباط مستقیم دارد. به همین دلیل مدتی است که آزمایش سنجش مقاومت ویژه الکتریکی بتن به دلیل سرعت بالا و غیر مخرب بودن مورد توجه قرار گرفته است.

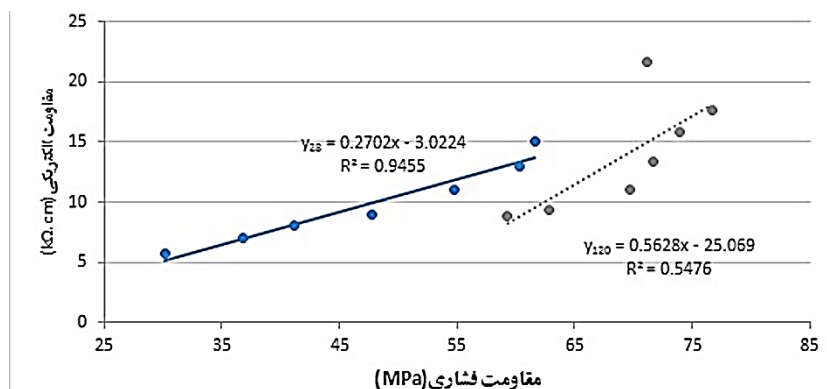
نمودار همبستگی میان دو عامل مقاومت فشاری و مقاومت کششی دونیم شدن برای سنین ۲۸ و ۱۲۰ روزه در شکل ۶ ارائه گردیده است. ضریب تعیین (R^2) نشان می دهد که درصد تغییرات مقاومت کششی دونیم شدن به وسیله مقاومت فشاری بیان می شود، به عبارت دیگر ضریب تعیین نشان دهنده این است که چه مقدار از تغییرات مقاومت کششی دونیم شدن تحت تأثیر مقاومت فشاری مربوطه است. از آنجایی که عموماً مرسوم است که خواص مکانیکی بتن را می توان به خاصیت مکانیکی مقاومت فشاری مرتبط نمود. در این بخش براساس داده های آزمایشگاهی حاصل می توان روابطی براساس شکل ۶ ارائه کرد. رابطه بین مقاومت های فشاری و مقاومت کششی دونیم شدن بتن های سیمان- سرباره ای در سنین ۲۸ و ۱۲۰ روزه ارائه شده است. مشاهده می شود که رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت خمشی طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۹۹۹ و ۰/۹۹۰۹ به ترتیب در سنین ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می باشد. با توجه به این که ضریب رگرسیون حاصله بسیار به



شکل ۷- نتایج مقاومت الکتریکی نمونه‌ها در سنین مختلف از طرح‌های اختلاط در تحقیق

سنگی شده و این امر کاهش مقاومت الکتریکی نمونه‌های دارای سرباره نسبت به نمونه مرجع را در پی داشته است. از آنجا که سرباره به عنوان یک پوزولان در درون ماتریس بتن قرار می‌گیرد، لذا با مصرف کریستال‌های کلسیم هیدروکسید سبب کاهش غلظت یون‌های OH در محلول منفذی می‌شود. هم‌چنین این موضوع منجر به افت رسانایی الکتریکی محلول منفذی بتن می‌گردد [۲۳]. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده شد، عملکرد پوزولانی در سنین اولیه ضعیف می‌باشد و بر همین اساس سرباره تأثیر خاصی بر بهبود مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روزه ندارد. حال آن‌که با افزایش درصد جایگزینی سیمان با سرباره یکی از عوامل اصلی مقاومت و چسبندگی ماتریس که همان سیمان است کاسته شده و در نتیجه این موضوع، افزایش تخلخل با افزایش میزان سرباره می‌تواند منجر به افزایش رسانایی ماتریس شده و از مقاومت الکتریکی آن بکاهد. اما نکته دیگری که در بررسی نتایج مقاومت الکتریکی مطابق شکل ۷ مشاهده می‌شود، مقاومت الکتریکی از سنین ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه خیلی نزدیک به هم می‌باشد. هم‌چنین با گذشت زمان وجود سرباره تأثیر زیادی در روند کاهش مقاومت الکتریکی ندارد.

نتایج مربوطه در شکل ۷ ارائه شدند. مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع، $15 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ است، در حالی که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با کاهش ۱۳٪ به $13 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ رسیده است. مقاومت الکتریکی نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با کاهش ۲۷٪ نسبت به نمونه مرجع به $11 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ رسیده است. مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با کاهش ۴۰٪، ۴۶٪، ۵۳٪ و ۶۲٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب $9 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ ، $8 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ و $7 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ شده است. نتایج مربوطه در شکل ۷ ارائه شدند. مقاومت الکتریکی در سن ۱۲۰ روزه برای نمونه مرجع، $21/6 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ است، در حالی که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با کاهش ۱۸٪ به $17/6 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ رسیده است. مقاومت الکتریکی نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با کاهش ۲۶٪ نسبت به نمونه مرجع به $15/8 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ رسیده است. مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با کاهش ۳۷٪، ۴۹٪، ۵۷٪ و ۵۹٪ درصدی نسبت به نمونه مرجع به ترتیب $13/4 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ ، $11 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ ، $9/3 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ و $8/9 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ شده است. مطابق شکل ۷ با بررسی نتایج مقاومت الکتریکی مشاهده می‌شود، تأثیر سرباره موجب کاهش مقاومت الکتریکی گردیده است. هم‌چنین وجود سرباره باعث پر شدن فضای بین مصالح



شکل ۸- رابطه بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن‌های سیمان- سرباره‌ای

رابطه بین مقاومت‌های فشاری و مقاومت الکتریکی بتن‌های سیمان-سرباره‌ای در سنین ۲۸ و ۱۲۰ روزه در شکل ۸ ارائه شدند. مشاهده می‌شود که رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۴۵۵ و ۰/۵۴۷۶ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می‌باشد.

۳-۵- تفسیر نتایج جذب آب حجمی

اندازه‌گیری جذب آب نمونه‌ها به دو روش انجام می‌شود. در روش استاندارد BS1881 نمونه‌های $\Phi 7/5 \times 7/5$ پس از قرارگیری در کوره به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی-گراد و پس از خشک‌سازی، به مدت ۳۰ دقیقه در داخل آب قرار داده می‌شوند. پس از خروج نمونه‌ها و خشک کردن سطح آن‌ها، جذب آب نمونه‌ها در این مدت‌زمان تعیین می‌شود. در روش استاندارد ASTM C642 جذب آب حجمی نسبت تفاضل وزن نمونه در حالت اشباع با سطح خشک و کاملاً خشک (در کوره ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۴۸ ساعت) به وزن نمونه خشک است که به درصد بیان می‌شود [۲۴]. درصد جذب آب (WA) هر نمونه مطابق رابطه (۲) تعیین می‌گردد.

۳-۵- تفسیر نتایج جذب آب حجمی

اندازه‌گیری جذب آب نمونه‌ها به دو روش انجام می‌شود. در روش استاندارد BS1881 نمونه‌های $\Phi 7/5 \times 7/5$ پس از قرارگیری در کوره به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی-گراد و پس از خشک‌سازی، به مدت ۳۰ دقیقه در داخل آب قرار داده می‌شوند. پس از خروج نمونه‌ها و خشک کردن سطح آن‌ها، جذب آب نمونه‌ها در این مدت‌زمان تعیین می‌شود. در روش استاندارد ASTM C642 جذب آب حجمی نسبت تفاضل وزن نمونه در حالت اشباع با سطح خشک و کاملاً خشک (در کوره ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۴۸ ساعت) به وزن نمونه خشک است که به درصد بیان می‌شود [۲۴]. درصد جذب آب (WA) هر نمونه مطابق رابطه (۲) تعیین می‌گردد.

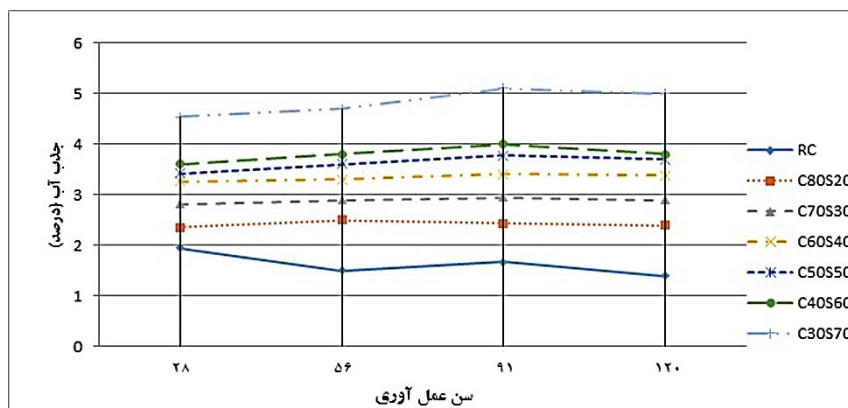
در رابطه (۲)، W_2 و W_1 برحسب گرم می‌باشند.

نتایج مربوطه در شکل ۹ ارائه شدند. جذب آب در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع ۱/۹۵٪ است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۲۱٪ به ۲/۳۶٪ رسیده است. جذب آب نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش ۴۵٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲/۸۲٪ رسیده است. همچنین جذب آب نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با افزایش ۶۷٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪ و ۱۳۳٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب

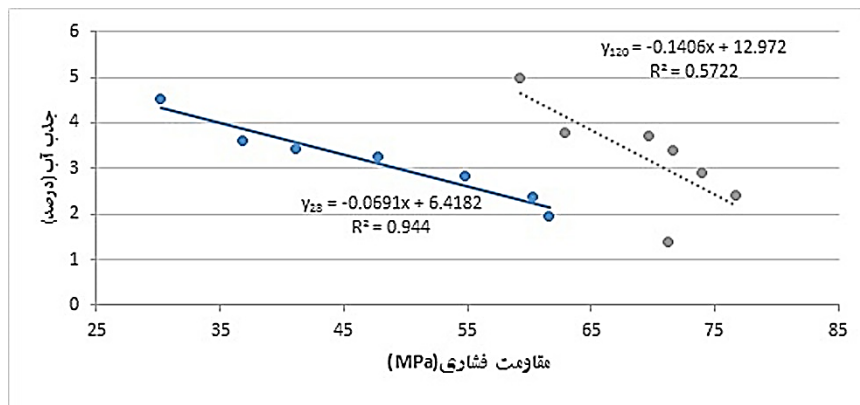
$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، W_2 و W_1 برحسب گرم می‌باشند.

نتایج مربوطه در شکل ۹ ارائه شدند. جذب آب در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع ۱/۹۵٪ است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۲۱٪ به ۲/۳۶٪ رسیده است. جذب آب نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش ۴۵٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲/۸۲٪ رسیده است. همچنین جذب آب نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با افزایش ۶۷٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪ و ۱۳۳٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب



شکل ۹- نتایج جذب آب نمونه‌ها در سنین مختلف از طرح‌های اختلاط در تحقیق

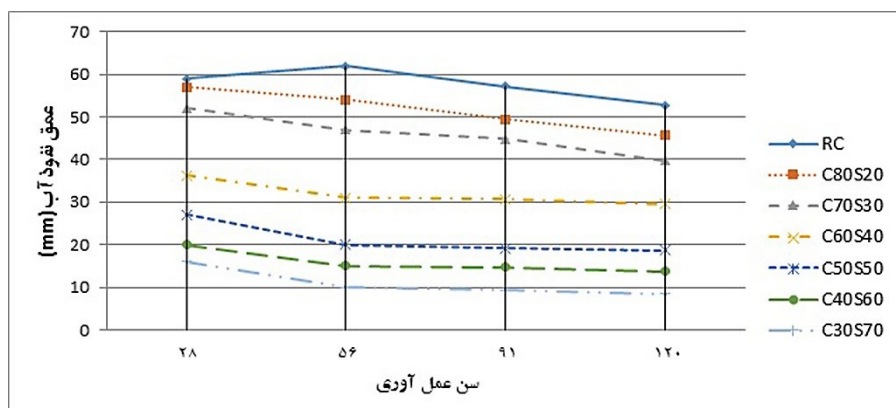


شکل ۱۰- رابطه بین جذب آب و مقاومت فشاری بتن‌های سیمان-سرباره‌ای تحقیق

۶-۳- تفسیر نتایج نفوذپذیری آب

در روش مذکور براساس استاندارد DIN1048 نمونه‌های مکعبی به بعد ۱۵ سانتی‌متری تحت فشار ثابت ۷ اتمسفر قرار می‌گیرند. طبق استاندارد، سطحی از نمونه که با فشار بر آن اثر می‌کند، با برس سیمی کمی زبر می‌شود. پس از گذشت ۷۲ ساعت نمونه‌ها به دو نیم تقسیم شده و مقدار نفوذ آب با کولیس اندازه‌گیری می‌شود [۲۵].

نفوذپذیری بتن معمولاً از طریق محاسبه مقدار آب تحت فشار که برای جریان یافتن به درون یک نمونه بتنی داخل می‌شود، در یک فاصله زمانی مشخص تعیین می‌شود. با اندازه‌گیری عمق نفوذ آب پس از شکستن نمونه‌ها می‌توان به معیاری برای نفوذپذیری بتن دست یافت.

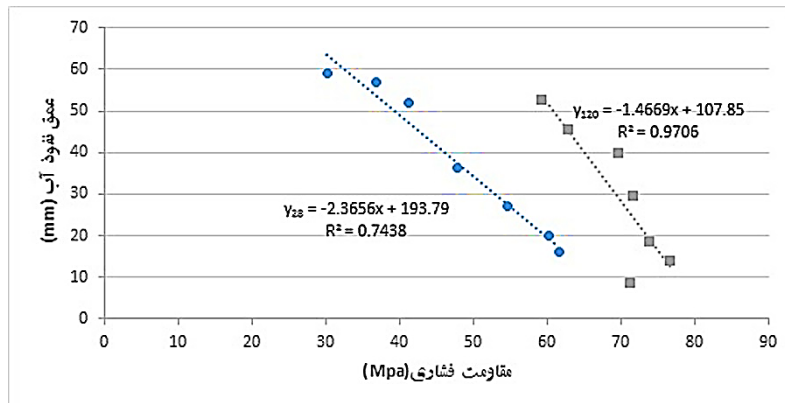


شکل ۱۱- نتایج عمق نفوذ آب در نمونه‌ها در سنین مختلف

رسیده است. عمق نفوذ آب نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش روزه برای نمونه مرجع ۱/۱ میلی‌متر است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۵۴/۶٪ نسبت به نمونه مرجع به ۱/۷ میلی‌متر رسیده است. عمق نفوذ آب نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش ۸۲٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲ میلی‌متر رسیده است. هم‌چنین عمق نفوذ آب نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با افزایش ۴۱٪، ۱۳۳٪، ۲۰۸٪ و ۲۴۱٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۱/۷، ۲/۸، ۳/۷ و ۴/۱ میلی‌متر شده است. به‌طورکلی آزمایش عمق نفوذپذیری آب بتن یک آزمایش استاندارد نیست، از طرف دیگر نتایج حاصل از روش‌های متداول تعیین نفوذپذیری آب در بتن که در آزمایشگاه و روی آزمون‌های بتنی از قبل آماده شده انجام می‌پذیرد، عمدتاً کیفی و مقایسه‌ای می‌باشد. از این‌رو در سال ۲۰۱۱ توسط نادری، روشی با کاربردی گسترده و دقیق، برای تعیین مقدار نفوذپذیری آب در بتن و دیگر مصالح ساختمانی

نتایج مربوطه در شکل ۱۱ ارائه شدند. عمق نفوذ آب در سن ۲۸ روزه برای نمونه مرجع ۱/۱ میلی‌متر است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۵۴/۶٪ نسبت به نمونه مرجع به ۱/۷ میلی‌متر رسیده است. عمق نفوذ آب نمونه حاوی ۳۰٪ سرباره با افزایش ۸۲٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲ میلی‌متر رسیده است. هم‌چنین عمق نفوذ آب نمونه‌های حاوی ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره به ترتیب با افزایش ۱۲۷٪، ۲۳۶٪، ۲۶۳٪ و ۳۰۰٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۲/۵، ۳/۷، ۴ و ۴/۴ میلی‌متر شده است. نتایج مربوطه در شکل ۱۱ ارائه شدند. عمق نفوذ آب در سن ۱۲۰ روزه برای نمونه مرجع ۱/۲ میلی‌متر است، درحالی‌که در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۲۵٪ نسبت به نمونه مرجع به ۱/۵ میلی‌متر

ابداع گردید. این روش در تمام شرایط آزمایشگاهی، مخصوصاً در محل پروژه و در سطوح افقی، عمودی، سقفی و مورب به-سادگی، با کمترین آموزش، بدون نیاز به مغزه-گیری و تخریب سازه اصلی و ... قابل انجام می‌باشد و نتایج را به صورت کمی بیان می‌کند. همچنین این روش قادر است تا ترک‌های مویین بر روی سطح بتن حتی در محیط آزمایشگاه را نیز بررسی نماید [۲۶]. در بررسی نتایج عمق نفوذ شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که با افزایش



شکل ۱۲- رابطه بین عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن های سیمان-سرباره ای تحقیق

سیمان می‌باشد، این ذرات فولادی باعث افزایش اسلامپ بتن گردیده است.

مقاومت فشاری نمونه با جایگزینی ۴۰٪ پودر شده سرباره کارخانه فولاد اهواز به جای بخشی از سیمان مصرفی در بتن در سن ۱۲۰ روز ۰/۷٪ افزایش نشان می‌دهد. هرچند مقدار افزایش ۰/۷٪ ناچیز به نظر می‌رسد، اما از آن جایی که نشانگر این است که تا سن ۱۲۰ روز سرباره دارای اثر مثبت بر مقاومت فشاری می‌باشد، قابل ذکر است.

با جایگزینی ۴۰٪ پودر شده سرباره کارخانه فولاد اهواز به جای بخشی از سیمان مصرفی در بتن، بهبود خواص مکانیکی در سن ۱۲۰ روز حاصل گردید.

مقاومت کششی دو نیم شدن نمونه با جایگزینی ۳۰٪ پودر شده سرباره کارخانه فولاد اهواز به جای بخشی از سیمان مصرفی در بتن در سن ۱۲۰ روز ۴٪ افزایش نشان می‌دهد.

مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سرباره در سن ۲۸ روز کم بوده ولی با گذشت زمان مقاومت‌های قابل قبولی در سن ۱۲۰ روز با جایگزینی ۴۰٪ از خود نشان داد.

با افزایش جایگزینی سرباره کارخانه فولاد اهواز به جای

رابطه بین مقاومت‌های فشاری و عمق نفوذ آب بتن‌های سیمان-سرباره‌ای در سن ۲۸ و ۱۲۰ روز در شکل ۱۲ ارائه شدند، مشاهده می‌شود که رابطه بین مقاومت فشاری و عمق نفوذ آب طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۷۴۳۸ و ۰/۹۸۱۳ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روز برقرار می‌باشد. با توجه به اینکه ضریب رگرسیون از روابط بسیار به یک نزدیک می‌باشد، می‌توان با دقت قابل قبولی مقدار عمق نفوذ آب نسبت به مقاومت فشاری را به دست آورد.

۴- نتایج

در این پژوهش برای توسعه ساخت بتن‌های سیمان-سرباره‌ای دوست‌دار محیط‌زیست، پوزولان سرباره تولیدی در کارخانه فولاد اهواز که به روش مکانیکی فعال گردیده است، استفاده شد و آزمایش‌های مختلف رئولوژی، مکانیکی و دوام بر نمونه‌های بتن‌های سیمان-سرباره‌ای در سن ۲۸، ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روز انجام پذیرفته است. نتایج کلیدی حاصل از تحقیق به شرح زیر هستند:

- با افزایش درصد سرباره کارخانه فولاد اهواز جایگزین سیمان میزان اسلامپ طرح‌های حاوی سرباره افزایش داشته است.
- وزن مخصوص بتن تازه سرباره کارخانه فولاد اهواز بیشتر از

- سنین ۵۶، ۹۱ و ۱۲۰ روزه اثر ثابت و یکنواختی داشته است.
- با توجه به نتایج آزمایش‌ها، ضریب رگرسیون بین مقاومت فشاری و کششی دونیم شدن طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۰۹ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می‌باشد.
- با توجه به نتایج آزمایش‌ها، ضریب رگرسیون بین مقاومت فشاری و عمق نفوذ طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۸۱۳ و ۰/۶۸۸۸ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می‌باشد.
- با توجه به نتایج آزمایش‌ها، ضریب رگرسیون بین مقاومت فشاری و جذب آب طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۴۴ و ۰/۵۷۲۲ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می‌باشد.
- با توجه به نتایج آزمایش‌ها، ضریب رگرسیون بین مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی طبق یک رابطه خطی از ضریب تعیین ۰/۹۴۵۵ و ۰/۵۴۷۶ به ترتیب در سن ۲۸ و ۱۲۰ روزه برقرار می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] Rahat Dahmardeh, S, "Investigation of the mechanical properties of self-compacting concrete, containing glass jar under aggressive conditions of sulfuric acid", Master's thesis for civil engineering, Sistan and Baluchestan University, Faculty of Engineering, (1392).
- [2] Emam Ali, E, Al-Tersawy, S, "Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self-compacting concrete", Construction and Building Materials, (2012), Vol. 35, pp. 785-791.
- [3] Abbasi-Dezfoli, A, K, Olapur, M, Borna, M, Pourzangneh, B, "Managing the construction and development of the use of scrap glass in concrete by determining its physical and mechanical properties", First International Conference on Iran's Environmental Crisis and its Improvement, (1391).
- [4] Shi, C, Qian, J, "High performance cementing materials from industrial slags a review", Resources, Conservation and Recycling, (2000), Vol. 29 (3), pp. 195-207.
- [5] Garcia-Lodeiro, I, Fernández-Jimenez, A, "Palomo A. Alkali-Activated based concrete", InEco-efficient concrete Woodhead Publishing, (2013), pp. 439-487.
- [6] Ezziane, K, Ngo, T, T, Kaci, A, "Evaluation of

- سیمان، مقدار مقاومت کششی دونیم شدن نمونه‌ها در سنین پایین کاهش یافته است.
- آزمایش عمق نفوذ آب در نمونه‌های حاوی سرباره کارخانه فولاد اهواز در سن ۱۲۰ روزه در نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره با افزایش ۲۵٪ نسبت به نمونه مرجع به ۱/۵ میلی‌متر رسیده است. عمق نفوذ آب نمونه‌های حاوی ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره کارخانه فولاد اهواز به ترتیب با افزایش ۳۳٪، ۴۱٪، ۱۳۳٪، ۲۰۸٪ و ۲۴۱٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۱/۷، ۲/۸، ۳/۷ و ۴/۱ میلی‌متر شده است.
- با توجه به نتایج در آزمایش عمق نفوذ آب در نمونه‌های حاوی سرباره کارخانه فولاد اهواز، با افزایش درصد سرباره جایگزینی به جای بخشی از سیمان، کاهش عمق نفوذ آب در بتن‌های سیمان-سرباره‌ای مشاهده شد.
- آزمایش‌های جذب آب در نمونه‌های حاوی سرباره کارخانه فولاد اهواز در سن ۱۲۰ روزه نمونه حاوی ۲۰٪ سرباره، با افزایش ۷۱٪ نسبت به نمونه مرجع به ۲/۴٪ رسیده است. جذب آب نمونه‌های حاوی ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ سرباره کارخانه فولاد اهواز به ترتیب با افزایش ۱۰۷٪، ۱۴۱٪، ۱۶۴٪، ۱۷۱٪ و ۲۵۷٪ نسبت به نمونه مرجع به ترتیب ۲/۹٪، ۳/۳۸٪، ۳/۷٪، ۳/۸٪ و ۵٪ شده است.
- استفاده از سرباره کارخانه فولاد اهواز جایگزین بخشی از سیمان در نمونه‌ها باعث افزایش جذب آب حجمی شده است.
- آزمایش مقاومت الکتریکی در نمونه‌های حاوی سرباره کارخانه فولاد اهواز در سن ۱۲۰ روزه نمونه ۲۰٪ با کاهش ۱۸٪ به ۱۷/۶ kΩ.cm رسیده است.
- تأثیر سرباره کارخانه فولاد اهواز در نمونه‌های بتن‌های سیمان-سرباره‌ای موجب کاهش مقاومت الکتریکی شده است. وجود سرباره باعث پر شدن فضای بین مصالح سنگی شده و این امر کاهش مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی سرباره نسبت به نمونه مرجع را در پی داشته است.
- سرباره کارخانه فولاد اهواز در بتن‌های سیمان-سرباره‌ای تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود مقاومت الکتریکی در سنین پایین نداشته، اما با افزایش درصد سرباره، مقاومت الکتریکی کاهش یافته است.
- سرباره کارخانه فولاد اهواز در کاهش مقاومت الکتریکی در

- de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concretot, (2017).
- [21] ASTM C496-96, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (1996).
- [22] ACI 222 R- 01, 222R-01: Protection of Metals in Concrete against Corrosion, (2010).
- [23] Mazloom, M, Ramezani pour, A, Brooks J, J, "Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete", *Cement & Concrete Composites*, (2004), Vol. 26, pp. 347-357.
- [24] ASTM C511, Standard Specification for Seamless Stainless Steel Mechanical Tubing, (2018).
- [25] ASTM C172, Testing fresh concrete in the field, (2017).
- [26] Ahmadi, B, Shekarchi, M, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, (2010), Vol. 32, pp. 134-141.
- [27] Flowcem R900 brand superplasticizer, Middle East Durochem factory, www.irandurocem.com.
- rheological parameters of mortar containing various amounts of mineral addition with polycarboxylate superplasticizer", *Construction and Building Materials*, (2014), Vol. 15 (70), pp. 549-59.
- [۷] مستوفی نژاد، د، نظری منفرد، ح، افزودنی سرباره و پودر سنگ آهک به بتن جهت افزایش دوام در محیط سولفاتی، پژوهشنامه حمل و نقل، ۱۳۸۵، سال سوم، شماره دوم.
- [8] Brindha, D, Baskaran, T, Nagan, S, "Assessment of corrosion and durability characteristics of copper slag admixed concrete", *International Journal of civil and structural Engineering*, (2010), Vol. 1 (2): 192-202.
- [9] Rao, S, K, Sravana, P, Rao, T, C, "Experimental studies in Ultrasonic Pulse Velocity of roller compacted concrete pavement containing fly ash and M-sand", *International Journal of Pavement Research and Technology*, (2016), Vol. 9 (4), pp. 289-301.
- [10] Bakharev, T, Sanjayan, J, Cheng, Y, "Alkali activation of Australian slag cements", *Cement and Concrete Research*, (1999), Vol. 29 (1), pp. 113-120.
- [11] Carpenter, A, Cramer, J, S, M, "Mitigation of Alkali-Silica Reaction in pavement patch concrete that incorporates highly reactive fine aggregate", *Transportation research record*, (1999), Vol. 1668 (1), pp. 60-67.
- [12] ASTM C150, Standard Specification for Portland cement, (2004).
- [13] Pattengil, M, Shutt, T, "Use of ground glass as a pozzolan; Albuquerque symposiums on Utilization of Waste Glass in Secondary Products", Albuquerque, New Mexico, USA. (1973).
- [14] ASTM C127, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, (2001).
- [15] ASTM C128, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, (2012).
- [16] Sharifi, Y, "The effect of sand replacement with glass waste on the tensile and flexural strengths of self-compacting concrete", *National Conference on Concrete*, Fifth Year, (1392).
- [17] ASTM C138, Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concretot, (2017).
- [18] British Standards Institution. BS 1881, Part2, Methods of testing fresh concrete. London, BSI, (1970).
- [19] ASTM C143, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, (2017).
- [20] ASTM C138, Método de Ensayo Normalizado

Experimental study of the Ahvaz steel plant slag on properties of cement-slag concretes

Seyed Fathollah Sajedi *

Department of civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic azad University, Ahvaz, Iran.

Gholam Abbas Bahraminia

Department of civil Engineering, Qeshm Branch, Islamic azad University, Qeshm, Iran.

Abstract

In this research 7 mixing designs with, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% of slag in powdered form replaced part of the cement and the specimens were made at the ages of 28, 56, 91 and 120 days. They were subjected to the necessary tests. Slump test, specific weight of fresh concrete, compressive strength, split tensile strength, electrical resistance, volumetric water absorption and depth of water penetration of the specimens made from reference concrete and cement-slag were performed. The results showed that the slag powder had no significant effect on mechanical properties of the specimens until the age of 56 days, but with the passage of time, the compressive strength of the specimens containing 40% slag at the age of 120 days was 1% more, compared to the reference specimen. In terms of tensile strength, specimens containing 30% slag at the age of 120 days showed an increase of 4% compared to the reference specimen; although the increase of 1% seems insignificant, but it indicates that until the age of 120 days, the slag has a positive effect on compressive strength, it is worth mentioning. The percentage of water absorption at the age of 120 days in the specimen containing 40% slag showed an increase of 3.4% compared to the reference specimen. At the age of 120 days, electrical resistance of the specimen containing 40% slag, decreased by 37% and the water penetration depth in the specimen containing 40% slag, increased by 2.8 mm compared to the reference specimen.

Keywords: Cement-slag concrete, Mechanical properties, Durability, Ahvaz steel plant slag.

* Corresponding Author: sajedi@iauahvaz.ac.ir

