نهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

استفاده از پسماند غباری کوره‌های قوس الکتریکی صنایع فولاد آلیاژی در بتن و بررسی تاثیر آن بر خواص مکانیکی مخلوط بتن

علی موتمن[۱]، شهناز دانش[۲]، محمدرضا توکلی‌زاده[۳]

۱- گروه مهندسی عمران - محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

sdanesh@um.ac.ir

خلاصه

پسماندهای صنعتی از جمله پسماندهای بسیار مهم در کشورهای پیشرفته یا در حال توسعه مانند ایران می‌باشند که نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه در کاربری و دفع هستند. غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به عنوان شاخص‌ترین پسماند صنایع تولید فولاد آلیاژی، با تولید جهانی حدود ۳/۷ میلیون تن در سال به علت دارا بودن فلزات سنگین از طرف آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در دسته‌ی پسماندهای خطرناک قرار گرفته است. در این مطالعه، تأثیر شش سطح جایگزینی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی، سه عیار سیمان ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ و سنین عمل‌آوری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بر مقاومت‌های فشاری و کششی مخلوط بتن حاوی غبار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن هستند که با افزایش سطح جایگزینی غبار، خواص مکانیکی نیز کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در سنین عمل آوری بالاتر، خواص مکانیکی نمونه‌ها روندی افزایشی به خود می‌گیرد. بیشترین مقاومت فشاری در عیار ۳۵۰، سطح جایگزینی ۵ درصد و سن عمل‌آوری ۹۰ روزه مقداری برابر ۲۹ مگاپاسکال(۳۸ درصد بیشتر ار نمونه شاهد) و کمترین آن در عیار ۴۰۰، سطح جایگزینی ۳۰ درصد و سن عمل‌آوری ۷ روزه مقداری برابر ۹/۹ مگاپاسکال(۵۰ درصد کمتر از نمونه شاهد)گزارش شده است. به همین ترتیب مقادیری مشابه با مقاومت فشاری برای مقاومت کششی مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: غبار کوره قوس الکتریکی، پسماندهای صنعتی، بتن

۱. مقدمه

ساخت فولاد، همواره تولید حجم وسیعی از پسماندها را به همراه داشته است که درمیان پسماندهای مختلف، غبار کوره‌ی قوس الکتریکی با حجم بالای تولید (تولید جهانی ۳/۷ میلیون تن در سال) و دارا بودن فلزات سنگینی چون روی، آهن، کروم، کادمیم و سرب، از طرف آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) در دسته‌ی پسماندهای خطرناک قرار گرفته است. کشور ایران با تولید ۷۰ هزار تن غبار کوره‌ی قوس الکتریکی در سال، از جمله کشورهای اصلی تولید کننده‌ی این پسماند در منطقه است. تولید مقادیر زیادی از این پسماند، محتوای فلزات سنگین، مشکلات توأم با حمل و نقل و دفع غیر مستقیم و محدودیت منابع سبب شده است که تحقیقاتی در راستای یافتن راه‌های جدید برای استفاده‌ی مجدد از این نوع پسماند، در سطح بین‌المللی انجام پذیرد.

تا کنون مطالعاتی پیرامون استفاده از غبار کوره‌ی قوس الکتریکی در مخلوط بتن و ملات سیمان توسط محققین مختلف صورت گرفته است. مصلح الدین و همکاران [۱] تنها از یک سطح جایگزینی ۲درصدی برای جایگزین نمودن غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به جای سیمان در ملات بتن بهره بردند. آن‌ها نمونه‌های حاوی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی را با نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی مقایسه نموده و در ارزیابی خود بیان کردند که مقاومت اولیه (۳ روزه) در نمونه دارای ترکیب سیمان پرتلند متداول و غبار کوره‌ی قوس الکتریکی در مقایسه با نمونه‌های

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران
[۲] دانشیار گروه مهندسی عمران
[۳] استادیار گروه مهندسی عمران

دارای میکروسیلیس و خاکستری بادی کمتر است؛ ولی مقاومت فشاری نهایی (۲۸ روزه) در نمونه‌های دارای غبار کوره‌ی قوس الکتریکی، با افزایش ۵ درصدی نسبت به نمونه‌ی شاهد همراه است. المطلق و همکاران [۲] از دو ماده‌ی افزودنی (نیترات کلسیم و فرمیت کلسیم) به منظور جبران تاخیر زمان گیرش اولیّه در نمونه‌های بتنی حاوی غبار کوره قوس الکتریکی استفاده کردند. آن‌ها غبار کوره‌ی قوس الکتریکی را تنها در سطح جایگزینی ۸ درصد و مواد افزودنی را در سطح جایگزینی ۳/۵ درصد به مخلوط بتن اضافه کردند. ضعف در کسب مقاومت فشاری در نمونه‌ی دارای غبار کوره‌ی قوس الکتریکی نسبت به نمونه‌ی شاهد تا روز هفتم از سن عمل آوری به علت تاخیر در زمان گیرش نمونه‌ها مشاهده گردید. از روز هفتم به بعد روند افزایشی چشمگیری در کسب مقاومت فشاری نمونه‌ی دارای غبار کوره‌ی قوس الکتریکی مشاهده گردید. وارگاس و همکاران [۳] غبار کوره‌ی قوس الکتریکی را در ۴ سطح جایگزینی صفر تا ۲۵ درصد وزنی با سیمان ترکیب کردند. آن‌ها دو پارامتر زمان گیرش و گرمای هیدراتاسیون را در دو حالت سیمان تازه و سخت شده مورد آزمایش قرار دادند. با افزایش درصد جایگزینی غبار، زمان گیرش خمیر سیمان نیز روندی افزایشی به خود گرفت. بالدراس و همکاران [۴] غبار کوره‌ی قوس الکتریکی را در چهار سطح جایگزینی ۲، ۵، ۸ و ۱۰ درصد وزنی به مخلوط سیمان اضافه کردند و زمان گیرش نمونه‌ها را با استفاده از آزمایش هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها نیز حاکی از تاخیر در زمان گیرش ملات با افزایش سطح جایگزینی غبار بود. ترکیب غبار کوره‌ی قوس الکتریکی با سیمان پرتلند متداول در سطوح جایگزینی ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی توسط هکال و همکاران [۵] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق بیشترین مقاومت فشاری اندازه گیری شده را در ارتباط با نمونه‌ی ۱ درصدی نشان می‌دهد. آزادمهر [۶] نیز در بررسی‌های خود استفاده از غبار کوره‌ی قوس الکتریکی را در خمیر سیمان امری امکان پذیر بیان نمود و بهبود خواص مکانیکی از جمله مقاومت فشاری را گزارش کرد.

تا کنون در ایران تحقیقی پیرامون جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به جای سیمان در مخلوط بتن و تاثیر آن بر خواص مکانیکی بتن صورت نگرفته است. بنابراین در تحقیق پیش رو به بررسی تاثیر سطوح مختلف جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی بر خواص مکانیکی بتن پرداخته شده است. بدین منظور، تاثیر ۶ سطح جایگزینی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰درصد وزنی)، عیارهای مختلف سیمان (۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و سنین عمل آوری (۷، ۲۸ و ۹۰روز) بر مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱،۲. مصالح مورد استفاده

در ساخت نمونه‌های بتنی از غبار کوره‌های قوس الکتریکی شرکت فولاد آلیاژی ایران (یزد) با میزان تولید ۱۵ الی ۲۰ کیلوگرم غبار به ازای ذوب هر تن قراضه‌ی آهن استفاده شده است. همچنین سایر مصالح مورد استفاده در این مطالعه شامل سیمان پرتلند تیپ یک کاشان با رده‌ی ۳۲۵، سنگدانه‌های طبیعی و آب شهری می‌باشد.

۱،۲،۲. غبار کوره‌های قوس الکتریکی و سیمان پرتلند تیپ یک

خواص فیزیکی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی و سیمان پرتلند مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. هم چنین جهت شناسایی ترکیبات شیمیایی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی از آزمایش XRF[۱] بهره گرفته شده و نتایج آن به همراه سایر گزارشات با سیمان پرتلند، در جدول ۲ مقایسه شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی غبار کوره قوس الکتریکی و سیمان پرتلند

نوع ماده	وزن مخصوص، (g/cm^3)	سطح مخصوص، (cm^2/g)	افت سرخ شدن[۲]
سیمان پرتلند	۳/۰۶	۳۳۸۹	۱/۶۹
غبار کوره‌ی قوس الکتریکی	۴/۱۲	۳۶۲۳	۸/۷۵

[۱] X-ray fluorescence
[۲] Loss on ignition

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی و سیمان پرتلند

ترکیب شیمیایی (درصد)		CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	ZnO	Cl	P_2O_5	TiO_2	MnO
غبار کوره‌ی قوس الکتریکی	گزارش حاضر	۲۲	۳/۵	۱/۱۰	۴۶	۴/۹۰	۲/۳۱	۲/۹۰	۱/۹۳	۳/۱۴	۱/۰۰	۰/۳۵	۰/۲۲	۱/۳۱
	سالی اوقلو [۷]	۸/۶۰	۳/۹۳	۰/۵۷	۳۷/۰۲	۵/۱۰	۲/۴۰	۱/۸۸	۰/۶۲	۱۹/۷۹	۱/۳۵	۰/۲۴	*	*
	هکال	۱۱/۴	۳/۷	۰/۶	۴۱/۳	۵/۲	۲/۸	۲/۳	۴/۸	۱۵	*	*	*	*
سیمان		۶۲/۴	۲۰/۷	۲/۸۹	۵/۵	۲/۱۸	۳/۲۱	۰/۵۵	*	*	۰/۰۱۴	۰/۰۵۸	۰/۲۸	۰/۱۵

۲,۱,۲. سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل ماسه، نخودی و بادامی تیزگوشه طبیعی می‌باشد. درصدهای نسبی عبوری سنگدانه‌ها در جدول ۳ و مشخصات فیزیکی آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

۲,۲. روش اختلاط

با توجه به اینکه سنگ دانه‌های مورد استفاده در ایران از نظر ویژگی با آنچه در آیین‌نامه‌های آمریکا به آن اشاره شده متفاوت می‌باشد، بنابراین تدوین طرح اختلاط بر اساس آیین نامه‌ی "روش ملی طرح مخلوط بتن ایران" صورت پذیرفته است. مقادیر مصالح و آب مورد نیاز برای ساخت نمونه ها در سه عیار سیمان ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ به تفکیک در جدول ۴ آورده شده است.

۲,۳. ساخت نمونه‌ها

۱,۳,۲. اختلاط مصالح

پس از محاسبه‌ی حجم قالب‌های مورد نیاز، عملیات اختلاط به طور جداگانه برای هرکدام از درصدهای جایگزینی و نمونه‌ی شاهد انجام گرفت. شرح عملیات اختلاط به این صورت است که در ابتدا ماسه و نخودی به مدت یک دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند و سپس یک سوم آب اضافه گردید. پس از آن بادامی را وارد مخلوط کن کرده و یک سوم دیگر از آب به مخلوط اضافه شد. پس از اختلاط کافی شن و ماسه، سیمان به صورت مرحله‌ای با مصالح مخلوط گردید. آب باقی مانده به همراه غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به ملات اضافه و زمان کافی برای اختلاط ملات در نظر گرفته شد. نکته‌ی قابل ذکر، میزان آب مصرفی برای اختلاط سطوح مختلف غبار در سه عیار مورد آزمایش است. برخلاف آنچه در طرح اختلاط محاسبه گردید، این میزان مقدار ثابتی نبوده و بسته به درصد جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی و شرایط زمان اختلاط مصالح مانند درجه حرارت محیط، میزان رطوبت هوا، رطوبت دستگاه‌ها و وسایل و همچنین خطای انسانی مقادیر بیشتر و یا کمتری که در جدول ۶ ارائه شده است را شامل می‌شود.

جدول ۳- درصدهای عبوری نسبی

شماره الک	۱"	۳/۴"	۱/۲"	۳/۸"	No.۴	No.۸	No.۱۶	No.۳۰	No.۵۰	No.۱۰۰	No.۲۰۰	زیر الک
درصد عبوری نسبی	۱۰۰	۷۵/۷۰۹	۳۵/۰۲۱	۳۱/۵۴۵	۱۲/۲۸	۷/۲۳۱	۳/۵۲۲	۲/۱۲۷	۱/۴۰۸	۰/۷۳۲	۰/۲۵۷	۰/۰۰۳

جدول ٤- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها

مشخصه فیزیکی	وزن مخصوص خشک، (gr/cm^3)	وزن مخصوص اشباع، (gr/cm^3)	درصد جذب آب اشباع	وزن حجمی تراکم ماسه، (g/cm^3)	FM	SE
ماسه (ریزدانه)	۲/۶	۲/۶۵	۵٪	۱/۸	۴/۰۲	۷۴٪

شن (درشت دانه)	۲/۶	۲/۶۵	۱/۲٪	۱/۷	–	–	

جدول ۵- مقادیر آب و مصالح مورد نیاز بر حسب، (Kg/m^3)

	کد نمونه	سیمان	غبار	ماسه	نخودی	بادامی	آب شهری
عیار ۳۵۰	۳۵۰-۰	۳۵۰	۰	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۹۲
	۳۵۰-۵	۳۳۲/۵	۱۷/۵	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۸۹/۲۵
	۳۵۰-۱۰	۳۱۵	۳۵	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۸۸/۴۶
	۳۵۰-۱۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۸۷/۰۸
	۳۵۰-۲۰	۲۸۰	۷۰	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۹۰
	۳۵۰-۲۵	۲۶۲/۵	۸۷/۵	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۹۱
	۳۵۰-۳۰	۲۴۵	۱۰۵	۹۷۰	۳۲۰	۵۳۰	۱۹۲/۵
عیار ۴۰۰	۳۵۰-۰	۴۰۰	۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۲
	۳۵۰-۵	۳۸۰	۲۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۱
	۳۵۰-۱۰	۳۶۰	۴۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۱/۵
	۳۵۰-۱۵	۳۴۰	۶۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۲
	۳۵۰-۲۰	۳۲۰	۸۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۲
	۳۵۰-۲۵	۳۰۰	۱۰۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۳/۵
	۳۵۰-۳۰	۲۸۰	۱۲۰	۹۵۰	۳۱۵	۵۱۵	۱۹۴/۵
عیار ۴۵۰	۳۵۰-۰	۴۵۰	۰	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۲
	۳۵۰-۵	۴۲۷/۵	۲۲/۵	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۱/۲۵
	۳۵۰-۱۰	۴۰۵	۴۵	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۱/۹۵
	۳۵۰-۱۵	۳۸۲/۵	۶۷/۵	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۲/۵۵
	۳۵۰-۲۰	۳۶۰	۹۰	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۳/۴
	۳۵۰-۲۵	۳۳۷/۵	۱۱۲/۵	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۳/۷۵
	۳۵۰-۳۰	۳۱۵	۱۳۵	۹۳۰	۳۰۵	۵۰۰	۱۹۴/۶

جدول ٦- تعداد و ابعاد نمونه‌ها به تفکیک آزمایش

نوع آزمایش	مقاومت فشاری	مقاومت کششی
استاندارد	BS ۱۸۸۱-۱۱۶	ASTM C ۴۹۶
ابعاد نمونه (cm)	مکعبی۱۵*۱۵*۱۵	استوانه‌ای به قطر۱۵و ارتفاع۳۰
تعداد نمونه‌ها	۱۰۵	۱۰۵

۲،۳،۲. بتن ریزی قالب‌ها و عمل‌آوری

نحوه‌ی بتن ریزی قالب‌ها بر اساس استاندارد ASTM C۱۹۲ صورت پذیرفت. پس از آن قالب‌ها به مدت یک روز در دمای ۱± ۲۵ درجه سانتی گراد زیر پارچه‌ی مرطوب قرار گرفتند. نمونه‌های سخت شده به منظور تأمین سنین عمل‌آوری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه، در حوضچه‌های آب آهک سختی‌گیری شده و در دمای ۱± ۲۸ قرار داده شدند.

۴،۲. روش‌های انجام آزمایش

به منظور بررسی تاثیر درصدهای مختلف جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی در عیارهای مختلف سیمان بر خواص فیزیکی مخلوط بتن، آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت کششی بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده انجام گرفت. جدول ۵ شامل ابعاد و تعداد نمونه‌ها به تفکیک

آزمایش و استانداردهای استفاده شده می‌باشد. برای افزایش دقت نتایج و احتمال خطاهای پیش‌بینی نشده در حین زمان عمل‌آوری، تعداد ۵ تکرار نمونه به ازای هر سن عمل‌آوری ساخته شد و میانگین آن‌ها به عنوان نتیجه‌ی نهایی به ثبت رسید.

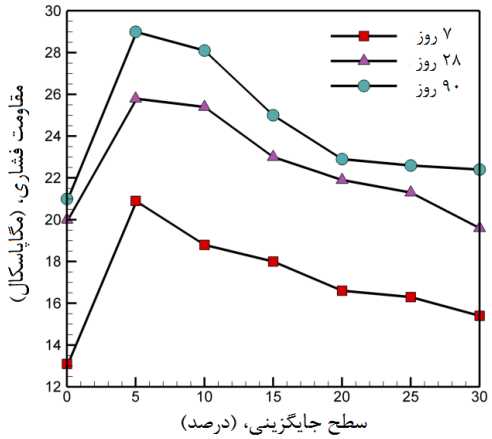
۳. نتایج و بحث

۱،۳. مقاومت فشاری

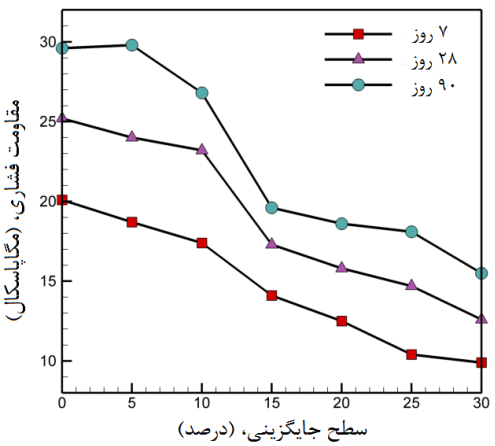
تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها پس از فرا رسیدن سن عمل‌آوری مورد نظر توسط دستگاه بتن شکن شرکت Control ایتالیا با سرعت بارگذاری ۰/۲ تا ۰/۴ مگاپاسکال بر ثانیه و با استفاده از رابطه‌ی ۱ صورت پذیرفت.

$$R_c = \frac{F}{A} \qquad (۱)$$

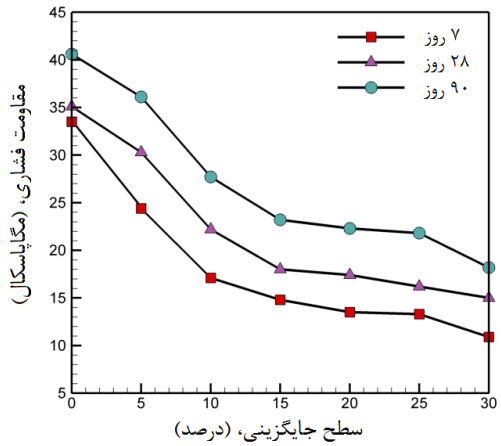
که در آن $R_c, (MPa)$ مقاومت فشاری، $F, (N)$ حداکثر نیروی فشاری تا آستانه‌ی شکست نمونه $A, (mm^2)$ سطح مقطع بارگذاری می‌باشد. در شکل‌های ۱ الی ۳ تاثیر درصدهای مختلف جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به ترتیب برای عیار ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ نشان داده شده است.



شکل ۱- مقاومت فشاری برای عیار ۳۵۰



شکل ۲- مقاومت فشاری برای عیار ۴۰۰



شکل ۳- مقاومت فشاری برای عیار ۴۵۰

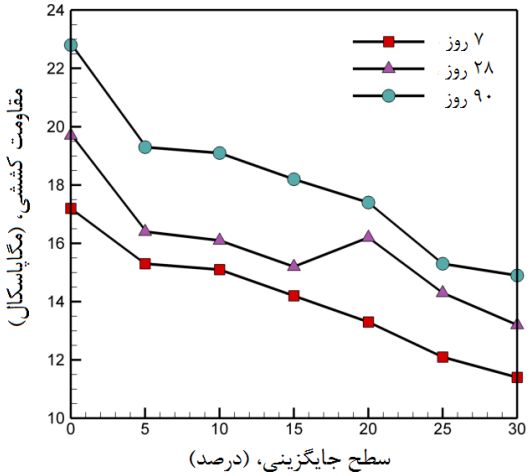
۲,۳. مقاومت کششی

تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها با فرا رسیدن سن عمل‌آوری مورد نظر توسط دستگاه بتن شکن بر اساس رابطه‌ی ۲ انجام گرفت.

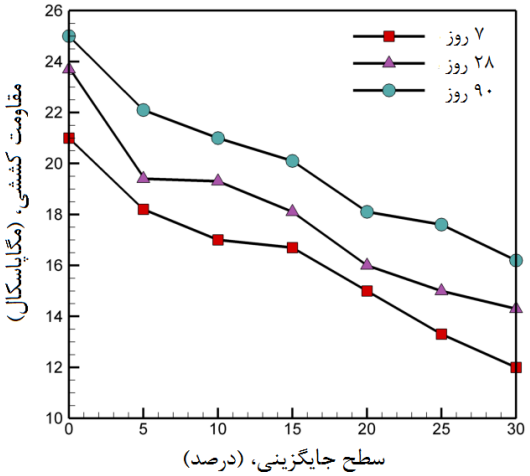
$$T = \frac{۲P}{\pi L d} \quad (۲)$$

که در آن $T, (MPa)$ مقاومت کششی، $P, (N)$ حداکثر نیروی فشاری، $L, (mm)$ طول استوانه و $d, (mm)$ قطر استوانه می‌باشد. نتایج آزمایش فوق در قالب شکل‌های ۴ الی ۶ ارائه گردیده است.

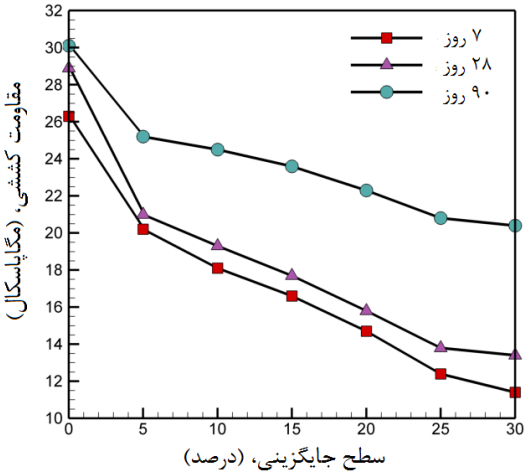
با توجه به شکل‌های ۱ الی ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش سطح جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به جای سیمان، مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها در تمام سنین عمل‌آوری روندی روبه کاهش دارد و با افزایش سن عمل‌آوری بر مقاومت‌های فشاری و کششی نمونه‌ها افزوده می‌شود. همچنین با افزایش عیار سیمان، مقاومت فشاری نمونه‌ها تنها در سطوح جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد روند افزایشی داشته و مشاهده می‌شود که در سایر سطوح جایگزینی با افزایش عیار سیمان و متعاقباً افزایش وزن حجمی غبار، مقاومت فشاری و کششی نیز کاهش می‌یابد. در ادامه باید اشاره کرد که میزان کاهش در مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها با افزایش عیار سیمان سرعت بیشتری به خود گرفته است. برای مثال اختلاف میان کران بالا (۵درصد) و کران پایین(۳۰درصد) مقاومت فشاری در سن عمل آوری ۲۸ روزه برای عیارهای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ به ترتیب مقادیری برابر ۲۴، ۴۷ و ۵۱ درصد و برای مقاومت کششی به ترتیب مقادیری برابر۲۶، ۳۰ و ۳۶ درصد گزارش می‌شود.



شکل ٤- مقاومت کششی برای عیار ۳۵۰



شکل ٥- مقاومت کششی برای عیار ٤٠٠



شکل ٦- مقاومت کششی برای عیار ٤٥٠

با توجه به نتایج فوق می‌توان دریافت که اگرچه با افزایش سطح جایگزینی غبار، مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها نیز کاهش یافته است اما این میزان کاهش در سن عمل‌آوری ۹۰ روزه برای سطوح ۵ و ۱۰ درصد در هر سه عیار کمتر از ۱۰ درصد نسبت به نمونه‌ی شاهد می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در این گزارش سطوح مختلف جایگزینی غبار، سنین عمل‌آوری و عیارهای مختلف سیمان به عنوان پارامترهای موثر در بررسی کاربرد غبار کوره‌ی قوس الکتریکی در مخلوط بتن مورد آزمایش قرار گرفتند. غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به عنوان یکی پسماندهای صنعتی خطرناک در دهه‌ی اخیر توجه بسیاری از محققین را به منظور استفاده مجدد ان در مصالح ساختمانی به خود جلب نموده است. طبق آزمایش‌های انجام شده در این مطالعه می‌توان به طور کلی نتایج زیر را استنباط نمود.

- با افزایش سطح جایگزینی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به جای سیمان در مخلوط بتن، مقاومت‌های فشاری و کششی نمونه‌ها روند نزولی دارند. این میزان کاهش برای هر سه عیار سیمان در سطوح جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد کمتر از حد مجاز آیین نامه‌ی ASTM C ۱۶۹۷-۱۰ یعنی مقدار ۲۵ درصد می‌باشد.
- همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش سن عمل‌آوری، مقاومت‌های فشاری و کششی نمونه‌های مورد مطالعه سیر صعودی دارند. به طور مثال در سطح جایگزینی ۵ درصد عیار ۳۵۰، این میزان افزایش از سن عمل‌آوری ۷ به ۲۸ روزه و ۲۸ به ۹۰ روزه به ترتیب مقادیری برابر ۴۹ و ۳۲ مگاپاسکال می‌باشد که نشان می‌دهد مخلوط‌های بتن حاوی غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به زمان بیشتر برای کسب مقاومت مورد نظر احتیاج دارند.
- غبار کوره‌ی قوس الکتریکی به عنوان یک پسماند صنعتی، با تاثیر اندک خود بر مقاومت‌های فشاری و کششی مخلوط بتن در سطوح ۵ الی ۱۵ درصدی پتانسیل کاربرد در مخلوط بتن را دارا می‌باشد.

۵. مراجع

۱. Maslehuddin, M., Awan. F.R., Shameem. M., Ibrahim. M., Ali. M.R., (۲۰۱۱), "*Effect of electric arc furnace dust on the properties of OPC and blended cement concretes"*. Construction and Building Materials,. ۲۵ (۱), pp ۳۰۸-۳۱۲.

۲. Al Mutlaq, F.M. and C.L. Page (۲۰۱۲), "*Effects of accelerators on concrete containing electric arc furnace dust"*. Proceedings of the ICE-Construction Materials,. ۱۶۶ (۲), pp ۷۱-۷۹.

۳. de Vargas, A.S., Â.B. Masuero, and A.C.F. Vilela, (۲۰۰۶). "*Investigations on the use of electric-arc furnace dust (EAFD) in Pozzolan-modified Portland cement I (MP) pastes"*. Cement and Concrete Research,. ۳۶ (۱۰), pp ۱۸۳۳-۱۸۴۱.

٤. Balderas, A., Navarro. H., Flores. V., Luisa. M., Dominguez., (۲۰۰۱), "*Properties of Portland Cement Pastes Incorporating Nanometer-Sized Franklinite Particles Obtained from Electric-Arc-Furnace Dust"*. Journal of the American Ceramic Society,. ۸٤ (۱۲), pp ۲۹۰۹-۲۹۱۳.

٥. Hekal, E.E., Abo-El-Enein. S.A., El-Korashy, S.A., Megahed. M.G., El-Sayed. L.D., (۲۰۱۳), "*Utilization of electric arc furnace dust as an admixture to Portland cement pastes"*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,. ۱۱٤ (۲), pp ٦۱۳-٦۱۹.

٦. Azadmehr, A., A. Saidi, and M .Shamanian. (۲۰۰۹), "*Investigation of possible usage of electric arc furnace dust in cement industry"*. International Journal of Iron & Steel Society of Iran,. ٦ (۱) pp ۹-۱۳.

۷. Salihoglu, G., Pinarli. V., Salihoglu. N.K., Karaca. G., (۲۰۰۷), "*Properties of steel foundry electric arc furnace dust solidified/stabilized with Portland cement"*. Journal of Environmental Management,. ۸٥ (۱), pp ۱۹۰-۷.

۸. BS ۱۸۸۱-۱۱٦, *Testing Concrete. Mthode for determination of compressive strength of concrete cubes*, ۱۹۸۳.

۹. ASTM C۱۹۲,*Standard Practice for Making and Curing Concrete Specimens in the Laboratory*, ۲۰۰۲.

۱۰. ASTM C٤۹٦,*Standard Test Method for Spilitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ۲۰۰٤.

۱۱. ASTM C۱٦۹۷,*Standard Specification for Blended Supplementary Cementitious Materials*, ۲۰۱۰.

The use of electric arc furnace dust Steel industry waste, in the concrete and its effect on the mechanical properties of the concrete mixture

Abstract:

Industrial wastes are very important in developed and developing countries such as Iran, which requires planning and management of their use and disposal. Electric arc furnace dust as the most significant waste of steel manufacturing industry, with global production of about ۳،۷ million tonnes, classified by the America Environmental Protection Agency as a hazardous waste due to containing heavy metals. In this study, the effect of six replacement level ۵, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵ and ۳۰ wt%, three cement content of ۳۵۰, ٤۰۰ and ٤۵۰ and the ages of curing ۷, ۲۸ and ۹۰ days, on the compressive strength and tensile strength of concrete mixture containing dust was investigated. The results showed that with increasing levels of replacement dust, mechanical properties reduced. It was also observed that with increasing curing age, the mechanical properties of the samples are increases. The greatest strength have been reported for ۳۵۰ cement content, ۵٪ of replacement and curing age of ۹۰ days equal to ۲۹ MPa (۳۸ percent more than control sample), and the lowest for ٤۰۰ cement content, ۳۰٪ of replacement and age curing ۷ days equal to ۹/۹ MPa (۵۰ percent less than the control sample). The same values for tensile strength is observed.