

تأثیر درجه حرارت‌های بالا بر خصوصیات ملات سیمانی حاوی دوده

سیلیس

علی صدر ممتازی^۱، معین حسن زاده^{۲*}، صابر نیک فر^۳، علی صحرایی جوبنی^۴

۱- دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

۳و۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

1-Email: sadrmomtazi@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۱۳۳۱۳۴۵۵

2-Email: moeinhsz@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۱۷۱۶۲۱۴۹

3-Email: nikfar.saber@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۰۱۰۳۶۰۸۷

4-Email: alisahrai92@yahoo.com

تلفن: ۰۹۳۹۰۷۹۵۴۵۲

کد مقاله (D)

کد انجمن (166D)

چکیده:

دمای بالا یکی از مهمترین فرآیندهای زوال فیزیکی است که دوام سازه بتنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه بررسی رفتار کامپوزیت های سیمانی در برابر دمای بالا مهم می‌باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر، به بررسی تأثیر درجه حرارت های بالا بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ملات های سیمانی حاوی درصد های مختلف دوده سیلیس می‌پردازیم. خصوصیات مورد بررسی شامل مقاومت فشاری باقی مانده، افت وزن و بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ الکترونی پیمایشی می‌باشد. جهت بررسی اثر درجه حرارت های بالا بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت های سیمانی، ابتدا ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزن سیمان مصرفی با دوده سیلیس جایگزین شد. سپس نمونه های ملات تحت تأثیر درجه حرارت های ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که اعمال درجه حرارت های بالا باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش درصد افت وزن می‌شود. همچنین مشاهدات عکس برداری توسط میکروسکوپ الکترونی پیمایشی نشان دهنده افزایش تخلخل ریزساختار ملات‌ها به ازای افزایش دما می‌باشد.

واژه های کلیدی: ملات، درجه حرارت بالا، دوده سیلیس، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

۱- مقدمه

بتن به مقاومت در برابر آتش و تحمل دماهای بالا به علت ضریب هدایت حرارتی^۱ کم و گرمای ویژه^۲ بالا مشهور است. اما این بدان معنی نیست که حرارت و دماهای بالا هیچ تاثیری بر بتن نمی گذارند. دمای بالا باعث تغییر رنگ همراه با اثرات محسوس بر مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته، چگالی و شکل ظاهری بتن می شود. دمای بالا یکی از مهمترین فرآیندهای زوال فیزیکی است که دوام سازه بتنی را تحت تاثیر قرار می دهد، با این وجود می توان اثرات مضر دمای بالا بر بتن را بوسیله اقدامات پیش گیرانه نظیر انتخاب مصالح مناسب کاهش داد. خصوصیات مصالح نظیر خصوصیات سنگدانه، خمیر سیمان، پیوستگی خمیر سیمان-سنگدانه و سازگاری حرارتی بین سنگدانه و خمیر سیمان به شدت بر رفتار بتن در دمای بالا اثر می گذارند. بنابراین محققین زیادی علاقه مند به بررسی و بهبود مقاومت بتن در برابر آتش به شیوه های مختلف شدند. جانشینی سیمان با مواد پوزولانی نظیر سرباره، دوده سیلیس و خاکستر بادی به عنوان یک روش موثر جهت افزایش مقاومت در برابر آتش توسط محققین مختلف بیان شده است [۱].

پوزولان ماده سیلیسی یا سیلیسی آلومین داری است که به خودی خود خاصیت چسبانندگی کمی داشته و یا ندارد. ولی بصورت گرد نرم در مجاورت رطوبت و در دمای معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش شیمیایی نشان داده و ترکیباتی با خواص سیمانی بوجود می آورد [۲]. استفاده از مواد پوزولانی می تواند با بهبود ریزساختار خمیر سیمان از طریق پر کردن حفرات ریز موجود در آن باعث بهبود خصوصیات مقاومتی و افزایش پایایی محصولات سیمانی شود [۳].

مورسی و همکاران (Morsy et al.) [۱] به بررسی رفتار ملات های سیمانی آمیخته حاوی نانو متاکائولن در دماهای بالا پرداختند. ملات ها با جانشینی وزنی ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد سیمان با نانو متاکائولن ساخته شد. سپس ملات ها به مدت ۲۸ روز در آب نگه داری شدند. نمونه های دمای محیط (25°C) در حالت مرطوب تحت آزمایش مقاومت فشاری و خمشی قرار گرفتند. سایر نمونه ها در اوون به مدت ۲۴ ساعت در دمای $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ برای حذف آب آزاد و جلوگیری از پدیده ورقه شدن انفجاری^۳ قرار داده شده، سپس در معرض دماهای ۲۵۰، ۴۵۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت قرار گرفتند. نتایج مقاومت فشاری و خمشی در دماهای بالا نشان داد که با افزایش دما تا 250°C مقاومت افزایش و پس از آن با افزایش دما تا 800°C مقاومت کاهش می یابد. ملات های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد نانو متاکائولن کاهش مقاومت آرامتری را تحت دماهای بالا از خود نشان دادند. آن ها بیان کردند که دلیل افزایش مقاومت فشاری تا دمای 250°C ، هیدراتاسیون اضافی دانه های سیمان هیدراته نشده در نتیجه تاثیر بخار آب می باشد که این شرایط اثر اتوکلاو داخلی نامیده می شود. بی گانگ و همکاران (Yigang et al.) [۴] به بررسی تاثیر به کارگیری خاکستر بادی، نسبت آب به سیمان و نحوه عمل آوری بر خصوصیات بتن تحت دماهای بالا پرداختند. تمامی نمونه های بتنی حاوی خاکستر بادی بهترین عملکرد را تا دمای 650°C نسبت به بتن حاوی سیمان خالص از خود نشان دادند. رهسی و گارگ (Rehsi and Garg) [۵] بیان کردند که سیمان حاوی ۲۰ الی ۳۰ درصد وزنی خاکستر بادی دارای

¹ Thermal conductivity

² Specific heat

³ Explosive spalling

مقاومت مناسب در برابر آتش و ثبات فرم پس از قرارگیری در معرض دمای بالا می‌باشد. ساد و همکاران (Saad et al.) [۶] گزارش کردند که جایگزینی ۱۰ درصد وزن سیمان پرتلند با دوده سیلیس سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ریزساختار بتن پس از قرارگیری در معرض دمای بالا می‌شود. قندهاری و همکاران (Ghandehari et al.) [۷] به بررسی تاثیر دماهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بر خصوصیات مکانیکی بتن‌های با مقاومت بالا پرداختند. نسبت آب به سیمان ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ و همچنین دوده سیلیس با جانشینی ۶، ۱۰ و ۱۰ درصد وزن سیمان به کار برده شد. نتایج نشان دهنده بالاترین مقاومت فشاری و کششی باقی‌مانده توسط سیمان حاوی ۱۰ درصد دوده سیلیس بود. موری و همکاران (Morsy et al.) [۸] به بررسی عملکرد ملات حاوی متاکائولن در معرض دماهای ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد پرداختند. متاکائولن با درصد‌های وزنی ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، جانشین سیمان پرتلند شد. نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر ملات حاوی ۲۰ درصد متاکائولن پس از قرارگیری در معرض دماهای بالا بود. ملات‌های حاوی ۱۰ و ۵ درصد متاکائولن در رده‌های بعدی قرار گرفتند. شایان ذکر است که ملات حاوی ۳۰ درصد متاکائولن دارای مقاومت فشاری باقی‌مانده پایین‌تری نسبت به ملات حاوی سیمان خالص بود.

هدف از این پژوهش بررسی رفتار ملات‌های سیمانی حاوی درصد‌های مختلف دوده سیلیس پس از قرارگیری در معرض دماهای بالا می‌باشد. نتایج بدست آمده از اینگونه پژوهش‌ها در طراحی ایمن و تعمیر سازه‌های بتنی قرار گرفته در معرض دماهای بالا مفید می‌باشد.

۲- مصالح مصرفی و نسبت های اختلاط

در تحقیق حاضر از سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ کارخانه سیمان هگمتان استفاده شده است. دوده سیلیس مصرفی بصورت پودر خشک با اندازه متوسط ذرات ۰/۲۲۹ میکرومتر می‌باشد. مشخصات فیزیکی سیمان در جدول ۱ و مشخصات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر با نام تجاری FARCO PLAST P10N جهت دستیابی به روانی مطلوب و کمک به توزیع بهتر ذرات در ملات استفاده شد. دانه بندی ماسه مورد استفاده در ساخت ملات مطابق با استاندارد ASTM C778 انجام شد [۹]. نسبت آب به مواد چسباننده برای تمام اختلاط‌ها ۰/۵ و نسبت ماسه به مواد چسباننده ۲/۷۵ در نظر گرفته شد. دوده سیلیس به عنوان جایگزین وزنی سیمان با سه مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد در ساخت ملات مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی سیمان مصرفی

انبساط اتوکلاو	گیرش نهایی	گیرش اولیه	سطح مخصوص	وزن مخصوص
%	min	min	[cm ² / gr]	[gr/cm ³]
۰/۰۶	۲۰۰	۱۶۵	۲۹۵۰	۳/۱۵

جدول ۲- آنالیز شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

ترکیب شیمیایی	درصدهای تشکیل دهنده	
	سیمان	دوده سیلیس
SiO ₂	۲۱/۱۶	۹۰/۹
Al ₂ O ₃	۴/۸۲	۰/۵۶
Fe ₂ O ₃	۳/۹	۰/۷۳
CaO	۶۳/۵۲	۰/۵۸
MgO	۱/۵۲	۱/۳۴
K ₂ O	۰/۵۹	۱/۳۳
Na ₂ O	۰/۴	۰/۳۴
SO ₃	۲/۵۱	-
TiO ₂	-	۰/۱
LOI	۱/۳۲	-

۳- ساخت نمونه ها

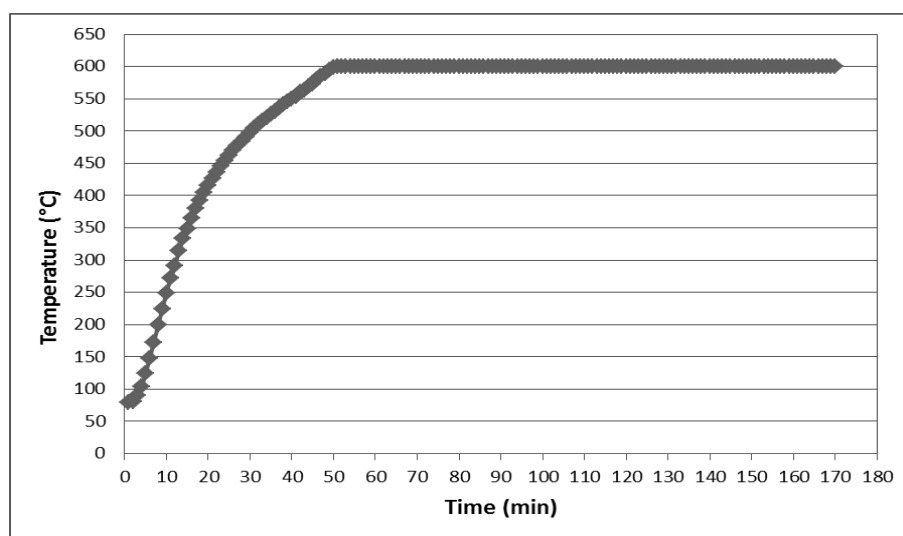
بدیهی است که توزیع یکنواخت مواد تشکیل دهنده ملات به ویژه مواد سیمانی از جمله پارامترهای مهم در جهت دستیابی به خصوصیات مقاومتی مطلوب می باشد. برای نیل به این هدف در این پژوهش از مواد فوق روان کننده و روش اختلاط مناسب استفاده شده است. مواد فوق روان کننده از طریق چسبیدن به سطح ذرات مواد سیمانی و ایجاد بار الکتریکی مشابه در سطح تماس ذرات و در نتیجه ایجاد نیروی دافعه بین ذرات باعث پراکندگی آنها می شوند. با کنترل روانی توسط میز جریان، مواد فوق روان کننده به اندازه ای به مخلوطها اضافه شدند که روانی در حد مجاز باشد (روانی مجاز در محدوده 5 ± 110) و جهت اختلاط مناسب، ساخت ملاتها مطابق دستورالعمل زیر انجام شد:

- ۱- آب (یا محلول آب-فوق روان کننده در طرحهای حاوی دوده سیلیس) لازم جهت اختلاط را در جام مخلوطکن ریخته و مخلوطکن بر روی سرعت کم (5 ± 140 دور در دقیقه محوری و ۶۲ دور در دقیقه مداری) روشن می شود.
- ۲- مواد سیمانی (در طرح کنترل تنها سیمان و در مورد سایر طرحها مخلوط همگن شده سیمان و دوده سیلیس) را به آب (یا محلول آب-فوق روان کننده در طرح حاوی پوزولان) اضافه نموده و عمل اختلاط با سرعت کم و به مدت یک دقیقه ادامه یافت.
- ۳- در حالی که مخلوطکن با سرعت کم کار می کند، در فاصله ۳۰ ثانیه تمام ماسه لازم به آرامی به داخل مخلوطکن اضافه شد.
- ۴- از زمان پایان ریختن ماسه، سرعت را به متوسط (10 ± 285 دور در دقیقه محوری و ۱۲۵ دور در دقیقه مداری) تغییر داده و ۳۰ ثانیه دیگر عمل اختلاط ادامه یافت.
- ۵- مخلوطکن به مدت ۹۰ ثانیه خاموش گردید. در ۱۵ ثانیه اول این زمان ملاتهایی که به دیواره و کف جام چسبیده بودند جدا و ته گیری شدند.
- ۶- ساخت ملات با یک دقیقه اختلاط با سرعت متوسط پایان یافت.

جهت سنجش، ملات‌ها در قالب‌های $50 \times 50 \times 50$ میلی‌متری ریخته شد. نمونه‌های ملات در ۲ لایه و هر لایه ۳۲ بار توسط چکش تراکم کوبیده شدند. سپس نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و در مخزنی از محلول اشباع آب و آهک در دمای $23 \pm 2^\circ\text{C}$ نگهداری شدند.

۴- منحنی زمان - دما

جهت بررسی تاثیر افزایش دما بر مقاومت کلیه طرح‌های اختلاط پنج دمای ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که روش‌ها به منظور فراهم آوردن تعادل بین آزمایش‌های استاندارد و رفتار آتش واقعی بسیار ناقص است [۱۱ و ۱۰]. در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های کوره گرمایی الکتریکی پارک علم و فناوری گیلان و مقالات موجود در زمینه تاثیر حرارت بر ملات [۱۲ و ۱۴] نرخ حرارت کمتر از نرخ حرارت استاندارد ISO 834 و بیشتر از نرخ حرارت توصیه‌نامه RILEM [۱۵] می‌باشد. یک نمونه از منحنی آزمایشگاهی به کار برده شده در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه‌ها دو ساعت بعد از حرارت دیدن در دمای مورد نظر، تا رسیدن دمای کوره و دمای نمونه‌ها به دمای محیط، در همان شرایط در کوره‌ی خاموش باقی می‌مانند تا دچار شوک حرارتی و ترک‌های ناشی از کاهش ناگهانی دما نشوند.



شکل ۱- منحنی زمان-دما

۵- آزمایش‌های ملات حرارت دیده

جهت بررسی رفتار ملات‌ها در برابر حرارت بالا از نمونه‌های مکعبی به ضلع ۵ سانتی‌متر استفاده شد. نمونه‌های در نظر گرفته شده برای بررسی رفتار ملات در برابر افزایش دما، به مدت ۹۰ روز در آب اشباع شده از آهک با دمای $23 \pm 2^\circ\text{C}$ تحت عمل آوری مرطوب قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از حوضچه نگهداری خارج شده و وزن آن‌ها در حالت اشباع با سطح خشک تعیین شد.

همچنین برای کاهش خطر ورقه شدن انفجاری در دماهای بالا، با توجه به مقالات موجود در زمینه تاثیر حرارت بر ملات [۱۶و۱۳]، قبل از انجام آزمایش نمونه‌ها در اون تحت دمای $105 \pm 5^\circ C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌های مکعبی بعد از طی مراحل مذکور، برای تعیین مقاومت فشاری باقی‌مانده و افت وزن در اثر افزایش دما در کوره گرمایی الکتریکی در معرض دماهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌های حرارت دیده پس از رسیدن به دمای محیط برای تعیین افت وزن در اثر دماهای بالا نسبت به وزن اولیه، وزن شده سپس تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. مقاومت فشاری باقی‌مانده برای هر درجه حرارت، بر اساس میانگین مقاومت‌های ۳ نمونه محاسبه شد. پس از شکستن نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت فشاری، مغزه‌هایی از قسمت مرکزی نمونه باقی‌مانده تهیه شد تا ریزساختار ملات‌های قرار گرفته تحت دماهای بالا توسط میکروسکوپ الکترونی پیمایشی (SEM) بررسی شود. لازم به ذکر است که کلیه کارهای آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه گیلان انجام شده است.

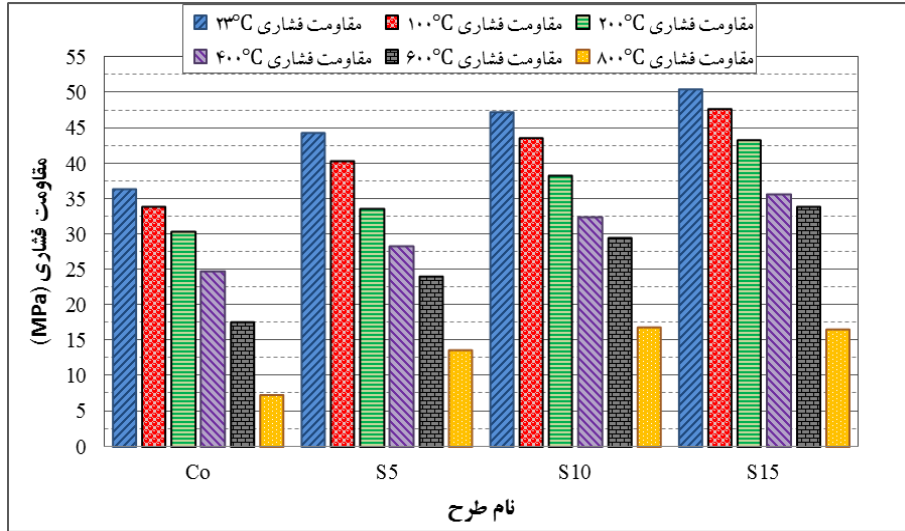
۶- نتایج آزمایشگاهی و بحث درباره آن‌ها

۶-۱ مقاومت فشاری باقی‌مانده

نتایج آزمایش مقاومت فشاری ملات‌های حاوی درصد‌های مختلف دوده سیلیس در دماهای بالا در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به مقاومت فشاری ملات‌های حاوی دوده سیلیس در دماهای مختلف، مشخص است که مقاومت کلیه ملات‌ها با افزایش دما کاهش یافته‌اند. کولفیک و اوزتوران (Culfik and Ozturan) [۱۷] نیز در پژوهشی که در مورد تاثیر حرارت‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد بر روی ملات‌های با کارایی بالای حاوی دوده سیلیس انجام داده بودند، در کلیه دماهای اعمال شده کاهش مقاومت فشاری را گزارش کردند. افت قابل توجه مقاومت برای ملات‌های حاوی دوده سیلیس در دماهای ۴۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. در توجیه کمتر بودن شیب افت مقاومت از دمای ۴۰۰ تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ملات‌های حاوی دوده سیلیس می‌توان احتمال زیر را مطرح کرد:

- افت مقاومت از دمای ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد عمدتاً به دلیل تجزیه هیدروکسید کلسیم می‌باشد. تجزیه کریستال‌های هیدروکسید کلسیم در فاصله دمایی ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد روی می‌دهد [۱]. ملات‌های حاوی دوده سیلیس به دلیل فعالیت پوزولانی بالای دوده سیلیس و واکنش پوزولانی دوده سیلیس با هیدروکسید کلسیم، حاوی مقادیر کمتر هیدروکسید کلسیم می‌باشند و در نتیجه افت مقاومت در بازه دمایی ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای طرح‌های حاوی دوده سیلیس کمتر می‌باشد.

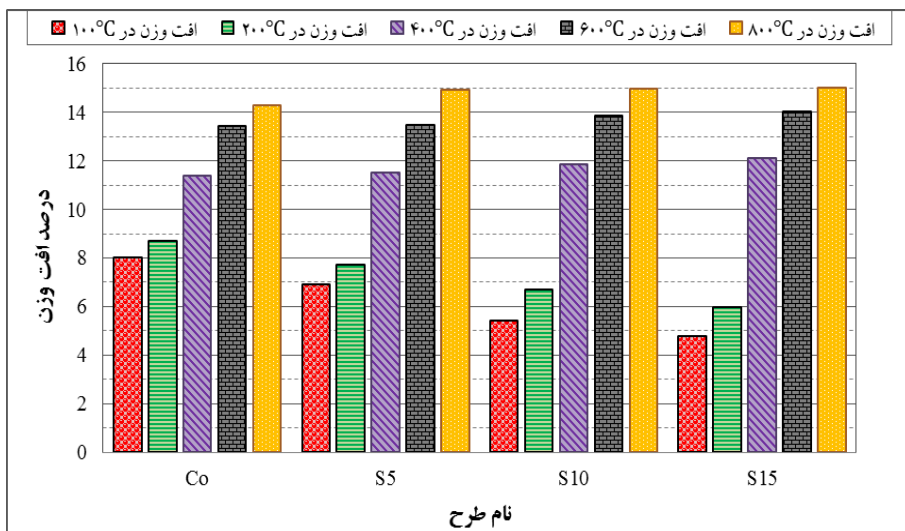
در کلیه دماهای اعمالی، ملات‌های حاوی دوده سیلیس دارای مقاومت فشاری باقی‌مانده بزرگتری نسبت به ملات شاهد بوده‌اند. همچنین نتایج نشان دهنده رفتار مناسب ملات‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد دوده سیلیس تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۲- مقاومت فشاری باقی مانده ملات‌های حاوی دوده سیلیس در دماهای مختلف

۶-۲ افت وزن

نتایج آزمایش افت وزن ملات‌های حاوی درصد‌های مختلف دوده سیلیس در دماهای بالا در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، واضح است که تا دمای ۲۰۰ سانتی‌گراد با توجه به مترکم بودن ملات‌های حاوی دوده سیلیس، افت وزن این ملات‌ها نسبت به ملات شاهد کمتر است و مشخص است که تا دمای مذکور، با افزایش جانشینی دوده سیلیس از مقدار افت وزن کاسته می‌شود. همچنین از شکل ملاحظه می‌گردد که بیشترین رشد افت وزن در دمای ۴۰۰°C رخ داده است. ندیم و همکاران (Nadeem et al.) [۱۸] نیز در نتایج خود اعلام کردند که افت اصلی در مساحت خمیر سیمان سخت شده و افزایش مساحت منافذ در دمای ۴۰۰°C اتفاق می‌افتد.



شکل ۳- افت وزن ملات‌های حاوی دوده سیلیس در دماهای مختلف

در دماهای بالاتر از 400°C ، با افزایش جانشینی دوده سیلیس بر مقدار افت وزن به مقدار جزئی اضافه می‌شود. در توجیه این رفتار ملات‌های حاوی دوده سیلیس، می‌توان این احتمال را مطرح کرد که با توجه به نسبت آب به سیمان یکسان و به دلیل این که مقاومت کلیه ملات‌ها در یک محدوده می‌باشد (ملات با مقاومت نرمال)، چون افت حرارتی دوده سیلیس در مقایسه با سیمان زیادتر می‌باشد، در نتیجه سبب افزایش جزئی افت وزن در ملات‌های حاوی دوده سیلیس نسبت به ملات شاهد می‌شود. به نظر می‌رسد که مطالعات بیشتر در بررسی و توجیه این پدیده ضروری می‌باشد. قابل ذکر است که رنجبر و همکاران [۱۹] در پژوهشی به بررسی تاثیر حرارت‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بر خواص بتن حاوی زئولیت پرداختند. با توجه به نتایج آن‌ها چنین بر می‌آید که در اکثر موارد با افزایش به کارگیری زئولیت، افت وزن بتن‌ها در اثر دماهای بالا بیشتر می‌شود.

۳-۶ ریزساختار

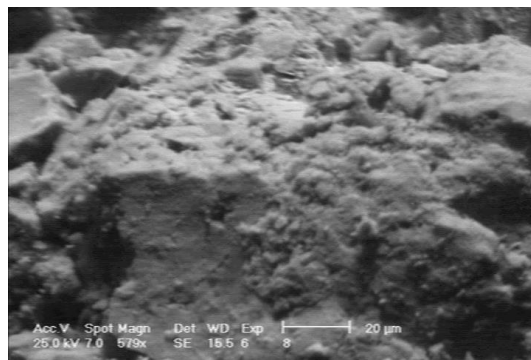
براساس تحقیقات محققان پدیده فیزیکی و شیمیایی را که در محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در ملات‌های فاکد الیاف اتفاق می‌افتد می‌توان بصورت زیر دسته بندی کرد:

- تبخیر آب آزاد در دمای ۱۱۰ سانتی‌گراد
- افزایش سیلیکات کلسیم هیدراته و هیدروکسید کلسیم در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد؛ در صورت وجود دانه‌های سیمان هیدراته نشده
- تجزیه هیدروکسید کلسیم در فاصله دمایی ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد
- تفکیک کربنات کلسیم و متعاقب آن خروج گاز CO_2 از CaCO_3 در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد
- دراز و نازک شدن کریستال‌های سیلیکات کلسیم هیدراته و در نتیجه اشغال فضای کمتری از ماتریس
- تجزیه سیلیکات کلسیم هیدراته به فرآورده‌هایی نظیر $\beta\text{-C}_2\text{S}$ و C_3S [۱۲ و ۲۰ و ۲۱].

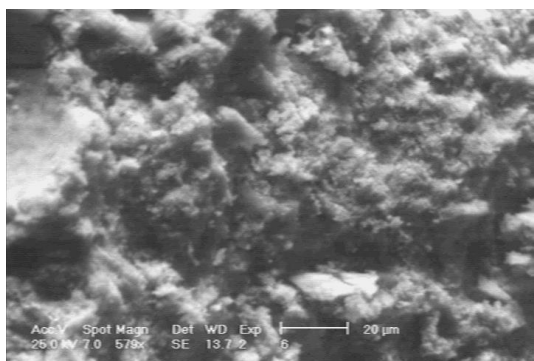
در ادامه تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی پیمایشی از ریزساختار طرح حاوی سیمان خالص و طرح حاوی دوده سیلیس در دماهای ۲۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد ارائه شده است. بررسی تصاویر ملات‌های در معرض دمای ۲۰۰ درجه سانتی-گراد نشان می‌دهد که تخلخل ریزساختار این ملات‌ها به مقدار جزئی افزایش یافته است. از جمله دلایل افزایش تخلخل ریزساختار ملات‌ها در دمای 200°C می‌توان به افزایش فشار بخار آب در ملات و تفاوت انبساط حرارتی ذرات ماسه و خمیر سیمان و همچنین هیدروکسید کلسیم موجود در خمیر سیمان سخت شده اشاره کرد [۱۷]. همچنین تصاویر ریزساختار ملات‌های در معرض ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که ریزساختار آن‌ها به شدت آسیب دیده و حفره‌ها و ترک‌های زیادی در آن‌ها ایجاد شده است که سبب کاهش قابل توجه مقاومت و دوام می‌شوند.



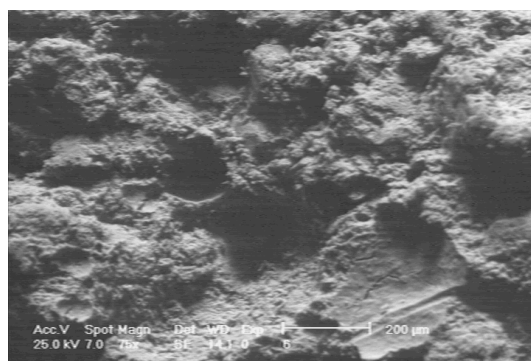
شکل ۵- ریزساختار ملات حاوی دوده سیلیس (۲۰۰°C)



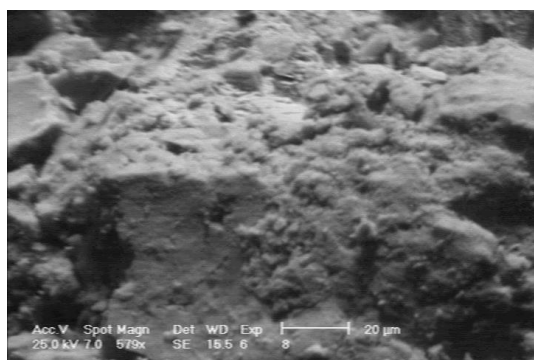
شکل ۴- ریزساختار ملات شاهد (۲۰۰°C)



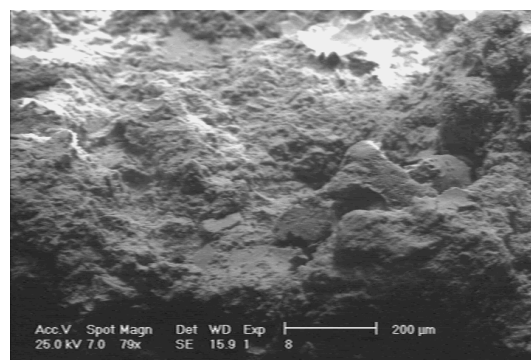
شکل ۷- ریزساختار ملات شاهد (۸۰۰°C)
بزرگ‌نمایی زیاد



شکل ۶- ریزساختار ملات شاهد (۸۰۰°C)
بزرگ‌نمایی کم



شکل ۹- ریزساختار ملات حاوی دوده سیلیس (۸۰۰°C)
بزرگ‌نمایی زیاد



شکل ۸- ریزساختار ملات حاوی دوده سیلیس (۸۰۰°C)
بزرگ‌نمایی کم

۷- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر تاثیر دماهای بالا بر خصوصیات ملات‌های سیمانی حاوی درصد‌های مختلف دوده سیلیس بررسی شده است. بدین منظور دوده سیلیس با درصد‌های مختلف جایگزین وزنی سیمان شد، سپس مقاومت فشاری باقی‌مانده، افت وزن و ریزساختار ملات‌ها در دمای بالا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان دادند:

- ۱- مقاومت فشاری کلیه ملات‌ها با افزایش دما کاهش یافته‌اند. در کلیه دماهای اعمالی، ملات‌های حاوی دوده سیلیس دارای مقاومت فشاری باقی‌مانده بزرگتری نسبت به ملات شاهد بوده‌اند.
- ۲- افت قابل توجه مقاومت برای ملات‌های حاوی دوده سیلیس در دماهای ۴۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. همچنین نتایج مقاومت فشاری باقی‌مانده نشان دهنده رفتار مناسب ملات‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد دوده سیلیس تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- ۳- نتایج آزمایش افت وزن نشان می‌دهد که تا دمای ۲۰۰°C، افت وزن ملات‌های حاوی دوده سیلیس نسبت به ملات شاهد کمتر است. همچنین از نتایج ملاحظه می‌گردد که بیشترین رشد افت وزن در دمای ۴۰۰°C رخ داده است.
- ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی ملات‌های در معرض دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که تخلخل ریزساختار این ملات‌ها به مقدار جزئی افزایش یافته است. همچنین تصاویر ریزساختار ملات‌های در معرض ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که ریزساختار آن‌ها به شدت آسیب دیده و حفره‌ها و ترک‌های زیادی ایجاد شده است که سبب کاهش قابل توجه مقاومت می‌شوند.

مراجع

- [1] Morsy, M.S., Al-Salloum, Y.A., Abbas, H., Alsayed, S.H., "Behavior of blended cement mortars containing nano metakaolin at elevated temperatures", *Construction and Building Materials*, 35, 900-905; (2012).
- [۲] استاندارد ۳۴۳۳، "ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی"، چاپ اول، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۷۳).
- [۳] فصیحی، علی، "اثر الیاف پلی پروپیلن بر خواص ملات‌های سیمانی حاوی ذرات نانو سیلیس"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، رشت، (۱۳۸۷).
- [4] Yigang, X., Wong, YL., Poon, C-S., Anson, M., "Damage to PFA concrete subject to high temperatures", *Proceedings of international symposium on high performance concrete-workability, strength and durability*, Hong Kong, 1093-1100; (2000).
- [5] Rehsi, SS., Garg, SK., "Heat resistance of Portland fly ash cement", *Cement*, 4(2), 14-6; (1976).
- [6] Saad, M., Abo-El-Enein, SA., Hanna, GB., Kotkata, MF., "Effect of silica fume on the phase composition and microstructure of thermally treated concrete", *Cement and Concrete Research*, 26(10), 1479-84; (1996).
- [7] Ghandehari, Masoud., Behnood, Ali., Khanzadi, Mostafa., "Residual mechanical properties of high-strength concretes after exposure to elevated temperatures", *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, (January), 59-64; (2010).
- [8] Morsy, M.S., Rashad, AM., El-Nouhy, HA., "Effect of elevated temperature on physico-mechanical properties of metakaolin blended cement mortar", *Structural Engineering and Mechanics*, 31(1), 1-10; (2009).

- [9] ASTM C778, "Standard specification for standard sand", Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.01; (2006).
- [10] Khoury, G.A., "Effect of fire on concrete and concrete structures", Progress in Structure Engineering and Materials, 2(4), 429-447; (2000).
- [11] Carvel, R., "Fire production in concrete tunnels", In the handbook of tunnel fire safety, London; (2005).
- [12] Aydyn, S., Yazycy, H., Baradan, B., "High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers", Construction and Building Materials, 22, 504-512; (2008).
- [13] Aydın, S., Baradan, B., "Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars", Cement and Concrete Research, 37, 988-995; (2007).
- [14] Aydın, S., "Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice", Fire Safety Journal, 43, 610-617; (2008).
- [15] Rilem Technical Committees 129-MHT, "Test methods for mechanical properties of concrete at high temperatures, part 1: introduction, part 2: stress-strain relation, part 3: compressive strength for service and accident conditions", Materials and Structures, 28(181), 410-414; (1995).
- [16] Morsy, M.S., Rashad, A.M., Shebl, S.S., "Effect of elevated temperature on compressive strength of blended cement mortar", Building Research Journal, 56, 173-185; (2008).
- [17] Culfik, M.S., Ozturan, T., "Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar", Cement and Concrete Research, 32, 809-816; (2002).
- [18] Nadeem, A., Memon, S.A., Lo, T.Y., "Mechanical performance, durability, qualitative and quantitative analysis of microstructure of fly ash and Metakaolin mortar at elevated temperatures", Construction and Building Materials, 38, 338-347; (2013).
- [۱۹] رنجبر، ملک محمد، مدندوست، رحمت، شریف جدیدی، مهدی، موسوی، سید یاسین، "تاثیر درجه حرارت های مختلف بر روی خواص بتن حاوی زئولیت"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، (۱۳۹۲).
- [20] Noumowe, A., "Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibres exposed to temperatures up to 200 °C", Cement and Concrete Research, 35, 2192 - 2198; (2005).
- [21] Peng, G.F., Huang, Z.S., "Change in microstructure of hardened cement paste subjected to elevated temperatures", Construction and Building Materials, 22, 593-599; (2008).

Effect of high temperatures on the properties of cement mortar containing silica fume

Ali Sadr Momtazi¹, Moein Hasanzadeh^{2*}, Saber Nikfar³, Ali Sahraie Jobani⁴

1- Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan

2- MSc, Structural Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan

3&4- BSc, Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan

1-Email: sadrmomtazi@yahoo.com

Tel: 09113313455

2-Email: moeinhsz@yahoo.com

Tel: 09117162149

3-Email: nikfar.saber@gmail.com

Tel: 09101036087

4-Email: alisahrai92@yahoo.com

Tel: 09390795452

Abstract

High temperature is one of the most important physical deterioration processes that affect the durability of concrete structures. As a result, the behavior of cement composites at high temperature is important. Accordingly, in the present study, the effect of high temperatures on physical and mechanical properties of cement mortars containing different percentages of silica fume is investigated. Investigated properties included residual compressive strength, weight loss and microstructure investigations by scanning electron microscope. To investigate the effect of high temperatures on physical and mechanical properties of cement composites, first the 5, 10 and 15 % weight of cement was replaced with silica fume. Then mortar samples subjected to the temperature of 100, 200, 400, 600 and 800 ° C. Test results show that applying high temperatures reduce the strength and increase the percentage of weight loss, also observed images by scanning electron microscope show increase in the porosity of mortars microstructure by increasing temperature.

Keywords: Mortar, High temperature, Silica fume, Physical and Mechanical properties