



ALIREZA ELMAKCHI
civil engineering group

بتن های مقاوم در برابر حرارت – مهندس علیرضا المکچی



ALIREZA ELMAKCHI
civil engineering group

بتن های مقاوم در برابر حرارت

تهیه کننده: مهندس علیرضا المکچی

کانال آموزش های مهندسی عمران



فهرست مطالب

۴.....	۱- مقدمه
۵.....	۲- بیان مسئله
۷.....	۳- تعریف بتن مقاوم در برابر حرارت
۷.....	۴- دلایل استفاده از بتن های مقاوم در معرض حرارت
۸.....	۵- موارد استفاده بتن های مقاوم در معرض حرارت
۱۲.....	۶- ضرورت پژوهش
۱۳.....	۷- اجزاء تشکیل دهنده بتن مقاوم در برابر حرارت
۱۴.....	۸- مزیت های بتن مقاوم در برابر حرارت نسبت به نسوزهای معمولی
۱۴.....	۹- تاریخچه مطالعات بر روی مقاومت بتن در معرض حرارت
۲۲.....	۹-۱- نتیجه گیری مطالعات پیشین صورت گرفته
۲۳.....	۱۰- بررسی دوام بتن های مقاوم در برابر حرارت حاوی سنگدانه های سرباره ای کوره های قوس الکتریکی
۲۳.....	۱۰-۱- دانش پیشین بتن مقاوم در برابر حرارت سرباره ای
۲۴.....	۱۰-۲- مشخصات مصالح مصرفی
۲۷.....	۱۰-۳- طرح های اختلاط
۲۷.....	۱۰-۴- نحوه عمل آوری بتن ساخته شده
۲۷.....	۱۰-۵- مقاومت سایشی
۲۸.....	۱۰-۶- سلامت سنگدانه
۲۹.....	۱۰-۷- نتایج
۳۱.....	منابع



فهرست اشکال

- شکل ۱، دیواره حوضچه های تخلیه سرباره شرکت فولاد مبارکه ۹
- شکل ۲، ناحیه فولاد سازی شرکت فولاد مبارکه، در هنگام تخلیه پاتیل حاوی مذاب ۱۰
- شکل ۳، دیواره مجاور خط انتقال تختال های فولادی گرم ۱۱
- شکل ۴، انبار ناحیه نورد گرم واحد بسته بندی فولاد مبارکه ۱۲
- شکل ۵، نمودار مقاومت فشاری بتن پس از قرار گرفتن در معرض حرارت های مختلف [۱۴] ۱۸
- شکل ۶، نمودار جذب آب بتن پس از قرار گرفتن در معرض حرارت [۱۴] ۱۸
- جدول ۵، مقاومت فشاری بتن های حاوی سرباره کوره های قوس الکتریکی فولاد مبارکه و میکروسیلیس [۲۳] ۲۲
- شکل ۸، دانه بندی مصالح سرباره ای ۱۲ – ۲۵ ۲۵
- شکل ۹، دانه بندی مصالح سرباره ای ۱۲ – ۵ ۲۶
- شکل ۱۰، دانه بندی مصالح سرباره ای ۰ – ۵ ۲۶
- شکل ۱۱، سولفات منیزیم ۲۹
- شکل ۱۲، بتن مقاوم در برابر حرارت با سرباره ۳۰



فهرست جداول

- جدول ۱، مقاومت فشاری ۹۰ روزه بتن ساخته شده با استفاده از الیاف پلی پروپیلن [۱۰]..... ۱۵
- جدول ۲، مقاومت فشاری بتن ساخته شده با استفاده از سرباره کوره بلند و کنورتور ذوب آهن اصفهان [۱۲]..... ۱۷
- جدول ۳، تأثیر حرارت بر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سنگ گرانیت کرامزیت و پودر سرباره [۱۹]..... ۲۰
- جدول ۴، تأثیر حرارت بر مقاومت فشاری نمونه‌ها برحسب مگاپاسکال [۲۱]..... ۲۱
- جدول ۶، مشخصات فیزیکی سرباره مصرفی ۲۵
- جدول ۷، مشخصات شیمیایی سرباره مصرفی ۲۵
- جدول ۸، مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی ۲۶
- جدول ۹، نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بتن ساخته شده بر روی آزمونه‌ها ۳۰



۱- مقدمه

یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی که از ویژگی‌های آن می‌توان سهولت شکل‌پذیری، در دسترس بودن مواد اولیه و قیمت مناسب آن را نام برد، بتن می‌باشد. روزانه تولید انواع مختلفی از بتن با استفاده از مصالح گوناگون و به جهت کارایی و مصارف لازم مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی بتن محصولی است که از مخلوط آب، سیمان و سنگدانه‌های مختلف در اثر واکنش آب با سیمان در شرایط محیطی خاصی به وجود می‌آید و دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشد.

بیش از ۱۹۰ سال از پیدایش سیمان پرتلند به صورت کنونی می‌گذرد، که توسط یک نفر بنای انگلیسی بنام ژوزف اسپدین از پختن آهک و خاک رس در حرارت بالا و آسیاب کردن آن توانست ابتدایی‌ترین نوع سیمان را کشف نموده و آن را در تاریخ ۲۱ اکتبر ۱۸۲۴ به نام خود در انگلستان ثبت نماید و محصول به دست آمده را سیمان پرتلند نامگذاری نمود [۱].

امروزه این محصول دستخوش تحولات و پیشرفت‌های شگرفی شده است. در دسترس بودن مصالح، دوام نسبتاً زیاد و نیاز به ساخت و سازه‌ای فراوان سازه‌های بتنی مانند ساختمان‌ها، سدها، پل‌ها، تونل‌ها و راه‌ها این ماده را بسیار با ارزش و پر مصرف نموده است و اینک حدود سه تا چهار دهه است که کاربرد این ماده بیش از پیش مورد استقبال کاربران آن قرار گرفته است.

با پیشرفت علم و تکنولوژی مشخص شده است که صرف توجه به مقاومت به عنوان یک معیار برای طراحی بتن برای محیط‌های مختلف و کاربردهای مختلف نمی‌تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در دراز مدت در سازه‌های بتنی ایجاد می‌شود. از این رو چند سالی است که مسئله دوام بتن در محیط‌های مختلف مورد توجه کاربران آن قرار گرفته است. مشاهده خرابی‌هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشورهای در حال توسعه، افکار مهندسان و محققان را به سمت طراحی بتن‌هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم سوق داده است. در این راستا در پارهای از کشورها دستورالعمل‌ها و استانداردهایی برای



طراحی بتن با عملکرد بالا تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته ملزم به رعایت این دستورالعمل‌ها گشته‌اند. از این قبیل می‌توان بتن‌های مقاوم در برابر حرارت را نام برد که از کاربردهای ویژه‌ای به خصوص در مصارف صنعتی برخوردار می‌باشند و باید مطابق با استانداردهای لازم تولید و مورد مصرف قرار گیرند.

۲- بیان مسئله

یکی از انواع بتن‌هایی که در برخی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و برخی از محققان در این خصوص مطالعات مختلفی انجام داده‌اند بتن‌های مقاوم در برابر حرارت می‌باشند.

مطالعات اثر حرارت بر روی خواص مکانیکی بتن معمولی به دهه ۱۹۴۰ برمی‌گردد. این مطالعات بر روی رفتار خمیر سیمان، ملات، نمونه‌های بتنی و همچنین اعضای بتن مسلح در معرض حرارت بالا انجام شد. نتایج این مطالعات زیربنایی برای ضوابط و توصیه‌های بسیاری از آئین‌نامه‌ها جهت تعیین مقاومت بتن در برابر حرارت بالا گردید. از دهه ۱۹۸۰ آزمایشات برای مطالعه اثرات دمای بالا بر روی رفتار بتن با مقاومت بالا شروع شد، مطالعات نشان دهنده استعداد وقوع پوسته‌شدگی انفجاری در بتن با مقاومت بالا تحت افزایش حرارت سریع بود. از طرفی دمای بالا باعث کاهش زیاد مقاومت و مدول الاستیسیته در بتن‌های با مقاومت بالا شد [۲].

در زمینه اثر آتش و حرارت‌های بالا بر روی بتن تحقیقات زیادی صورت گرفته است ولی اغلب این پژوهش‌ها در زمینه بررسی رفتار انواعی از بتن با دانه‌بندی مصالح طبیعی شکل گرفته است. از اواخر دهه ۹۰ میلادی و بخصوص در دهه اخیر این تحقیقات بر روی بتن با مقاومت بالا افزایش یافته است [۳].

یکی از نقاط ضعف بتن‌های معمولی ساخته شده تا به حال، کاهش مقاومت فشاری در دمای فراتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و هرچه دما افزایش بیشتری پیدا کند شدت کاهش مقاومت بتن نیز بیشتر



خواهد بود. به طوری که با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد، تنها شکل ظاهری نمونه‌ها دچار تغییر رنگ جزئی شده است. اما در دمای بالاتر ترک خوردگی مشاهده می‌شود [۴].

بتن دارای دوام خوبی می‌باشد و می‌تواند محافظ مناسبی برای میلگردهای تسلیح کننده بتن باشد. قرارگیری بتن در حرارت زیاد یکی از شدیدترین شرایطی است که ممکن است بتن در معرض آن قرار گیرد. زمانی که بتن در معرض دمای زیاد قرار می‌گیرد، خصوصیات نظیر قابلیت باربری و دوام آن به علت فرآیندهای ترمومکانیک و ترموهیدرولیک دچار افت می‌شوند و منجر به ترک خوردگی، افت مقاومت فشاری و قلوه‌کن شدن می‌گردد. وقتی که درجه حرارت بتن زیاد می‌شود، این ماده دچار تغییراتی در ترکیبات شیمیایی و ساختار فیزیکی می‌شود. این تغییرات در وهله اول در خمیر سیمان به وقوع می‌پیوندد و از تجزیه هیدروکسید کلسیم در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد شروع و تا نابودی کامل در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد ادامه پیدا می‌کند. سنگدانه‌ها نیز بر حسب نوع آنها (کوارتز و یا کربناتی) رفتار متفاوت دارند [۴].

طراحی سازه‌های ایمن و مقاوم در برابر حرارت همیشه از دغدغه‌های مهندسين بوده و از جمله عوامل مخرب و تأثیرگذار بر بتن به عنوان یکی از مصالح پرکاربرد در صنعت ساخت و ساز، درجه حرارت‌های بالا می‌باشد. صنعت فولاد و آهن یکی از بزرگترین مصرف کنندگان مواد و بتن‌های مقاوم در برابر حرارت می‌باشند. طول عمر، قابل دسترس بودن و اقتصادی بودن هر ماده مقاوم در برابر حرارت، وابسته به کیفیت و انتخاب محصول و شرایط کاراست. لذا این نیاز احساس می‌گردد که با استفاده از مصالح در دسترس و ارزان قیمت، در پی ساخت بتن‌هایی با خواص مکانیکی بهتری نسبت به بتن‌های معمولی در معرض حرارت بالا باشیم.

سرباره از فرایند ذوب تولید برخی فلزات مانند فولاد بوجود می‌آید و جزء مواد زائد محسوب می‌شود. این مواد عمدتاً بدون استفاده در اطراف مراکز تولید فولاد دپو شده است و می‌توان با استفاده از آن مشکلات زیست محیطی مربوط به دفن یا انبار نمودن این مواد را نیز بهبود بخشید. همچنین، استفاده مجدد از این مواد کاهش هزینه‌های حمل و نگهداری را به دنبال خواهد داشت. با توجه به اهمیت و کاربرد بتن‌های با مقاومت بالا بعنوان یک عنصر سازه‌ای از دیدگاه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری، استفاده از مصالحی که بتواند ضمن



حفظ شرایط بهره‌برداری، هزینه‌های مرتبط با عملیات تعمیر و نگهداری را کاهش دهد از اهمیت ویژه و کاربردی برخوردار است.

۳- تعریف بتن مقاوم در برابر حرارت

با افزایش دما و گذشتن از دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد پدیده‌های شیمیایی و فیزیکی رخ داده در بتن منجر به کاهش چشمگیر مقاومت فشاری بتن می‌گردد و عدم تاثیرپذیری مقاومت فشاری بتن در مقابل حرارت به پایان می‌رسد [۵].

از این رو می‌توان گفت بتن‌هایی که با قرار گرفتن در معرض دمای فراتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد خواص مکانیکی خود را حفظ می‌نمایند، بتن‌های مقاوم در برابر حرارت نام دارند و هرچه مقاومت بیشتری از خود نشان دهند از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشند.

۴- دلایل استفاده از بتن‌های مقاوم در معرض حرارت

به علت تفاوت‌های موجود در ترکیبات شیمیایی بتن و فولاد، تغییراتی در خصوصیات حرارتی کل مجموعه به وجود می‌آید بنابراین تنش‌های داخلی ایجاد شده و منجر به از بین رفتن چسبندگی بین بتن و فولاد می‌شود. این بدین معنی است که خصوصیات مصالح بتن و فولاد در اثر حرارت تنزیل می‌یابد. بتن شامل مصالح ناهمگن غیرسیمان، سنگدانه‌ها و فولاد به عنوان عنصر مقاومسازی می‌باشد. پاسخ بتن مسلح در برابر آتش، با خصوصیات ثابت مصالح عمده فولاد و بتن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این خصوصیات شامل خصوصیات حرارتی، مکانیک و خصوصیات مربوط به تغییر شکل می‌باشد. بتن در برابر حرارت می‌تواند رفتاری کاملاً متفاوت از خود نشان دهد. همچنین در زمان زلزله، یکی از عواقب مهم و محتمل، وقوع آتش‌سوزی می‌باشد که ممکن است خسارات بیشتری در قیاس با زلزله به سازه وارد کند. به علاوه اطلاع از میزان خرابی بتن در معرض حرارت نیز می‌تواند در مباحث مقاومسازی سازه‌ها به طراحان کمک کند. این دو دلیل و دلایل از این دست نیاز به مطالعه رفتار بتن در معرض حرارت را نشان می‌دهد. زلزله با ایجاد خطرات اولیه و ثانویه منجر



به آسیب سازه های شهری می گردد. از جمله آتش سوزی های پس از زلزله که در گذشته دور، رخ داده و تبعات ویرانگر قابل توجهی داشته است، می توان به آتش سوزی سال ۱۹۰۶ در شهر سانفرانسیسکو اشاره نمود [۶].

۵- موارد استفاده بتن های مقاوم در معرض حرارت

الف: دیواره حوضچه های تخلیه سرباره شرکت فولاد مبارکه

از جمله محل های مورد استفاده از بتن مقاوم در معرض حرارت می توان دیواره حوضچه های محل تخلیه سرباره فولاد را نام برد. در این ناحیه از شرکت فولاد مبارکه، سرباره حاصل از عملیات تولید فولاد بوسیله مکانیزم های مربوطه (مکانیزم پاتیل بر) حمل شده و جهت خنک شدن درون این حوضچه ها تخلیه می شود. از این رو دیواره های اطراف حوضچه ها در معرض حرارت قرار می گیرند و باید قابلیت تحمل تنش های حرارتی وارده را داشته باشند. از موارد استفاده بتن مقاوم در معرض حرارت می توان این دیواره ها را نام برد. همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می نماییم، دیواره ها به علت قرار گرفتن در معرض حرارت و استفاده بیش از حد مجاز با توجه به افزایش تولید سرباره خواص خود را از دست داده اند و نیاز به بازسازی و تعمیرات مجدد با بتن های مقاوم در برابر حرارت را دارند. لازم به ذکر است دیوارهایی که در تصویر مشاهده می نماییم در گذشته به علت پایین تر بودن تولید سرباره در معرض تنش های کمتری قرار داشته است. در حال حاضر افزایش تولید فولاد منجر به تولید سرباره بیشتری شده که همین امر باعث وارد آمدن تنش های حرارتی بیشتری به دیواره های مجاور حوضچه ها شده است.



شکل ۱، دیواره حوضچه‌های تخلیه سرباره شرکت فولاد مبارکه

ب: کف‌سازی بتنی مقاوم در معرض حرارت مربوط به ناحیه فولاد سازی شرکت فولاد مبارکه

از دیگر کاربردهای بتن‌های مقاوم در معرض حرارت می‌توان به سازه‌ها و کف‌سازی محل‌های با حرارت بالا مانند: سوله‌های فولادسازی اشاره نمود. در این محل‌ها به علت تولید حرارت به جهت ساخت فولاد، سازه‌ها و تجهیزات مجاور باید قابلیت تحمل تنش‌های فشاری و حرارتی بالا را داشته باشند. همانگونه که در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد در این ناحیه از شرکت فولاد مبارکه، تمامی قطعات اطراف کوره و کف‌سازی بتنی محل نیز در معرض حرارت قرار گرفته شده است و مصالح مورد استفاده باید توانایی تحمل تنش‌های فشاری و حرارتی ایجاد شده را داشته باشند. این قسمت نیز از محل‌های پر تردد وسایل نقلیه سنگین و نیمه سنگین و محل قرارگیری ابزارآلات مختلفی می‌باشد که لازمه پایداری قطعات مجاور این قسمت و به ویژه کف‌سازی این محل استفاده از مصالح مقاوم در معرض حرارت می‌باشد.



شکل ۲، ناحیه فولاد سازی شرکت فولاد مبارکه، در هنگام تخلیه پاتیل حاوی مذاب

ج: دیواره مجاور خط انتقال تختال های فولادی گرم

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می نمایید برای جلوگیری از انتقال حرارت به قسمت های دیگر در کنار خطوط انتقال شمش های فولادی حاصل از فرآیند ذوب، دیواره های بتنی موجود می باشد که به علت حرارت بالا در این قسمت ها باید این مصالح قابلیت تحمل تنش های حرارتی را داشته باشند. از این رو می توان از محل های دیگری که نیاز به استفاده از بتن های مقاوم در برابر حرارت می باشد به این محل اشاره نمود.



شکل ۳، دیواره مجاور خط انتقال تختال های فولادی گرم

د: کف سازی انبار نورد گرم ناحیه بسته بندی فولاد مبارکه

در این ناحیه از شرکت فولاد مبارکه پس از انجام مراحل تولید، ورق های فولاد به صورت رول در این محل انبار می گردند. با توجه به اینکه عملیات نورد این قطعات بصورت فرآیند گرم صورت می پذیرد این قطعات از حرارت بالایی برخوردار می باشند که در این محل دمای اطراف معمولاً بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد می باشد و در تمامی مسیر حرکت نوارها و خطوط حمل این مواد و سالن های مربوط به نگهداری سعی شده است که از مصالح مقاوم در معرض حرارت استفاده شود. از مهمترین این قسمت ها مصالح کف سازی می باشد و باید از مشخصات و خواص لازم جهت تحمل تنش های فشاری و حرارتی برخوردار باشد. از دیگر موارد مورد استفاده از بتن های مقاوم در معرض حرارت می توان به این ناحیه اشاره نمود. در شکل (۴) این قسمت قابل مشاهده می باشد.



شکل ۴، انبار ناحیه نورد گرم واحد بسته‌بندی فولاد مبارکه

۶- ضرورت پژوهش

امروزه با وجود کارخانجات صنعتی و سازه‌های مختلفی که به آن اشاره شد و به نوعی در معرض حرارت بالا قرار می‌گیرند این نیاز احساس می‌گردد تا مصالحی با تحمل تنش‌های حرارتی و فشاری تولید گردد که با قرار گرفتن در معرض حرارت خواص مکانیکی خود را حفظ نمایند. ساختمان‌های معمولی نیز ممکن است به دلایلی مانند آتش‌سوزی در معرض حرارت قرار گیرند که در این صورت لازمه ایستایی و حفظ مقاومت سازه تحمل تنش‌های حرارتی توسط مصالح به کار برده شده می‌باشد. از دیگر مواردی که می‌توان به عنوان محل‌های پر حرارت نام برد و لازمه پایداری سازه‌ها تحمل تنش‌های حرارتی توسط مصالح به کار برده می‌باشد، می‌توان اطراف کوره‌های ذوب و دیواره‌های اطراف محل‌های تخلیه ذوب را نیز نام برد که در همه موارد ذکر شده می‌توان با استفاده از مصالح مقاوم در برابر حرارت، خسارات مالی، هزینه‌های تعمیرات و در برخی موارد خسارات جانی را نیز کاهش داد.



۷- اجزاء تشکیل دهنده بتن مقاوم در برابر حرارت

الف) عامل چسباننده

عامل چسبیباننده یکی از مهمترین بخش های متشکله بتن مقاوم در برابر حرارت می باشند. انواع سیمان ها که بطور معمولی تهیه شده و در ساخت بتن های دیرگداز استفاده می شود عبارتند از : سیمان پرتلند، و سیمان آلومینای و... را می توان نام برد [۷].

ب) مواد پرکننده

خواص حرارتی بتن های درجه حرارت بالا به مقدار زیادی بوسیله مواد پرکننده تامین می شود. بنابراین با انتخاب مواد مناسب مقاوم در برابر حرارت، امکان تهیه بتن هایی با مقاومت حرارتی بالا وجود دارد. در بتن مقاوم در برابر حرارت تنها مواد درشت تر که دارای اندازه دانه هایی بزرگتر از ۰٫۲ میلی متر می باشد باید مورد استفاده قرار گیرد. مواد پرکننده ریز که دانه های آن کوچکتر از ۰٫۱ میلی متر است به عنوان تثبیت کننده مورد استفاده قرار می گیرند [۷].

ج) افزودنی ها

افزودنی های خاص به منظور بهبود کارپذیری و شکل دادن و یا کنترل ریزساختار و محصولات دیرگداز برای دستیابی به خواص ویژه بکار گرفته می شوند. افزودنی ها را می توان بصورت زیر طبقه بندی نمود [۸]:

- تثبیت کننده های سرامیکی
- روان کننده ها (خمیری کننده)
- عوامل زینتر کننده



۸- مزیت های بتن مقاوم در برابر حرارت نسبت به نسوزهای معمولی

مصرف بتن های مقاوم در برابر حرارت این امکان را بوجود می آورد که از پوشش یک لایه بتنی استفاده شود و از مصرف آجرهای چند لایه و پیچیده جلوگیری شود، بعلاوه به علت سادگی کار صرفه جوئی زیادی در زمان ساخت خواهد داشت.

از جمله مزایای بتن های مقاوم در برابر حرارت می توان به صرفه جویی در هزینه های ساخت، امکان استفاده به صورت های متنوع و مختلفی چون ریخته گری در محل، پیش ساخته، ریخته گری به صورت آجر، بلوک، ستون های یکپارچه، ملات، مواد پاششی و ... استحکام بالا حتی در حالت خام، امکان بکارگیری اجزاء بزرگ در ساختمان کوره ها، کاهش زمان تعمیر آستر کوره ها، مقاومت سایشی بهتر، مقاومت در برابر حملات شیمیایی، شوک های حرارتی، دوام و پایداری پوشش ها، سهولت در حمل و نقل و ... اشاره نمود.

۹- تاریخچه مطالعات بر روی مقاومت بتن در معرض حرارت

یکی از ابتدایی ترین تحقیقاتی که بر روی بتن های مقاوم در برابر حرارت صورت گرفت در دهه ۱۹۴۰ بر روی خواص مکانیکی بتن معمولی تحت حرارت انجام شد. نتایج این مطالعات که بر روی رفتار سیمان، ملات، نمونه های بتنی و اعضای بتن مسلح انجام گردید و موجب شد تا زیربنایی برای ضوابط و توصیه های بسیاری از آئین نامه ها جهت تعیین مقاومت بتن در معرض حرارت بالا تدوین گردد. و پس از گذشت ۴۰ سال مطالعات اثر حرارت بر روی رفتار بتن های با مقاومت بالا آغاز شد [۲].

زینعلی و اسحاقی شریبانی (۱۳۸۷) به بررسی مقاومت فشاری بتن های ساخته شده از سرباره کارخانه ذوب آهن اصفهان و نحوه بهبود مقاومت آنها پرداختند، نتایج نشان داد که بتن های حاوی ۲۵ تا ۳۵ درصد پودر سرباره حاصل از فرایین تولید فولاد در کارخانه ذوب آهن جایگزین شده بجای سیمان پرتلند مقاومت های فشاری به ترتیب در حد ۸۵ و ۹۷ درصد مقاومت نمونه های فاقد پودر سرباره (شاهد) را در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه کسب می نمایند [۹].



باغبدرانی و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه آسیب پذیری بتن مقاومت بالا در برابر حرارت های بالا و تأثیر کاربرد الیاف پلی پروپیلن پرداختند، نتایج نشان داد بتن ساخته شده در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد، ۱۵ درصد مقاومت فشاری خود را نسبت به بتن در دمای محیط حفظ نموده است. نکته مهم وقوع پوسته شدگی زود هنگام در اوایل قرارگیری نمونه ها در کوره آزمایش بود، پوسته شدگی در اکثر نمونه ها در آغاز افزایش حرارت کوره در ۲۰ دقیقه ابتدایی مشاهده شد. در اغلب نمونه های دارای میکروسیلیس پوسته شدگی با صدای بالایی رخ داد و نمونه ها دچار پوسته شدگی انفجاری شدند که گاه منجر به دو تکه شدن نمونه می گردید. همچنین سرعت بالای افزایش حرارت کوره مورد استفاده باعث ایجاد گرادیان حرارتی بالایی در نمونه ها می شد. از طرفی میزان رطوبت متوسط نمونه ها بیش از ۴ درصد اندازه گیری شد که خود دو دلیل عمده برای وقوع پوسته شدگی انفجاری نمونه ها می باشد [۳].

عربی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مقاومت فشاری بتن ساخته شده با استفاده از الیاف پلی پروپیلن تحت افزایش دما تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد پرداختند و نتایج مطالعات خود را به صورت جدول ارائه نمودند. بیشترین مقاومت فشاری نمونه های بتن ساخته شده در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد برابر با ۴۸ مگاپاسکال و در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد ۳۶/۴۷ مگاپاسکال بدست آمده است. در جدول (۱) نتایج مقاومت فشاری ۹۰ روزه این تحقیق قابل مشاهده می باشد [۱۰].

جدول ۱، مقاومت فشاری ۹۰ روزه بتن ساخته شده با استفاده از الیاف پلی پروپیلن [۱۰]

Mix no	Normal strength		2h exposure strength in Mpa (residual strength %)		4h exposure strength in Mpa (residual strength %)	
	200 °C	400 °C	600 °C	200 °C	400 °C	600 °C
Strength of cubes						
M0.00	47.00	43.20	42.70	42.10	36.67	30.66
M0.05	47.90	45.30	42.70	42.10	44.30	30.66
M0.10	47.37	44.20	40.40	39.71	48	44.10
M0.15	45.70	40.83	39.30	37.75	46.10	39.19
Strength of cylinder						
M0.00	52.80	35.20	31.30	0.0	40.50	31.30
M0.05	34.80	32.80	32.20	30.60	32.80	31.30
M0.10	40.10	38.60	27.70	26.60	29.20	26.60
M0.15	29.20	29.20	23.80	17.40	22.00	21.10



رضایی حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی کاربرد سرباره شرکت فولاد مبارکه در بتن آسفالتی و کاهش اثرات منفی زیست محیطی آن پرداختند، نتایج نشان داد ترکیب سنگدانه درشت دانه سرباره و ریزدانه شکسته دارای استقامت مارشال بالاتر و روانی متناسبی نسبت به سایر مخلوطهای دیگر دارد. همچنین قفل و بست میان سنگدانه‌ها در آسفالت سرباره‌ای، به سبب شکل منحصر به فرد دانه‌های سرباره‌ای که اغلب گوشه‌دار و مکعبی بوده و فاقد دانه‌های پولکی و سوزنی می‌باشند، به مراتب بهتر از آسفالت با مصالح معدنی متداول است و این سبب افزایش پایداری آسفالت به خصوص در رطوبت و به هنگام یخبندان است. سنگدانه‌های سرباره‌ای عموماً ارزش ماسه‌ای بالاتری داشته و خود سرباره نیز در برابر سیکل‌های متوالی ذوب و یخ زدن مقاومت مناسبی دارد. در برابر سولفات‌ها و مواد شیمیایی نیز بهتر از مصالح معدنی متداول عمل می‌کند. در مرحله ساخت آسفالت به سبب مقاومت خوب در برابر ضربه خرد نمی‌گردد، در حالت کلی در مخلوطهای آسفالت سرباره‌ای تعداد ترک‌ها و وسعت آنها کاهش می‌یابد. این محققین به این نکته نیز اشاره نمودند که در صورت عدم توانایی صنایع در بازیابی و استفاده مجدد از سرباره فولاد، با توجه به حجم تولید بالای آن، این محصول مشکلات زیادی را از نظر آلاینده در محیط زیست ایجاد می‌نماید. همچنین استفاده از مصالح سرباره‌ای منجر به کاهش مصرف استفاده از منابع بکر و طبیعی می‌گردد [۱۱].

حیدری و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر سرباره کوره بلند و کنورتور ذوب آهن اصفهان بر مقاومت فشاری بتن خود متراکم با مقاومت بالا پرداختند، نتایج بدست آمده حاکی از این بود که سرباره و کنورتور ترکیبی تا ۲۰ درصد جایگزین سیمان در بتن خود متراکم با مقاومت بالا، باعث کاهش مقاومت در اینگونه بتن نمی‌شود و با افزایش نسبت سرباره به جای سیمان خاصیت گذرندگی و تراکم پذیری بتن خود متراکم بهبود می‌یابد. علاوه بر این بکارگیری سرباره در بهبود و رفع مشکلات زیست محیطی ناشی از انبار کردن سرباره و همچنین صرفه‌جویی در مصرف حامل‌های انرژی و صرفه اقتصادی را به دنبال دارد. نتایج تحقیقات انجام شده این محققین در خصوص مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده نمونه‌های بتنی مورد آزمایش در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد [۱۲].



جدول ۲، مقاومت فشاری بتن ساخته شده با استفاده از سرباره کوره بلند و کنورتور ذوب آهن اصفهان [۱۲]

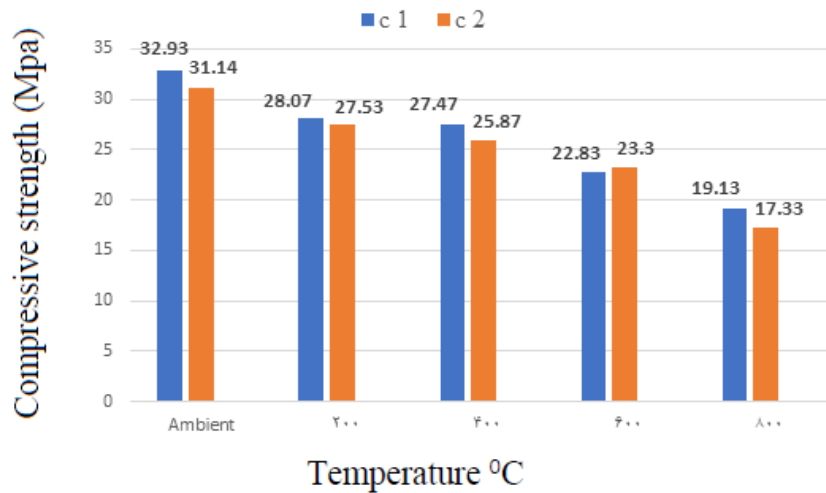
طرح	۷ روزه	۲۸ روزه	۵۶ روزه
	مقاومت فشاری (mpa)		
c	۴۲/۲	۴۹/۸	۵۷/۸
S۱۰	۳۵	۵۴/۷	۶۲/۷
S۲۰	۳۰/۵	۵۲/۵	۵۸
S۳۰	۱۷/۶	۴۴/۸	۴۸/۳
S۴۰	۱۳/۶	۳۷/۷	۴۴

جبارخانی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی آزمایشگاهی خصوصیات حرارتی بتن فوق توانمند مسلح با الیاف فولادی پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین مقاومت بتن ساخته شده با ۲ درصد الیاف فولادی در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد به میزان ۲۲ مگاپاسکال بوده است و با افزایش دما مقاومت بتن به شدت کاهش یافته است [۱۳].

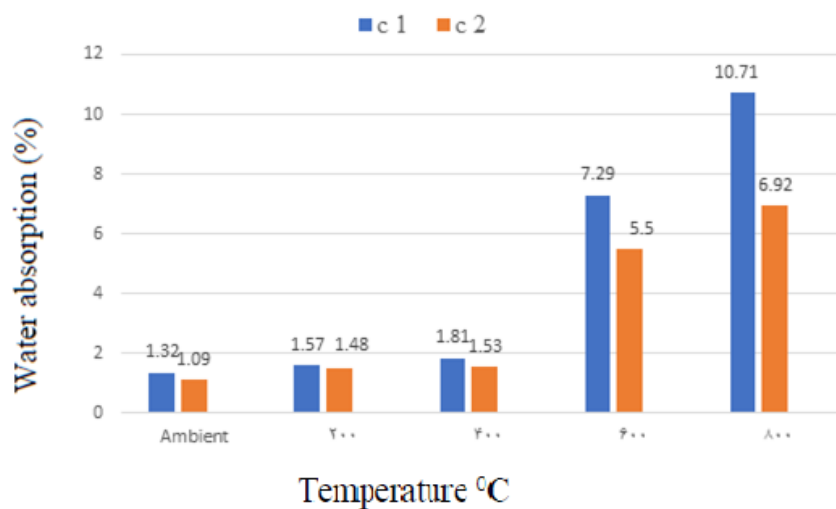
سودارسان و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی برخی از خواص مکانیکی بتن ساخته شده با استفاده از ضایعات سنگ مرمر در دمای معمولی و همچنین دماهای (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰) درجه سانتیگراد پرداخته‌اند. این نمونه‌های بتنی حاوی ۷۵ درصد دانه‌بندی سنگ مرمر و ۲۵ درصد دانه‌بندی مصالح معمولی بودند. سپس شرایطی مانند آتش‌سوزی را بوسیله کوره برای نمونه‌های بتنی بازسازی کردند و نتایج خود را با بتن ساخته شده با مصالح مرسوم مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که با افزایش دما به بیش از ۴۰۰ درجه سانتیگراد بتن ساخته شده با مصالح مرسوم با کاهش چشمگیری در مقاومت فشاری روبرو می‌گردد. همچنین افزایش دما باعث کاهش تخلخل در بتن شد که از عوامل کاهش مقاومت فشاری بتن‌های در معرض حرارت بالا می‌باشد. بیشترین مقاومت بتن ساخته شده در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد برابر با ۱۹/۱۳ مگاپاسکال از سوی این محققین گزارش شد. در نمودار دیگری که توسط این محققین رسم و مورد بررسی قرار گرفته شد میزان جذب آب نمونه‌های بتن ساخته شده قابل مشاهده می‌باشد که در آن بیشترین مقدار جذب



آب در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد رخ داده است و قابل مشاهده می باشد. در شکل (۵) و (۶) نمودارهای مربوط به این تحقیق ارائه شده است.



شکل ۵، نمودار مقاومت فشاری بتن پس از قرار گرفتن در معرض حرارت های مختلف [۱۴]



شکل ۶، نمودار جذب آب بتن پس از قرار گرفتن در معرض حرارت [۱۴]

جراد و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از فیبر فولاد در بتن با مقاومت بالا پنل های بتنی با ضخامت ۶۵ میلیمتر تولید کردند. آزمایشات مربوطه نشان داد این قطعات تا دمای ۳۸۰ درجه سانتیگراد مقاومت و شکل



ظاهری خود را بطور مطلوبی حفظ نمودند، اما با افزایش دما از ۳۸۰ درجه سانتیگراد به شدت مقاومت و شکل ظاهری خود را از دست دادند به طوری که در دمای ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد کلاً از بین رفتند [۱۵].

ساکاس و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی بتن ساخته شده با استفاده از ژئوموپلیمر مبتنی بر سدیم و سرباره پرداختند و نمونه های بتنی ساخته شده را بوسیله کوره صنعتی در معرض حرارت بالا قرار دادند نتایج بیانگر این بود که بالاترین مقاومت فشاری اندازه گیری شده بر روی نمونه های بتن ساخته شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد برابر با ۱۵ مگاپاسکال می باشد [۱۶].

الکسی و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود نشان دادند بتن ساخته شده از موادی، از جمله سیمان پرتلند، آلومینیوم، زباله های کروم، مواد خام نانو تکنولوژیکی به شکل لجن آلومینیومی اتیل، کارایی فنی و عملکرد فیزیکی و حرارتی بالا و قابل توجهی در برابر حرارت دارد و در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت آن به ۴۰ مگاپاسکال می رسد [۱۷].

مارینا گراویت و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقات خود نوعی پوشش تونل زیرزمینی با نوآوری پانل های ضد آتش ساخته شده از مواد با عملکرد مقاوم در برابر آتش را شرح می دهد. پانل های نسوز ساخته شده از مواد معدنی و الیاف معدنی پلی پروپیلن که ضخامت این آسترها در حدود ۱۵ الی ۲۵ میلیمتر می باشد و طی انجام آزمایشات مربوطه می توانند دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد را تحمل نمایند [۱۸].

الکسی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی خواص بتن ساخته شده با استفاده از سنگ گرانیات کرامزیت و پودر سرباره پرداختند، نتایج نشان دهنده استحکام فشاری بتن ساخته شده در حدود ۵۰ مگاپاسکال در دمای ۱۴۰۰ درجه بود. این محققین نتایج تحقیقات خود را مطابق با جدول (۳) ارائه نموده است [۱۹].



جدول ۳، تأثیر حرارت بر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی سنگ گرانیت کرامزیت و پودرسرباره [۱۹]

No	Content kg/m ³	Average density in dry consistence kg/m ³	Ultimate compressin strength mpa after Hardening and heating up to °C			Thermal stability Water thermal cycles
1	Pyritic cinders- 96 im-2201-350 fire clay crushed stone-756 fire clay sand-624 H ₃ po ₄ -268	2012	4.6	46.8	46.9	32
2	Pyritic cinders-220 Zircon kc-1-230 Crushed stone-750 Fire clay sand-640 H ₃ po ₄ -70% concentration-260	2052	7.4	48.6	49.8	34
3	Pyritic cinders-100 Zircon kc-1-350 High alumina crushed ston-750 High alumina sand-650 H ₃ po ₄ -70% concentration-260	2088	3.8	48.8	50.7(1600) ⁰ C	36

ابازیوف (۲۰۱۷) قطعاتی با ابعاد ۲۰ * ۱۰ * ۱۰ سانتیمتر بتنی مقاوم در برابر گرما بر پایه اتصال دهنده آلومینیوم فسفات از ضایعات سرباره شسته شده و کورودوم بازیافت آلومینیوم، خاکستر آتش و کاتالیزور را تولید نمود که استحکام فشاری قطعات تولید شده در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد ۴ - ۲/۵ مگاپاسکال است. این محقق در تحقیقات خود بر روی سرباره آلومینیوم مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتن اظهار نمود که این ماده می‌تواند به عنوان دانه‌بندی در بتن، و مخصوصاً بتن‌های تحت دمای بالا مورد استفاده قرار گیرد. این خاصیت سرباره به این علت است که دمای ذوب سرباره آلومینیوم در حدود ۱۵۴۰ الی ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و در دماهای پایین‌تر می‌تواند از مقاومت لازم در معرض حرارت برخوردار باشد [۲۰].

دونگ فو ژایو و همکاران (۲۰۱۷) تحقیقات خود را بر روی مقاومت فشاری بتن‌های با مقاومت بالا (C۶۰) و با نام HSC در دمای محیط آزمایشگاهی و (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰) درجه سانتیگراد و در زمان‌های (۳۰، ۶۰، ۱۲۰) دقیقه انجام دادند، نتایج نشان داد بالاترین مقاومت فشاری بتن ساخته شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به حدود ۴۷ مگاپاسکال می‌رسد و با افزایش دمای بیش از ۵۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت



بتن کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. این محققین به این نکته اشاره نمودند که افزایش زمان باقی ماندن نمونه‌ها در معرض حرارت تاثیر زیادی بر مقاومت فشاری نمونه‌ها ندارد. نتایج تحقیقات صورت گرفته در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۴، تاثیر حرارت بر مقاومت فشاری نمونه‌ها برحسب مگاپاسکال [۲۱]

temperature°C									time
900°C	800°C	700°C	600°C	500°C	400°C	300°C	200°C	100°C	
Compressive strength (Mpa)									
13	23	33	43	47	45	40	43	44	30 min
13	24	22	38	43	47	40	41	30	60 min
13	18	22	30	40	44	43	42	42	120 min
12	14	18	28	33	42	43	47	40	180 min

جوزف نواکا و همکاران (۲۰۱۷) آزمایشات تجربی خود را بر روی یک کامپوزیت بتن انتخاب شده با افزودن پلیمر و فیبرهای فولادی با نام بتن هیبریدی انجام دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد، نمونه‌های بتنی ساخته شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۰ درصد و ۳۰ درصد مقاومت اولیه خود را در دمای معمولی حفظ نموده‌اند و همچنین با افزایش دما در ۶۰۰ درجه سانتیگراد بتن شکل ظاهری خود را از دست می‌دهد و ترک‌ها و تخلخل نمونه‌های بتن زیاد می‌شود که در نهایت منجر به کاهش شدید مقاومت بتن می‌شود [۲۲].

مهدوی و بهفروز (۱۳۹۶) به بررسی پیشبینی مقاومت فشاری بتن‌های حاوی سرباره کوره‌های قوس الکتریکی فولاد مبارکه و میکروسیلیس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج حاصل از انجام آزمایشات مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده، به همراه مقدار مصالح مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۵) قابل مشاهده می‌باشد.



جدول ۵، مقاومت فشاری بتن های حاوی سرباره کوره های قوس الکتریکی فولاد مبارکه و میکروسیلیس [۲۳]

نام طرح	مقاومت فشاری نمونه ها (M pa)						مواد مصرفی (kg)		
	۷ روزه	۲۸ روزه	۴۲ روزه	سیمان	شن	ماسه	سرباره	میکروسیلیس	آب
M 1	۶۹/۷۲	۷۵/۵۱	۸۱/۷۸	۴۰۰	۲۰۰	۴۵۰	۱۲۰۰	۰	۱۰۴
M 2	۷۴/۷۲	۸۱/۸۸	۸۲/۸۶	۴۰۰	۲۰۰	۴۵۰	۱۲۰۰	۰	۱۱۷
M 3	۸۲/۵۷	۸۶/۲۰	۸۹/۴۳	۴۰۰	۲۰۰	۴۵۰	۱۱۵۰	۵۰	۱۰۴
M 4	۵۷/۵۶	۷۴/۴۳	۷۰/۸۰	۵۵	۸۵۰	۷۵۰	۲۵۰	۵۴	۱۴۳
M 5	۶۹/۳۳	۷۶/۱۹	-	۵۵۰	۸۵۰	۷۵۰	۲۵	۵۵	۱۴۳
M 6	۷۷/۹۶	۸۸/۶۵	۹۰/۰۲	۵۵۰	۱۵۰	۷۵۰	۹۰۰	۵۵	۱۲۶
M 7	۷۹/۴۳	۸۳/۵۵	۸۶/۳۹	۵۵۰	۱۵۰	۷۵۰	۹۰۰	۵۵	۱۲۶
M 8	۷۸/۳۵	۸۰/۵۱	۸۸/۴۵	۵۵۰	۰	۳۰۰	۱۵۰۰	۵۵	۱۲۶
M 9	۷۰/۷۰	۹۱/۹۸	۹۸/۹۰	۵۵۰	۲۰۰	۱۰۵۰	۶۰۰	۱۰۰	۱۲۱
M 10	-	۹۱/۹۸	۹۸/۹۰	۵۵۰	۲۰۰	۱۰۵۰	۶۰۰	۱۰۰	۱۲۱

۹-۱- نتیجه گیری مطالعات پیشین صورت گرفته

با توجه به بررسی و تحقیقات به عمل آمده توسط محققین نام برده شده در این بخش روشن است که بتن های معمولی ساخته شده با افزایش دما از ۳۰۰ درجه سانتیگراد به بالا با روند کاهش مقاومت فشاری روبرو می شوند. از دیگر نکات قابل اهمیت این است که، تحقیقات بر روی استفاده از سرباره در دانه بندی بتن صورت گرفته است و از سرباره با درصدهای مختلف و یا با ترکیب برخی از مواد دیگر به ساخت بتن و بررسی برخی از خواص مکانیکی بتن ساخته شده، پرداخته شده است. حال می توان نتیجه گرفت استفاده از سرباره در ساخت بتن و جایگزینی این ماده به جای دانه بندی بتن دست یافتنی است و می توان به مقاومت فشاری مورد نیاز در دمای معمولی دست یافت، همچنین زمینه تحقیقات بر روی بتن ساخته شده با دانه بندی کاملاً سربارهای و بررسی مقاومت فشاری و کششی بتن ساخته شده در دمای بالا فراهم می باشد. از علت های مقاومت بهتر بتن سربارهای نسبت به بتن های معمولی در معرض حرارت می توان به جنس مواد تشکیل دهنده سرباره و تخلخل این دانه ها اشاره نمود. این خاصیت دانه های سرباره باعث می شود وقتی بتن در معرض حرارت قرار می گیرد آب موجود در بتن که به بخار آب تبدیل شده و قصد خروج از توده بتن را دارد درون حفره های دانه های سرباره



جای گیرد. این فرآیند در بتن های معمولی قرار گرفته در معرض حرارت به علت اینکه دانه های معمولی دارای تخلخل نیستند و بخار آب ایجاد شده راهی به جز خروج از بتن ندارد و در نهایت منجر به انفجارات بتن و پدیده قلوه کن شدن در بتن می شود. از این موضوع نیز می توان نتیجه گرفت دانه های سرباره می توانند نسبت به دانه های معمولی استفاده شده در ساخت بتن در معرض حرارت از مقاومت بهتری برخوردار باشند.

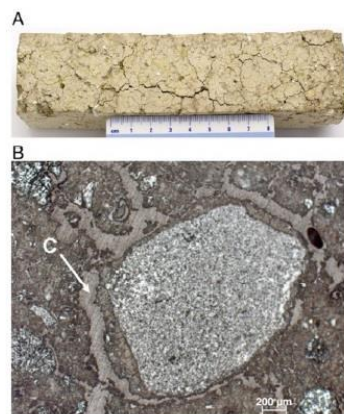
۱۰- بررسی دوام بتن های مقاوم در برابر حرارت حاوی سنگدانه های سرباره ای کوره های قوس الکتریکی

۱۰-۱- دانش پیشین بتن مقاوم در برابر حرارت سرباره ای

سرباره های تولید شده ناشی از فعالیت کارخانجات فولاد سازی، حجم بسیار بالایی را به خود اختصاص می دهند. به عنوان نمونه در اروپا سالانه ۱۲ میلیون تن سرباره کارخانجات فولاد سازی تولید می شود. با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این مصالح، همواره محققین بدنبال یافتن مصارف گوناگون برای آن بوده اند. حدود ۶۵٪ از سرباره های تولید شده به عنوان مصالح مورد استفاده در راه سازی مصرف می گردد. حجم کمتری نیز با توجه به ظرفیت باربری بالای آن در تولید بتن، مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به این که سنگدانه های سرباره ای در فرآیند تولید فولاد در معرض حرارت های بسیار بالا بوده اند، این ایده در شرکت های فولاد سازی ایجاد می گردد که از آنها به عنوان یک سنگدانه کاملاً در دسترس برای ساخت بتن نسوز استفاده شود. در سال ۲۰۱۱ دوکمن و مادنویچ به بررسی دقیق امکان استفاده از سنگدانه سرباره ای تولید شده توسط کوره های قوس الکتریکی به منظور استفاده در بتن نسوز پرداختند [۲۴]. تجربیات گذشته نشان می داد که استفاده از این سنگدانه، در تولید بتن نسوز با موفقیت روبرو نبوده است. طی آزمایش های متعدد و ساخت نمونه های با درصدهای مختلف مواد نسوز و سرباره و قرار دادن نمونه ها تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و تغییرات حجمی و وزنی این نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایشات حاکی از آن است که استفاده از سنگدانه سرباره ای در بتن در معرض حرارت بالا باعث ایجاد انبساط و ترک خوردگی بسیار گسترده و متعاقب آن کاهش شدید مشخصات مکانیکی بتن می گردد بررسی های دقیق تر نشان می دهد



که علت ترک خوردن و افت مشخصات مکانیکی بتن، تبدیل FeO به Fe_3O_4 طی یک روند تدریجی و در بازه دمایی ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. این تغییر شیمیایی نیز همراه با افزایش حجم خواهد بود. در نهایت این افزایش حجم منجر به تشکیل ترک در بتن می گردد. مشخصات مکانیکی بتن ساخته شده را به شدت تحت تاثیر قرار می دهند [۲۵]. ترک در بتن های سرباره ای تحت حرارت در شکل شماره (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷، ترک در بتن سرباره ای

۱۰-۲- مشخصات مصالح مصرفی

عامل پرکننده

سنگدانه فرآوری شده سرباره ای شرکت فولاد مبارکه با دانه بندی های (۰ - ۵ ، ۵ - ۱۲ ، ۱۲ - ۲۵) طبق مشخصات فیزیکی و شیمیایی جدول شماره (۶) و (۷) دانه بندی مصالح سرباره ای مطابق استاندارد و نتایج دانه بندی به ترتیب طبق اشکال شماره (۸ تا ۱۰) می باشد.

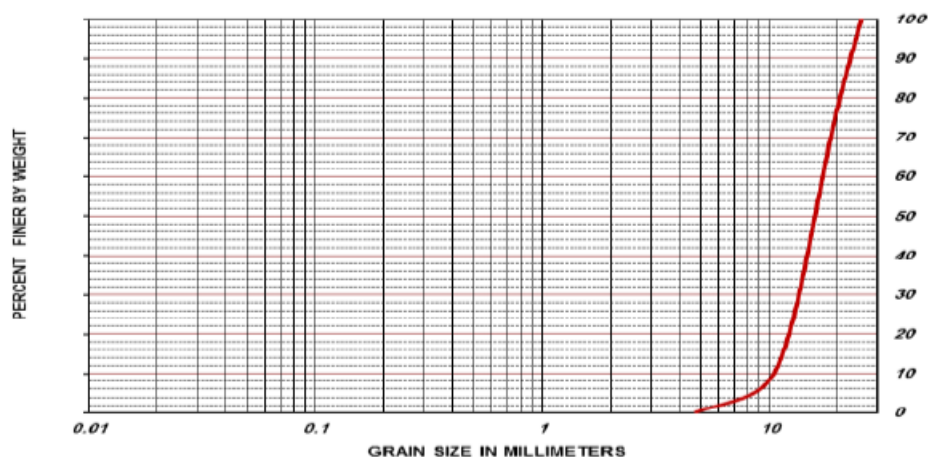


جدول ۶، مشخصات فیزیکی سرباره مصرفی

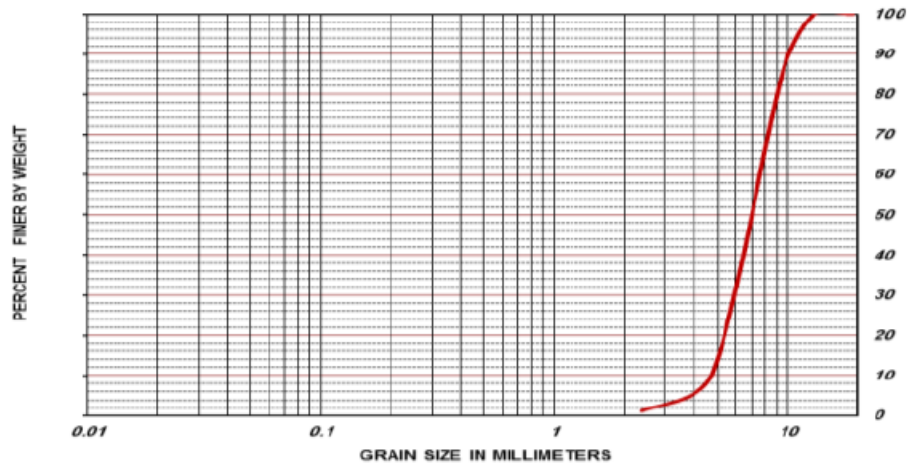
نوع مصالح	چگالی SDD	چگالی خشک	چگالی ظاهری	درصد جذب آب
ماسه سرباره ای	۳,۲۷	۳,۱۲	۳,۶۵	۴,۶
شن ۵-۱۲ سرباره ای	۳,۳۶	۳,۲۹	۳,۵۵	۲,۲
شن ۱۲-۲۵ سرباره ای	۳,۳۷	۳,۲۹	۳,۵۷	۲,۲

جدول ۷، مشخصات شیمیایی سرباره مصرفی

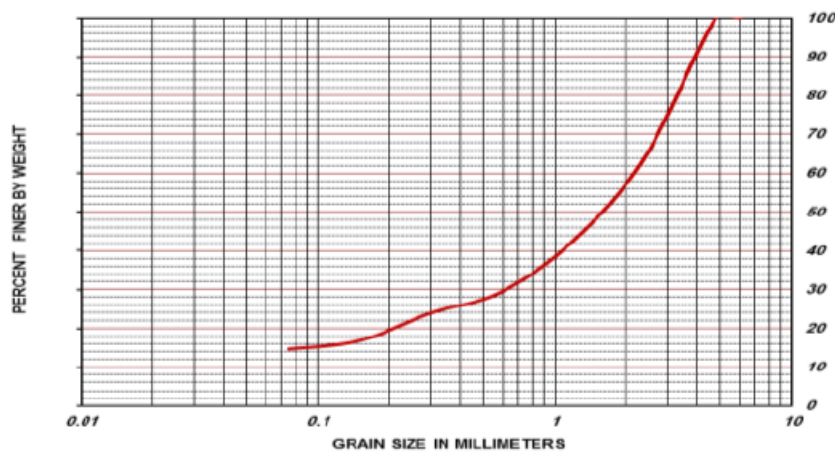
TiO ₂	P ₂ O ₃	Mno	Mgo	Cao	Fe ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	(%)
1.2	1.3	1.4	7.8	32	31	11	3.3	15.4	Slag



شکل ۸، دانه بندی مصالح سرباره ای ۱۲ – ۲۵



شکل ۹، دانه بندی مصالح سرباره ای ۱۲ – ۵



شکل ۱۰، دانه بندی مصالح سرباره ای ۰ – ۵

چسباننده

عامل چسباننده بتن مقاوم در برابر حرارت سیمان کلسیم آلومیناتی طبق مشخصات جدول (۸) می باشد.

جدول ۸، مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Mgo	Cao	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	(%)
1.9	0.2	0.1	1.0	38.4	16.4	39.4	4.0	Slag



افزودنی

افزودنی نوع ترکیب ساخته شده بر اساس تثبیت کننده های سرامیکی، روان کننده های هیدرولیکی و عوامل زینتر کننده خاص بتن مقاوم در برابر حرارت با سنگدانه های سرباره ای.

۱۰-۳- طرح های اختلاط

همانطور که می دانیم طرح اختلاط به معنای روند انتخاب اجزا مناسب برای بتن و تعیین مقادیر مصالح که بر اساس خصوصیات مشخصی مانند مقاومت فشاری، مقاومت در برابر حرارت و خواص رئولوژیکی و ... تعیین می گردد. مبنای محاسبات برای ۱ متر مکعب بوده است و سپس مقادیر بدست آمده را در حجم ساخت مورد نظر ضرب کرده و مقادیر وزنی مصالح بدست می آید.

۱۰-۴- نحوه عمل آوری بتن ساخته شده

نحوه عمل آوری نمونه ها برای ساخت نمونه های آزمایشی: ۱ روز در قالب و در آب ۳۸ درجه، ۵ روز عمل آوری مرطوب داخل آب ۳۸ درجه در محیط آزمایشگاهی.

۱۰-۵- مقاومت سایشی

جهت تعیین مقاومت سایشی سنگدانه ها از آزمایش تعیین درصد سایش لس آنجلس استفاده گردید، در این آزمایش سنگدانه های مورد بررسی و گلوله های فولادی را درون استوانه فولادی دستگاه لس آنجلس قرارداده و سپس با سرعت ۳۳ دور در دقیقه استوانه را به گردش درآورده و پس از ۵۰۰ دور گردش، سنگدانه ها را از استوانه خارج کرده و با الک نمره ۱۲ طبق استاندارد (ASTM C131) الک می کنیم، سنگدانه های روی الک را شسته و در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار می دهیم. در نهایت با استفاده فرمول زیر درصد سائیدگی سنگدانه ها محاسبه می گردد:



$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن نهایی}} \times 100$$

۱۰-۶- سلامت سنگدانه

در این آزمایش بر اساس استاندارد (ASTM C88) سنگدانه‌ها را در سیکل‌های تکراری در محلول سولفات سدیم یا سولفات منیزیم اشباع قرار داده و سپس خشک و توزین کرده و افت وزن ناشی از تماس سنگدانه‌ها با محلول‌های فوق محاسبه می‌گردد. آزمایش فوق در شناسایی سنگدانه‌هایی که خلل و فرج زیادی داشته و بسیار تحت تاثیر هوازدگی می‌باشند مناسب است. ساخت محلول سولفات منیزیم: ابتدا کل آب محلول را داخل ظرف ریخته و به وسیله یک المنت آکواریوم دمای آب را به ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد رساندیم و در این فاصله درب ظرف را با یک لایه پلاستیک پوشانده تا از تبخیر آب جلوگیری کند. بعد از اینکه آب به دمای ۳۰ - ۳۵ درجه رسید به ازای هر لیتر آب ۱۴۰۰ گرم سولفات منیزیم را به آب اضافه کرده و مخلوط نمودیم.

چگالی محلول قبل از انجام آزمایش باید بین ۱,۲۹۵ - ۱,۳۰۸ باشد و دمای محلول نباید در زمان انجام ۵ سیکل آزمایش کمتر از ۲۲ درجه سانتیگراد باشد. برای این که درصد سلامت سنگدانه‌ها مشخص شود ۵ بار نمونه‌ها را داخل محلول سولفات منیزیم و بعد داخل آون ۱۱۰ درجه قرار دادیم تا خشک شود و به وزن ثابت برسد. انجام این سیکل طبق استاندارد ۴۴۹ سازمان ملی استاندارد ایران، زمان‌بندی دارد که ۱۶ - ۱۸ ساعت باید نمونه داخل محلول قرار گیرد و بعد از آن نمونه را از محلول خارج کرده و به مدت ۱۵ - ۲۰ دقیقه روی یک پارچه قرار گیرد تا آب روی نمونه تقریباً جدا شود سپس نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت داخل آون ۱۱۰ درجه گذاشته تا به وزن ثابت برسد و بعد از ۲۴ ساعت آون را خاموش کنیم و ۵ - ۶ ساعت صبر کرده تا نمونه‌ها خنک شوند. بعد از خنک شدن نمونه‌ها سیکل بعدی را شروع کرده و این کار را تا پنج سیکل ادامه دهیم.

مطابق با استاندارد ۳۰۲ سازمان ملی استاندارد ایران میزان افت وزنی سنگدانه‌های ریز برای مصرف در

بتن نباید بیش از ۱۵ درصد باشد. (استاندارد ملی ایران ۳۰۲)



محلول سولفات منیزیم



سولفات منیزیم بدون آب تبلور

شکل ۱۱، سولفات منیزیم

طبق تحقیقات صورت گرفته قبلی و آزمایشات انجام شده در این پژوهش میزان افت وزنی سنگدانه‌های سرباره‌ای کوره‌های قوس الکتریکی حدود ۵ الی ۷ درصد می‌باشد اما به جهت وجود آزمایشات گوناگون و درصد خطای موجود لازم است برای تعیین سلامت هر نوع سنگدانه به یک آزمایش استناد نگردد.

۷-۱۰- نتایج

پس از بررسی رفتار بتن‌های سرباره‌ای تحت تاثیر حرارت بالا که باعث ایجاد انبساط و ترک خوردگی بسیار گسترده و متعاقب آن کاهش شدید مشخصات مکانیکی بتن می‌گردد با مطالعه بر روی رفتار بتن حین ترک خوردگی و کنترل آنها پس از وقوع با ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی، اقدام به اصلاح روش‌های فرآوری سرباره نمودیم و با اضافه نمودن مواد افزودنی خاص به این بتن مشکل افزایش حجم را مرتفع کردیم. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری آزمونه‌ها در جدول (۹) بیان گردیده است. (شکل ۱۲: بتن اصلاح شده مقاوم در برابر حرارت با سرباره)



جدول ۹، نتایج آزمایش های مقاومت فشاری بتن ساخته شده بر روی آزمون ها

	شرح	واحد	بتن معمولی	بتن مقاوم در برابر حرارت (HRC)
۱	چگالی ظاهری	Kg/m ³	۲۴۰۰	۲۹۰۰
۲	اسلامپ	mm	۱۲۰	۸۰
۳	مقاومت فشاری ۳ روزه	Kg/m ²	۱۸۰	۶۰۰
۴	مقاومت فشاری ۷ روزه	Kg/m ²	۲۵۰	۷۰۰
۵	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	Kg/m ²	۳۵۰	۸۰۰
۶	مقاومت فشاری در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد	Kg/m ²	-	۳۲۰
۷	مقاومت فشاری در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد	Kg/m ²	-	۳۰۰
۸	مقاومت فشاری در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد	Kg/m ²	-	۲۵۰



شکل ۱۲، بتن مقاوم در برابر حرارت با سرباره



منابع

[۱] چهرگانی، ح.، (۱۳۹۶). تاریخچه صنعت سیمان در ایران و جهان. گروه تحقیق ماهنامه فناوری سیمان، صفحه ۵.

[۲] Metin, H. (2006). The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high performance concrete” Fire Safety Journal, pages 155-163.

[۳] باغبدرانی، م.، کردی، م.، چابکی خیابانی، ع.، بسطامی، م. (۱۳۹۰). مطالعه آسیب پذیری بتن مقاومت بالا در برابر حرارت های بالا و تأثیر کاربرد الیاف پلی پروپیلن. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، صفحات ۱ – ۲.

[۴] جبارخانی، م.، دهقانی اشکذری، ق. (۱۳۹۳). بررسی آزمایشگاهی خصوصیات حرارتی بتن فوق توانمند مسلح با الیاف فولادی. مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری های پدافند نوین، ص ۳۰۳ – ۳۰۴.

[۵] Ergun, A., Kurklu, G., Serhat, B. M., and Mansour, M. Y., The effect of cement dosage on mechanical properties of concrete exposed to high temperatures, Fire safety journal, 55 (2013) 160.

[۶] خلیل زاده، ا.، میثمی، م. (۱۳۹۴). مقایسه ضوابط ویژه طراحی ستون تحت حریق با نتایج شبیه سازی عددی. همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، صفحه ۱.

[۷] Newman, J., and Choo, B S., Advanced concrete technology3: processes, Butterworth - Heinemann, 2003.

[۸] جرال د روتشکا، ترجمه دکتر بهزاد میرهادی، مواد دیرگداز، ۱۳۷۸، علم و صنعت ایران.



[۹] زینعلی، ف.، اسحاقی شربانی، ه. (۱۳۸۷). بررسی مقاومت فشاری بتن های ساخته شده از سرباره کارخانه ذوب آهن اصفهان و نحوه بهبود مقاومت آنها. پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز. ص ۱.

[۱۰] Arabi, N. S. Al Qadi, Sleiman, M. Al-Zaidyeen (2014). Effect of fibre content and specimen shape on residual strength of polypropylene fibre . Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 26. 33.

[۱۱] رضایی حسین آبادی، م.، طاووسی، م.، رشیدی، ن.، رحمانی، ر.، هنرمند، م. (۱۳۹۲). کاربرد سرباره شرکت فولاد مبارکه در بتن آسفالتی و کاهش اثرات منفی زیست محیطی آن. سومین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران. ص ۱ - ۹ - ۱۱.

[۱۲] حیدری، ع.، طاهری سرتشنیزی، م. (۱۳۹۳). بررسی اثر سرباره کوره بلند و کنورتور ذوب آهن اصفهان بر مقاومت فشاری بتن خودمتراکم با مقاومت بالا. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل. ص ۶.

[۱۳] جبارخانی، م.، دهقانی اشکذری، ق. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی خصوصیات حرارتی بتن فوق توانمند مسلح با الیاف فولادی. مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری های پدافند نوین، ص ۳۰۳ - ۳۰۴.

[۱۴] Sudarshan, Kore. D, A.K. Vyas (2017). Impact of fire on mechanical properties of concrete containing marble Waste. Department of Civil Engineering, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur, Rajasthan 302017, India. 1-2-3-4.

[۱۵] Gerard H.P Hola, Elwin Roelfsemab (2015). Revolution in building and fireproofing of infrastructures. The International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5). 1-3-5.



[۱۶] Sakka . K.s.P. Nomikos , A. Sofianos, and D. Panias (2015). Sodium-based fire resistant geopolymer for passive fire protection . FIRE AND MATERIALS. DOI: 10.1002/fam.2244; 39:259–270.

[۱۷] Aleksey, I. Hlystova, Vladimir, A. Shirokova, Alexei, V. Vlasovb (2015). Efficiency improvement of heat-resistant concrete through the use of sludge technogenic raw material .seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering.1-4-6.

[۱۸] Marina Gravit, Sergey Antonov, Oleg Nedryshkin (2016). Research features of tunnel linings with innovations fireproof panels. Petersburg Polytechnic University Russia.1-4-5.

[۱۹] Aleksey, I. Khlystova, Vladimir, A. Shirokova, Elena, A. Chernovaa (2016). Problems of air setting phosphatic binding and heat-resistant materials, based on them. Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia.1-4-5-6.

[۲۰] Abyzov, V.A. (2017). Refractory Cellular Concrete Based on Phosphate Binder from Waste of Production and Recycling of Aluminum. International Conference on Industrial Engineering, ICIE.1-6.

[۲۱] Dongfu Zhao, Yuchen Liu, Haijing Gao, and Xiao Han (2017). Compressive mechanical of high concrete (HSC) after different high temperature history. American Institute of Physics. 2-5-9.

[۲۲] Josef Nováka; Alena Kohoutkováa (2016). Fire response of hybrid fiber reinforced concrete to high temperature. aCTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Concrete and Masonry Structures.1-6.

[۲۳] مهدوی، ع.، بهفروز، ب. (۱۳۹۶). پیشبینی مقاومت فشاری بتن های حاوی سرباره کوره های قوس الکتریکی فولاد مبارکه و میکروسیلیس با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف ص ص ۱ - ۲۱ - ۲۲.



[۲۴] Ducman, V., and Mladenovič, A., The potential use of steel slag in refractory Concrete, Materials characterization, 62 (2011).

[۲۵] Wu, S., Xue, Y., Ye, Q., and Chen, Y., Utilization of steel slag as aggregates for Stone mastic asphalt (SMA) mixtures, Building and Environment, 42 (2007).



بتن های مقاوم در برابر حرارت

تهیه کننده: مهندس علیرضا المکچی

کانال آموزش های مهندسی عمران