

بررسی اثر استفاده مجزا و همزمان از پیونددهنده‌های فسفاتی، سیلیکاتی و بوراتی بر خواص فیزیکی و مکانیکی دیرگدازهای یکپارچه منیزیا-کربن

سارا علی‌زاده^{۱*}، احمد منشی^۲، ابراهیم کرمان^۳

۱- کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- استاد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

* sarahalizade@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۷)

چکیده

دیرگدازهای منیزیا-کربن کاربردهای گسترده‌ای در قسمت‌های مختلف صنعت فولادسازی از جمله کنورتورها، کوره‌های قوس الکتریکی و پاتیل‌های فولادسازی دارند که به خاطر خواص دیرگدازی عالی آن‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه در حوزه مواد دیرگداز کربنی بی‌شکل به خصوص مواد قلیایی در حال حاضر کاربردهای وسیع صنعتی وجود دارد، در پژوهش حاضر استفاده مجزا و همزمان از پیونددهنده‌های فسفاتی، سیلیکاتی و بوراتی در حضور آب و استفاده از سنگدانه‌های آجر دیرگداز منیزیا-کربن ضایعاتی مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی حاصل از استفاده از این پیونددهنده‌ها به صورت مجزا و همزمان در دماهای مختلف ارزیابی شد. بدین منظور ترکیبات مختلفی تهیه و میزان دانسیته حجمی (BD)، درصد تخلخل ظاهری (AP%) و استحکام فشاری سرد (CCS) نمونه‌ها اندازه‌گیری و نیز مطالعات فازی و ریزساختاری با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد. نتایج نشان داد که در دمای پایین (۲۰۰ °C) استفاده از این پیونددهنده‌ها مخصوصاً پیونددهنده‌های فسفاتی به صورت مجزا سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی این دیرگدازها می‌شود و از این دیرگدازها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد. در دمای بالا (۱۱۰۰ °C) استفاده همزمان از سیلیکات سدیم و بوراکس در کنار یکدیگر باعث ایجاد فاز شیشه شده و این فاز با پر کردن تخلخل‌های موجود در ساختار باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی این دیرگدازها شده است.

واژه‌های کلیدی:

منیزیا-کربن، پیونددهنده‌های فسفاتی، پیونددهنده‌های بوراتی، پیونددهنده‌های سیلیکاتی، دیرگدازهای یکپارچه.

۱- مقدمه

از جمله محصولات دیرگدازی که در کوره‌های پایه اکسیژنی، آستر پاتیل‌ها، کوره‌های قوس الکتریکی و انواع کنورتورها کاربرد گسترده‌ای دارند، دیرگدازهای منیزیا-کربنی هستند. این مواد عمدتاً شامل منیزیا و گرافیت و یک عامل اتصال هستند که

فازهای شیشه‌ای در دماهای بالا باعث بهبود فرآیند تفجوشی شده و در نتیجه استحکام را افزایش می‌دهند [۹].

از جمله پیونددهنده‌هایی که شدیداً مورد استفاده قرار می‌گیرند، پیونددهنده‌های فسفاتی پایه سدیمی هستند. طبیعت چند ظرفیتی اتم فسفر که منجر به اتصال متقاطع می‌شود و همچنین واکنش‌های شیمیایی که بین کلوخه‌های نسوز و پیونددهنده‌ها اتفاق می‌افتد، باعث افزایش استحکام جرم‌های حاوی این پیونددهنده‌ها در دمای پایین می‌گردد [۱۰].

از جمله پیونددهنده‌های مورد استفاده در جرم‌های بر پایه منیزیا، چسب‌های بوراتی هستند. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از اتصال بوراتی خاصیت چسبندگی جرم منیزیایی را مخصوصاً وقتی به یک سطح داغ پاشیده می‌شود، به میزان زیاد بهبود می‌بخشد [۱۱].

با توجه به اینکه سالانه هزاران تن دیرگداز ضایعاتی در صنایع مختلف به دلیل فرسودگی و تخریب دور ریخته می‌شود، با تکیه بر تکنیک‌های جدید، می‌توان با بازیافت دیرگدازهای فرسوده، میزان ضایعات را به حداقل رساند. بازیابی تمام یا قسمتی از دیرگدازها می‌تواند مزیت‌های فنی و اقتصادی فراوانی دربر داشته باشد. قوانین زیست محیطی و کنترل ضایعات از جمله عوامل موثر برای تبدیل مفهوم ضایعه به مفهوم استفاده می‌باشند [۱۲-۱۵]. بنابراین سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش، دیرگدازهای منیزیا-کربن فرسوده می‌باشند که پس از خردایش، دانه‌بندی شده و مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین امکان استفاده از پیونددهنده‌های مختلف نظیر هگزامتافسفات سدیم، تری‌پلی فسفات سدیم، بوراکس، اسید بوریک، آب شیشه و سیلیکات سدیم جامد به طور مجزا و همزمان مورد بررسی قرار گرفت.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- بررسی آجرهای باطله

با توجه به اهمیت تولید دیرگدازهای بی‌شکل با کیفیت و قابلیت کاربرد بالا در ایران و در راستای به تحقق رسیدن خودکفایی در

باعث چسبیدن ذرات به یکدیگر و ایجاد استحکام مناسب در بدنه می‌شود [۱].

برخی موانع در این زمینه با توجه به هم‌زیستی اکسیدهای دیرگداز مانند منیزیا در کنار کربن وجود دارد. یکی از مشکلات اصلی در جرم‌های حاوی منیزیا، تمایل منیزیا به واکنش با آب به فرم هیدروکسید منیزیم (Brucite) است. عدم تطابق چگالی بین منیزیا ($3/5 \text{ g/cm}^3$) و بروسیت ($2/4 \text{ g/cm}^3$) باعث ایجاد تنش‌هایی در داخل جرم در حین فرآیند خشک کردن می‌گردد که این تنش‌ها باعث ایجاد ترک و در نهایت افت خواص مکانیکی دیرگداز می‌گردد. طی بررسی‌های انجام شده استفاده از میکروسیلیس در ترکیب دیرگداز تاحدی با این مشکل مقابله کرده است [۲ و ۳].

اگرچه دیرگدازهای منیزیا-کربن مقاومت به سرباره و مقاومت به شوک حرارتی خوبی دارند که ناشی از وجود میزان مناسب کربن است اما به خاطر حضور کربن با مشکلاتی مانند استحکام مکانیکی پایین و مقاومت کم در مقابل اکسیدشدن مواجه‌اند بنابراین این مواد معمولاً در اتمسفرهای احیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با جایگزینی مقداری از گرافیت مورد استفاده توسط نانو کربن می‌توان تا حدی این اثرات را کاهش داد [۴-۷].

یکی از نیازهای اصلی در زمینه دیرگدازهای یکپارچه وجود اتصالات قوی و پایدار در زمینه جرم است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده و با عوامل تشکیل دهنده جرم سازگار باشد. در صنعت فولاد تلاش‌های زیادی جهت ساختن آستر ریختنی دائمی برای پاتیل‌های فولاد سازی انجام شده است. در بیشتر موارد این جرم‌های ریختنی بر پایه مخلوط‌های منیزیا-آلومینا-اسپینل بدون کربن بوده و تنها به دلیل مقاومت ناکافی در مقابل سایش سرباره، برای بدنه مناسب بوده‌اند و در خط سرباره به کار نرفته‌اند. بنابراین خط سرباره همچنان باید با آجرهای منیزیا-کربن (MgO-C) آستر شود [۸].

تحقیقات زیادی جهت استفاده از پیونددهنده‌های سیلیکاتی در صنعت نسوز صورت گرفته است. این پیونددهنده‌ها با ایجاد

۲-۳- آماده سازی و بررسی خواص نمونه‌ها

ابتدا ترکیبات مختلفی از مواد اولیه طبق جدول ۲ تهیه شد. مخلوط هر یک از ترکیبات پس از افزودن آب و همگن سازی با استفاده از یک همزن آزمایشگاهی، در قالب‌های مکعبی با ابعاد $50 \times 50 \times 50$ میلی متر مکعب ریخته شد و پس از قرارگیری به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط از قالب خارج گردیده و به مدت ۷ ساعت در دمای 200°C درجه سانتی‌گراد به منظور تمپر کردن نمونه‌ها جهت ایجاد اتصال اولیه، انسجام بیشتر و خروج آرام آب فیزیکی از آن‌ها در خشک کن قرار داده شدند. سپس سه نمونه از هر ترکیب در یک کوره الکتریکی به طور مجزا در دمای 1100°C در بستر کک و با افزودن ۳٪ کاربید سیلیسیوم به ترکیب خام جهت جلوگیری از اکسیداسیون کربن، به مدت ۲ ساعت پخت گردیدند.

جدول (۱): آنالیز عنصری فلورسانس پرتو ایکس آجرهای فرسوده

| عنصر | مقدار (%) |
|--------------------------------|-----------|
| MgO | ۷۱/۲۲ |
| Al ₂ O ₃ | ۶/۱۰ |
| SiO ₂ | ۴/۷۳ |
| Fe ₂ O ₃ | ۳/۳۹ |
| CaO | ۳/۲۱ |
| TiO ₂ | ۰/۳۴ |
| Cr ₂ O ₃ | ۰/۷۶ |
| S | ۰/۴۴ |
| K ₂ O | ۰/۴۳ |
| MnO | ۰/۱۸ |
| P ₂ O ₅ | ۰/۲۹ |
| CuO | ۰/۰۸ |
| ZnO | ۰/۰۳ |
| Graphite | ۹/۸ |
| مجموع | ۱۰۰/۰۰ |

صنعت دیرگداز کشور و کمبود منابع منیزیا با خلوص بالا در ایران و لزوم واردات از چین، تا حد امکان سعی شد از مواد اولیه مصرفی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند، استفاده گردد. بدین منظور از آجرهای فرسوده منیزیا کربنی تهیه شده از پاتیل فولادسازی استفاده گردید. در جدول ۱ و شکل ۱ به ترتیب نتایج طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) که به صورت اکسیدی محاسبه شده و الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) گرفته شده از آجرهای باطله منیزیا-کربن آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان گفت آجرهای دیرگداز مورد استفاده از نوع آجر دیرگداز منیزیا-کربن پرآلومین (MAC) بوده‌اند. ضمن آنکه درصد ترکیبات سرباره‌ای نظیر قلیایی‌ها و قلیایی‌های خاکی، CaO، SiO₂، Al₂O₃ و Fe₂O₃ نیز افزایش داشته است. وجود اسپینل گویای واکنش منیزیا موجود در بدنه آجر با آلومینایی است که از قبل به ترکیب آجر افزوده شده است.

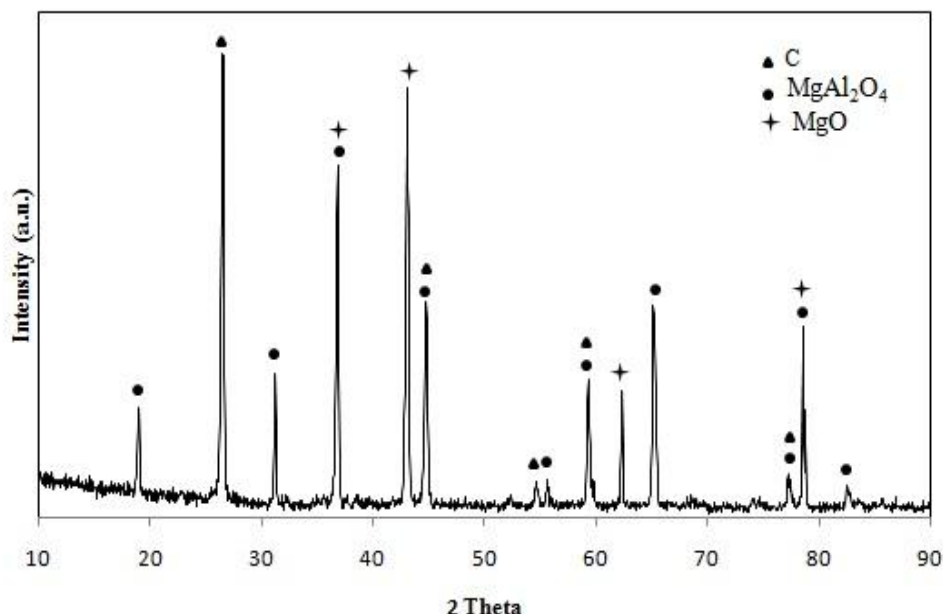
۲-۲- تهیه اگریگیت‌های دیرگداز بازیافتی از آجرهای

باطله

به منظور تهیه اگریگیت‌های دیرگداز بازیافتی از آجرهای ضایعاتی، ابتدا آجرها توسط سنگ شکن فکی خردایش یافته و سپس با استفاده از الک در اندازه‌های ۳-۵، ۱-۳ و ۰-۱ میلی متر دانه بندی شده و به عنوان اگریگیت‌های اصلی بدنه دیرگداز مورد استفاده قرار گرفتند. پس از خردایش آجرهای فرسوده و عبور آن‌ها از الک با شماره مش ۴، ۶ و ۱۸ از معادله آندریازن بصورت رابطه زیر برای محاسبه توزیع اندازه ذرات استفاده گردید.

$$CPFT = (d/D)^n \times 100 \quad (1)$$

در معادله بالا CPFT: درصد تجمعی ذرات کوچکتر از اندازه d، d: اندازه ذرات، D: اندازه بزرگترین ذره در توزیع و n: ضریب توزیع ($0.4 \sim 0.2$) می‌باشد. در این محاسبه بهترین ضریب توزیع بدست آمده ۰/۲۵ بود که تراکم بهتری را ارائه نمود.



شکل (۱): الگوی پراش پرتو ایکس آجرهای فرسوده

های دیرگداز و پیونددهنده اتفاق می افتد، باعث افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی جرم‌های حاوی این پیونددهنده‌ها در دمای پایین (200°C) نسبت به نمونه بدون پیونددهنده می‌گردد (لازم به ذکر است که نمونه بدون پیوند دهنده به دلیل استحکام ناکافی، در آب متلاشی شده و این امر مانعی بر سر راه اندازه‌گیری خواص فیزیکی این نمونه ایجاد کرد). بیشترین مقادیر استحکام در دمای 200°C درجه سانتی‌گراد به ترتیب مربوط به نمونه‌های حاوی آب شیشه، هگزامتافسفات سدیم، سیلیکات سدیم جامد و بوراکس بود. در سایر نمونه‌ها مقادیر استحکام، نسبت به استحکام نمونه‌های ذکر شده اعداد قابل توجهی نیستند. مقدار خواص فیزیکی و مکانیکی بالای پیونددهنده‌های سیلیکاتی را می‌توان به مصرف میزان آب کمتر (جدول ۲) در ترکیب نسبت داد.

پس از این مرحله، خواص فیزیکی (دانسیته حجمی و درصد تخلخل ظاهری) با استفاده از استاندارد ASTM C20-92 و خواص مکانیکی (استحکام فشاری سرد) با استفاده از استاندارد ASTM C133-97 اندازه‌گیری شد. سپس از هر گروه بهترین پیونددهنده انتخاب و به صورت همزمان با سایر پیونددهنده‌ها در ترکیب جرم استفاده شد. در پایان از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) جهت انجام بررسی‌های فازی و ریزساختاری استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر استفاده مجزا و همزمان از مواد افزودنی در دمای 200°C

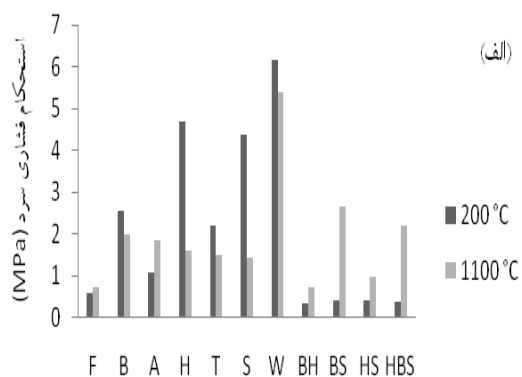
شکل ۲ (الف، ب و ج) به ترتیب میانگین نتایج اندازه‌گیری شده از خواص مکانیکی (استحکام فشاری سرد) و خواص فیزیکی (دانسیته بالک و تخلخل ظاهری) مربوط به حداقل سه نمونه از هر فرمولاسیون را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، روند کلی تغییرات خواص در دماهای مختلف در تمامی ترکیبات برقرار است. واکنش‌های شیمیایی که بین اگریگیت

جدول (۲): مواد اولیه و ترکیب مورد استفاده

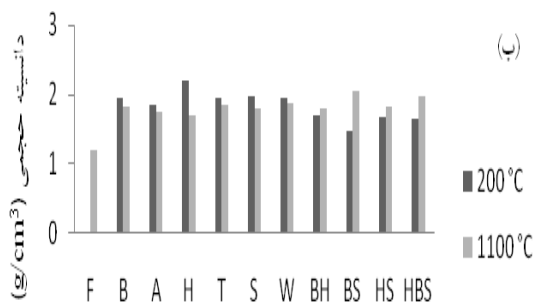
| مواد اولیه کد نمونه | اگریت باز یافت شده | میکرو سیلیس | نانو کربن (دوده) | هگزامتا فسفات سدیم | تری پلی فسفات سدیم | سیلیکات سدیم | آب شیشه | بوراکس | اسید بوریک | آب (+۱۰۰) |
|---------------------|--------------------|-------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|---------|--------|------------|-----------|
| F | ٪۹۰ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | - | - | - | - | ٪۲۰ |
| B | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | - | - | ٪۵ | - | ٪۱۲ |
| H | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | - | - | - | ٪۱۲ |
| S | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | ٪۵ | - | - | - | ٪۹ |
| T | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | ٪۵ | - | - | - | - | ٪۱۲ |
| W | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | - | ٪۵ | - | - | ٪۳ |
| A | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | - | - | - | ٪۵ | ٪۱۲ |
| BH | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | ٪۲٫۵ | - | - | - | ٪۲٫۵ | - | ٪۱۲ |
| BS | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | - | - | ٪۲٫۵ | - | ٪۲٫۵ | - | ٪۱۰ |
| HS | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | ٪۲٫۵ | - | ٪۲٫۵ | - | - | - | ٪۱۱ |
| BHS | ٪۸۵ | ٪۵ | ٪۵ | ٪۱٫۶ | - | ٪۱٫۶ | - | ٪۱٫۶ | - | ٪۱۰ |

جالب توجه بوجود آمدن این پیوندها و افزایش استحکام در دمای 200°C است که قدرت بکارگیری آن‌ها را در جرم دیرگداز ایجاد می‌کند. جرم‌های دیرگداز (دیرگدازهای یکپارچه) معمولاً پس از تعمیر پاتیل، پیش گرم شده و سپس به محل مصرف می‌روند. گیرش این فازها در شرایط پیش گرم نکته مثبتی در استفاده از این نوع پیونددهنده‌ها می‌باشد. بنابراین از این جرم‌ها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد و در درجه حرارت‌های بالا ایجاد اتصالات سرامیکی در اثر پدیده تفجوشی سبب افزایش استحکام و خواص فیزیکی دیرگداز می‌شود. همچنین با توجه به خاصیت نمک بازی بودن پیونددهنده‌های بوراتی، این مواد نتوانسته‌اند در این دما به خوبی با زمینه پیوند برقرار کنند. با توجه به اینکه کاربرد این نوع جرم‌ها در مصارف صنعتی است و در کارخانه تهیه شده و در محل مصرف با آب ترکیب می‌شوند لذا علی‌رغم بهتر بودن خواص ارائه شده توسط آب شیشه، در این پژوهش ترجیح داده شد از سیلیکات سدیم به عنوان نماینده گروه پیونددهنده‌های سیلیکاتی استفاده گردد. همچنین هگزامتا فسفات سدیم و بوراکس به علت ارائه نتایج بهتر به عنوان نماینده دو گروه دیگر انتخاب شدند.

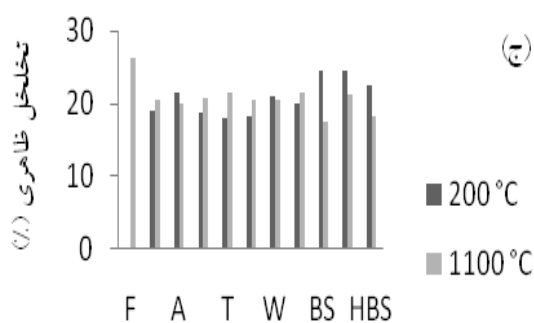
در مورد پیوند دهنده‌های فسفاتی، تشکیل پیوندهای فسفاتی نظیر $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ، $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ، AlPO_4 احتمالاً دلیل افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی است که از واکنش شیمیایی این پیونددهنده‌ها با منیزیا و آلومینای موجود در ترکیب آجر فرسوده، حاصل شده‌اند و اتصالات فسفاتی ایجاد کرده‌اند (شکل ۳). باغنده و همکاران نیز نشان دادند که استفاده از ۵ درصد هگزامتافسفات سدیم در جرم‌های کم سیمان آلومینا-منیزیا مفید بوده و باندهای فسفاتی ناشی از آن (AlPO_4)، $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ و $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ سبب بهبود خواص مکانیکی جرم مورد نظر می‌گردد [۱۶]. حال آن که سلیکسیلوقلو^۱ و قانقر^۲ تاثیر استفاده از تری پلی فسفات سدیم را بر خواص مکانیکی و فیزیکی دیرگدازهای یکپارچه فوق العاده کم سیمان بر پایه آلومینا فیوزد قهوه‌ای مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که استفاده از ۵، ۱۰٪ تری پلی فسفات سدیم، خواص جریان یابی جرم را بهبود می‌بخشد اما دانسیته و استحکام فشاری را کاهش و میزان تخلخل ظاهری را نسبت به نمونه بدون تری پلی فسفات سدیم افزایش می‌دهد [۱۷]. نکته



ترکیب



ترکیب



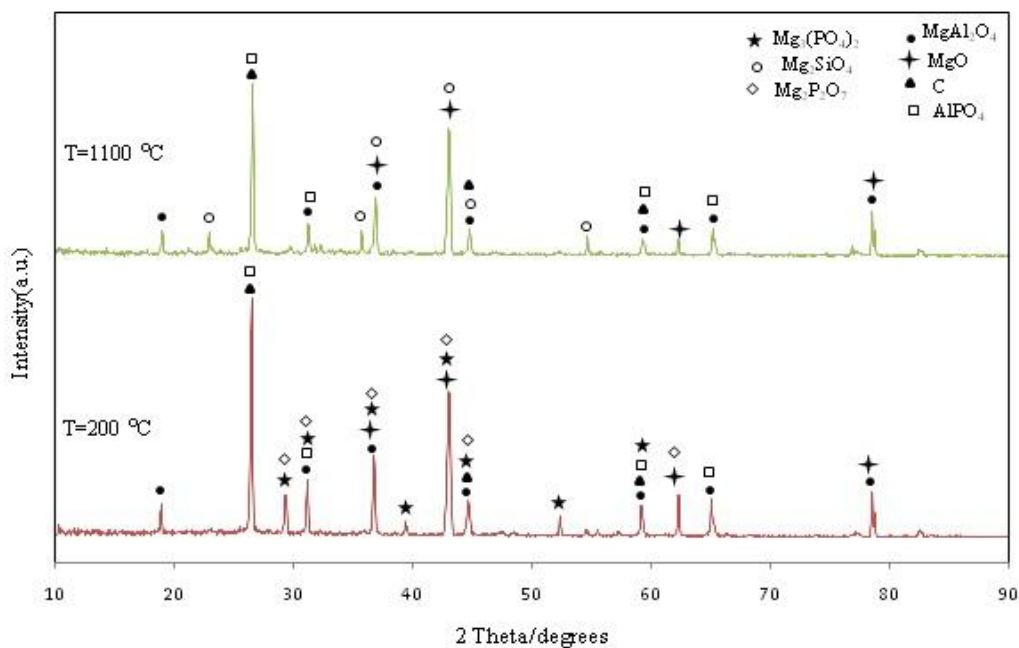
ترکیب

مطابق شکل ۲ (الف، ب و ج) در اثر به کارگیری همزمان چند پیونددهنده در دمای ۲۰۰ °C، به نظر می‌رسد که این پیونددهنده‌ها در کار یکدیگر اختلالی ایجاد نموده باشند و این اثر متقابل، بر خواص فیزیکی و مکانیکی جرم تاثیر منفی داشته است و این خواص را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است به طوری که در نمونه‌های حاوی هگزامتافسفات سدیم، احتمالاً این افت به خاطر اختلال در تشکیل پیوندهای فسفاتی است.

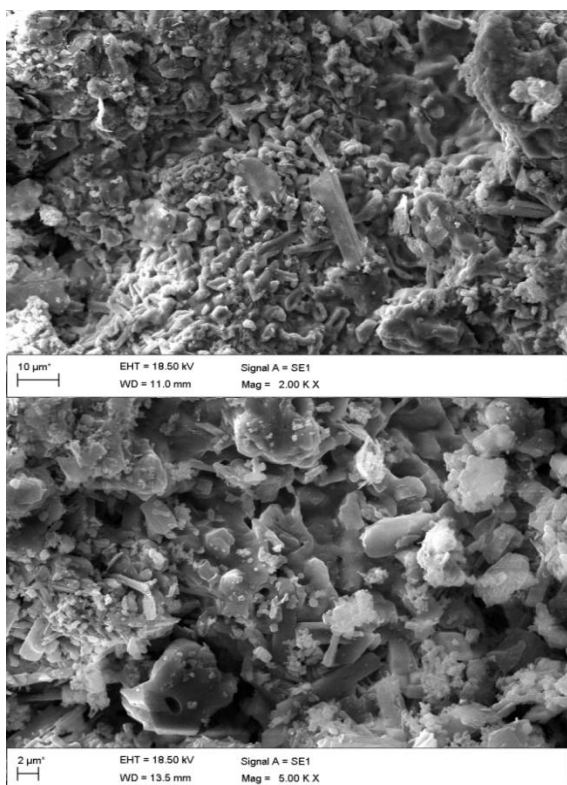
۳-۲- بررسی اثر استفاده مجزا و همزمان از مواد افزودنی در دمای ۱۱۰۰ °C

با افزایش دما تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد و نگهداری نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در این دما، کاهش نسبتاً شدید خواص فیزیکی و مکانیکی در نمونه‌هایی که پیونددهنده‌ها به صورت مجزا استفاده شده‌اند، مشاهده می‌شود. خاصیت گدازآور بودن اسید بوریک احتمالاً علت افزایش استحکام نمونه حاوی این ماده نسبت به دمای پایین شده است. این ماده در دمای بالا فازهای مذاب بیشتری تولید کرده و در نتیجه استحکام را افزایش می‌دهد. هایاشی^۳ و همکاران نشان دادند که استفاده از ترکیبات بوراتی در آجرهای منیزیا-کربن نفوذ سرباره به درون دیرگداز را کنترل می‌کند و استحکام را بهبود می‌بخشد [۱۸]. در مورد نمونه‌های حاوی پیوند دهنده‌های فسفاتی، همانطور که در الگوی پراش پرتو ایکس نمونه حاوی ۵ درصد هگزامتافسفات سدیم (شکل ۳) مشاهده می‌شود، با افزایش دما از ۲۰۰ به ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد اتصالات فسفاتی تشکیل شده، تغییر وضعیت داده و تجزیه شده‌اند که این امر احتمالاً علت افت خواص بوده است.

شکل (۲): نمودار تغییرات: (الف): استحکام فشاری سرد، (ب): دانسیته حجمی و (ج): تخلخل ظاهری (%) ترکیبات مختلف در دماهای ۲۰۰ °C و ۱۱۰۰ °C



شکل (۳): الگوی پراش پرتو ایکس نمونه H در درجه حرارت‌های ۲۰۰ °C و ۱۱۰۰ °C



شکل (۴): تصاویر SEM نمونه حاوی بوراکس و سیلیکات سدیم در دمای

۱۱۰۰ °C در بزرگنمایی‌های مختلف

وجود فاز شیشه را می‌توان در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در بز نمایی‌های مختلف (شکل ۴) مشاهده کرد. اما به کار بردن همزمان هگزامتافسفات سدیم همراه با بوراکس و سیلیکات سدیم سبب تضعیف خواص می‌شود که با توجه به نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس گرفته شده از نمونه حاوی هگزامتافسفات سدیم (شکل ۳) احتمالاً به دلیل تضعیف و از بین رفتن پیوندهای فسفاتی ایجاد شده در نمونه می‌باشد. که این قضیه در به کار بردن همزمان هر سه پیوند دهنده نیز مشهود است. در شکل ۵ ریزساختار یکنواخت جرم حاوی سه پیونددهنده هگزامتافسفات سدیم، بوراکس و سیلیکات سدیم در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است که عناصر موجود در آن در طیف EDS (شکل ۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به علت پخت در دمای پایین، فاز شیشه‌ای در مقیاس گسترده ایجاد نشده است و ذرات کریستالی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

در این جا لازم به ذکر است که عنصر بور یک عنصر سبک در جدول تناوبی است و بنابراین EDS قادر به نمایش آن نمی‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از هگزامتاسفات سدیم، آب شیشه و سیلیکات سدیم به صورت مجزا باعث افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی جرم‌های حاوی این پیونددهنده‌ها در دمای پایین (200°C) می‌گردد و از این جرم‌ها برای تعمیر سرد پاتیل می‌توان استفاده کرد.

۲- استفاده همزمان از پیونددهنده‌ها در دمای پایین (200°C) تاثیر منفی بر خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها داشت که احتمالاً به خاطر اختلال در تشکیل پیوندهای فسفاتی است.

۳- در اثر بکارگیری همزمان سیلیکات سدیم و بوراکس در دمای 1100°C ، فاز شیشه ایجاد شده و با نفوذ این فاز به درون تخلخل‌ها و پر کردن تخلخل‌های ساختار، نمونه‌های حاوی این افزودنی‌ها در مقایسه با سایر نمونه‌ها خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری را از خود نشان داده‌اند.

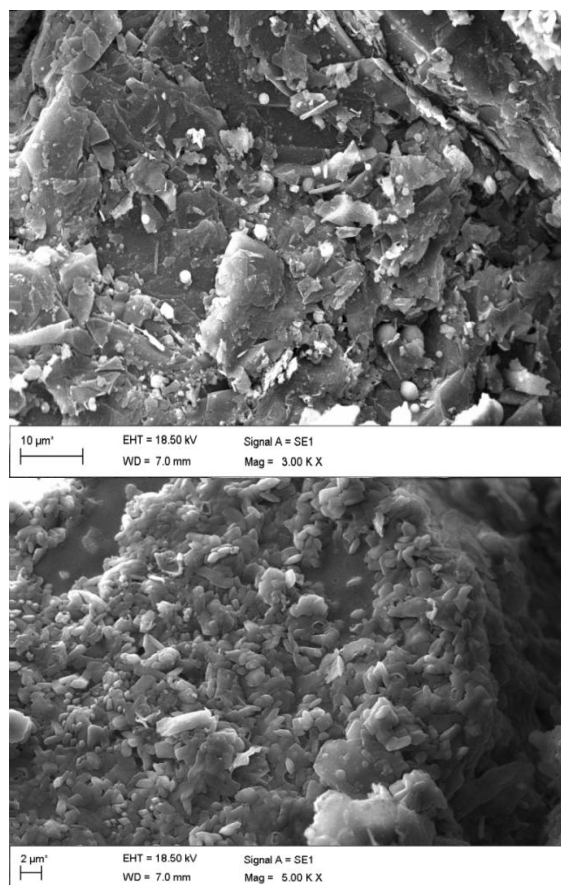
۴- به طور کلی استفاده از دیرگدازهای مستعمل فولادسازی دارای بهره‌برداری فنی و اقتصادی قابل توجهی خواهد بود که با توجه به ناخالصی‌های ایجاد شده در هر سیستم، احتیاج به تحقیق و پژوهش‌های موردی می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

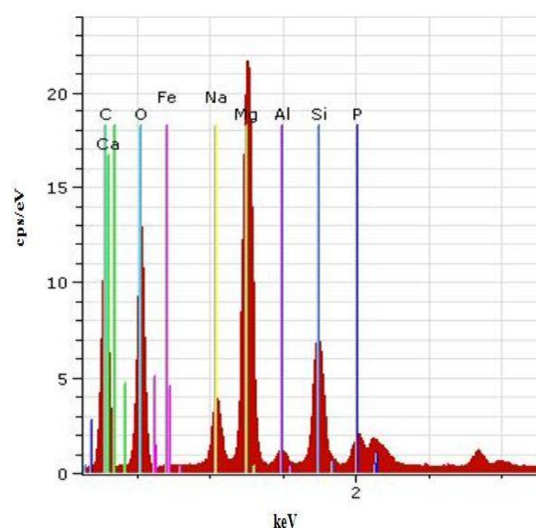
از شرکت نانو لوتوس کیمیا واقع در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان به‌خاطر همکاری در انجام آزمایشات میکروسکوپ الکترونی روبشی و هم‌فکری در اجرای پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

- [1] V. G. Rocha, R. Menendez, R. Santamaria, C. Blanco & M. Granda, "Oxidation Behavior of Magnesia-Carbon Materials Prepared with Petroleum Pitch as Binder", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 88, pp. 207-212, 2010.



شکل (۵): تصاویر SEM نمونه BHS در دمای 200°C بزرگنمایی‌های مختلف



شکل (۶): طیف EDS نمونه حاوی سه پیونددهنده هگزامتاسفات سدیم، بوراکس و سیلیکات سدیم

- of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 69-78, 2002.
- [13] F. Arianpour, F. Kazemi & F. Golestani Fard, "Characterization, Microstructure and Corrosion Behavior of Magnesia Refractories Produced from Recycled Refractory Aggregates", Minerals Engineering, Vol. 23 pp. 273-276, 2010.
- [14] A. N. Conejo, R. G. Lule, F. Lopez & R. Rodriguez, "Recycling MgO-C Refractory in Electric Arc Furnaces", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 49, pp. 14-31, 2006.
- [15] S. Hanagiri, A. Shimpo, T. Inuzuka, S. Sakaki, T. Matsui, S. Aso, T. Matsuda & H. Nakagawa, "Recent Improvement of Recycling Technology for Refractories", Nippon Steel Technical Report, No. 98, 2008.
- [۱۶] م. باغنده، ا. منشی و ر. عمادی، " بررسی تاثیر استفاده از اتصالات فسفاتی در جرم های کم سیمان"، مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته، جلد یک، شماره یک، ص ۷-۱، ۱۳۹۱.
- [17] O. Celikcioglu & A. Gungor, "The Effect of Sodium Tripolyphosphate on the Physical and Mechanical Properties of Brown Fused Alumina Based Ultra Low Cement Castable Refractories", International Iron & Steel Symposium, pp. 400-405, Turkiye, 2012.
- [18] S. Hayashi, H. Takahashi & A. Watanabe, "Behavior of Boric Compounds Added in MgO-C Bricks", Taikabutsu Overseas. Vol. 11, pp. 12-19. 1991.
- [2] E. Y. Sako, M. A. L. Braulio & V. C. Pandolfelli, "Microstructural Evolution of Magnesia-Based Castables Containing Microsilica", Ceramic International, Vol. 38, pp.6027-6033, 2010.
- [3] W. M. Silva, C. G. Aneziris & M. A. M. Brito, "Effect of Alumina and Silica on Hydration Behavior of Magnesia-Based Refractory Castables", American Ceramic Society, Vol. 94, No. 12, pp. 4218-4225, 2011.
- [4] S. Zhang, N. J. Marriott & W. E. Lee, "Thermochemistry and Microstructures of MgO-C Refractories Containing Various Antioxidants", Journal of European Ceramic Society, Vol. 21, pp. 1037-1047, 2001.
- [5] L. Musante, L. F. Martorello, P. G. Galliano, A. L. Cavalieri & A. G. Tomba Martinez, "Mechanical Behavior of MgO-C Refractory Bricks Evaluated by Stress-Strain Curves", Ceramics International, Vol. 38, pp. 4035-4047, 2012.
- [6] M. Bag, S. Adak & R. Sarkar, "Study on Low Carbon Containing MgO-C Refractory: Use of Nano Carbon", Ceramics International, Vol. 38, pp. 2339-2346, 2012.
- [7] L. Bo, S. Jia-lin, T. Guang-sheng, L. Kai-qi, L. Lin & L. Yong-feng, "Effects of Nanometer Carbon Black on Performance of Low-Carbon MgO-C Composites", Journal of Iron and Steel Research, Vol. 17, No.10, pp. 75-78, 2010.
- [8] H. Jansen, S. Dudczig & C. G. Aneziris, "Magnesia-Carbon Castable with New Properties", 51st Colloquium Refractories, Aachen, pp.84-87, 2008.
- [9] G. L. Paraskvi & G. K. Christos, "Composition of Periclase and Calcium-Silicate Phases in Magnesia Refractories Derived from Natural Microcrystalline Magnesite", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 86, No. 6, pp. 1568-1574, 2005.
- [10] C. C. Stephen & L. B. Gordon, "Handbook of Industrial Refractories Technology", Noyes Pub. Co. 1992.
- [11] US Patent, "Gunnable Refractory", No. 3540897, 1970.
- [12] K. ing Kwong & J. P. Bennett, "Recycling Practices of Spent MgO-C Refractories", Journal

۷- پی نوشت

- [1] O. Celikcioglu
[2] Gungor
[3] S. Hayashi