



## سمپوزیوم فولاد ۹۳

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۳  
یزد، مجتمع معدنی و صنعتی اردکان



انجمن آهن و فولاد ایران

### تبدیل مستقیم سرباره مذاب کوره بلند به پشم سرباره برای اولین بار در ایران و جهان و بررسی مشخصات پشم سرباره تولیدی

ثانی عابدینی<sup>۱</sup>، حسین پورمقدم<sup>۲</sup>، مهران رضایی<sup>۳</sup>، سیدحمید حسینی<sup>۴</sup>، ایرج رخصتی<sup>۵</sup>  
<sup>۱</sup>مدیر پژوهش فناوری و بومی سازی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان  
<sup>۲</sup>مدیرعامل شرکت تاراگین،<sup>۳</sup>مدیر کوره بلند شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان  
<sup>۴</sup>مدیر امور فنی بهره برداری شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان<sup>۵</sup>مدیر ارشد HSE شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

#### چکیده

پشم سرباره به عنوان یک عایق حرارتی بسیار عالی در صنایع مختلف از جمله صنایع آهن، فولاد، نفت و گاز، پتروشیمی، همچنین تأسیسات ساختمان‌های مسکونی، آکوستیک ساختمان‌ها، پارچه‌ها و لباس آتش‌نشانی و نسوز و ... موارد مصرف بسیار زیادی را به خود اختصاص داده است. روش تولید پشم سرباره به این صورت است که ابتدا سرباره منجمد شده کوره بلند را دانه‌بندی می‌نمایند و پس از ذوب کردن آن را برای تولید پشم سرباره استفاده می‌کنند. در این پژوهش برای اولین بار سعی شده است پشم سرباره مستقیماً از سرباره مذاب تولید شده توسط کوره بلند ذوب آهن اصفهان تولید گردد. لازم به ذکر است که انجام این فرآیند مزایای منحصر به فردی نسبت به روش متداول دارد. در ادامه سعی شده است توسط آزمون‌های مختلف، مشخصات پشم تولیدی از جمله کیفیت، استحکام مکانیکی، میزان هدایت حرارتی و ویژگی‌های آکوستیکی آن مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به دست آمده قابل قبول بودن تمامی این خواص را تأیید می‌نماید.

**کلمات کلیدی:** سرباره مذاب کوره بلند، پشم سرباره.

<sup>1</sup> saniabedini@yahoo.com

## مقدمه

پشم سرباره به عنوان یکی از تولیدات مهم در صنعت، کاربردهای زیادی داشته و موارد مصرف متعددی را برای پشم سرباره می‌توان نام برد. از جمله مهمترین موارد مصرف آن در تأسیسات و ساختمان‌های مسکونی، تأسیسات و تجهیزات صنایع آهن و فولاد و معادن، نفت و گاز و پتروشیمی، در آکوستیک ساختمان‌ها جهت کاهش سر و صدا، پارچه و لباس‌های آتشکاری و نسوز، کلاه ایمنی، لباس‌های عمومی و غیره می‌باشند.

در کوره بلند ذوب آهن اصفهان از محصول مذاب تولیدی ۷۴٪ چدن مذاب و ۲۶٪ سرباره مذاب تولید می‌باشد. عموماً برای تولید هر کیلوگرم چدن مذاب  $10^6 \times 13$  ژول و برای تولید هر کیلوگرم سرباره مذاب  $10^6 \times 89$  ژول انرژی مورد نیاز می‌باشد. به عبارتی با توجه به اعداد ارائه شده در بالا میزان مصرف انرژی برای تولید سرباره بیشتر از دو برابر میزان انرژی مورد نیاز برای تولید چدن می‌باشد. می‌توان گفت هزینه تولید ۳۵۰ کیلوگرم سرباره بالاتر از دو برابر هزینه تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم چدن می‌باشد. امروزه برای تولید پشم سرباره از سرباره منجمد شده کوره بلند استفاده می‌شود (۱-۴) اما بنابراین اگر بتوان از سرباره مذاب مستقیماً پشم سرباره را تولید کرد این کار از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است. زیرا ذوب مجدد سرباره سرد شده همراه با اتلاف زمان و مصرف انرژی بسیار زیاد می‌باشد.

برخی از مزایای تبدیل مستقیم سرباره مذاب کوره بلند به پشم سرباره به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- صرفه‌جویی در مصرف آب (نیازی به سرد کردن مذاب و تبدیل آن به ماسه یا سنگ نیست).
- ۲- کاهش آلودگی زیست‌محیطی.
- ۳- افزایش کیفیت محصول پشم سرباره (به دلیل همگن بودن سرباره مذاب و عدم وجود ذرات جامد در محصول و جلوگیری از انجام فعل و انفعالات مضر امکان و تولید الیافی طولانی‌تر و یکنواخت‌تر ۴- افزایش سرعت تولید، کاهش هزینه‌ها، سودآوری بالا و کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه.

با توجه به اینکه تولید پشم سرباره از سرباره سرد شده کوره بلند سال‌هاست که در جوار ذوب آهن اصفهان و توسط شرکت تارابگین انجام می‌شود، از طرف دیگر تمامی اطلاعات موجود در این زمینه به صورت اختراعات ثبت نشده بوده و مطالب مدونی در این زمینه وجود ندارد (۵-۹) لذا این بحث در مدیریت پژوهش، فناوری و بومی‌سازی مطرح گردید که چنانچه تولید پشم سرباره مستقیماً از مذاب کوره بلند صورت گیرد مزایای زیادی از جمله کاهش شدید مصرف برق که جهت ذوب سرباره سرد شده استفاده می‌شود و همچنین بهبود کیفیت پشم سرباره را به همراه خواهد داشت. بنابراین طبق برنامه‌ریزی

مورد اشاره در ذیل، مذاب کوره بلند به شرکت تارابگین که در جوار کارخانه ذوب آهن قرار دارد منتقل گردید و پشم سرباره براساس دستورالعمل تهیه شده مستقیماً از مذاب تولید گردید.

### مراحل انجام پروژه

ابتدا جهت ایمنی بالاتر کار مقرر گردید ابتدا تست سرد (انتقال پاتیل خالی از کارگاه سرباره کوره بلند به شرکت تارابگین) صورت گیرد که این کار با موفقیت انجام شد و مشکلات و مسائل ایمنی بررسی گردید. بعد از تست سرد، تست گرم با رعایت تمام موارد ایمنی و فنی انجام شد به طوری که ابتدا پاتیل با هماهنگی مدیریت برنامه ریزی و نظارت بر نگهداری و تعمیرات پیش گرم شد (تا دمای حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد) و همزمان با حرکت پاتیل های سرباره کوره بلند به سمت کارگاه سرباره، پاتیل پیش گرم شده نیز با کفی جرثقیل دار به سمت کارگاه سرباره انتقال داده شده و سپس مذاب سرباره از پاتیل سرباره کوره بلند به داخل پاتیل پیش گرم شده منتقل گردید (شکل ۱). با در نظر گرفتن کلیه موارد ایمنی فنی و همراهی یک دستگاه ماشین آتش نشانی و همچنین اسکورت، پاتیل مذاب سرباره به شرکت تارابگین منتقل گردید و مذاب سرباره به داخل کوره ذوب شرکت تارابگین ریخته شد (شکل ۲) و عملیات تولید پشم سرباره شروع گردید (شکل ۳).

### نتایج و بحث

در جدول ۳ ترکیب شیمیایی پشم سرباره با محصولات مشابه یعنی پشم سنگ و پشم شیشه مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنان که مشاهده می گردد پشم سرباره به دلیل محتوای سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) کمتر از پشم سنگ و بسیار کمتر از پشم شیشه امکان ایجاد بیماری ریوی (سیلیکوز) را کمتر کرده و لذا هنگام تماس با پوست بدن، میزان ایجاد حساسیت و خارش بسیار کمتر بوده و یا می تواند حساسیت ایجاد نکند. ترکیب شیمیایی اولیه پشم سرباره تولید شده به این روش از مرحله ماده اولیه تا مرحله ذوب و تبدیل شدن به محصول، به جز در موارد جزئی تغییر نخواهد کرد. سرباره کوره بلند به عنوان ماده اولیه تولید پشم سرباره در مقایسه با سنگ بازالت (به عنوان ماده اولیه تولید پشم سنگ) و یا ماسه سیلیسی (به عنوان ماده اولیه تولید پشم شیشه)، از کیفیت بسیار بالاتر و نیز خواص مطلوب تر و یکنواخت تر برخوردار است، و این مهم در نهایت باعث برتری آن در مقایسه با محصولات مشابه می گردد.

در عین حال، استفاده از سرباره کوره بلند که در واقع محصولات جنبی تولید محسوب می شود و تبدیل آن به پشم سرباره، از یک سو باعث افزایش بهره وری ناشی از بازیافت ارزشمند محصولات جنبی تولید و از طرف دیگر باعث کاهش قیمت تمام شده عایق تولیدی و در نتیجه کاهش هزینه های کل و سوددهی بالا می گردد.

پشم سرباره بدلیل محتوی بسیار پایین تر سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) از استانداردهای زیست محیطی بسیار بالاتری برخوردار می‌باشد. در ضمن کیفیت و خواص فیزیکی، استحکام مکانیکی، عدم هدایت حرارتی، ویژگی‌های آکوستیکی و ترکیب شیمیایی این نوع پشم سرباره از تمام پشم‌های عایق تولیدی بالاتر و از نظر بهداشتی بالاترین کیفیت را به خود اختصاص داده است.

در جدول ۱ برخی از مشخصات فیزیکی پشم سرباره که باعث تمایز این محصول از سایر محصولات مشابه خود می‌شود نشان داده شده است. در شکل ۴ نتایج آزمون‌های کشش بر روی پشم سرباره را در دماهای مختلف نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌شود، این ماده تا ماکزیمم دمای حدود ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد، تغییر طول ناچیزی داشته و از استحکام مکانیکی بسیار خوبی برخوردار است.

در جدول ۲ ضریب هدایت حرارتی پشم سرباره را با تعدادی دیگری از مصالح ساختمانی مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این ضریب هدایت حرارتی در حد پشم سنگ و اندکی کمتر از پشم شیشه می‌باشد. در شکل ۵ نیز اثر تغییرات دانسیته بر ضریب هدایت حرارتی پشم سرباره نشان داده شده است. نتایج به دست آمده حاکی از عایق بودن بسیار خوب این محصول تا درجه حرارت‌های بالا می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که کمترین میزان ضریب هدایت حرارتی در چگالی تقریبی  $120 - 100 \text{ kg/m}^3$  حاصل می‌گردد.

یکی دیگر از خواص مهم پشم سرباره عایق صوت بودن آن می‌باشد. ساختار الیاف‌گونه پشم سرباره در هنگام انتقال انرژی صوتی از محیط قسمت اعظم انرژی صوتی را در خود جذب نموده و باعث کاهش شدت انتقال صدا می‌گردد. در شکل ۶ تغییرات ضریب جذب صوتی پشم سرباره در فرکانس‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد پشم سرباره در دامنه وسیعی از فرکانس‌های صوتی دارای ضریب جذب صوتی بسیار مناسب بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ می‌باشد.

به دلیل اینکه سرباره کاملاً همگن بوده و عاری از هرگونه ذرات ریز جامد می‌باشد و درجه حرارت ریخته‌گری بالایی (حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد) دارد از کیفیت بالاتری برخوردار است. لذا پشم سرباره تولید شده سفیدتر و نرم‌تر می‌باشد و می‌توان از آن کلیه محصولات ثانویه را تولید کرد. اگر بخواهند پشم سرباره از سرباره جامد تهیه شود به علت اینکه سرباره دوباره ذوب می‌گردد برخی واکنش‌های شیمیایی مضر انجام می‌شود و ترکیبات کمپلکس ایجاد می‌کند و همچنین در کوره‌ها به دلیل فرصت کم، ذوب همگن نشده و تعدادی ذرات جامد ریز وارد محصول می‌گردد که بسته به میزان این ذرات کیفیت پشم کاهش می‌یابد. علاوه بر این هنگام سرد کردن مذاب سرباره به روش سابق علاوه بر مصرف بسیار بالای آب، بخار تولید شده حاوی گازهای بسیار مضر و خطرناک ایجاد می‌کند که ناخواسته وارد محیط می‌گردد.

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

- ۱- انجام این پژوهش نشان داد که می‌توان از سرباره مذاب کوره بلند مستقیماً برای تولید پشم سرباره استفاده نمود.
- ۲- ترکیب شیمیائی پشم سرباره تولیدی به دلیل پایین بودن درصد  $\text{SiO}_2$  در آن در مقایسه با پشم سنگ یا پشم شیشه از نظر استانداردهای زیست‌محیطی بسیار مناسب به نظر می‌رسد.
- ۳- پشم سرباره تولیدی تا دمای حدود ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد درصد افزایش طول بسیار ناچیزی از خود نشان می‌دهد (کمتر از یک درصد).
- ۴- پشم سرباره تولیدی در حوالی دانسیته‌ای برابر با  $100 \text{ kg/m}^3$  دارای کمترین ضریب هدایت حرارتی می‌باشد (بین  $0/031$  تا  $0/032 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ ).
- ۵- با زیاد شدن فرکانس، ضریب جذب پشم سرباره تولیدی افزایش می‌یابد ولی بعد از عبور از فرکانس حدود ۱۰۰۰ هرتز، ضریب جذب صوتی آن در حدود  $0/8$  باقی می‌ماند.

### منابع

- [1] [http://www.phxslag.com/tech/mineral\\_wool1221](http://www.phxslag.com/tech/mineral_wool1221).
- [2] <http://www.eurima.org/about-mineral-wool>.
- [3] [http://www.graphalloy.com/html/slag\\_wool.html](http://www.graphalloy.com/html/slag_wool.html).
- [4] L. V. Brodetsky, Equipment for producing slag wool from blast furnace slag, Metallurgist, December 1957, Volume 1, Issue 12, pp 789-790.
- [5] Patent US2829959 - Process for producing slag wool.
- [6] Mineral wool - Wikipedia, the free encyclopedia.
- [7] US 4218201 A, Apparatus for producing solidified granular slag from molten blast furnace slag.
- [8] US 2810158 A, Process and apparatus for the production of mineral and slag wool.
- [9] US 4352764 A, Method of making slag sand and slag wool.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی پشم سرباره.

ویژگی‌های پشم سرباره (Slag wool characteristics)	خاصیت فیزیکی (Physical Properties)
$30-250 \text{ Kg/m}^3$	Bulk Density (دانشه توده)
$1300^\circ\text{C}$	Melting Point (نقطه ذوب)
$750^\circ\text{C}$	Max Service Temp. (ماکزیمم دمای کاری)
$4-6 \mu\text{m}$	Fibers Diameter (قطر الیاف)
از قابل انعطاف تا سخت و مستحکم Form Flexible to Rigid	استحکام (Strength)
غیرهادی (عایق) Non-Conductive	هدایت الکتریکی (Elec. Conuctivity)
شعله‌ور نمی‌شود Non- Flammable	قابلیت اشتعال (Flammability)

جدول ۲. مقایسه ضریب هدایت حرارتی پشم سرباره را با تعداد دیگری از مصالح ساختمانی.

مصالح Material	ضریب هدایت الکتریکی K (W/m,ok)
پلی یورتان (Poly urethane)	۰/۰۲
پشم سرباره (Slag wool)	۰/۰۳۵
پشم سنگ (Rock wool)	۰/۰۳۵
پلی استایرن (Poly Styrene)	۰/۰۴
پشم شیشه (Glass wool)	۰/۰۴۵
چوب (Wood)	۰/۱۳
بتن گازی (Porous Concrete)	۰/۲۲
گچ (Chalk)	۰/۵۰
آجر (Masonry)	۰/۶۵
بتن (Concrete)	۲/۰۰

جدول ۳. مقایسه ترکیب شیمیایی پشم سرباره با پشم سنگ و پشم شیشه.

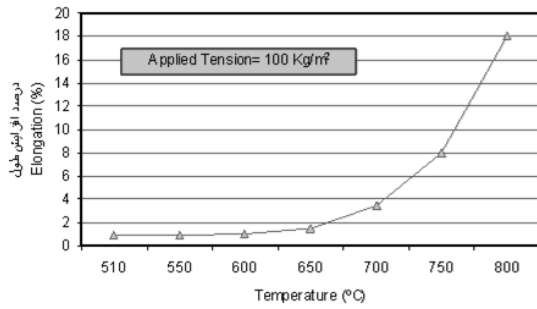
ماده Material	ترکیب شیمیایی (%) (Chemical Composition (%))									
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ti <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
پشم سرباره Slag wool	۳۲-۴۱	۲۷-۴۰	۸-۱۵	۴-۱۳	۰-۰/۵	۰-۲	۰-۰/۵	۰-۱	۰/۱-۰/۵	۰-۲
پشم سنگ Rock wool	۴۵-۵۲	۱۰-۱۲	۸-۱۴	۸-۱۵	۰/۸-۲	۰/۸-۳/۳	۱/۵-۲/۷	---	۰/۱-۰/۳	۵/۵-۶/۶
پشم شیشه Glass wool	۳۴-۷۳	۰-۲۲	۳-۱۴/۵	۰-۵/۵	۰-۳/۵	۰/۵-۱۶	۰-۸	۰/۵۹ PbO	---	۰-۰/۳



شکل ۲. تخلیه مذاب سرباره کوره بلند ذوب آهن  
اصفهان به داخل کوره ذوب.

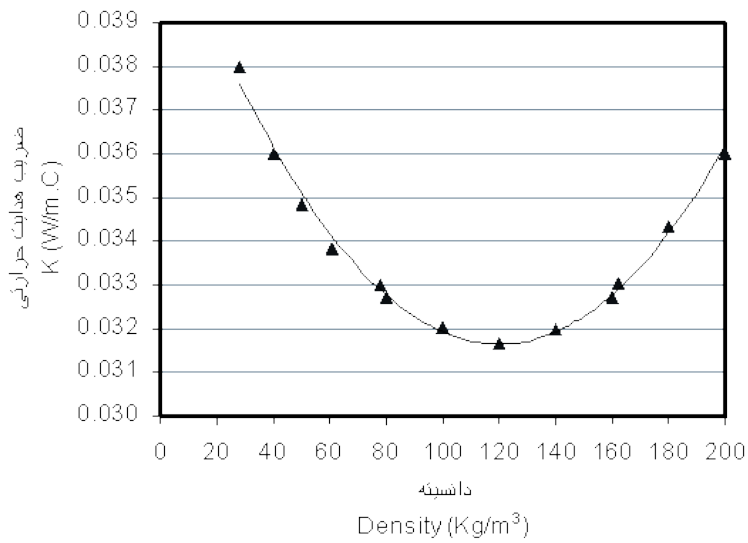


شکل ۱. تخلیه مذاب سرباره کوره بلند ذوب آهن  
اصفهان به پاتیل قابل حمل.

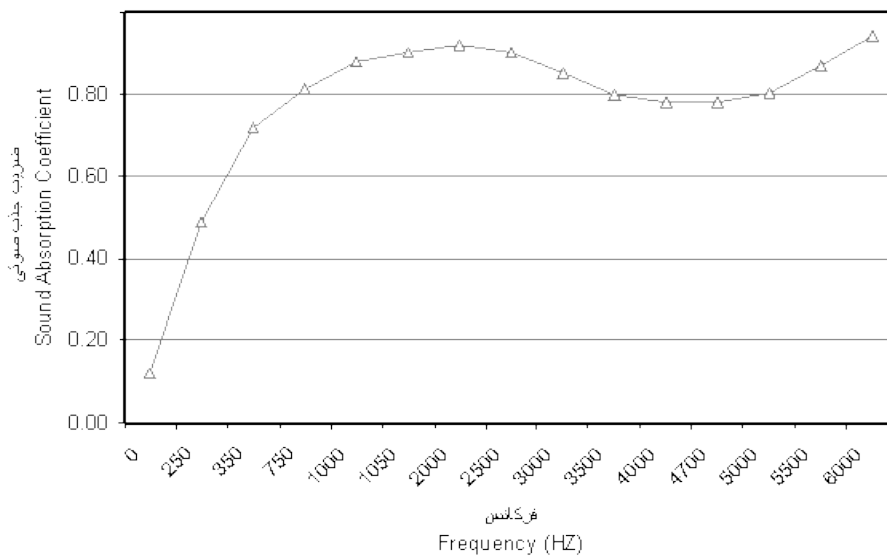


شکل ۴. تأثیر دما بر میزان افزایش طول پشم سرباره.

شکل ۳. پشم سرباره تولیدی (محصول) از سرباره مذاب کوره بلند ذوب آهن اصفهان.



شکل ۵. اثر تغییرات دانسیته بر ضریب هدایت حرارتی پشم سرباره.



شکل ۶. تغییرات ضریب جذب صوتی پشم سرباره را در فرکانس مختلف.