

تاثیر استفاده از قراضه در کاهش مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد

سمیرا فاضلی ویسری - منصور عادل

سازمان بهره‌وری انرژی ایران - شرکت سامان انرژی اصفهان

mansouradeli@gmail.com-fazeli@saba.org.ir

چکیده

در این مقاله پس از ارائه تاریخچه صنعت بازیافت قراضه در دنیا، کشورهای بزرگ صادرکننده و مصرف کننده قراضه معرفی شده‌اند. در ادامه توضیحات خلاصه‌ای از انواع فرآیند تولید فولاد و تکنولوژی بازیافت قراضه در صنعت تولید فولاد ارائه شده است. سپس منابع استفاده از قراضه و شیوه استفاده از آهن قراضه در صنعت تولید فولاد بیان شده و در خصوص بازار قراضه در ایران و مشکلات مربوط به واردات و استفاده از آهن قراضه در کشور توضیحات مبسوطی ارائه شده است. در ادامه با توجه به اینکه صنعت آهن و فولاد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش صنعت کشور است، استفاده از آهن قراضه به عنوان راهکاری عملی برای کاهش مصرف انرژی در این صنعت پرمصرف معرفی شده و با بررسی میزان مصارف ویژه انرژی در واحدهای مختلف تولیدی در ۵ واحد صنعتی تولیدکننده فولاد با درصدهای متفاوت استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه، تاثیر استفاده از آهن قراضه در کاهش مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در تولید یک تن فولاد بررسی شده است. سپس با توجه به میزان فعلی استفاده از آهن قراضه در تولید فولاد در کشور و ظرفیت استفاده از این ماده به عنوان ماده اولیه با توجه به ظرفیت فعلی تولید فولاد در کشور، پتانسیل کاهش مصرف انرژی سالانه در اثر استفاده از سه میلیون تن آهن قراضه مازاد در تولید فولاد در کشور محاسبه شده است.

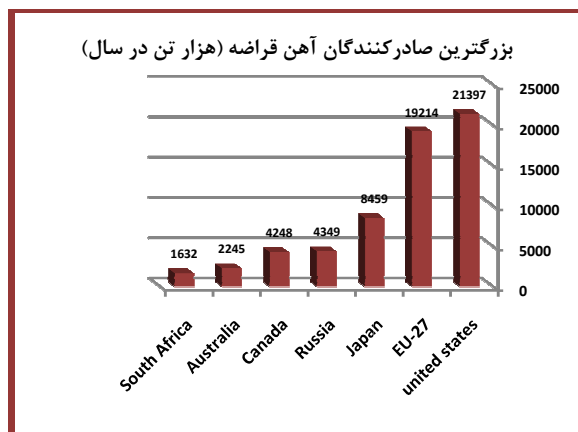
کلید واژه

قراضه آهن - تولید فولاد - پتانسیل صرفه‌جویی انرژی - کاهش مصرف ویژه انرژی

دهمین همایش بین المللی انرژی

مقدمه

ثروتمند، به دلیل مصرف سرانه بالای فولاد در آن کشورها، ساختار مدرن بازیافت و نیز استفاده از زغال سنگ و سنگ آهن در کوره های BOF در تولید فولاد آن کشورها و استفاده کمتر از قراضه و آهن اسفنجی به نسبت کل تولید فولاد آنها است.



شکل ۱: بزرگترین صادرکنندگان قراضه در سال ۲۰۱۲

۱- معرفی فرآیند تولید فولاد

فرآیند تولید فولاد شامل فرآیندهای اصلی آهن سازی، فولادسازی و ریخته گری و نورد و فرآیندهای آماده سازی مواد اولیه و احیاء، شامل آگلومراسیون، گندله سازی و کک سازی است. روش های اصلی تولید فولاد در دنیا به طور کلی به دو دسته زیر تقسیم می شود:

تولید بر پایه سنگ معدن (ore based)

در این روش ماده اولیه سنگ معدن آهن (اکسید آهن) است. اکسید آهن در فرآیند آهن سازی و با استفاده از یک ماده احیاکننده، احیاء شده و به آهن تبدیل می شود، سپس در فرآیند فولادسازی با افزودن کربن و سایر افزودنی های ضروری، آهن به فولاد تبدیل می شود.

تولید بر پایه قراضه (scrap based)

در این روش ماده اولیه، قراضه های آهن و فولاد است که پس از ذوب در کوره های قوس الکتریکی، حذف ناخالصی ها، افزودن کربن و سایر مواد ضروری به فولاد تبدیل می شود. این روش ها شامل دو تکنولوژی کوره بلند- کنورتور، و احیای مستقیم - کوره های قوس الکتریکی است:

تکنولوژی کوره بلند- کنورتور

صنعت تولید فولاد به عنوان یک صنعت استراتژیک و پرمصرف در دنیا مطرح است. از طرف دیگر این صنعت به عنوان بزرگترین مصرف کننده انرژی در میان سایر صنایع، از نظر اجرای راهکارهای کاهش مصرف انرژی مستلزم توجه ویژه است. بازیافت قراضه به منظور استفاده به عنوان ماده اولیه در تولید فولاد، هم از نظر کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست و هم از نظر تامین مواد اولیه، مورد توجه ویژه صنعتگران قرار گرفته است، به طوریکه صنعت فولاد به طور فعال بیش از ۱۵۰ سال است که در حجم زیاد به دلیل اقتصادی بودن آن، فولاد را بازیافت می کند. آهن قراضه به ضایعات فولادی کم کربن اطلاق می شود که ضایعات آهن یا فولادی یا فولادی ساده و یا آهن قراضه و ضایعات نیز به کار برده می شود. کالاهای فولادی که معمولاً بیشترین بازیافت را دارند شامل قوطی ها، خودروها، لوازم خانگی و مواد فولادی ساختمانی هستند. در امریکا در سال ۲۰۰۹ بیش از ۹۷ درصد فولادهای ساختمانی و خودروها بازیافت شده اند. تولید آهن از طریق آهن قراضه ارزان تر از تولید آن از سنگ آهن است.

بر اساس شاخص های جهانی تعریف شده، یک درصد افزایش مصرف محصولات فولادی در کشور، افزایش ۰/۸۵ درصدی رشد اقتصادی را به دنبال خواهد داشت، این در حالی است که به ازای هر یک هزار تن تولید فولاد یک نفر شغل مستقیم و ۳/۵ نفر شغل در صنایع وابسته اشتغال زایی ایجاد خواهد کرد. بازیافت و بازگشت مجدد هر یک تن قراضه در چرخه تولید فولاد سبب صرفه جویی حداقل مقدار یک هزار و ۱۳۴ کیلوگرم سنگ آهن و ۶۳۵ کیلوگرم کک و ۵۵ کیلوگرم آهک می شود. در عین حال این امر باعث صرفه جویی ۷۵ درصدی در مصرف انرژی به کار گرفته شده و نیز کاهش زمان تولید خواهد شد. تولید قراضه (میزان ورود قراضه به سیستم بازیافت) کشورها، به میزان تولید و مصرف سرانه فولاد آنها وابسته است. آمار نشان دهنده صادرات عمده قراضه جهان توسط کشورهای پیشرفته و

دهمین همایش بین المللی انرژی

عنوان شارژ فلزی استفاده می‌شود.

عمده کشورهای صاحب فولاد به روش کوره بلند و کنورتر اکسیژنی تولید می‌کنند.

در روش کوره بلند که حدود ۶۶.۳ درصد فرآیندهای تولید فولاد جهان به این روش صورت می‌گیرد، سنگ آهن پس از فرآوری (دانه‌بندی و گندله‌سازی)، در کوره بلند و طی فرآیند احیای غیرمستقیم با استفاده از کک، به چدن مذاب و سپس در کنورتور اکسیژنی به فولاد مذاب تبدیل می‌شود. اما در روش کوره قوس الکتریکی، مستقیماً آهن قراضه یا آهن اسفنجی را به فولاد مذاب تبدیل می‌نمایند.

مهم‌ترین عامل ورودی تاثیرگذار بر مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد مواد اولیه است. کانی آهن و قراضه برای تولید فولاد اولیه و قراضه برای تولید فولاد ثانویه. تولید فولاد اولیه انرژی بیشتری مصرف می‌کند، اما فولاد تولیدی کیفیت بالاتری دارد. در کوره اکسیژنی (BOF) مقدار قراضه مصرفی برای هر واحد مختلف است. کیفیت فولاد متاثر از کیفیت قراضه مصرفی است.

امروزه سهم کوره بلند، کوره قوس الکتریکی و کوره روباز (زیمنس مارتین) در تولید فولاد جهان، به ترتیب ۶۶.۳، ۳۰.۱ و ۳.۶ درصد است. همچنین ۹۲ درصد فولاد خام جهان به روش ریخته‌گری مداوم به دست می‌آید.

۲۶.۸ درصد فرآیند تولید فولاد خام کشورمان به روش تکنولوژی کوره بلند و کنورتر اکسیژنی و ۷۳ درصد به روش کوره قوس الکتریکی است. با توجه به وجود گاز طبیعی فراوان و ارزان در ایران و مشکلات ناشی از کمبود کک متالورژیکی، به نظر می‌رسد باید فرآیند تولید فولاد در ایران در راستای آهن اسفنجی و کوره قوس الکتریکی رشد کند.

قراضه یک منبع آهن است که نیازی به انرژی احیا در مقایسه با سنگ آهن ندارد. افزایش مصرف قراضه از طریق ایجاد یک فرآیند که بتواند میزان بازیافت قراضه را افزایش دهد، صورت می‌پذیرد. این فرآیند نه تنها مصرف انرژی را کاهش می‌دهد بلکه مشکلاتی مانند کاهش منابع طبیعی و گرمایش زمین ناشی از افزایش خروج آلاینده‌های گازی

در این روش در تولید آهن (با استفاده از ماده احیاکننده کک که از زغال سنگ حاصل می‌شود)، از کوره بلند (Blast Furnace) و جهت تولید فولاد از آهن از کوره‌های اکسیژنی (Basic Oxygen Furnace) استفاده می‌شود. در کنار فرآیندهای اصلی (آهن‌سازی و فولادسازی)، فرآیندهای جانبی شامل کک‌سازی جهت تهیه ماده اولیه عملیات احیاء و اگلومراسیون جهت آماده‌سازی سنگ معدن آهن نیز وجود دارند که در واقع خوراک مورد نیاز فرآیندهای اصلی را فراهم می‌کنند. این تکنولوژی مهم‌ترین شیوه تولید فولاد خام در جهان به شمار می‌آید و حدود ۶۰ درصد فولاد خام دنیا به این روش تولید می‌شود. در این روش برای تبدیل چدن مذاب به فولاد از کوره‌های اکسیژنی استفاده می‌شود که این کوره‌ها پس از بهبود تکنولوژی فولادسازی، جایگزین کوره‌های باز (Open Heart Furnace) شده است.

احیای مستقیم - کوره‌های قوس الکتریکی

تکنولوژی دیگر تولید فولاد، روش احیای مستقیم است. در این روش گاز طبیعی عامل احیای سنگ معدن آهن بوده و در کشورهایی با منابع غنی گاز طبیعی مانند ایران مورد توجه می‌باشد. فرآیند تولید فولاد به روش احیای مستقیم و کوره قوس الکتریکی شامل نواحی انباشت و برداشت، آهن‌سازی (شامل سه واحد واحد آهک‌پزی، گندله‌سازی و احیای مستقیم)، فولادسازی و ریخته‌گری مداوم (شامل واحدهای کوره‌های قوس، متالوژی ثانویه، واحد ریخته‌گری مداوم و ...) و نورد گرم می‌باشد. سهم فولاد خام تولیدی از این روش در دنیا در حدود ۷٪ است. تکنولوژی احیای مستقیم به چند تکنولوژی عمده تقسیم می‌شود که مهم‌ترین آنها تکنولوژی میدرکس است.

فرآیند تولید فولاد از طریق ذوب قراضه

فولادسازی از این طریق مشابه فرآیند فولادسازی از طریق احیای مستقیم کانی آهن و ذوب در کوره قوس الکتریکی می‌باشد. در این روش بجای استفاده از مخلوط آهن اسفنجی و قراضه در کوره‌های قوس، از ۱۰۰٪ قراضه به

دهمین همایش بین المللی انرژی

(CO₂) را برطرف می‌کند.

۲- منابع تامین آهن قراضه

آهن قراضه از محل دورریز فلزی حاصل از لوازم خانگی و بسته‌بندی مواد غذایی، ضایعات اماکن عمومی، ضایعات صنایع تولیدی و محصولات فولادی و برگشتی ضایعات حاصل از خطوط تولید فولادسازی‌ها، خودروسازی‌ها، پرس-کاری‌ها، لوازم خانگی‌سازها، کشتی‌سازی‌ها، ماشین‌سازی‌ها، قطعه‌سازی‌ها، دکل‌های انتقال نیرو، راه‌آهن، صنایع نفت و پتروشیمی، کارخانه‌های سیمان، سدسازی‌ها، پل‌سازی، تاسیسات، صنایع ماشین‌آلات کشاورزی، آهنگری و ریخته‌گری، آهن‌آلات به‌جا مانده از خرابی سیل و زلزله، تخریب خانه کلنگی، دمونتاژ کشتی‌ها و واگن قطارها و بازسازی خطوط ریل راه‌آهن و ماشین‌آلات راه‌سازی و انواع خودروهایی از رده خارج و بازسازی خطوط تولید تامین می‌شود. تمامی موارد یاد شده به سه دسته منابع خانگی، منابع عمومی و منابع صنعتی تقسیم می‌شوند.

۳- شیوه استفاده از آهن قراضه

معمولا از آهن قراضه در همه‌جای دنیا برای بازیافت و استفاده مجدد در خطوط تولید بهره‌برداری می‌شود. امروزه در کشورهای پیشرفته ضمن طبقه‌بندی و جداسازی‌های تمیز و دقیق، آن را به‌صورت پودر درآورده و با افزودنی‌های مورد نیاز در صنایع قطعه‌سازی بسته‌بندی شده و به فروش می‌رسد. اما همچنان در کشور ما برای ذوب در کوره‌ها کاربرد دارد.

در صنعت فولادسازی از کوره‌های قوس الکتریکی که تا ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد حرارت دارد استفاده می‌شود. در ریخته‌گری‌های سنتی هم از کوره‌های گردون حداکثر یک تنی استفاده می‌شود.

ابتدا آهن قراضه‌های پرسی که از ورق‌های نازک تشکیل شده است را در داخل کوره بارگیری می‌کنند و چون این نوع قراضه سریع‌تر ذوب می‌شود، برای شارژ کوره از این نوع آهن قراضه‌های پرسی استفاده می‌شود. پس از این که این قراضه ذوب شد، قراضه‌هایی با ضخامت بیشتر یا اصطلاحاً کلفت بار

را در داخل کوره می‌ریزند که با توجه به ذوبی که در داخل کوره وجود دارد، در زمان کمتری این نوع قراضه‌ها ذوب می‌شود. معمولا در کوره‌ها بین یک ساعت و نیم تا دو ساعت ذوب کامل می‌شود و پس از سرباره، مواد افزودنی جهت استاندارد نمودن ذوب برای محصول خاصی که مورد نظر است، به ذوب اضافه می‌شود. سپس از واحد ذوب، نمونه به آزمایشگاه جهت آنالیز ارسال می‌شود. آزمایشگاه پس از آزمایش‌های شیمیایی و مکانیکی نتیجه را به واحد ذوب اعلام می‌کند تا اینکه آنالیز ذوب دقیقا مطابق استاندارد شود. در این صورت است که ضایعات آهن قراضه به محصولی استاندارد تبدیل شده و از هر نظر همانند محصول نو است که از شمش و یا آهن اسفنجی تولید شده است.

فولاد در طی فرآیند بازیافت هیچ‌کدام از خواص فیزیکی ذاتی خود را از دست نمی‌دهد و در مقایسه با فرآوری سنگ‌آهن در حد قابل ملاحظه‌ای مصرف آهن قراضه از میزان مصرف انرژی و مواد می‌کاهد. انرژی ذخیره شده از طریق بازیافت، مصرف سالانه انرژی در صنعت را ۷۰ تا ۷۵ درصد کاهش می‌دهد.

۴- بازار قراضه در ایران

با وجود آنکه قراضه در فرآیند تولید فولاد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و در حال حاضر نوسان قیمت آن در بازارهای جهانی تعیین‌کننده روند قیمتی فولاد است، قراضه در ایران بازار بسیار سنتی داشته و فعالان این بخش برای ثبات و برقراری تعادل در بازار همواره مجبورند راه طولانی را طی کنند.

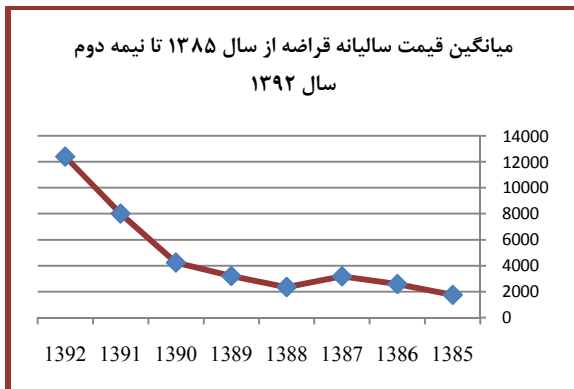
ساختار بازار فعلی قراضه در ایران به شدت سنتی و ناکارآمد است، به گونه‌ای که حتی در تدارک دو میلیون تن قراضه داخلی دچار کاستی‌های اساسی است و به‌رغم ظرفیت‌سازی‌ها و سرمایه‌گذاری‌های به عمل آمده جهت دستیابی به اهداف برنامه توسعه صنعت فولاد در سایر زمینه‌ها، حلقه فراموش شده از زنجیره این رشد ملی، خلق ساز و کار مطلوب تامین قراضه برای تدارک ۵ میلیونی با توانایی در مدیریت تامین از منابع خارج از کشور و همزمان تغییر در شیوه مصرف قراضه و کاهش نسبت آن در فرآیند

دهمین همایش بین المللی انرژی

کارخانه‌های بزرگ فولادسازی جهت جبران کسری بازار داخلی صورت گرفته است. ناتوانی بازار فعلی، تامین ساختاری است.

- از دیگر مشکلات بازار قراضه این است که در مقاطع بروز رکود اقتصادی به دلیل ساختار موجود بازار، کلیه آثار منفی اقتصادی توسط فولادسازها به بازار تامین انتقال داده می‌شود. در این حالت اضافه بازار به مصرف‌کننده انتقال و شاخص کل رفاه کاهش می‌یابد. عدم پیوند سیستمی و ساختاری بازار تامین با بازار مصرف‌کننده، عامل چنین مشکلی است. متقابلاً در دوران رونق بازار، آثار توری اقتصادی ناشی از نامتوازن بودن بازار عرضه و تقاضا، از ناحیه بازار تامین، به فولادسازی‌ها انتقال می‌یابد.

کشورهای دیگر، مواد خام مورد نیاز خود را به راحتی صادر نمی‌کنند و در ایران نیز باید از صادرات آهن قراضه جلوگیری شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه صادرات قراضه ارزش اقتصادی برای کشور به همراه ندارد، یک فعالیت مفید اقتصادی محسوب نمی‌شود. هم‌اکنون با توجه به محدودیت آهن قراضه موجود در جهان، قیمت آن بالا است و به همین دلیل واردات آن برای تولیدکنندگان داخلی فولاد صرفه اقتصادی ندارد. در سال‌های گذشته قیمت آهن قراضه موجود در کشور به طور چشمگیری پایین‌تر از قیمت‌های جهانی بوده، اما قیمت قراضه در کشور در سال‌های اخیر به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، به طوری که قیمت داخلی آن تقریباً به قیمت جهانی نزدیک شده است.



شکل ۲: نمودار میانگین قیمت سالیانه قراضه در کشور از سال ۱۳۸۵ تا نیمه دوم سال ۱۳۹۲

فولادسازی است. ساختار بازار فعلی قراضه در نگاهی استراتژیک و در یک چشم‌انداز توسعه‌ای دارای عوارض و نارسایی‌های اساسی است که در زیر به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

- عدم وجود انسجام و پایداری در بازار تامین: نظام تامین‌کننده قراضه به دلیل نداشتن پیوند ارگانیک با حلقه‌های استراتژیک صنعت، مجموعه‌ای از بنگاه‌های منفرد با نگرش‌های کوتاه‌مدت و ناپایدار است. ساختار نیمه انحصاری بازار و الزام بنگاه‌ها به رعایت مقررات جاری نحوه معاملات، که هیچ تجانس با ساز و کار این بازار ندارد، عدم پایداری در بنگاه‌های تامین و ترس از سرمایه‌گذاری بلندمدت و عدم انسجام در صنعت را افزایش می‌دهد.

- رشد نیافتگی صنعتی، فنی و تکنولوژیکی بازار تامین: از ویژگی‌های مثبت بازارها، افزایش سطح فنی و به‌کارگیری تکنولوژی‌های مدرن جایگزین، جهت کاهش هزینه تمام شده و افزایش قدرت رقابت و پایداری بنگاه‌ها است. عمده فعالان بازار تامین قراضه، بخش خصوصی‌اند و انتظار توسعه‌ای متناسب در به‌کارگیری تجهیزات و تکنولوژی جدید در فرآوری قراضه، حداقل در ۴۰ سال گذشته که صنعت فولاد دوران رشد سریع خود را در ایران شروع کرده است، کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. اما ساختار اقتصادی نامتناسب بازار فعلی تقریباً در این زمینه فاقد هر نوع نوآوری و سرمایه‌گذاری موثر بوده است (در دو دهه گذشته تجربه نشان داده است که بنگاه‌هایی که به نوعی با صنعت پیوند ساختاری داشته‌اند، در این زمینه بهتر عمل کرده‌اند).

- رکود منحنی عرضه قراضه در مقابل رشد منحنی تولید و مصرف فولاد در کشور: با توجه به مصرف سرانه فولاد در کشور (میانگین ۲۳۰ کیلوگرمی طی ۵ سال گذشته) حداکثر میزان قراضه سرانه بازیافتی ۲۴ کیلوگرم در سال بوده است (ضریب بازگشت سنواتی قراضه مساوی با حدود ۱۱ درصد). بنگاه‌های تامین‌کننده بازار به دلیل محدودیت‌های مختلف، سهمی بسیار ناچیز و قابل اغماض در واردات داشته‌اند و واردات انجام شده عمدتاً توسط

دهمین همایش بین المللی انرژی

واحدهای گندله سازی و احیا که بزرگترین مصرف کننده های انرژی در کارخانه های تولیدکننده فولاد هستند، حذف می شوند. در نتیجه با توجه به اینکه بیشترین مصرف انرژی در کارخانه های تولیدکننده فولاد در واحدهای آهن سازی مصرف می شود، برآورد می شود که در صورت استفاده از ۱۰۰٪ قراضه به عنوان ماده اولیه، مصرف انرژی ۷۰ تا ۷۵ درصد کاهش یابد. به منظور بررسی تاثیر میزان درصد استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه در کاهش مصرف انرژی، اطلاعات مربوط به تولیدات، مواد اولیه و مصرف انرژی پنج واحد بزرگ تولیدکننده فولاد (با تکنولوژی های مختلف تولید) ارائه شده است. البته با توجه به اینکه تکنولوژی های مختلف تولید مانند روش کوره بلند یا قوس الکتریکی از نظر مصرف انرژی در واحدهای مختلف یکسان نبوده و مصرف انرژی در این واحدها به پارامترهای مختلفی وابسته است، روش فوق صرفا تقریبی بوده و به منظور صحت گذاری بر ادعای کاهش چشمگیر مصرف انرژی در اثر افزایش درصد استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه ارائه شده است.

از طرف دیگر ارزش این ماده تابع قیمت های محلی می باشد، زیرا حمل و نقل نقش مهمی در قیمت این ماده دارد. این امر در کنار نبود یک تشکیلات منظم برای کنترل قیمت قراضه، که عملا منجر به اعمال تصمیمات واسطه ها و دلال ها در تعیین نرخ قراضه شده است، تولیدکنندگان فولاد را با مشکلات جدی مواجه کرده است.

۵- برآورد رابطه بین مصرف انرژی و درصد

قراضه استفاده شده به عنوان ماده اولیه در

تولید فولاد

فولادسازی با استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه مشابه فرآیند فولادسازی از طریق احیای مستقیم کانی آهن و ذوب در کوره قوس الکتریکی می باشد، با این تفاوت که در این روش به جای استفاده از مخلوط آهن اسفنجی و قراضه در کوره های قوس، از ۱۰۰٪ قراضه به عنوان شارژ فلزی استفاده می شود، در نتیجه در این روش واحد آهن سازی شامل

جدول ۱: انرژی اطلاعات مربوط به تولیدات، مواد اولیه و مصرف انرژی پنج واحد بزرگ تولیدکننده فولاد

واحد صنعتی	تکنولوژی مورد استفاده	تولید سالانه محصول (میلیون تن)	قراضه مورد استفاده (میلیون تن)	نسبت استفاده از قراضه نسبت به محصول تولیدی	مصرف ویژه انرژی به ازای یک تن محصول نورد (GJ/ton)
۱	کوره بلند-کونورتور	۲.۸	۰.۴	۰.۱۴	۲۴.۲۹
۲	احیای مستقیم با کوره- های قوس الکتریکی	۴.۳	۰.۸۸	۰.۲	۱۸.۲۸
۳	احیای مستقیم با کوره- های قوس الکتریکی	۳	۰.۱۴۳	۰.۰۴۷	۲۵.۴۶
۴	ذوب قراضه در کوره های قوس الکتریکی	۰.۲۶	۰.۲۳	۰.۸۸	۱۰.۱
۵	احیای مستقیم با کوره- های قوس الکتریکی	۰.۵۸۴	۰.۱۲	۰.۲	۱۸.۲۱

با بررسی اطلاعات مربوط به مصرف ویژه انرژی در واحدهای مختلف این کارخانجات، مشاهده می شود در واحدهای آهن سازی به طور متوسط بیش از ۲۰۰ kwh/ton انرژی الکتریکی و ۱۸ GJ/ton انرژی حرارتی مصرف می شود. یعنی در صورت استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه و در صورت حذف واحدهای آهن سازی (گندله سازی، احیا و ...) مصرف انرژی بیش از ۷۵ درصد کاهش می یابد. بدین ترتیب

همانطوریکه در جدول مشاهده می شود، به استثنای کارخانه اول که از تکنولوژی کوره بلند (که مصرف انرژی بالاتری دارد) استفاده می کند، در سایر کارخانجات که تقریبا تکنولوژی مشابهی دارند، با افزایش درصد استفاده از قراضه نسبت به محصول تولیدی، شدت مصرف انرژی کاهش می یابد، به طوریکه با افزایش درصد استفاده از قراضه نسبت به محصول تولیدی از ۴.۷ به ۸۸ درصد، مصرف انرژی بیش از ۶۰ درصد کاهش می یابد.

دهمین همایش بین المللی انرژی

۶- نتیجه گیری

بازیافت قراضه در تولید فولاد یک راهکار کارآمد و اقتصادی بوده و در کشورمان و کشورهای دیگر مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از قراضه در چرخه تولید فولاد علاوه بر اینکه سبب صرفه جویی در مواد اولیه (سنگ آهن، کک، آهک و ...) می شود، منجر به صرفه جویی ۷۵ درصدی در مصرف انرژی به کار گرفته شده و نیز کاهش زمان تولید خواهد شد. در کشور ما به دلیل کمبود قراضه و عدم وجود تشکیلات منظم برای خرید و فروش آن، از حدود ۲ میلیون تن قراضه بازیافتی در تولید فولاد استفاده می شود، اما پتانسیل استفاده به مراتب بالاتری در این حوزه وجود دارد. در این مقاله پس از بررسی اطلاعات مربوط به مصارف انرژی در ۵ واحد تولیدکننده فولاد با درصدهای متفاوت استفاده از قراضه به عنوان ماده اولیه، تاثیر استفاده از آهن قراضه در کاهش مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در تولید یک تن فولاد بررسی شده است. سپس با توجه به میزان فعلی استفاده از آهن قراضه در تولید فولاد در کشور و ظرفیت استفاده از این ماده به عنوان ماده اولیه با توجه به ظرفیت فعلی تولید فولاد در کشور، پتانسیل کاهش مصرف انرژی سالانه در اثر استفاده از سه میلیون تن آهن قراضه مازاد در تولید فولاد در کشور محاسبه شده است. طبق نتایج حاصله پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی سالانه در کشور در اثر افزایش استفاده از قراضه در تولید فولاد از ۲ میلیون تن به ۵ میلیون تن، بیش از ۵۶۰۰۰ تراژول برآورد شده است که رقم قابل ملاحظه ای است. این امر در کنار سایر مزایای استفاده از قراضه در تولید فولاد مانند صرفه جویی در استفاده از مواد اولیه مانند سنگ آهن و کاهش آلودگی محیط زیست، بیانگر اهمیت اعمال سیاست گذاری های موثر از طرف دولت برای اصلاح نظام بازیافت در کشور و ایجاد سیاست های حمایتی برای افزایش واردات این محصول به کشور است.

مراجع

- [1] <http://worldsteel.org/statistics/crude-steel-production.html>
- [2] <http://worldsteel.org/steel-by-topic/technology.html>
- [3] <http://www1.eere.energy.gov/industry/steel/pdf/steelmarginalopportunity.pdf>. 2005 .
- [4] Harda, T. and H. Tanaka, *Future Steelmaking Model by Direct Reduction Technologies*. ISIJ International, 2011. 51(8): p. 1301-1307

هزینه انرژی مصرفی اضافی (در اثر عدم استفاده از قراضه) برای تولید یک تن محصول با در نظر گرفتن قیمت های واقعی انرژی به شرح زیر به دست می آید:

* ۱۵ ۲۰۰ kwh/ton

/ton ۱۸۰۰۰

لازم به ذکر است از آنجایی که ذوب قراضه در کارخانجات فولاد در کوره های قوس الکتریکی انجام می شود، کل انرژی حرارتی مصرفی گاز طبیعی در نظر گرفته شده است. همچنین ارزش حرارتی گاز طبیعی ۳۶ مگاژول به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی فرض شده است. بنابراین در مجموع حدود ۲۳۰۰۰۰۰ ریال به ازای هر تن محصول تولیدی هزینه انرژی مصرفی مازاد (در اثر عدم استفاده از قراضه) در یک واحد تولیدکننده فولاد می شود.

در حالیکه نیاز کنونی کشور به آهن قراضه با این حجم تولید فولاد، حدود ۵ میلیون تن است، در حال حاضر میزان استفاده از قراضه در صنعت فولاد کشور در حدود ۲ میلیون تن است. در نتیجه پتانسیل استفاده از حدود ۳ میلیون تن قراضه اضافی علاوه بر میزان فعلی در صنعت آهن و فولاد کشور وجود دارد. در جدول ۲ پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی و حرارتی در صورت استفاده از ۳ میلیون تن قراضه اضافی (علاوه بر میزان فعلی در صنعت آهن و فولاد) برآورد شده است:

جدول ۲: پتانسیل صرفه جویی انرژی در صورت استفاده از ۳ میلیون تن قراضه اضافی علاوه بر میزان فعلی در صنعت آهن و فولاد

پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی (میلیون کیلووات ساعت در سال)	پتانسیل صرفه جویی مصرف گاز طبیعی (میلیون مترمکعب در سال)	پتانسیل صرفه جویی انرژی حرارتی (GJ/yr)	پتانسیل صرفه جویی صرفه جویی صرفه - جویی انرژی کل (GJ/yr)
۶۰۰	۱۵۰۰	۵۴×۱۰ ^۶	۵۶.۲×۱۰ ^۶

همانطوریکه ملاحظه می شود با افزایش استفاده از قراضه در تولید فولاد از ۲ میلیون تن به ۵ میلیون تن، پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی سالانه در این صنعت بیش از ۵۶۰۰۰ تراژول است. با توجه به اینکه بیشتر انرژی مصرفی در واحد آهن سازی در واحد احیا و از نوع فسیلی است، بیشتر این پتانسیل صرفه جویی از نوع حرارتی می باشد.