شهرام جدید،ایمان مظهری وهرز زمانی فراهانی
Vahraz_farahani@ee.iust.ac.ir
iman_mazhari@ee.iust.ac.ir
jadid@iust.ac.ir

بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت فولاد

چکیده

بـا افزایـش روز افزون تقاضای جهانی برای مصرف فولاد و بالا رفتن قیمت جهانـی آن و با توجه به نقش اجتناب ناپذیر انرژی در بالا بردن هزینه های فولادسازی ، توجه بیش از پیش به لزوم کاهش مصرف انرژی در این فرآیندها مطرح شده است . بنا به اعلام وزارت صنایع و معادن، با صرفه‌جویی ۱۰ تا ۲۰ درصد از مصرف کل سـوخت‌های فسـیلی در صنعت آهن و فولاد، درآمد حاصل از آن برای اقتصاد ملی حداقل بین ۱۵ تا ۳۰ میلیون دلار در سـال خواهد بود. پتانسـیل صرفه‌جویی انرژی حرارتی ایران نسـبت به اروپا ۶۰ درصد می باشـد که این پتانسیل نسبت به متوسط جهانی حدود ۴۰ درصد برآورد شده است.

صنعت آهن و فولاد به عنوان صنایع زیربنایی و با شدت انرژی بالا در ایران و جهان مطرح بوده و باید یادآور شد که سهم مصرف گاز طبیعی در صنعت آهن و فولاد ایران ۲۸ درصد از کل صنایع پر مصرف انرژی، ۱۸ درصد از کل مصرف بخش صنعت و ۴/۵ درصد از کل مصرف گاز طبیعی کشور را به خود اختصاص داده است.

در این مقاله به منظور درک هر چه بیشـتر ظرفیتهای صرفه جویی مصرف انرژی در فرآیند تولید فولاد ، اقدامات انجام شـده به منظور کاهش مصرف انرژی در یک کشور نمونه بررسی شده است. امید است بتوان با توجه به پتانسیلهای موجود در کشور ، راهکارهای مقتضی در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی به کار گرفته شده تا زمینه ساز صرفه جوییهای ارزی و حفظ منابع طبیعی کشور گردد.

۱ – مقدمه:

بـا توجه به اهمیـت صنعت فولاد و مصرف بالای انـرژی در فرآیند تولیـد آن، بهینه سـازی مصرف انرژی دراین صنعـت بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. صنعت فولاد در ۴۰ سال اخیر یک انقلاب صنعتی را پشـت سر گذاشته و در مدتی نسبتا کوتاه، شاهد گسترش وسیع روش ریختـه گری پیوسـته و انتقال کامل تولیدات پـر محصول به بخش کوره قوس الکتریک بوده اسـت. این مسـئله و دیگر پیشـرفتها به طور موثری برمسـیر ساخت فولاد اثر گذاشـته و قیمت ،کیفیت و گستره محصولات تولیدی را تحت تاثیر قرارداده است و جهانی سازی بازار درکنار پیشرفت فناوریهای جدید این صنعت را دگرگون نموده است.

روشـهای فعلی سـاخت آهن و فولاد به مقدار زیادی به نوع ماده و مصرف انرژی مرتبط هستند. این صنعت همچنین با تقاضای وسیع انرژی و تاثیرگذاری بر روی عوامل محیطی نیز درگیر می باشـد که نیاز فزاینده بـه انـرژی و مواد مصرفی را ایجاب می کند، بـه طوریکه امروزه بیش از ۷۲۵ میلیون تن فولاد در سال در سراسر جهان تولید می شود. بازار بسیار رقابتی فولاد در مقابل تغییرات سـریع فناوری و جهانی سـازی بازار رو به رشـد، نیازمند آن اسـت که تولیدکنندگان فولاد به تقاضای مشتریان در رابطه با خصوصیات، قیمت، کیفیت و زمان تحویل حساس باشند. اگرچه فولاد محصول یک سـری فرآیندهای پیشـرفته غیر طبیعی می باشد ، اما چـون یک ماده خام در اقتصاد مدرن اسـت، در نتیجـه تولید کنندگان به تحولات اقتصادی بازار واکنشهای سریعی نشان می دهند. به علت کمبود منابع زیر زمینی و بازار به شدت رقابتی، به کاربردن فناوریهای منقرض و قدیمی منجربه نابودی خواهد شد. به همین دلیل فناوری ساخت فولاد در طول ۳۰ سـال گذشـته چندین بار دچار تغییر و تحول شده است. در این میان تحقیقات دانشـگاهی، هزینه های بالای مواد اولیه , کمبود مواد خام و عوامل محیطی و تقاضای مصرف کنندگان را به عنوان موارد اصلی و به عنوان عوامل موثردر فناوری فولاد مطرح کرده اند.

در این مقاله روشـهای مختلف بهینه سـازی مصـرف انرژی در این صنعت بیان شده است . به طور کلی می توان اهداف این مقاله را به چند دسته تقسیم نمود.

۱) ارائه آمارهای مستند از روند مصرف انرژی در فرآیندهای مختلف فولادسازی

گرفته، مورد استقبال و حمایت اتحادیه اروپائی واقع شده و از سوی دیگر درحال فراهم کردن زیرساخت‌هایی برای مذاکره با صاحبان منابع گازی در خاورمیانه و منطقهٔ دریای خزر می‌باشد.

ایران با بیش از ۱۷ درصد ذخایر گاز جهان یکی از بهترین پتانسیل‌ها برای متنوع‌سازی مبادی گاز اتحادیهٔ اروپا محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد که برای ایران نیز بازار اروپا به دلایل زیر مناسب‌تر از بازارهای هند و پاکستان باشد.

۱. هردو کشور هند و پاکستان فاقد استراتژی های روشن و برنامه‌های بلند مدت در بخش انرژی خود می‌باشد و به همین دلیل بازار انرژی این کشورها نیز به هیچ‌وجه تضمین شده نیست. علاوه بر این در حالی که بازار انرژی و گاز این دو کشور تحت کنترل انحصاری دولت قرار ندارد ، بخش خصوصی انرژی در این کشورها نیز چندان توسعه یافته نیست که بتواند بازار را تحت کنترل درآورده و سامان دهد، بنابراین ریسک بازار گاز در این دو کشور بسیار بالاست و به فرض به نتیجه رسیدن قرارداد صدور گاز ایران به این دو کشور امکان اینکه دو کشور به تعهدات خود در زمینه برداشت کافی گاز عمل نکنند و در نتیجه بازگشت سرمایه طرح با مشکل روبرو شود بسیار زیاد خواهدبود. البته در قراردادهای گازی مکانیزم‌های لازم برای جلوگیری از این زیان وجود دارد ولی تجربه نشان می‌دهد که خصوصاً وقتی طرف قرارداد دولت یک کشور است و به تعهدات خود عمل نمی‌کند، این مکانیزم‌ها چندان کارساز نخواهدبود.

هم‌اکنون نیز اخبار و اطلاعات نشان میدهد که کشور هند برای جذب LNG مطابق قراردادهائی که منعقد نموده‌است دچار مشکل است.این در حالی است که در جهت کاملاً معکوس بازار انرژی اروپا کاملاً برنامه‌ریزی شده و مبتنی بر استراتژیهای روشن است و عدول اتحادیه اروپائی از تعهدات قراردادهائی که منعقد نماید بسیار دور از ذهن می نماید.

۲. یکی از مشکلات اصلی ایران برای تامین گاز مورد نیاز و برقراری بالانس عرضه و تقاضای داخلی و فراهم نمودن امکان صدور گاز، مشکل سرمایه‌گذاری جهت توسعه ذخائر عظیم زیرزمینی گاز خود می‌باشد . در حالی که وارد شدن به بازارهائی مانند هند و پاکستان بدلیل مسائلی که پیش تر ذکر شد زمینه قابل توجهی را برای جذب سرمایه و جلب همکاری شرکتهای بین‌المللی نفت برای توسعه ذخائر گازی کشور فراهم نمی‌کند. اما وارد شدن به بازار اروپا قطعا چنین فرآیندی را تسهیل و تسریع می‌نماید.

۳. حجم روابط تجاری ایران و اروپا بسیار گسترده‌تر است بطوری که شاید با حجم تجارت ایران با هند و پاکستان اصلاً قابل مقایسه نباشد. ایران واردات قابل توجهی از اتحادیه اروپائی دارد که با میزان صادرات ایران به این اتحادیه در تناسب نیست و صادرات گاز ایران به این اتحادیه می‌تواند توازن تجاری میان ایران و اتحادیه اروپا را بهبود بخشد.

٤. ترکیه در آستانه ورود به اتحادیه اروپا قرار داشته و در هر حال مشکل حاد و جدی با اتحادیه اروپا ندارد. ضمن اینکه همین نیاز به گاز نیز می‌تواند فرایند الحاق ترکیه به اتحادیه اروپا را تسریع کند در شرایط پیوستن ترکیه به اروپا گاز ایران مستقیماً به اتحادیه اروپا متصل خواهدشد و ریسک اضافه‌ای در این میان وجود ندارد ولی ریسک روابط تاریخی میان هند و پاکستان طبیعتاً هزینه‌های سرمایه‌گذاری صادرات گاز به این کشورها را نیز افزایش خواهد داد.

۵. از نظر امنیت ملی نیز شاید قدرت اتحادیه اروپا برای تأثیرگذاری بر معادلات بین‌المللی و خصوصاً بر مسائل کلیدی مربوط به روابط ایران با جامعه بین‌المللی بسیار فراتر از پاکستان و هندوستان باشد و وابستگی اتحادیه اروپا به گاز ایران می‌تواند تعاملات مربوطه را تسهیل نماید و توانائی ایالات متحده امریکا برای هم‌جهت کردن اتحادیه اروپا با خود بر علیه ایران را تقلیل دهد. صادرات گاز ایران به اتحادیه اروپا می‌تواند در چارچوب یک همکاری گسترده‌تر انرژی باشد که مسائل هسته‌ای ایران را نیز پوشش داده و به حل آن کمک نماید.

اخیرا دولت روسیه و بزرگترین شرکت دولتی نفت و گاز این کشور یعنی شرکت " گازپروم " اظهار علاقه نموده‌اند که در زمینه احداث خط لوله صادرات گاز ایران به هند همکاری و مشارکت نمایند. البته برای کشوری مانند ایران که ۱۷ درصد ذخائر گاز جهان را داراست، هر تعاملی در زمینه بازاریابی گاز با شرکتهای مهمی که در این عرصه حضور دارند، یک سرمایه گذاری بلند مدت تلقی میشود و مطلوب است، اما باید با دقت‌ها و ظرافت‌های لازم همراه باشد. همان‌گونه که پیش تر نیز اشاره شد بدنبال قطع جریان گاز روسیه به اروپا که در اوج سرمای زمستان گذشته و بدلیل اختلافات تاریخی روسیه و اوکراین و به منظور فشار آوردن به اوکراین توسط روسها اتفاق افتاد و همچنین بدنبال برخی اظهارات نگران کننده مقامات روسیه در زمینه تامین آتی گاز اروپا، اتحادیه اروپا مصمم گردیده‌است که مبادی تامین گاز خود را متنوع‌تر نماید. بنظر می رسد که اراده اروپا بر این متنوع سازی قدری روسها را نگران کرده باشد، لذا این احتمال وجود دارد که رقیب روسی یعنی شرکت گازپروم، علاقه مند باشد که از ورود رقیب جدید به بازار اروپا جلوگیری کند و رقیب را به بازار شرق متمایل سازد و یا اگر هم ایران بخواهد به بازار غرب وارد شود مستقل نبوده و از طریق گازپروم باشد تا شرکت مذکور بتواند کماکان کنترل خود را بر رقیب و بازار هدف حفظ کند و لذا در هرگونه تعامل با گازپروم روسیه که فی حد ذاته مطلوب است باید دقت زیاد و استراتژی روشن وجود داشته باشد که منافع دوطرف تضمین شود. ضمنا باید به سابقه گازپروم نیز توجه کرد. گازپروم در مقاطعی در رابطه با توسعه فازهای مختلف پارس جنوبی اشتیاق از خود نشان داد اما در عمل چندان جدی برخورد نکرد تا جائی‌که این شبهه بوجود آمد که شاید بدنبال کارشکنی در توسعه ذخائر گازی رقیب باشد؟! احتمال بسیار فراتر و کلیدی‌تری نیز در مورد تحلیل رفتار روسها قابل طرح است و آن این که : افزایش نسبی وابستگی جهان به گاز طبیعی بازی قدیمی نفت را دچار تحول نموده و امروز بازی نفت و گاز مطرح است و ما تدریجا شاهد تحول ژئوپلتیک انرژی هستیم که در آن گاز نقش بیشتری یافته است و کشور روسیه در ژئوپلتیک گاز نقش بسیار مهمتری در مقایسه با ژئوپلتیک نفت دارد، چراکه:

اولا – ذخائر گازی روسیه بسیار بزرگتر از ذخائر نفتی آن است و

ثانیا – از آنجائی که هنوز خط لوله در انتقال گاز حرف اول را می‌زند و وسعت و جغرافیای روسیه به گونه‌ای است که شرق و غرب عالم را به هم متصل می‌کند روسها می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در هردو منطقه مهم تقاضای گاز، یعنی اروپا و هند و چین بصورت توامان داشته باشند و لذا می‌خواهند این موقعیت ممتاز را حفظ کنند.

در صورتی‌که تحلیل فوق صحیح باشد هماهنگی و هم‌جهتی ایران و روسیه که جمعاً بیش از نیمی از ذخائر جهانی گاز را در اختیار دارند بسیار تعیین‌کننده، مهم و راهبردی است و در هر تعامل بین‌المللی باید اهمیت راهبردی و ارزش آن مورد دقت و توجه قرار گیرد.

دقت در آنچه که ذکر شد نشان می‌دهد که اگر در ایران گازی برای صادر کردن وجود داشته‌باشد (البته در این مورد تردید های جدی وجود دارد که خارج از بحث حاضر است) بازار گاز اتحادیه اروپا نسبت به بازارهای پاکستان و هند قطعاً برای ایران ترجیح دارد، مگر اینکه این دو کشور قیمتی را برای گاز بپردازند و تسهیلاتی را در نظر بگیرند که ریسک‌ها و تفاوتهای مذکور را تحت‌الشعاع قرار دهد.

مدیر مسئول

۲) مقایسه اجمالی میزان مصرف انرژی در روشهای مختلف تولید فولاد

۳) معرفی جدیدترین اقدامات صورت گرفته در کشورهای توسعه یافته در زمینه های بهینه سازی مصرف انرژی در فرآیندهای فولادسازی

٤) بررسی کاهش آلاینده های زیست محیطی بوسیله بهینه سازی انرژی

۲ - اهمیت فولاد در صنعت

برخلاف رقابت میان موادی همچون پلاستیک، آلومینیوم، فلزات رنگی، کامپوزیتها وحتی چوب، فولاد همچنان بدون رقیب در مصرف باقی مانده است. صنایع پایه ای مانند حمل ونقل، ساختمان، ماشین سازی، معدن کاری و سایر صنایع به فولاد وابستگی شدیدی دارند . فولاد همچنین برای صنایع پرقالات مانند پیچها، مهره ها، تیرها، سوزنها و ورقهای فولادی به کار می رود.

۳ - فرآیند تولید فولاد

بیش از ۲۰۰ سال است که روش کوره ذوب در اشکال مختلف به عنوان روش اصلی در تولید آهن استفاده می شود. این روش باعث تولید کربن اشباع شده برای انجام مراحل بعدی در فرآیندهای ساخت فولاد خواهد شد. اگرچه کوره های ذوب مدرن از نمونه های قدیمی تر خیلی پیشرفته تر هستند اما غالب کوره های ذوب پیشرفته با ظرفیت بالا از واکنشهای شیمیایی که توانایی کاردائم با یک میزان مواد ورودی واکنش دهنده را دارند برخوردار هستند. تزریق ذغال سنگ پودر شده ، گاز طبیعی، سوخت و در بعضی حالت ها پلاستیک بازیافت شده به منظور جایگزینی بخشی از ذغال سنگ استخراجی که به عنوان عامل احیا کننده اولیه و منبع انرژی شیمیایی نقش مهمی در فرآیند تولید دارد راهکارهای جدید به کار رفته می باشند. ماده دیگر به کار رفته در صنعت فولاد کک نام دارد. کک بوسیله پختن ذغال سنگ در حضور اکسیژن به منظورحذف هیدروکربنهای فرار موجود در آن ایجاد می شود. کک حاصل شده از نظر مکانیکی سخت، متخلخل و از نظر شیمیایی خنثی می باشد که تمام خصوصیات لازم برای کار در کوره ذوب را دارا است. علاوه بر تغذیه کربن برای گرما و کاهش مصرف سنگ آهن، بادکش کوره باید همچنین از نظر فیزیکی در برابر ورود هوای گرم از پایین نفوذ پذیر باشد. ساخت کک از لحاظ محیطی و به علت تعداد هیدروکربنهایی که در طول فرآیند کک سازی خارج می شوند، بسیار مشکل است. همچنین تمامی انواع ذغال سنگها برای تولید کک مناسب نیستند. در کشورهای پیشرفته تهیه کک و فشرده سازی آن و کنترل محیط ساخت مورد توجه خاصی قرارگرفته است. بنابراین کاهش همزمان انرژی مصرفی فرایند تولید کک و مقدار سوخت نهایی کوره ذوب هدف اصلی پیشرفتهای اخیر است. امروزه از کوره قوس الکتریک در صنعت استفاده شده که ماده اولیه آن آهن قراضه می باشد، به طوریکه ۵۵٪ فولاد مصرفی از آهن قراضه ذوب شده بدست می آید. می توان عوامل اصلی کاهش مصرف انرژی را به طور فهرست وار به صورت زیر بیان نمود .

۱) به کارگیری فناوری های جدید در فرآیند ساخت آهن برای کاهش بیشتر مصرف سوخت در هر تن فلز تولیدی

۲) جایگزینی فرآیند کوره باز بوسیله روش احیای مستقیم و کوره های قوس الکتریکی

۳) تغییر ریخته گری قالبی به ریخته گری پیوسته که به نحو موثری راندمان را افزایش داده و بنابراین مقدار موادخام مورد نیاز برای تولید را کاهش می دهد.

۴ - مصرف انرژی در صنعت فولاد

٤-۱ - سهم کربن

در حال حاظر ٤٨ میلیون تن واحد کربن برای هر ۱۰۵ میلیون تن فولاد تولید می شود .بنا به این گزارش این میزان تا سال ۲۰۱۰ به ٤۳ میلیون تن خواهد رسید. این مقدار برابربا ۲٪ کل کربن تولیدی می باشد. به طور کلی سهم مصرف انرژی به صورت ٦۰٪ زغال سنگ, ۱۱٪ گاز طبیعی و ۲۹٪ منابع غیر کربنی می باشد.

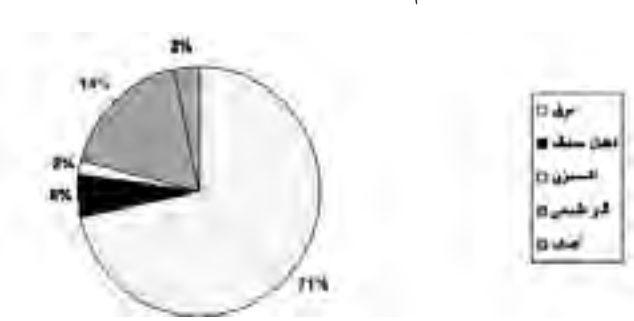
نمودار (۱) - سهم مصرف مواد کربنی و غیر کربنی در تولید فولاد

٤-۲ - سهم حامل های انرژی

در فرآیند تولید فولاد به روش قوس الکتریکی از منابع انرژی متفاوتی استفاده می شود که در جدول شماره (۱) مقادیر مصرفی آنها ابتدا به صورت مقیاسهای متداول هر کدام از حاملها بیان شده و در ستون انتهایی جدول ، در یک واحد مشترک (MBtu/Ton) بیان گردیده است که به ترتیب درصد مصرف عبارت است از: برق، گاز طبیعی، زغال سنگ، آهک و اکسیژن که در نمودار (۲) درصد مصرف هرکدام از آنها در تولید یک واحد (یک تن) فولاد نشان داده شده است. هر کدام از منابع انرژی برای تولید فولاد به تفصیل شرح داده خواهند شد.

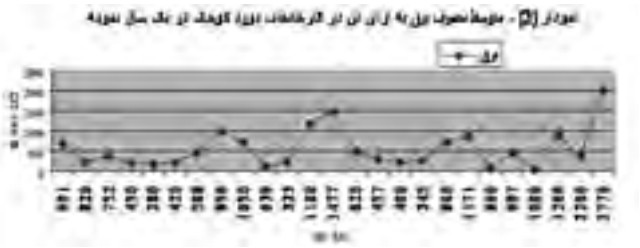
جدول (۱)- شدت انرژی در تولید فولاد به روش EAF

نمودار (۲) - سهم حاملهای انرژی در فرآیند تولید فولاد

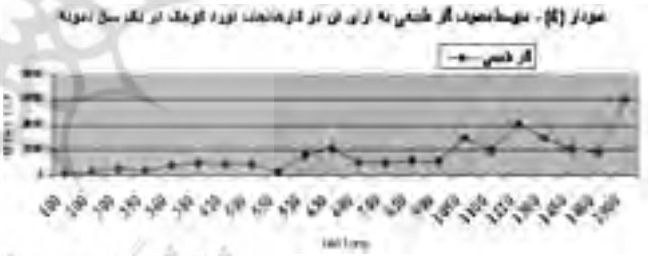


۱. برق: ارتباط میان مواد مصرفی کارخانجات و مقدار کیلووات

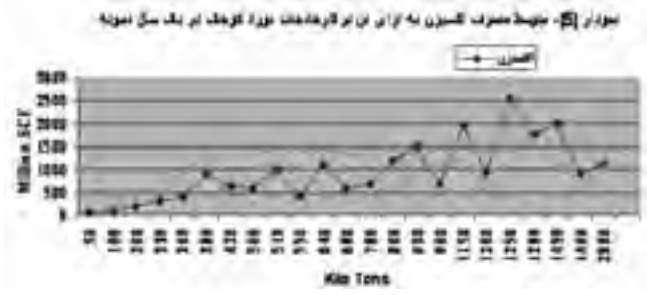
ساعت مصرفی نشان می دهد که مصرف انرژی برق در کوره قوس الکتریکی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به ازای مصرف ۷۷۰ کیلووات ساعت به ازای هر تن فولاد و مصرف متوسط ۵۰۰ کیلو وات ساعت به ازای هر تن قالب، مقدار قابل توجهی از انرژی در تجهیزات کمکی در کارگاههای ذوب، ماشین کاری ، تولید اکسیژن و مصارف کلی استفاده می شود. به طور نمونه در سال ۱۹۹۹ متوسط مصرف انرژی برق ۷۸۹ کیلووات ساعت به ازای هرتن بوده که از متوسط گیری نمودار شماره (۳)حاصل میگردد.



۲. گازطبیعی: گاز طبیعی در قسمتهای مختلف تولید مورد استفاده قرار می گیرد که به طور میانگین مصرف ۲MBtu در هر تن فولاد را ایجاب می کند. به عنوان مثال قسمت ذوب به تنهایی می تواند تا MBtu/ton (۱- ۰/۵) انرژی مصرف می کند. در نمودار (٤) مقدار مصرف گاز طبیعی به ازای مقادیر مختلف تولید فولاد در یک کارخانه نورد کوچک نشان داده شده است.



۳. اکسیژن: از اکسیژن برای فرایند کک سازی و قسمتهای مختلف استفاده می گردد. نمودار (۵) مصرف اکسیژن در کارگاههای ذوب را نشان داده و پراکندگی در این اطلاعات کاملا مشهود است. مصرف اکسیژن به ازای تولید هر تن فولاد حدود ۸۰۰ فوت مکعب به ازای هر تن می باشد.



٤-۳ - تولید فولاد با روش احیای مستقیم:

در طی این فرآیند، کل فولاد در داخل قالبهایی ذوب می شود، سپس قالبها دوباره مجددا حرارت می بینند تا به دمای $2400\,^{\circ}F$ برسند و پس از آن در داخل گودالهایی با تابش متعادل و پیش از اینکه به صورت ورقه ورقه و شمش در آیند ریخته می شوند. پس از مدتی که این ورقه ها و شمشها خنک شدند، دوباره تا دمای $2100\,^{\circ}F$ حرارت می بینند تا به صورت فولاد نیمه تمام همچون نوار و میله گداخته در آیند. به علت افزایش تدریجی هزینه های انرژی و نیروی کار، این فرآیند به مقدارزیادی غیر اقتصادی می باشد. نخستین کوره احیای مستقیم در آمریکای شمالی در سال ۱۹٥٤ معرفی شد و با افزایش دستمزدها و انرژی , تغییر روش از روش BOH[۵] به BOF[۱] اجتناب ناپذیر گردید.

جدول (۲)- مجموع انرژی مصرف شده در عملکرد BOF ها دریک کشور نمونه (۱۹۹۸-۱۹۹۷)

۵ - فرآیندهای مصرف کننده انرژی در فولادسازی

فرآیندهای مصرف کننده انرژی در کارخانجات فولادسازی به طور کامل به چند بخش تقسیم می شوند. در نمودار(٦) سهم هرکدام از این فرآیندها در مصرف انرژی نشان داده شده است. در ادامه به تفصیل در مورد آنهامی پردازیم.

۵-۱ - گندله سازی[۷] :

گندله سازی برای استفاده در کوره ذوب لازم است. به خصوص با افزایش فشار محیطی که بر روی زواید ذوب آهن رخ می دهد اهمیت آن بیشتر می شود. متوسط نسبت گندله به رسوب در ایالات متحده شش به یک است و مصرف گندله از ۷۰ میلیون تن در سال در سالهای اخیر افزایش یافته است. انرژی مصرف شده برای گندله سازی به این بستگی دارد که آیا سنگ معدن خام پردازش شده هماتیت است یا مگنتیت.اکسیداسیون مگنتیت (Fe_3O_4) به هماتیت (Fe_2O_3) در اثر حرارت منجر می شود.

۵-۲ - رسوب کاری

کارخانجات رسوب کاری، محصولات زائد شامل آهن (یعنی خاکه های گندله، گرد و غبار، میزان سرباره (BOF و قسمتهای سفت کاری فرآورده های تلفات آهن(یعنی خاکه های گلوله، ذرات، خاکستر BOF) را به موادی که در زمان بارگزاری به کوره بخار مورد نیاز هستند تبدیل می کنند.

۵-۳ - کک سازی

کک هم به عنوان عامل احیاکننده و هم ماده سوختی لازم می باشد. گازهای تولید شده در طی فرآیند کک سازی، دوباره به فرآیند تولید باز می گردند. داده های بدست آمده کاهش مصرف انرژی را درکارخانجات کک به حدود MBtu/ton ۱۱/۵ کک کوره خشک نشان داده، اما انرژی مصرفی در تولید فلز گداخته را افزایش می دهد.

نمودار(٦) نمودار فرآیندهای مصرف کننده انرژی در فرآیند فولادسازی

٤-٥ - آهن سازی کوره ذوب:

کوره ذوب اساس فرآیند تولید فولاد می باشد. کک هم به عنوان عامل احیا و هم سوخت نقش اساسی ایجاد کرده و جداسازی سرباره از فلز را میسر می سازد. در حالیکه محدودیتهایی برای چگونگی کاهش ملزومات کک وجود دارد، بدون کک کوره های ذوب موثر و بزرگ وجود نخواهند داشت. بهترین کوره های ذوب در مقادیر کک حدود ٦٥٠lbs/NTHM کارمی کنند در حالیکه سرعت تزریق روغن، گاز و ذغال سنگ آنها حدود ۳۰۰lbs/NTHM برای نفت و برای مقادیر سوخت دیگر ۹۵۰lbs/NTHM می باشد. کل انرژی لازم برای تولید فلز گداخته حدودMBtu/NTHM ۱۵/٤۸ می باشد.

٥-٥ - آهن سازی متناوب:

اگرچه، فولادسازی با روش احیای مستقیم به عنوان یک فرآیند خودبخودی مورد نظر است، اما یک فرآیند بدون مصرف انرژی نیست. نصب کوره های پاتیلی و مکنده ها مصرف انرژی را در کارگاههای کوره احیای مستقیم افزایش داده اند. آهک و اکسیژن مورد استفاده برای تولید آنها نیازمند انرژی می باشد. با کاهش مقادیر سیلیکون ، درصد فلز گداخته در کوره احیای مستقیم حدود ۷۵ درصد افزایش یافته است. استفاده از فناوری آهن سازی متناوب توسط کارخانجات نورد هنوز ناچیز است.

٥-٦ - موتورها:

صنعت فولاد ٤۳ بیلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی سالیانه مصرف می کند که حداقل نصف آن برای ذوب کوره قوس الکتریک و عملیات تصفیه مصرف شده و ۲۲ بیلیون کیلووات ساعت مربوط به موتورهای الکتریکی می باشد . افزایش تولید بوسیله روش کوره قوس الکتریک به کاهش قابل توجه در مصرف انرژی منجر شده است. تحقیقات نشان داده است که حدود ۱۲٪ انرژی مصرفی در صورت استفاده از تجهیزات بهتر و به کارگیری موتورهای مناسب با بازدهی بالا ، قابل صرفه جویی خواهد بود.

۶ - فولادسازی به روش کوره قوس الکتریک

درحالیکه امروزه فرآیندهای فولادسازی احیای مستقیم و قوس الکتریکی تقریبا سهم برابری در فرآیند ذوب دارند، اما به نظر می رسد تا سال ۲۰۱۰ درصد روش قوس الکتریک از روش احیای مستقیم سبقت گیرد. این کارخانجات نورد کوچک، بر روی محصولاتی همچون میله و قسمتهای سبکی که در آن کیفیت نهایی به اندازه فولاد در صنعت خودروسازی حیاتی نیست، کار می کنند. پیشرفتهای کلیدی در زمینه فولادسازی به روش قوس الکتریک عبارتند از:

۱. استفاده از قوسهای بلند برای افزایش راندمان از طریق سرباره های کف آلود برای حفاظت دیواره

۲. استفاده از تزریق کننده های چند کاربره و نیزه ها برای ورودی سوخت ، اکسیژن و کربن

۳. احتراق و جمع آوری منوکسیدکربن خروجی از حوضچه

٤. تعیین حرارت قابل تشخیص درگاز خروجی بوسیله ته مانده سرد

۵. بارگذاری پیوسته واحدهای آهن سازی متناوب

٦. روشهای کنترل هوشمند با استفاده از اتوماسیون صنعتی

۷. استفاده از ترانسفورماتورهای قدرت با توان بالا

ارتباط میان میزان تولید خط فولادسازی و کیلو وات ساعت مصرفی نشان می دهد که استفاده مجدد از انرژی الکتریکی خارج شده از کوره قوس الکتریک لازم است. مقدار زیادی از این انرژی برای تجهیزات کمکی در بخش ذوب، نورد و احیای مستقیم استفاده می شود.

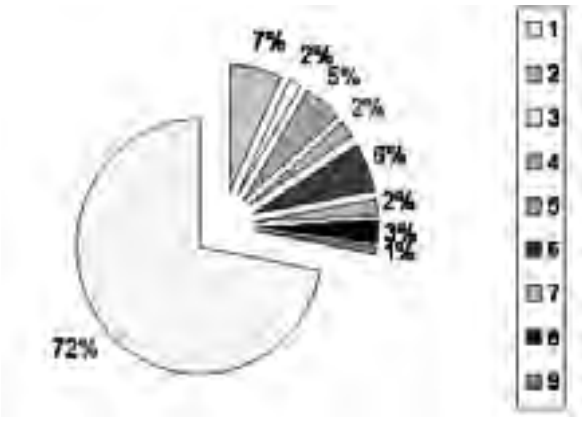
جدول(۳)- کل انرژی مصرف شده در صنعت فولاد یک کشور نمونه (۱۹۹۸-۱۹۹۷)

۷. ماشین کاری و عملیات تکمیل

هنگامی که ریخته گری ورقه ای معرفی شد، مفهوم بارگزاری گرم مورد بررسی قرار گرفت اما به صورت کامل مورد تحقیق واقع نشد. علت آن این است که ورقه های داغ قبل از دستیابی به تاسیسات نوار گرم که معمولا در فاصله از کارگاههای ذوب واقع هستند خنک می شوند و عمل خنک کردن همچنان برای تامین کیفیت الزامی است .

جدول (٤)- ظرفیت انرژی برای عملکرد بهینه کارخانجات نورد مجتمع در یک کشور نمونه (۱۹۹۸)

نمودار (۷) - توزیع شدت انرژی در کارخانجات نورد نسبت به شدت انرژی کل



(نمودار برحسب اطلاعات جدول (٤) می باشد)

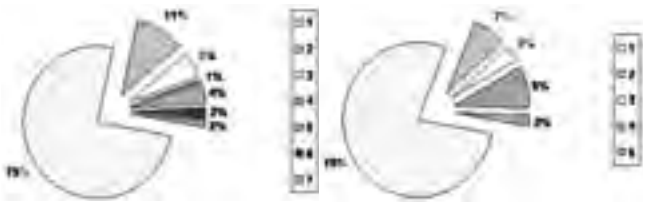
۸ - اقدامات در دست اجرا برای کاهش مصرف انرژی

۱. افزایش تلاش برای حفظ انرژی در محصولات ریخته گری گرم
۲. افزایش تلاش برای جمع آوری گازهای خروجی در فرآیندها برای بدست آوردن انرژی حرارتی
۳. افزایش استفاده از سنسورها در کلیه مراحل تولید برای بهبود راندمان
٤. استفاده از روشهای نوین به منظور پیش گرم کردن گندله ها قبل از ورود به کوره قوس الکتریکی
۵. پیاده سازی برنامه بهینه سازی انرژی الکتریکی در الکتروموتورها
٦. استفاده از روش تولید مجتمع

جدول (۵)- شدت انرژی برای عملکرد بهینه در کاربردهای EAF در یک کشور نمونه (۱۹۹۸-۱۹۹۷)

ردیف فرآیند	موضوع فرآیند	شدت انرژی فرآیند (MBtu/Ton)	سهم شدت به محصول شده از انرژی (MBtu/Ton) به ازای فرآیند حمل شده	انتشار دی اکسید کربن به ازای هر تن فولاد حمل شده
	روش قدیمی الکتریک صفحه ذوبی			
۱	بخه تری EAF	۶۰	۱۱۵	
۲	تن دکوره	۱۰	۱۰	
۳	ذوب سرد	۶۱	۱۳۳	
٤	تخلیص	۴۰	۱۱۴	
۵	تکمیل ذوب شده	۱۴	۱۰۲	
	محصول حمل شده		۲۶۱	
	روش پرتوهای قوس الکتریک			
۱	بخه تری EAF	۶۰	۱۱۵	
۲	شده	۱۰	۱۰۹	
۳	ذوبی	۴۰	۱۱۰	
٤	ذوب	۳۰	۱۰۶	
۵	تزیه	۱۲	۱۰۱	
۶	شده	۱۱	۱۰۳	
۷	شده	۴۰	۱۱۲	
	محصول حمل شده			

نمودار(۸)- شدت انرژی مصرفی در فرآیندهای کوره قوس الکتریک (الف) کوره قوس الکتریک ماشین کاری شده (ب) سایر روشهای کوره قوس الکتریک



(ب) **(الف)**

۹ - میزان صرفه جویی انرژی قابل اجرا در صنعت فولاد

با توجه به برنامه ریزیهای انجام شده، میانگین انرژی مصرفی برای تولید یک تن فولاد به طور متوسط تا سال ۲۰۱۰، ۱۷٪ کاهش خواهد یافت . در این صورت انرژی نهایی برای تولید از Q^{9} ۱/۸۳ به Q ۱/۵۷ کاهش خواهد یافت . این کاهش هم تغییرات فرآیندی و هم ساختاری را در برمی گیرد و شامل انرژی مورد نیاز برای تولید گندله (۷۰ میلیون تن)، اکسیژن و آهک به همان مقدار کک وارداتی (٦ میلیون تن) می باشد . نتیجه ای که در این مرحله استخراج می شود آن است که با جابجایی کوره های ذوب با راندمان پایین به همراه کاهش ظرفیت سوخت در سایر کوره ها، تصویر خوبی از کاهش انرژی مشاهده می شود. افزایش تولید آهن اسفنجی و فلز تولید شده، مصرف انرژی مورد نیاز برای هر تن محصول کوره قوس الکتریکی را افزایش می دهد. چنانچه ،بهینه سازی مصرف انرژی در دهه گذشته به طور کامل مورد استفاده واقع می شد، مصرف انرژی به مقدار ۰/۳ Mbtu/Ton کاهش پیدا می کرد.

جدول (٦) چگونگی برنامه ریزی انجام شده به ازای هر تن فولاد را از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به ترتیب به ازای انواع مختلف تسهیلات و فناوریهای جدید که بحث شده اند، نشان می دهد.

۱۰ - نقش انتشار دی اکسید کربن و معادل کربن در صنعت فولاد امریکا

سوختهای فسیلی حدود ۷۵٪ منابع انرژی اولیه را در ایالات متحده تشکیل می دهند. از آنجا که سوخته شدن سوختهای فسیلی به صورت اجتناب ناپذیری منجر به انتشار دی اکسید کربن می شود ، سهم این سوخت خیلی مهم می باشد. اگرچه اثر ملموس ارتباط میان گرم شدن جهان در طرح ها و برنامه ها و میزان انتشار دی اکسید کربن نامشخص است اما کاهش انتشار دی اکسیدکربن تا حد ممکن ضروری می باشد .

متاسفانه در صنعت فولاد از آنجا که جایگزینی برای کک وجود ندارد باید از ذغال سنگ برای تولید کک استفاده کرد . ذغال سنگ یک سوخت ارزان است و به علاوه، سوخت اولیه برای تولید برق در کشورهایی می باشد که ازمنابع نفتی چندانی برخوردار نیستند و در حدود ٦۰٪ ماده اولیه برای تامین برق را تشکیل می دهد. در حال حاضر صنعت فولاد حدود ٤۸ میلیون تن معادل کربن (۱۷۸ میلیون تن دی اکسیدکربن) را در سال منتشر می کند که شامل انرژی لازم برای تولید گندله ها, اکسیژن,آهک و تجزیه سنگ آهک می باشد و ۱۰۰٪ انرژی الکتریکی روشهای مبتنی بر ذغال سنگ را مصرف می کند . این مقدار می تواند در صورتیکه انرژی برای گندله سازی ، روشهای احیا و تولیدآهک کاهش پیدا کند و روشهای مختلفی برای تولید برق استفاده شود به ۱۲ میلیون تن کربن کاهش پیدا کند.

جدول (٦)- آمار برنامه ریزی صنعت فولاد برای یک کشور نمونه

جدول (۷)- کاهش انرژی برنامه ریزی شده در صنعت فولاد یک کشور نمونه(۱۹۹۸-۲۰۰۰)

۱۱ - نتایج بهینه سازیهای انجام شده در سالهای اخیر

از سال ۱۹۷۵ تا کنون، صنعت فولاد بیش از ٦۰ میلیارد دلار در فناوریهای جدید به منظور بهبود بازده انرژی و افزایش محصولات سرمایه گذاری کرده اســت. صنعت فولاد آمریکا شــدت مصرف انرژی به ازای هر تن فولاد را از ســال ۱۹۹۰ حدود ۲۸٪ کاهش داده اســت. از ســال ۲۰۰۲ به بعد نیز میزان مصرف انرژی حدود ۱۳/۲٪ کم شــده اســت. به علت ارتباط نزدیک انتشار گازهای گلخانه ای و میزان انتشاز گاز دی اکسید کربن با مصرف انرژی، این دو عامل نیز در این مدت کاهش قابل ملاحظه ای پیدا کرده اند.

صنعت فولاد با چشــم انداز پیش رو باید تا ســال ۲۰۱۲ بازده انرژی خود را نسبت به سال ۲۰۰۲ حدود ۱۰٪ افزایش دهد.

جدول (۸)- کاهش انرژی مصرفی برنامه ریزی شده در صنعت فولاد یک کشور نمونه (۲۰۰۰-۲۰۰۱)

۱۲ - نتیجه گیری:

با توجه به اهمیت فولاد در توسعه صنعتی هر کشور و و انرژی بری بالای فرآیند تولید آن، نقش بهینه سازی انرژی دراین صنعت اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. افزایش قیمت انرژی و مواد اولیه و محدودیتهای موجود زیست محیطی این صنعت را به ســمت استفاده از روشهای نوین تولید و بهینه سازی روشهای موجود ســوق داده است. بخشهای عمده برای تولید فولاد و محصولات مرتبط با آن عبارتند از : رســوب، ذوب ، آهن ســازی، فولادسازی به روش کوره قوس الکتریک،فولادسازی به روش احیای مستقیم، ریخته گری،فرآیند تولید همزمان و فرآیندهای دیگر مانند گرمادهی مجدد، ماشین کاری و تکمیل فرآیند.

روشهای بهینه‌سازی از ابتدای پیدایش صنعت فولاد تاکنون منجر به کاهش مصرف انرژی به مقدار ۷۰٪ در تولید هر تن فولاد شــده اســت. این روشها که در ابتدا برپایه روشهای مکانیکی استوار بوده‌اند،امروزه با پیشرفت چشمگیر فناوری و افزایش اهمیت مصرف انرژی رو به سمت روشهای نوین الکترومکانیکی و هوشمند آورده‌اند.

مراجع

[1] Energy Use in the U.S. Steel industry: An Historical Perspective and future opportunities, Dr. John Stubbles .Steel Industry Consultant. Mason, Ohio. for the U.S. DOE Office of Industrial Technologies Washington, DC.

[2] International Energy Outlook 2005, International Monetary Fund, "Economic Prospects and Policy Issues," in World Economic Outlook: Globalization and External Imbalances (Washington, DC, April 2005), p. 29, web site www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2005/01/

[3] International Energy Agency, World Energy Outlook 2004 (Paris, France, October 2004), p. 250

[4] http://www.ussteel.com

[5] http://www.economagic.com/doeme.htm

[6] U.S Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, Steel industry of the future: http://www.eere.energy.gov/industry/steel/analysis.html

[7] Optimization of the low-energy ring dipoles, P. Barale, N. Li, J. Osborn, J. Tanabe, R. B. Yourd, and M. S. Zisman. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley,U.S.A.

۱. Million British Thermal Unit ۲.Pounds ۳.Pounds ٤.Standard Cubic foot ٥.Basic Open Heart ٦.Basic Oxygen Furnace ۷.Palletizing ۸.Ladle Furnace ۹.Quadrillion Btu

پاورقی ها