

بررسی اثر افزودن سوخت جامد به گندله خام بر فرآیند پخت گندله‌های سنگ آهن به کمک شبیه سازی کامپیوتری

علی فردوسی^۱، سید خطیب الاسلام صدرنژاد^۲، حسن پایاب^۳

چکیده

انرژی در صنایع آهن و فولاد سهم مهمی از هزینه کل را دارا بوده و بنابراین کاهش میزان سوخت مصرفی در این صنایع تاثیر مستقیم بر قیمت تمام شده هر تن فولاد خواهد داشت. فرآیند پخت گندله های سنگ آهن به علت مصرف انرژی زیاد آنها، فرایندی گران است. بنابر این کاهش مصرف انرژی در این فرایند یکی از گامهای اساسی برای کاهش مصرف انرژی در تولید فولاد است. یافتن متغیرهای بهینه توسط روشهای تجربی امری وقت گیر و هزینه بر است. برای تعیین دمای پخته شدن گندله ها و بدنبال آن کیفیت گندله پخته شده، می توان از مدلسازی ریاضی فرایند پخت گندله استفاده کرد. این مدل قادر به تعیین دمای گندله در قسمتهای مختلف بستر و در ارتفاعات مختلف آن و همچنین کیفیت گندله تولیدی می باشد. در اینجا با استفاده از مدل ریاضی اثر میزان کربن (کک) موجود در گندله بر میزان انرژی مصرفی، سرعت تولید، کیفیت گندله های پخته و حجم گازهای تولید شده در فرآیند پخت گندله های اکسید آهن بررسی شده است و نیز حد بهینه کربن در گندله تعیین شده است.

کلمات کلیدی: مدل ریاضی، سنگ آهن، کک، گندله، پخت، مصرف سوخت.

مقدمه

گندله سازی یکی از روشهای آگلومراسیون نرمة سنگ های آهن است. برای تولید گندله خام، نرمة سنگ آهن به همراه بنتونیت و دیگر افزودنی ها (مثل سنگ آهک و نرمة کک) و رطوبت، جهت

^۱ - کارشناسی ارشد، پژوهشگاه مواد و انرژی

^۲ - استاد، دانشگاه صنعتی شریف

^۳ - دکتر، شرکت ملی فولاد ایران

دستیابی به شکل کروی در دستگاههای گندله ساز به چرخش در آورده می شوند تا گندله خام تولید گردد. [۱] گندله های خام که توسط دیسک تولید می شوند دارای استحکام کمی هستند و می بایست به روش معینی سخت شوند. به این منظور گندله های خام بر روی باند پخت پهن شده و تشکیل بستر فشرده می دهند، با عبور گازهای گرم از میان بستر، ابتدا گندله ها خشک شده، سپس پخته و سخت می شوند، در نهایت با عبور هوا از میان بستر و به منظور بازیابی حرارت، گندله ها سرد می شوند. [۲]

پخت گندله های اکسید آهن فرآیندی با مصرف انرژی بالاست و کاهش های زیادی برای کاهش مصرف سوخت و افزایش سرعت تولید و به طور کلی کاهش هزینه های تولید شده است. هاسناک و همکارانش [۳] امکان افزایش سرعت تولید و کاهش هزینه های پخت را برای گندله های خود فلاکس بررسی کردند. محققین بسیاری [۴-۶] با استفاده از مدل سازی و شبیه سازی کوره پخت، کارکرد کوره را مورد مطالعه قرار داده و اثر متغیرهای مختلف را بر میزان مصرف انرژی و سرعت تولید فرآیند پخت بررسی کرده و به این طریق مصرف سوخت را کاهش و سرعت تولید را افزایش داده اند. در سالهای اخیر تلاش شده است تا با افزودن مواد کربن دار به گندله خام، انرژی گران سوختهای نفت و گاز بوسیله نرمه کک یا زغال سنگ، به عنوان یک منبع انرژی ارزان تر، جایگزین شود. [۷ و ۸] افزودن ذرات کک باعث کاهش مصرف نهایی نفت یا گاز طبیعی کوره شده و بنابراین بر اقتصاد گندله سازی اثر می گذارد. ذرات کربن دار افزوده شده به گندله های سنگ آهن دارای دو وظیفه می باشند. به علت اکسیداسیون آن در طول پخت گندله به عنوان یک منبع انرژی عمل کرده و بنابراین مقداری انرژی از منابع دیگر صرفه جویی می شود. خاکستر موجود در مواد کربن دار، به طور عمده سیلیس، به عنوان یک جز سرباره ساز عمل کرده و منجر به استحکام شکست خوب گندله می شود. [۸] از سوی دیگر مواد کربن دار باعث افزایش تخلخل گندله شده و احیا پذیری آن را افزایش می دهند. [۹] به منظور داشتن گندله با خواص مطلوب، ضروری است که ذرات کک به طور یکنواخت درون گندله توزیع شوند که نیازمند مخلوط سازی مناسب قبل از گندله سازی است. همچنین کک در ایجاد افزایش موضعی دما در نقطه احتراق کربن نیز مفید است که به سرباره سازی خوب و در نتیجه استحکام خوب گندله کمک می کند. علاوه بر این کربن باعث گوگردزایی گندله ها شده و نفوذپذیری آن را افزایش می دهد. [۱۰] از سوی دیگر احتراق کربن می تواند منجر به افزایش بیش از حد دمای مرکز گندله، و در پی آن کاهش استحکام گندله پخته شود که به منظور اجتناب از آن می بایست تمهیداتی در نظر گرفته شود. [۱۰]

باس و کپل [۷] تغییر استحکام، اندیس سایش و احیاپذیری گندله را بر حسب درصد زغال سنگ تعیین کرده و با تعدیل فشار فن‌ها مصرف سوخت را کاهش و سرعت تولید فرآیند را افزایش دادند. حمیدی و پایاب [۹] امکان کاهش زمان و دمای پخت گندله‌ها در کوره پیلوت پلنت گندله سازی را مورد بررسی قرار داده و اثر کک و شرایط پخت را بر مصرف گاز طبیعی و خواص فیزیکی و شیمیایی گندله پخته تعیین کرده‌اند. هوانگ و کنگک [۱۰] یک مدل ریاضی برای احتراق کربن و افزایش درجه حرارت در گندله‌ها ارائه کرده و توسط آن چگونگی سوختن کربن را در طول فرآیند پخت مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق به کمک مدل ریاضی فرآیند پخت، اثر کربن بر مصرف انرژی، سرعت تولید و کیفیت گندله پخته بررسی شده و با توجه به محدودیتهای کوره پخت، حد بهینه کربن در گندله تعیین شده است.

روش تحقیق

در اصلاح بازدهی اقتصادی فرآیند پخت گندله، یافتن متغیرهای بهینه توسط روشهای تجربی امری وقت گیر و هزینه بر است، زیرا حجم زیادی گندله پخته بدون کیفیت، تولید می‌شود. به منظور تعیین اثر متغیرهای مختلف بر بازدهی فرآیند، می‌توان از مدلسازی و شبیه سازی ریاضی فرآیند پخت گندله استفاده کرد. در اینجا به منظور بررسی اثر کک بر فرآیند پخت، از مدل ریاضی فرآیند استفاده شده است. مدل در برگیرنده معادلات موازنه جرم، انرژی و مومنتوم برای گاز و بستر بوده و دمای گندله را بصورت تابعی از موقعیت آن در کوره و زمان پخت تعیین می‌کند. در این مدل توزیع دمایی درون گندله و ارتباط قسمتهای مختلف کوره پخت با یکدیگر نیز در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر مدل قادر به پیش بینی میزان گاز طبیعی مصرفی در فرآیند و کیفیت گندله پخته، به طور خاص اندیس سایش، می‌باشد. درستی نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی و کارهای سایر محققین بررسی شده است. [۱۱ و ۱۲]

برای بررسی امکان کاهش مصرف انرژی و افزایش سرعت تولید کوره پخت، از طریق افزودن کک به گندله‌ها، شش حالت مختلف در نظر گرفته شده است. ترکیب گندله خام مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. در حالت اول گندله‌ها عاری از کربن بوده در حالیکه در سایر حالات، کربن موجود در گندله‌ها دائما افزایش می‌یابد. به منظور جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای گندله‌ها، و افت

کیفیت محصول پخته، افزایش کربن با افزایش سرعت حرکت زنجیر همراه شده است. در یک حالت (حالت ۶) علاوه بر افزایش سرعت زنجیر، دمای تنظیم مشعلهای کوره نیز کاهش داده شده است. در جدول ۲ ویژگیهای گندله و بستر گندله ها و در جدول ۳ نیز مقدار کربن و سرعت حرکت بستر در هر حالت جمع بندی شده است. نقطه تنظیم مشعلهای کوره در حالت‌های ۱ تا ۵ یکسان بوده اما در حالت ۶ کاهش داده شده است. در جدول ۴ نقاط تنظیم کوره در حالات مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۱) ترکیب گندله خام مورد بررسی

| ترکیب | Fe ₂ O ₃ | Fe ₃ O ₄ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | رطوبت |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|-----|-------|
| درصد | ۶۳/۶ | ۲۵/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۸/۵ |

جدول ۲) ویژگیهای گندله و بستر در قسمت ورودی

| سرعت بستر | ارتفاع لایه محافظ | ارتفاع گندله خام | تخلخل بستر | قطر گندله | تخلخل گندله |
|-----------|-------------------|------------------|------------|-----------|-------------|
| ۳ m/min | ۱۰ cm | ۳۰ cm | ۳۹ % | ۱/۲ cm | ۳۰ % |

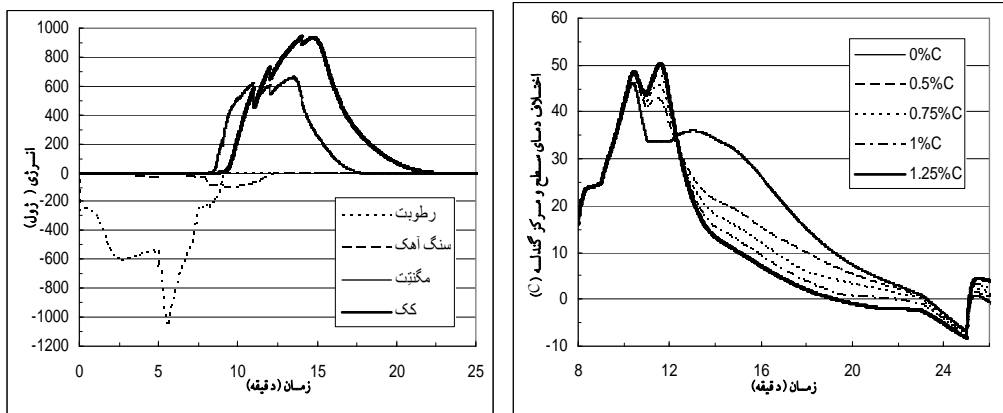
جدول ۳) میزان کربن و سرعت بستر در حالات مختلف مورد بررسی

| حالت | کربن (%) | سرعت بستر (m/min) |
|------|----------|--------------------------------------|
| ۱ | ۰ | ۳ |
| ۲ | ۰/۵ | ۳/۳ |
| ۳ | ۰/۷۵ | ۳/۶ |
| ۴ | ۱ | ۳/۹ |
| ۵ | ۱/۲۵ | ۳/۹ |
| ۶ | ۱/۲۵ | ۳/۶ همراه با کاهش دمای گاز ناحیه پخت |

جدول ۴) دمای نواحی دارای مشعل در حالات

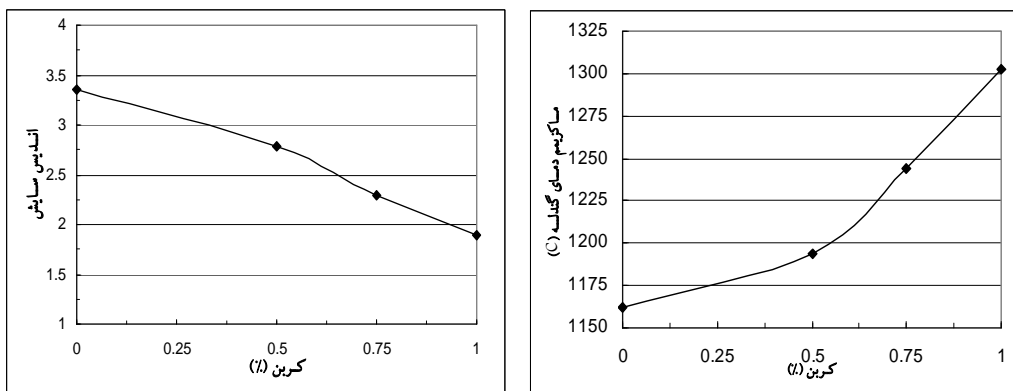
| شماره مشعل | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| نقطه | ۸۴۰ | ۸۶۰ | ۱۱۶۰ | ۱۳۰۰ | ۱۳۲۰ | ۱۳۳۰ | ۱۳۲۰ | ۱۲۸۰ |
| تنظیم (C) | ۸۴۰ | ۸۶۰ | ۱۱۰۰ | ۱۲۵۰ | ۱۲۸۰ | ۱۳۰۰ | ۱۲۸۰ | ۱۱۰۰ |

در شکل ۱ اثر کربن بر گرادیان دمایی گندله ها در طول زمان پخت و برای گندله های واقع در ارتفاع ۳۰ سانتیمتری نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که با افزایش مقدار کربن در گندله اختلاف دمای سطح و مرکز گندله در طول زمان پخت کاهش می یابد. افزایش کربن به مقادیر بیش از ۱٪ منجر به افزایش یافتن دمای مرکز گندله از سطح آن می شود. اثر کربن بر گرادیان دمایی گندله به شدت بیشتر از اثر مگنتیت است. [۱۱] پیک مشاهده شده در ابتدای ناحیه پخت ناشی از آغاز واکنش کربن و سوختن آن در سطح گندله می باشد.



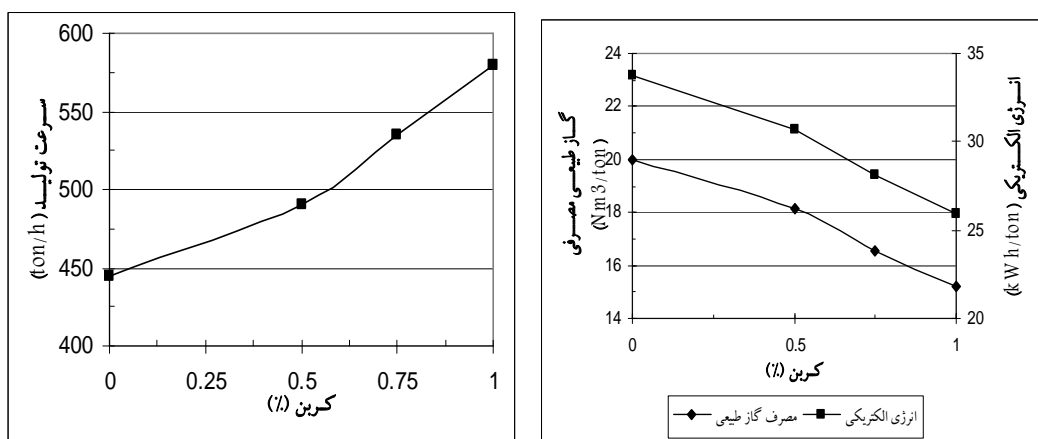
شکل ۱) اثر کربن بر گرادیان دمایی گندله ها (شکل ۲) مقایسه گرمای حاصل از احتراق ۱٪ کربن با گرمای واکنشهای دیگر (h=۳۰ cm)

در شکل ۲ حرارت تولیدی در اثر احتراق ۱٪ کربن در گندله با گرماهای تولیدی و مصرفی در سایر واکنشهای فیزیکی و شیمیایی مقایسه شده است. گرمای حاصل از احتراق کربن خیلی بیشتر از مگنتیت بوده و نکته مهم اینکه این حرارت در مکانی مناسب یعنی ناحیه پخت آزاد می شود. از سوی دیگر این نمودار نشان می دهد که واکنش احتراق کربن دیرتر از اکسیداسیون مگنتیت آغاز شده و دیرتر پایان می پذیرد. بنابراین کربن می تواند به عنوان منبع سوخت جایگزین گاز طبیعی در فرایند پخت گندله مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳) تغییرات ماکزیمم دمای گندله های با افزودن کربن به گندله ها به علت گرمای آزاد شده از سوختن آن، دمای گندله ها افزایش یافته و از سوی دیگر باعث افزایش دمای گاز عبوری از میان بستر می شود. بنابراین دمای گندله های قرار گرفته در ارتفاعات پایینی بستر افزایش یافته (شکل ۳) و در نتیجه کیفیت محصول پس از پخت بهبود می یابد. در شکل ۴ تغییرات اندیس سایش گندله پخته با تغییر میزان کربن موجود در گندله خام برای حالات ۱ تا ۴ نشان داده شده است.

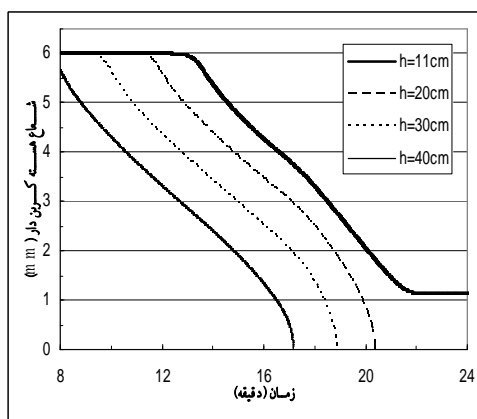
شکل ۵ چگونگی تغییر میزان مصرف سوخت و انرژی الکتریکی را در فرایند پخت گندله با افزایش کربن برای حالت ۱ تا ۴ نشان می دهد. در شکل ۶ نیز تغییر سرعت تولید با افزایش کربن به گندله نشان داده شده است. شکلهای ۵ و ۶ نشان می دهند که برای گندله های حاوی ۱٪ کربن در مقایسه با گندله های عاری از کربن، امکان افزایش تولید به میزان ۳۰ درصد همراه با کاهش ۲۸ درصدی مصرف سوخت و کاهش مصرف برق به میزان ۲۳ درصد وجود دارد.



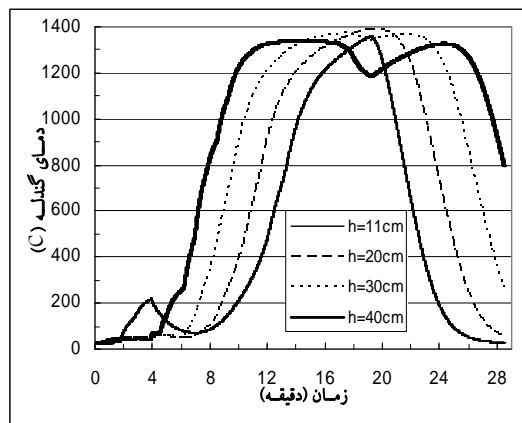
شکل ۶) اثر کربن بر سرعت تولید در فرایند پخت

شکل ۵) اثر کربن بر مصرف گاز طبیعی و برق در فرایند پخت گندله

افزایش مقدار کربن گندله به مقادیر بیش از ۱٪ می تواند منجر به افزایش زیاد دمای آن شده که از یک سو باعث تجزیه هماتیت به مگنتیت شده و از سوی دیگر منجر به ایجاد فازهای شیشه ای در گندله می شود. [۱۳] در شکل ۷ پروفیل دمایی گندله ها برای حالت ۵ رسم شده است. ملاحظه می شود که دمای گندله های قرار گرفته در ارتفاعات پایین بستر از 1360°C فراتر رفته است و بنابراین امکان افت خواص مکانیکی گندله وجود دارد. امکان رفع این مشکل با افزایش سرعت تولید وجود ندارد زیرا افزایش بیش از حد سرعت حرکت بستر، زمان توقف گندله ها را در کوره کاهش داده و بنابراین می تواند منجر به باقی ماندن کربن در گندله و اتلاف آن شود. شکل ۸ باقیماندن کربن در گندله های حاوی ۱/۲۵ درصد کربن و با سرعت حرکت بستر $3/9\text{m/min}$ را نشان می دهد. برای رفع این مشکلات و بررسی امکان افزایش تولید، حالت ۶ مورد بررسی قرار گرفت. در این حالت گندله های حاوی ۱/۲۵٪ کربن بوده و سرعت گریت برای اطمینان از سوختن کامل کربن به $3/6\text{m/min}$ کاهش داده شد و از سوی دیگر برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای گندله ها، دمای نواحی پخت کاهش داده شد.



شکل ۸) باقیماندن کربن در گندله های حاوی ۱/۲۵ درصد کربن، با سرعت حرکت $3/9\text{m/min}$

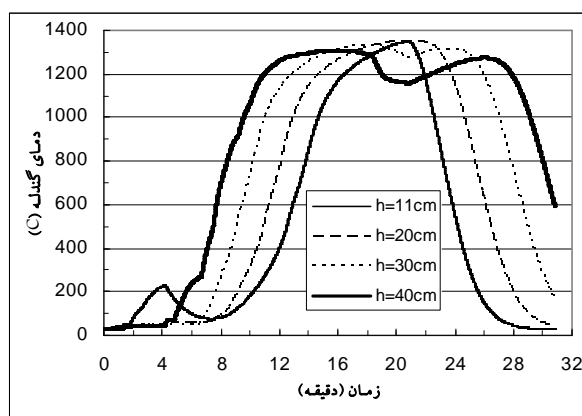


شکل ۷) پروفیل دمایی گندله های حاوی ۱/۲۵ درصد کربن، با سرعت حرکت $3/9\text{m/min}$

در شکل ۹ پروفیل دمایی گندله ها برای حالت ۶ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که برخلاف گندله های بدون کربن دمای گندله های موجود در پایین بستر از گندله های بالایی تجاوز می کند. این مطلب از سوی دیگر دلالت بر افزایش دمای گاز در حین عبور از میان بستر دارد. بنابراین امکان افزایش دمای

گريت بارها و آسیب دیدن آنها وجود دارد. علاوه بر این مصرف سوخت در این حالت برابر $15/395 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ می باشد که بیشتر از حالت ۴ است. بنابراین افزودن بیش از ۱٪ کربن به گندله ای با ترکیب و شرایط پخت مورد نظر (جداول ۳ تا ۱) معقول نیست.

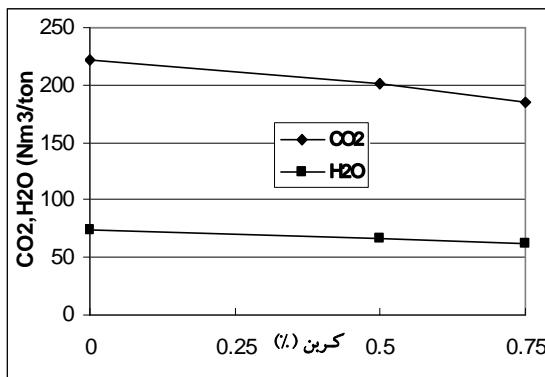
از آنچه گفته شد چنین به نظر می رسد که بهترین نتایج از لحاظ مصرف انرژی و کیفیت محصول، زمانی بدست می آید که گندله حاوی ۱٪ کربن بوده و سرعت حرکت بستر برابر $3/9 \text{ m/min}$ باشد. اما در این شرایط به علت احتراق کربن و زیاد بودن سرعت حرکت بستر، زمان توقف گندله ها در ناحیه خنک کردن کافی نبوده و بنابراین دمای گندله های تخلیه شده از کوره بالا ست. این امر می تواند منجر به صدمه دیدن نوار نقاله انتقال دهنده گندله های پخته شود. برای برطرف کردن این مسئله باید در هنگام طراحی کارخانه، طول نواحی خنک کردن افزایش داده شود. بنابراین در شرایط مورد بررسی حد بهینه کربن در گندله ها برابر $0/75\%$ می باشد. این نتیجه با بررسی های اثر کربن بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی گندله ها همخوانی دارد. [۹]



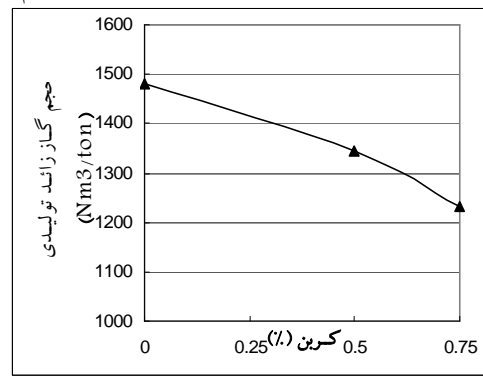
شکل ۹) پروفیل دمایی گندله ها برای حالت ۶

در نواحی پخت، مهمترین عامل تعیین کننده ترکیب گاز خروجی از بستر، ترکیب گاز ورودی به آن و یا میزان گاز طبیعی مصرفی می باشد. گاز خروجی از نواحی خشک کردن، پیشگرم و ناحیه اول پخت، به دودکش می رود. حجم گاز خروجی از دودکش برای تمام حالات یکسان می باشد زیرا افت فشار بستر در نواحی مختلف تعیین کننده آن می باشد. اما از آنجا که سرعت تولید در حالات مختلف متفاوت است، حجم گاز زائد تولید شده به ازای هر تن گندله متفاوت خواهد بود. در شکل ۱۰ اثر کربن بر حجم

گاز زائد تولید شده به ازای هر تن گندله نشان داده شده است. حجم گاز زائد تولیدی در حالت سوم (۰/۷۵ کربن) نسبت به حالت اول (بدون کربن) به میزان ۱۶/۸٪ کاهش یافته است. از سوی دیگر به علت کاهش حجم گاز طبیعی مصرفی، ترکیب گاز خروجی از فرآیند نیز تغییر می کند. بنابراین استفاده از کربن در گندله علاوه بر کاهش هزینه های سوخت مصرفی و افزایش تولید، امکان کاهش حجم گازهای گلخانه ای انتشار یافته از کارخانه گندله سازی را فراهم می کند. در شکل ۱۱ حجم گازهای گلخانه ای انتشار یافته در فرآیند به ازای هر تن گندله خام، بر حسب میزان کربن موجود در آن نشان داده شده است.



شکل ۱۱) حجم گازهای گلخانه ای انتشار یافته در فرآیند به ازای هر تن گندله خام



شکل ۱۰) اثر کربن بر حجم گاز زائد تولید شده به ازای هر تن گندله

نتیجه گیری

اثر افزودن کربن به گندله های خام بر روی میزان انرژی مصرفی، سرعت تولید، کیفیت محصول و حجم گازهای زائد تولید شده در فرآیند پخت بررسی شد. برای هر کوره پخت خاص و گندله با ترکیب مشخص، یک مقدار بهینه برای کربن وجود دارد. معلوم شد که در کارخانه و برای گندله هایی با ترکیب مورد بررسی، حد بهینه کربن برابر ۰/۷۵ می باشد که توسط آن می توان سرعت تولید را به میزان ۲۰٪ افزایش داده و مصرف گاز طبیعی کوره و انرژی الکتریکی مورد نیاز برای پخت را به ترتیب به میزان ۱۷/۲٪ و ۱۶/۸٪ کاهش داد. علاوه بر این با افزودن این حد بهینه کربن به گندله ها میتوان حجم گاز زائد تولید شده در فرآیند را به میزان ۱۶/۸٪ کاهش داد و علاوه بر این ترکیب گاز خروجی فرآیند نیز تغییر کرده و حجم گازهای گلخانه ای تولید شده کاهش می یابد.

تشکر و قدردانی

از همکاری های مدیریت و پرسنل محترم تحقیق و توسعه و پرسنل واحد گندله سازی و پایلوت پلنت گندله سازی شرکت فولاد خوزستان که مارا در انجام این تحقیق یاری نمودند، سپاسگزاری می شود.

مراجع

1. K. Meyer, "Pelletizing of Iron Ores", 1980, Berlin, Springer-Verlag.
2. M. Cross and P. Blot, "Optimizing the Operation of Straight-Grate Iron-Ore Pellet Induration Systems Using Process Models", Metallurgical and Materials Transactions, 1999, 30B, pp. 803-813.
3. N.A. Hasenack, R.B. Vogel, F. Homminga, "The Manufacture of Basic Pellets and Their Behavior in the Blast Furnace", AIME-SEM Congress, New York, 1975, 36-48.
4. R.W. Young, M. Cross and R.D. Gibson, "Mathematical Model of Grate-Kiln-Cooler Process Used for Induration of Iron Ore Pellets", Ironmaking and steelmaking, 1979, No.1, pp.1-13.
5. J.A. Thurlby, R.J. Batterham and R.E. Turner, "Development and Validation of a Mathematical Model for the Moving Grate Induration of Iron Ore Pellets", International Journal of Mineral Processing, 1979, No.6, pp. 43-64.
6. D. Pomerleau, D. Hodouin and E. Poulin, "A First Principle Simulator of an Iron Oxide Pellet Induration Furnace- An Application to Optimal Tuning", Canadian Metallurgical Quarterly, 2005, Vol. 44, No. 4, pp.571-582.
7. K.H. Boss, F. Cappel, "Methods to Reduce Energy Consumption and Increase Specific Production Rates in the Straight Grate Pelletizing Process", Metallurgical Plant and Technology, 1986, No.8, pp.12-25.
8. R. C. Gupta, J. P. Gautam and S. Mohan, "Water Hyacinth Char Addition in Iron Ore Pellet: An Exploratory Study", ISIJ International, 2003, Vol.43, No.2, pp. 259-261.
9. A.A. Hamidi and H. Payab, "Mathematical Model for Energy Saving in Induration of Iron Ore Pellets Containing Solid Fuel", IJE, 2003, Vol.16, No.3, pp. 265-278.
10. D. Huang, L. Kong, "A Model for the Process of Firing Iron Ore Pellet Containing Solid Fuel", ICHEME, 5th Int. Sym. on Agglomeration, England, 1990, 651-660.
11. علی فردوسی، سید خطیب الاسلام صدرنژاد و حسن پایاب، "شیه سازی فرآیند پخت گندله های اکسید آهن بر روی زنجیر متحرک"، سمپوزیوم فولاد ۸۵، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۹-۱۰ اسفند ۱۳۸۵، ۱۰۹-۱۱۹.
12. علی فردوسی، سید خطیب الاسلام صدرنژاد و حسن پایاب، "بررسی اثر ارتفاع بستر و سرعت گریت بر فرآیند پخت پیوسته گندله های اکسید آهن"، دهمین کنگره سالیانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۵.
13. R.J. Batterham, "Modeling the Development of Strength in Pellet", Metallurgical Transactions, 1986, 17B, pp.479-485.

Abstract

A. Ferdowsi (ferdowsi79@yahoo.com)¹
S.K.Sadrnezhaad (sadrnezh@sharif.edu)²
H. Payab (h.payab@niscoir.com)³

Induration furnaces for iron-oxide pellets are expensive processes, due to their high energy consumption. A mathematical model of pellet induration, can be exploited in process optimization from the perspective of fuel efficiency, production rate, and product quality. In this work, a mathematical model for iron ore pellet induration process is described. The pellet induration model is based on the equations describing the phenomena of heat and mass transfer and gas flow. The drying of moisture and reactions of limestone, magnetite and coke and temperature gradient in pellet were considered. For this purpose the differential equations of heat, mass and momentum were solved simultaneously. The pellet bed was divided into elements in x and z directions and the phenomenological equations were solved by finite difference method. To estimate quality of fired pellet a kinetic model of strength development was used. The model involves relations of gas flows between different zones and predicts fuel consumption during induration process. In this paper, by using mathematical model, the effects of carbon, coke, content of pellet on energy consumption, productivity, fired pellet quality and volume of waste gas on process of iron ore pellet induration were investigated and optimum level of carbon in green pellet mixture was determined.

Key words: mathematical model, iron ore, coke, pellet, induration, heat and mass transfer, fuel consumption

¹ - MSc., Materials and Energy research center (MERC)

² - Professor, Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology

³ - PhD. National Iranian Steel Company