

به نام خدا

تکامل تدریجی تولید آهن اسفنجی و نهایتاً تولید فولاد از آن بدون استفاده از انرژی های فسیلی

دکتر مهندس سید تقی نعیمی - کارشناس رسمی دادگستری - عضو بازنشسته هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر

هواپیمای برقی سرنشین دار برای اولین بار در جهان با سوخت هیدروژن مایع در شهریور ۱۴۰۲ پرواز کرد.

در دی ماه ۱۴۰۱ مقاله ای تحت عنوان :

مصرف گاز هیدروژن صنایع فولاد دنیا در سال های آینده بشدت افزایش خواهد یافت توسط نگرانده این مقاله منتشر شده است.

در پاراگراف پنجم از صفحه یک آن مقاله چنین نوشته شده است:

چگالی هیدروژن ۰/۰۰۰۸۸۹ گرم بر سانتیمتر مکعب است بعلت کمی چگالی و سبکی وزن چنانچه شرایط فنی ایمنی کاملاً رعایت گردد هیدروژن بهترین سوخت برای پرواز هواپیماها در سالهای آینده خواهد بود .

بر حسب اخبار منتشره در شهریور ماه ۱۴۰۲ اولین پرواز سرنشین دار دنیا با یک هواپیمای برقی که برق آن با استفاده از سوخت هیدروژن مایع تامین گردید پرواز کرد. این فناوری میتواند برد (RAMYE) پرواز هوایی برقی را دو برابر کرده و به ۱۵۰۰ کیلومتر برساند. عکس شماره ۱

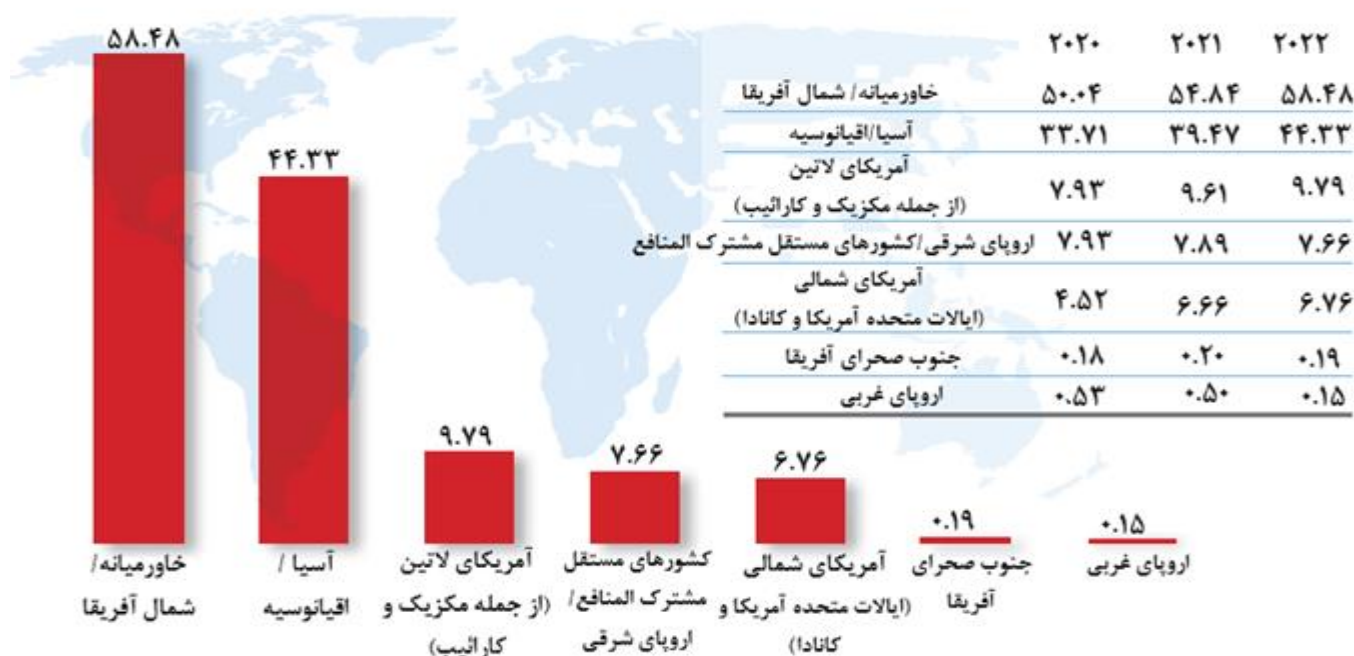


شرکت آلمانی در سال ۲۰۲۱ چهار پرواز آزمایشی با استفاده از سوخت هیدروژن انجام داده بود که یکی از آن ها بیش از ۳ ساعت طول کشید این دستاورد نوید بخش آینده ای است که مسافرت هوایی از چند سال آینده به امید خدا سبب تولید گاز CO₂ و آلودگی کره زمین انشالله نخواهد شد. (۱)

همانطوریکه در مقاله دی ماه ۱۴۰۱ مختصری از تئوری احیاء اکسید آهن با گاز هیدروژن در تولید آهن اسفنجی و روند تولید جهانی آن تا سال ۲۰۲۱ آورده شد در این نوشتار کوشش خواهد شد ضمن ارائه آمار جهانی تولید آهن اسفنجی دنیا و نقش ایران در توسعه تکنولوژی آن باختصار بیان گردد.

تولید آهن اسفنجی مناطق مختلف دنیا در سال ۲۰۲۲ بر حسب میلیون تن در جدول و نمودار شماره ۱ آورده شده است.

نمودار و جدول شماره ۱ روند تولید آهن اسفنجی مناطق مختلف دنیا در سال های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ آورده شده است. (۲)



همانطوریکه دیده میشود بیشترین درصد آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا تولید شدند. کشور ایران به تنهایی حدود ۳۲ میلیون تن از حدود ۵۸ میلیون تن آهن اسفنجی خاورمیانه و شمال آفریقا را تولید کرده است. کل تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ حدود ۱۲۷ میلیون تن بود. (۳)

با استفاده از ذغال سنگ و در کوره های دوار تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ حدود ۳۵ میلیون تن بود. آهن اسفنجی با استفاده از ذغال سنگ عمدتاً فقط در هندوستان تولید میشود. در سال ۲۰۲۲ کل تولید آهن اسفنجی دنیا به روش های مختلف حدود ۱۲۷ میلیون تن بود.

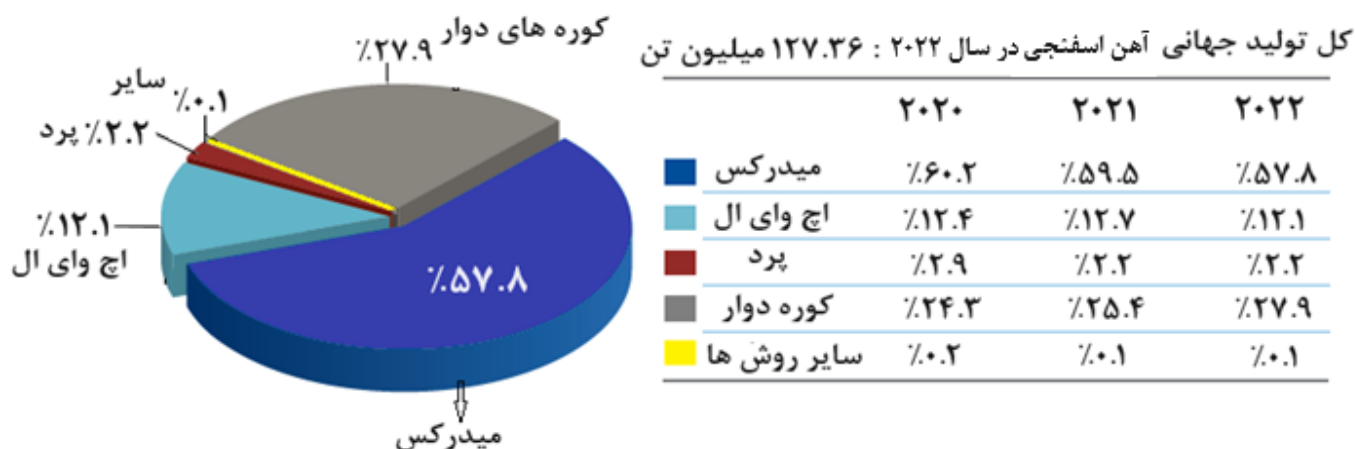
جدول ۱ روند تولید میدرکس و سایر روش های تولید آهن اسفنجی دنیا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. (۲)

سال	میدرکس	سایر روش های احیاء	جمع میلیون تن	سال	میدرکس	سایر روش های احیاء	جمع میلیون تن
۱۹۹۰	۱۰.۷۳	۵.۲۵	۱۵.۹۸	۲۰۰۷	۳۹.۷۲	۱۱.۲۰	۵۰.۹۲
۱۹۹۱	۱۱.۹۶	۵.۴۰	۱۷.۳۶	۲۰۰۸	۳۹.۸۵	۹.۸۴	۴۹.۶۹
۱۹۹۲	۱۳.۲۶	۵.۲۹	۱۸.۵۵	۲۰۰۹	۳۸.۶۲	۷.۸۸	۴۶.۵۰
۱۹۹۳	۱۵.۹۱	۵.۷۳	۲۱.۶۴	۲۰۱۰	۴۲.۰۱	۹.۸۱	۵۱.۸۲
۱۹۹۴	۱۷.۸۳	۷.۰۱	۲۴.۸۴	۲۰۱۱	۴۴.۳۸	۱۱.۰۳	۵۵.۴۱
۱۹۹۵	۱۹.۸۶	۸.۱۵	۲۸.۰۱	۲۰۱۲	۴۴.۷۶	۱۰.۷۹	۵۵.۵۵
۱۹۹۶	۲۱.۰۳	۹.۱۲	۳۰.۱۵	۲۰۱۳	۴۷.۵۶	۱۱.۲۹	۵۸.۸۵
۱۹۹۷	۲۳.۰۸	۹.۵۵	۳۲.۶۳	۲۰۱۴	۴۷.۱۲	۱۲.۰۴	۵۹.۱۶
۱۹۹۸	۲۴.۸۲	۸.۵۲	۳۳.۳۴	۲۰۱۵	۴۵.۷۷	۱۱.۶۲	۵۷.۳۹
۱۹۹۹	۲۶.۱۲	۸.۸۱	۳۴.۹۳	۲۰۱۶	۴۷.۱۴	۱۲.۶۶	۵۹.۸۰
۲۰۰۰	۳۰.۱۲	۹.۳۹	۳۹.۵۱	۲۰۱۷	۵۶.۶۵	۱۴.۶۸	۷۱.۳۳
۲۰۰۱	۲۶.۹۹	۸.۰۴	۳۵.۰۳	۲۰۱۸	۶۲.۱۰	۱۸.۱۱	۸۰.۲۱
۲۰۰۲	۳۰.۱۱	۸.۸۸	۳۸.۹۹	۲۰۱۹	۶۵.۳۷	۱۶.۵۷	۸۱.۹۴
۲۰۰۳	۳۲.۰۶	۹.۷۲	۴۱.۷۸	۲۰۲۰	۶۳.۰۷	۱۶.۰۳	۷۹.۱۰
۲۰۰۴	۳۵.۰۱	۱۱.۳۴	۴۶.۳۵	۲۰۲۱	۷۰.۸۵	۱۷.۸۴	۸۸.۶۹
۲۰۰۵	۳۴.۹۶	۱۱.۰۰	۴۵.۹۶	۲۰۲۲	۷۳.۵۵	۱۸.۱۲	۹۱.۶۸
۲۰۰۶	۳۵.۷۱	۱۰.۹۱	۴۶.۶۲				

جدول ۲ روند تولید انواع آهن اسفنجی دنیا از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۲ بر حسب میلیون تن (۲)

سال	آهن اسفنجی سرد	آهن اسفنجی بریکت شده گرم	شارژ مداوم گرم آهن اسفنجی	جمع کل بر حسب میلیون تن
۲۰۰۹	۵۲.۵۴	۶.۹۳	۴.۸۶	۶۴.۳۳
۲۰۱۰	۵۶.۶۰	۷.۲۱	۶.۴۷	۷۰.۲۸
۲۰۱۱	۵۹.۴۱	۷.۶۰	۶.۲۰	۷۳.۲۱
۲۰۱۲	۵۹.۵۱	۷.۹۰	۵.۷۳	۷۳.۱۴
۲۰۱۳	۶۲.۵۰	۶.۱۷	۶.۲۵	۷۴.۹۲
۲۰۱۴	۶۲.۴۱	۵.۱۷	۷.۰۱	۷۴.۵۹
۲۰۱۵	۵۸.۴۳	۵.۶۶	۸.۵۵	۷۲.۶۴
۲۰۱۶	۵۷.۷۴	۵.۲۹	۹.۷۳	۷۲.۷۶
۲۰۱۷	۶۷.۸۸	۸.۱۶	۱۱.۰۶	۸۷.۱۰
۲۰۱۸	۸۰.۵۵	۹.۰۳	۱۱.۱۶	۱۰۰.۷۳
۲۰۱۹	۸۷.۱۶	۹.۶۷	۱۱.۲۷	۱۰۸.۱۰
۲۰۲۰	۸۳.۹۵	۹.۵۱	۱۱.۳۸	۱۰۴.۸۴
۲۰۲۱	۹۴.۹۷	۱۰.۳۹	۱۳.۷۹	۱۱۹.۱۶
۲۰۲۲	۱۰۲.۱۴	۱۱.۳۵	۱۳.۸۷	۱۲۷.۳۶

در جدول و شکل ۲ تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ طبق فرآیند روشهای استفاده از گاز طبیعی و ذغال سنگ بر حسب درصد آورده شده است. (۲)



از کل آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ حدود ۹۶ میلیون تن با استفاده از انرژی گاز در کوره های عمودی عمدتاً به روش میدرکس تولید شدند. به عبارت دیگر ایران در همین سال با حدود ۳۳ میلیون تن حدود ۳۴ درصد از کل آهن اسفنجی تولیدی دنیا با استفاده از انرژی گاز را بخود اختصاص داده است. دومین تولید کننده عمده آهن اسفنجی با استفاده از گاز روسیه با تولید ۷/۶۶ میلیون تن و سومین کشور عربستان بر طبق جدول زیر در سال ۲۰۲۲ بود. (۳)

جدول ۳ ده کشوری که بیشترین آهن اسفنجی دنیا را در سال ۲۰۲۲ بر حسب میلیون تن تولید کردند. (۲)

هند	ایران	روسیه	عربستان سعودی	مکزیک	مصر	آمریکا	الجزایر	امارات متحده عربی	عمان
۴۳.۵۵	۳۲.۹۰	۷.۶۶	۶.۴۸	۵.۸۴	۵.۸۲	۵.۲۴	۳.۸۸	۳.۴۵	۱.۸۲

تفاوت خواص آهن اسفنجی تولیدی با گاز و ذغال سنگ

درصد کربن بصورت سمیتیت در آهن اسفنجی با ذغال سنگ خیلی کمتر از آهن اسفنجی احیاء شده با گاز طبیعی است، درجه فلزی شدن آهن اسفنجی با استفاده از ذغال سنگ از درجه فلزی شدن آهن اسفنجی با استفاده از گاز کمتر میباشد. (۳)

حمل و نقل آهن اسفنجی سرد تولیدی با ذغال سنگ آسانتر از حمل و نقل آهن اسفنجی تولیدی با گاز است. (۳)

درصد گوگرد آهن اسفنجی تولیدی با ذغال سنگ بیشتر از گوگرد آهن اسفنجی تولیدی با گاز میباشد. (۳)

درصد گاز CO₂ تولیدی با ذغال سنگ از درصد تولیدی با گاز طبیعی کمتر است. (۳)

آلودگی محیط زیست به ازاء تولید یک تن آهن اسفنجی با استفاده از ذغال بیشتر از تولید یک تن آهن اسفنجی با استفاده از گاز می باشد. (۳)

ظرفیت اسمی هر واحد تولید آهن اسفنجی دنیا با استفاده از ذغال سنگ بین ۱۰۰۰۰ تن تا حداکثر ۶۰۰۰۰۰ هزار تن در سال است.

ظرفیت اسمی هر واحد تولید آهن اسفنجی دنیا با استفاده از انرژی گاز از ۲۵۰ هزار تن تا دومیلیون تن در سال میتواند باشد. (۳)

با توجه به اهمیت حفظ جهانی محیط زیست در سالهای آینده برای ساخت واحدهای جدید تولید آهن اسفنجی با استفاده از ذغال سنگ به جز کشور هند در دنیا سرمایه گذاری زیادی نخواهد شد. (۳)

همچنین از ۵ سال آینده جهان با کاهش روند تولید آهن اسفنجی با استفاده از ذغال سنگ مواجه خواهد شد. (۳)

حدود ۲۵/۷ میلیون تن آهن اسفنجی معمولی و بریکت شده گرم توسط کشورهای مختلف تولید کننده آن منجمله ایران به کشورهای دیگر در سال ۲۰۲۲ صادر شده است.

نمودار ۳ روند صادرات آهن اسفنجی دنیا از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۲ بر حسب میلیون تن از طریق خشکی ، آبی را نشان میدهد. (۲)



صادرات آهن اسفنجی هند در ۲۰۲۲ حدود ۱۱ میلیون تن بود صادرات آهن اسفنجی روسیه در سال ۲۰۲۲ حدود ۳ میلیون تن بود. آمریکا ۱/۵ ایتالیا ۰/۹ و چین ۰/۸ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ آهن اسفنجی وارد کردند.

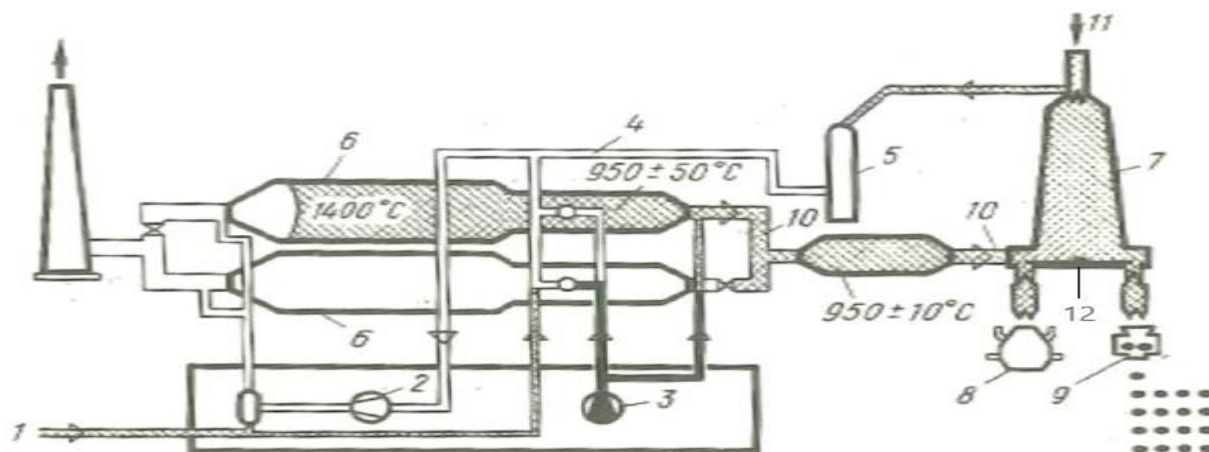
تولید جهانی فولاد خام در سال ۲۰۲۲ (۱۸۷۸/۵ میلیون تن) نسبت به تولید فولاد خام سال ۲۰۲۱ دنیا ۴/۲ درصد کاهش داشته است. (۴)

تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۲۲ (۱۲۷/۳۶ میلیون تن) نسبت به تولید سال ۲۰۲۱ (۱۱۹/۲ میلیون تن) حدود ۶/۹ درصد رشد داشته است. (۲)

در سال ۲۰۱۲ کل تولید آهن اسفنجی دنیا ۶۰ میلیون تن بود که در سال ۲۰۲۲ به حدود ۱۲۷ میلیون تن افزایش یافت به عبارتی دیگر در ده سال اخیر تولید آهن اسفنجی دنیا از دو برابر هم بیشتر شده است. پیش بینی میشود تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۳۰ حدود ۳۰۰ میلیون تن باشد. (۲)

جهت سهولت حمل و نقل آهن اسفنجی صرفه جویی در کل مصرف انرژی در فرآیند تولید فولاد در سال ۱۹۷۷ شرکت آلمانی سازنده سیستم پروفر آهن اسفنجی در ایران روش اولیه تولید بریکت گرم آهن اسفنجی در دنیا را شروع به بهره برداری نمود. بعلت مشکلات سیاسی ایران بخصوص در سال ۱۹۷۹ سبب شد که سیستم تولید آهن اسفنجی به روش پروفر اهواز به علت ایجاد مشکلات تجهیزاتی و فنی، خاموشی ناگهانی بدون برنامه ریزی مدتی تولید متوقف شود. (۵)

شکل شماتیک ۱ (۸)



۱- گاز طبیعی ۲- کمپرسور ۳- دمش برای سوختن کامل گاز برگشتی ۴- گاز برگشتی ۵- شستشوی گاز برگشتی

۶- تبدیل گاز طبیعی به مخلوط (CO+H₂) گاز احیاء کننده ۷- کوره عمودی احیاء ۸- تخلیه آهن اسفنجی گرم

۹- تولید بریکت گرم ۱۰- گاز احیاء کننده ۱۱- ورود گندله ۱۲- حل دهنده آهن اسفنجی تولیدی برای تخلیه

گاز برگشتی از کوره احیاء عمودی بصورت متناوب مشابه گرم کننده هوای کوره بلند بصورت کامل سوخته با حرارتی حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد سبب گرم شدن آجرهای دیرگداز متخلخل که سطوح جانبی آن آغشته به نیکل میباشد و سبب خروج از دودکش دمش گاز طبیعی به مبدل و برخورد با آجرهای متخلخل (نیکل به عنوان کاتالیزاتور) سبب تولید گاز احیا کننده برای دمش به کوره عمودی احیاء زمان گرم شدن آجرهای متخلخل و تبدیل گاز طبیعی به مخلوط (CO+H₂) حدود ۴۰ دقیقه، مصرف گاز طبیعی به ازای تولید آهن اسفنجی حدود ۳ گیگا کالری و مصرف برق حدود ۹۰ کیلووات ساعت به ازای تولید آهن اسفنجی میباشد. (۳)

به همت مهندسین والا مقام ایرانی در اواخر سال ۱۹۸۰ مجدداً با بهره برداری از سیستم پروفر مقداری آهن اسفنجی بریکت شده گرم در ایران تولید گردید. در اثر حملات وحشیانه صدام مجدداً به تجهیزات فنی داخل پروفر (حل دهنده و ...) این واحد دیگر قادر به تولید نبود. جمعاً حدود ۲۵۰ هزار تن آهن اسفنجی بریکت شده گرم به روش پروفر در ایران تولید گردید. (۵)

نمودار ۴ روند مصرف انواع آهن اسفنجی دنیا از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۲ را بر حسب میلیون تن نشان می‌دهد. (۲)



نمودار ۵ روند صادرات بریکت گرم آهن اسفنجی و آهن اسفنجی سرد را از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۲ بر حسب میلیون تن نشان می‌دهد. (۲)



جدول ۴ روند مصرف انواع آهن اسفنجی دنیا را از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۲۲ را بر حسب میلیون تن نشان می‌دهد. (۲)

سال	آهن اسفنجی سرد	آهن اسفنجی بریکت شده گرم	شارژ آهن اسفنجی گرم	جمع کل
۲۰۰۹	۵۲.۵۴	۶.۹۳	۴.۸۶	۶۴.۳۳
۲۰۱۰	۵۶.۶۰	۷.۲۱	۶.۴۷	۷۰.۲۸
۲۰۱۱	۵۹.۴۱	۷.۶۰	۶.۲۰	۷۳.۲۱
۲۰۱۲	۵۹.۵۱	۷.۹۰	۵.۷۳	۷۳.۱۴
۲۰۱۳	۶۲.۵۰	۶.۱۷	۶.۲۵	۷۴.۹۲
۲۰۱۴	۶۲.۴۱	۵.۱۷	۷.۰۱	۷۴.۵۹
۲۰۱۵	۵۸.۴۳	۵.۶۶	۸.۵۵	۷۲.۶۴
۲۰۱۶	۵۷.۷۴	۵.۲۹	۹.۷۳	۷۲.۷۶
۲۰۱۷	۶۷.۸۸	۸.۱۶	۱۱.۰۶	۸۷.۱۰
۲۰۱۸	۸۰.۵۵	۹.۰۳	۱۱.۱۶	۱۰۰.۷۳
۲۰۱۹	۸۷.۱۶	۹.۶۷	۱۱.۲۷	۱۰۸.۱۰
۲۰۲۰	۸۳.۹۵	۹.۵۱	۱۱.۳۸	۱۰۴.۸۴
۲۰۲۱	۹۴.۹۷	۱۰.۳۹	۱۳.۷۹	۱۱۹.۱۶
۲۰۲۲	۱۰۲.۱۴	۱۱.۳۵	۱۳.۸۷	۱۲۷.۳۶

برای صرفه جوئی در مصرف انرژی و افزایش ظرفیت کوره های قوس الکتریکی و ... بر طبق نمودار ۸ حدود ۱۰ درصد آهن اسفنجی سال ۲۰۲۲ دنیا بصورت شارژ مداوم با حرارتی حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد در کوره های قوس الکتریکی به فولاد مذاب و پالایش شده تبدیل گردیدند.

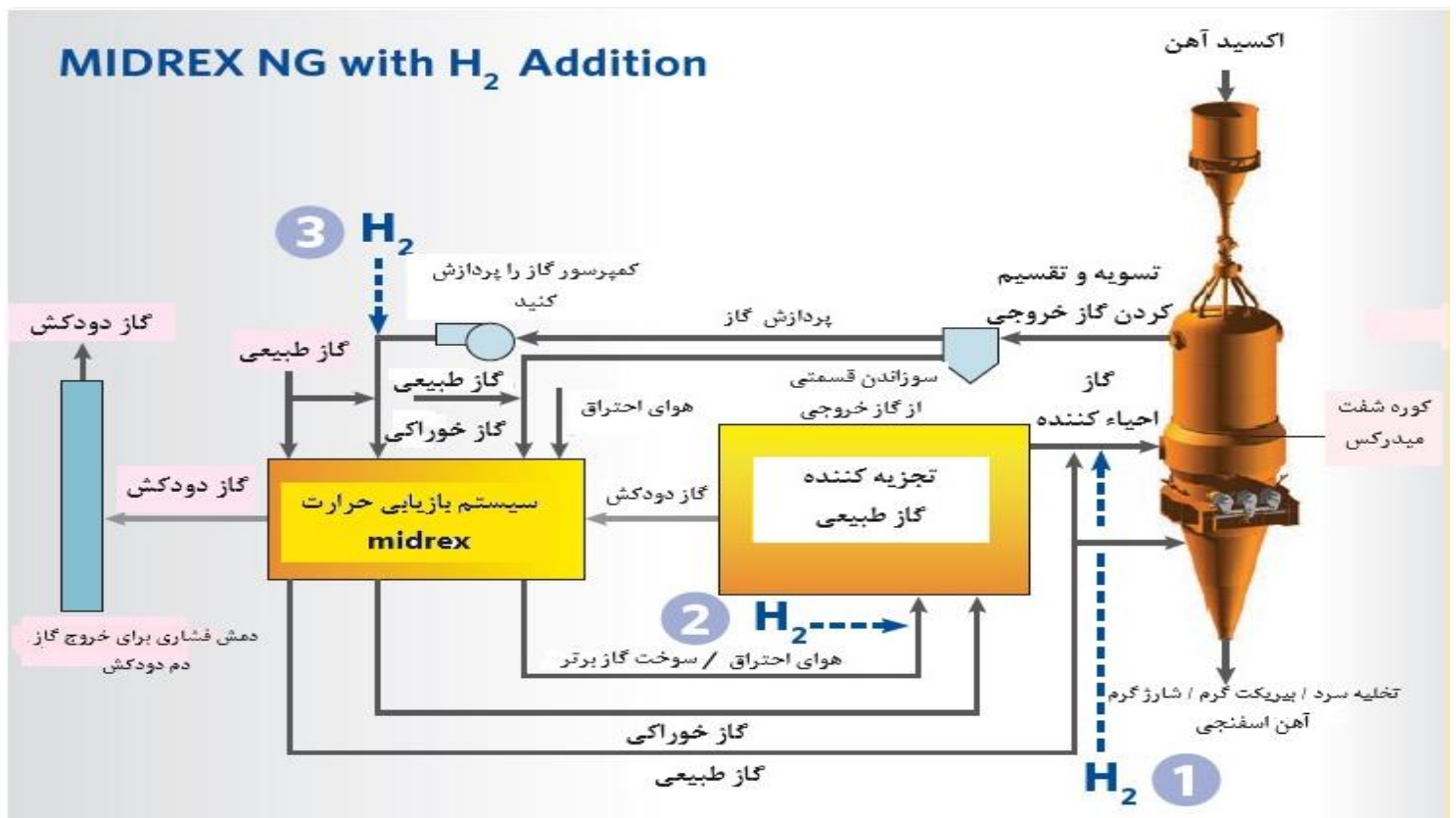
پیش بینی میشود آهن اسفنجی تولیدی با استفاده از انرژی هیدروژن که در سالهای آینده تولید خواهند شد عمدتاً برای صرفه جویی در انرژی و افزایش راندمان تولید کوره های قوس الکتریکی بصورت شارژ گرم مداوم در کوره های قوس الکتریکی ذوب و به فولاد تبدیل خواهند شد. به عبارت دیگر سیستم صنعتی تولید آهن اسفنجی سال های آینده دنیا از یک واحد مشابه میدرکس و تخلیه گرم آهن اسفنجی احیاء شده با حرارت حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد و ذوب آن در کوره قوس الکتریکی خواهد بود.

پیش بینی میشود در سال ۲۰۳۰ کل شارژ مداوم گرم آهن اسفنجی دنیا ظرفیتی حدود ۵۰ میلیون تن در سال داشته باشند. کشورهایی که تولید آهن اسفنجی آنها به هدف صادرات باشد مسلماً در خط تولید آنها در سالهای آینده امکان تولید بریکت گرم وجود خواهد داشت. (۳)

احیاء اکسید آهن به روش میدرکس عمدتاً از یک رفورمر (احتراق ناقص گاز طبیعی) و تولید مخلوط گاز $H_2 + CO$ بعنوان گاز احیاء کننده و یک کوره عمودی که از بالا گندله اکسید آهن وارد کوره احیاء میشود تشکیل خواهد شد. (۶)

از پایین گاز احیاء کننده به کوره دمیده میشود بر طبق شکل شماتیک ۱ از پایین کوره آهن اسفنجی گرم جهت شارژ مداوم در کوره قوس الکتریکی برای ذوب یا تولید بریکت گرم آهن اسفنجی داغ خارج میشود. (۲)

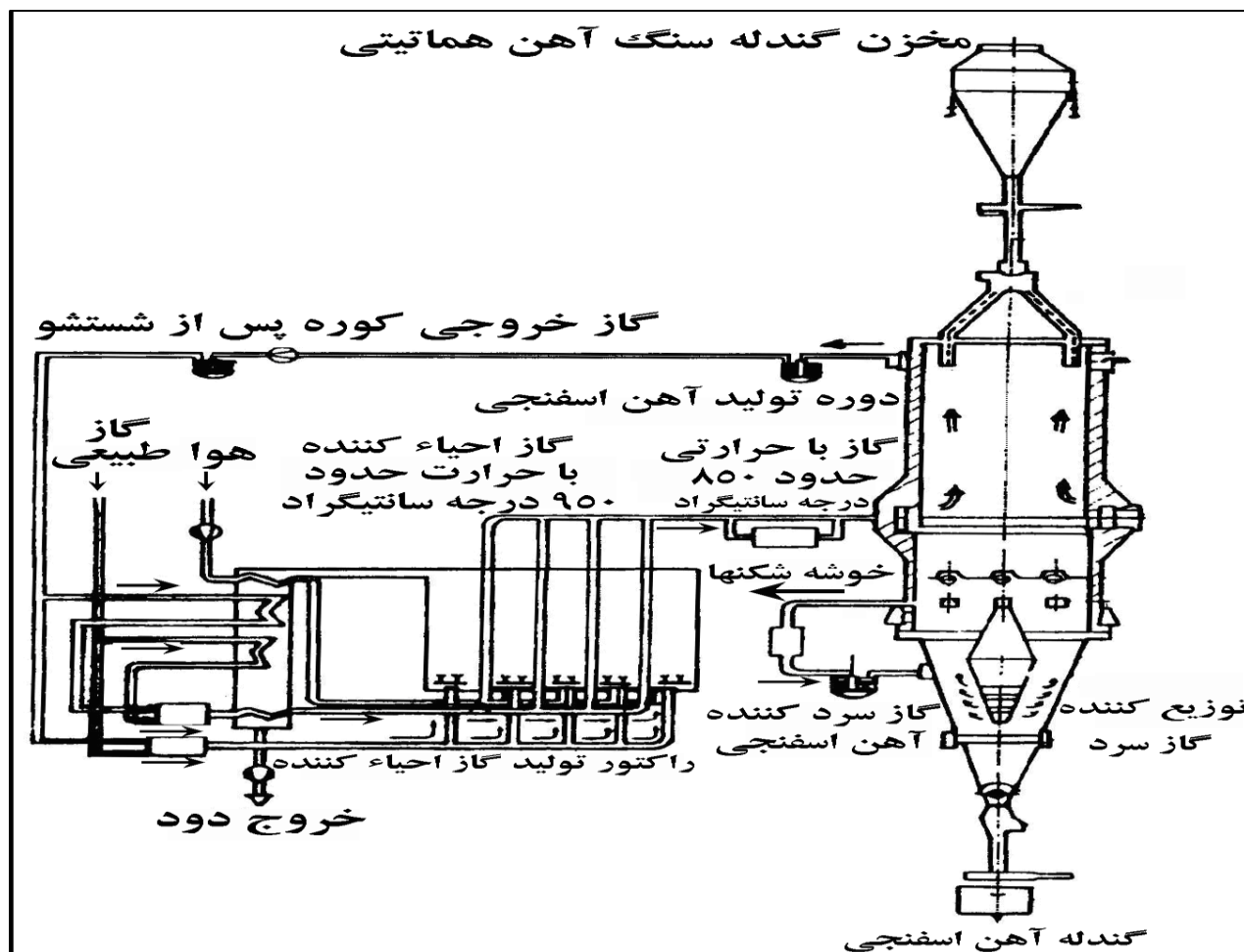
شکل شماتیکی ۲ فرآیند احیاء گندله اکسید آهن به روش میدرکس که قابل استفاده با گاز هیدروژن نیز خواهد بود. (۷)



پایین کوره احیاء آهن اسفنجی تولیدی با گاز خنثی سرد شده حرارت حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بصورت سرد از کوره احیاء میتواند خارج شود. پیش بینی میشود که تعداد زیادی تجهیزات تولید آهن اسفنجی از دوسال آینده در دنیا که با استفاده از صد در صد انرژی هیدروژن سبز احیاء میشوند ساخته و در کوره های قوس الکتریکی که برق آن نیز از انرژی خورشیدی تامین میشود ذوب و به فولاد تبدیل خواهند شد. (۳)

در جریان تولید آهن اسفنجی در واحد های میدرکس گندله های آهن اسفنجی از چند ردیف کلوخه شکن بر طبق شکل شماتیک ۲ رد میشوند پس از سرد شدن از کوره احیاء خارج میگردند.

شکل شماتیکی ۳ فرآیند احیاء به روش میدرکس (۵)



معمولا درصد کمی از گندله ها بصورت نرمه احیاء شده از کوره خارج میشوند. بعلت نسبت زیاد سطوح واقعی به سطوح خارجی و وزن این نرمه های احیاء شده در ظرف مدت کمی مجددا اکسیده خواهند شد و شارژ آنها در کوره های قوس الکتریکی مشکلات فنی ایجاد خواهند کرد. لذا پس از خروج آهن اسفنجی از واحد احیاء پس از جدا کردن نرمه احیاء شده آنها را با مقدار جزئی افزودنی به بریکت سرد که وزن مخصوص آن حدود یک سوم وزن مخصوص بریکت گرم آهن اسفنجی است تبدیل مینمایند تا کمتر سبب آلودگی محیط زیست در فرآیند تولید فولاد بشوند. (۳)

تولید آهن اسفنجی که با استفاده از گاز هیدروژن سبز احیاء شود هرچه درصد عیار آهن ، گندله اکسید آهن به عدد ۶۷ نزدیک باشد اقتصادی تر خواهد بود خوشبختانه بیشتر گندله های اکسید آهن تولیدی از معادن ایران عیار آنها نزدیک ۶۷ درصد است . (۳)

بقیه اکسید آهن معادن ایران را با بهبود تکنولوژی تغلیظ آنها به آسانی میتوان عیار آهن آنها را به ۶۷ درصد نزدیک نمود. (۳)

روش پرد (PFRED) تولید آهن اسفنجی روشی است که یک شرکت ایرانی با تغییرات جزئی در تکنولوژی میدرکس توانست این تکنولوژی را در سطح جهانی بنام خود به ثبت برساند . (۳)

جدول شماره ۵ واحدهای ساخته شده به روش پرد (۲)

مکان	ظرفیت	ماژول ها	محصول	استارت آپ	وضعیت
ایران-کردستان-شادگان	۰.۸۰	۱	CDRI	۱۷	O*
ایران -آذربایجان - میانه	۰.۸۰	۱	CDRI	۱۷	O
ایران - فارس - نیریز	۰.۸۰	۱	CDRI	۱۸	O
ایران - کرمان - بافت	۰.۸۰	۱	CDRI	۱۹	O
Shanxi Taihang Mining چین - شانسگی - جین ژونگ	۰.۳۰	۱	CDRI	۲۳	C "

* OPERATING=O عملیاتی

" C = UNDER CONTRACT OR CONSTRUCTION = تحت قرارداد یا ساخت و ساز

از سال ۲۰۱۷ تاکنون بشرح جدول ۵ چهار واحد در ایران و پنجمی در چین ساخته شده بر طبق قراردادی از صفر تا صد درصد طراحی ، ساخت و بهره برداری آزمایشی واحد تولید آهن اسفنجی در چین را شرکت ایرانی تقبل کرده است. بموجب گزارشات اولیه روند ساخت و این واحد خوشبختانه با موفقیت ادامه دارد. (۳)

برای جلوگیری از گرم شدن بیشتر کره زمین تحقیقات جهانی توسط کشورهای پیشرفته دنیا از یک دهه قبل با سرمایه گذاری چند صد میلیارد دلاری تاکنون ادامه داشت اولین نتایج این تحقیقات برنامه ریزی اولیه جهانی برای تولید فولاد بدون مصرف انرژی های فسیلی میباشد. جزئیات تئوری روند تولید فولاد بدون استفاده از انرژی های فسیلی بصورت خلاصه

۱-در مقالات (مقاله حامل های انرژی و نگاهی به ملاحظات زیست محیطی صنعت آهن و فولاد تا اول سال ۲۰۲۲)بهمن (۱۴۰۰

۲-مقاله مصرف گاز هیدروژن صنایع فولاد دنیا در سالهای آینده به شدت افزایش خواهد یافت (دیماه ۱۴۰۱)

۳- مقاله تجزیه و تحلیل روند تولید فولاد زنگ نزن دنیا تا اول سال ۲۰۲۳ و ضرورت تاسیس مجتمع فولاد زنگ نزن در ایران (بهمن ۱۴۰۱) ۴-مقاله توسعه همه جانبه صنعتی ایران مانند کشورهای پیشرفته دنیا به کیفیت تولیدات وابسته است نه به افزایش بی حد و حصر کمیت تولید آنها(تیرماه ۱۴۰۲)

۵-مقاله رشد کمی تولید فولاد خام ایران در ماه ژوئن سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۲۲ ۱۷.۴ درصد بوده است (مرداد ۱۴۰۲) آمده است از تکرار مطالب آنها در این نوشتار خودداری میگردد.

با توجه به اینکه در کلیه روشهای احیاء مستقیم اکسید آهن با گاز بر طبق اشکال شماتیک شکل های شماره ۱ و ۲ مخلوط گاز (CO+H₂) به کوره عمودی احیاء دمیده میشود. محققین با افزایش تدریجی درصد بیشتر گاز هیدروژن به کوره های احیاء متوجه شدند جایگزینی صد در صد دمش گاز هیدروژن بجای مخلوط گاز احیاء کننده (CO+H₂) با تغییرات جزئی در تجهیزات کوره های عمودی احیاء امکان پذیر است.

محققین پیشنهاد نمودند با بهره برداری از انرژی های تجدیدپذیر عمدتاً انرژی خورشیدی بصورت انبوه برق سبز تولید نمایند.

با استفاده از برق سبز و تکامل نسبی تکنولوژی الکترولیز آب قادر به تولید انبوه گاز هیدروژن خواهند بود. (۳)

چون نتایج این تحقیقات همه جانبه امیدوار کننده بود در سطح جهان ضمن ادامه تحقیقات در واحدهای پایلوت با ظرفیت حدود ۱۰۰ هزار تن در سال ، برنامه ریزی جهت ساخت واحدهای صنعتی تولید آهن اسفنجی با دمش گاز هیدروژن در دنیا شروع شده است.

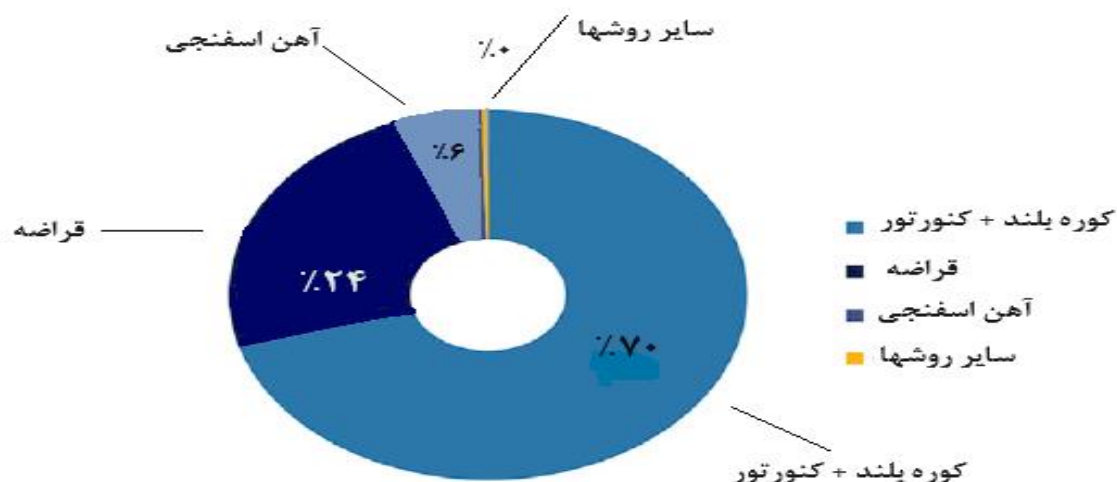
۱-شرکت میدرکس و پالوورت (PAAL WUZTH , MIDREX) توسط H₂ GREEN STEEL برای تولید اولین کارخانه تجاری تولید آهن اسفنجی سرد با استفاده از هیدروژن سبز تحت علامت تجاری MIDREX×H₂ به ظرفیت اسمی حدود ۲/۱۰ میلیون تن در شمال سوئد طراحی نمودند امیدوارند که در سال ۲۰۲۵ تولید آهن اسفنجی با درجه فلزی شدن ۹۵ درصد را شروع نمایند.

۲-کارخانه تولید فولاد هامبورگ که تنها واحد احیاء مستقیم به روش میدرکس در اروپا را در اختیار دارد از سال ۱۹۷۰ تاکنون با تولید آهن اسفنجی سرد و ذوب آن در کوره قوس الکتریکی با ظرفیت سالانه حدود ۶۰۰ هزار تن در سال بخصوص در ۲۰ سال اخیر تحقیقات زیادی در جهت افزایش راندمان تولید ، بهبود کیفیت آهن اسفنجی و انجام گرفته است. (۸)

همچنین در دو سال اخیر افزایش درصد گاز هیدروژن در مخلوط گاز احیاء کننده (CO+H₂) و طرح توجیهی ساخت کوره عمودی احیاء به ظرفیت ۱۰۰ هزار تن در سال را به دولت آلمان در اتحادیه اروپا ارائه کرده است. اتحادیه اروپا ۵۰ درصد هزینه اجرای ساخت این پایلوت تحقیقاتی تولید آهن اسفنجی با استفاده از انرژی گاز هیدروژن سبز و شارژ مداوم گرم آهن اسفنجی تولیدی را در کوره قوس الکتریکی ای که برق سبز آن با استفاده از انرژی خورشیدی تولید شده باشد ذوب و به محصولات فولادی تبدیل شوند. (۳)

گرم شدن کره زمین سبب تغییرات اقلیمی ، از بین رفتن گونه های مهم گیاهی جانوری ، خشکسالی ، سیل های مخرب پی در پی و ... مشکلاتی هستند که به دلیل رشد مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی بشر از چند سال قبل دنیا با آنها مواجه است. حدود ۷ درصد از کل انرژی فسیلی مصرفی سال ۲۰۲۲ دنیا مانند سالهای قبل جهت تولید جهانی فولاد مصرف شده است. (۱۰)

نمودار شماره ۶ تولید جهانی فولاد سال ۲۰۲۲ را به روشهای مختلف نشان میدهد. (۹)



مروری بر تولید آهن و فولاد

تولید فولاد خام جهان همانطوریکه فوقاً گفته شد در سال ۲۰۲۲ از ۱۸۷۸/۵ میلیون تن بود که در مقایسه با تولید سال ۲۰۲۱ حدود ۴/۲ درصد کاهش داشته است. (۴)

۱- کوره بلند و کنورتور اکسیژن پایه (BF-BOF) این مسیر غالب تولید جهانی فولاد است که شامل کاهش اکسیژن سنگ آهن همراه با جذب کربن و تبدیل به آهن خام مذاب در کوره بلند می شود .

عملیات BF-BOF تقریباً به طور کامل از فرآیند کوره بلند به وجود می آید به زغال سنگ کک شو جهت تولید کک متالورژی یا دانه بندی یعنی تولید متکی است و حدود ۷۰٪ CO₂ را در کارخانه یکپارچه فولاد سازی (BF) منتشر می کند.

سپس آهن خام مذاب به یک کنورتور یا دمش گاز اکسیژن نسبتاً خالص و سوختن قسمت عمده کربن آن به فولاد مذاب تبدیل و برای پالایش نهایی در پاتیل گرم شونده و گاز زدائی برای تولید فولاد جامد عمدتاً به اشکال بلوم ، شمش (طویل و تخت) به بخش های ریخته گری فرستاده میشود . کوره اکسیژن اولیه (BOF) شارژ می شود تا فولاد (HM) ساخت فولاد (BOF) بسازد . یک مجتمع تولید فولاد یکپارچه BF-BOF شامل واحد تولید کک متالورژی ، گندله سازی ، اکسید آهن ، تولید زینتر ، کوره بلند ، میکسر ، کنورتور ، تصفیه گاز خروجی ، نیروگاه تولید برق ، ریخته گری مداوم میباشد. (۳)

۲- کوره قوس الکتریکی (EAF) این فرآیند ساخت فولاد با استفاده از قوس الکتریکی برای گرم کردن مواد آهن دار مانند آهن خام، ضایعات فولادی و آهن اسفنجی (DRI) با برق به عنوان تنها منبع انرژی ذوب و به فولاد مذاب تبدیل که با آلایش نهایی آن مانند پالایش فولاد مذاب تولیدی کنورتور در پاتیل گرم شونده انجام میگیرد. (۳)

امروزه، EAF رویکرد غالب برای بازیافت فولاد (یعنی تولید فولاد ثانویه) است و همچنین با ذوب آهن اسفنجی و تبدیل آن به فولاد اولیه کمک میکنند. تولید فولاد EAF به جای روش پیوسته مانند یک کارخانه BF-BOF عمل می کند. (۳)

۳- DRI: تولید آهن اسفنجی به طور مستقیم گندله اکسید آهن را در حالت جامد با دمای زیر نقطه خمری شدن آهن که خیلی کمتر از نقطه ذوب آهن است با استفاده از قدرت جذب اکسیژن تا کنون توسط مخلوط گاز $\text{CO} + \text{H}_2$ و در سالهای آینده با دمش گاز هیدروژن سبز تولید میشوند. (۳)

تولید فولاد به روش تبدیل آهن اسفنجی به محصولات فولادی در کوره قوس الکتریکی انرژی کمتری از روش (BF-BOF) کوره بلند + کنورتور مصرف مینماید نهایتاً گاز CO_2 کمتری هم بازار تن تولید فولاد در محیط زیست رها خواهد شد. (۳)

گازهای احیاء کننده تولیدی از گاز طبیعی (DRI) مبتنی بر گاز یا زغال سنگ (DRI) مبتنی بر زغال سنگ به نام گاز سنتز، ترکیبی از $\text{H}_2 + \text{CO}$ تولید می شوند. تولید DRI نسبت به تولید آهن خام از BF در مصرف انرژی کارآمدتر است، پردازش اضافی معمولاً (EAF) برای ارتقاء آهن اسفنجی DRI برای بازار مورد نیاز است. (۳)

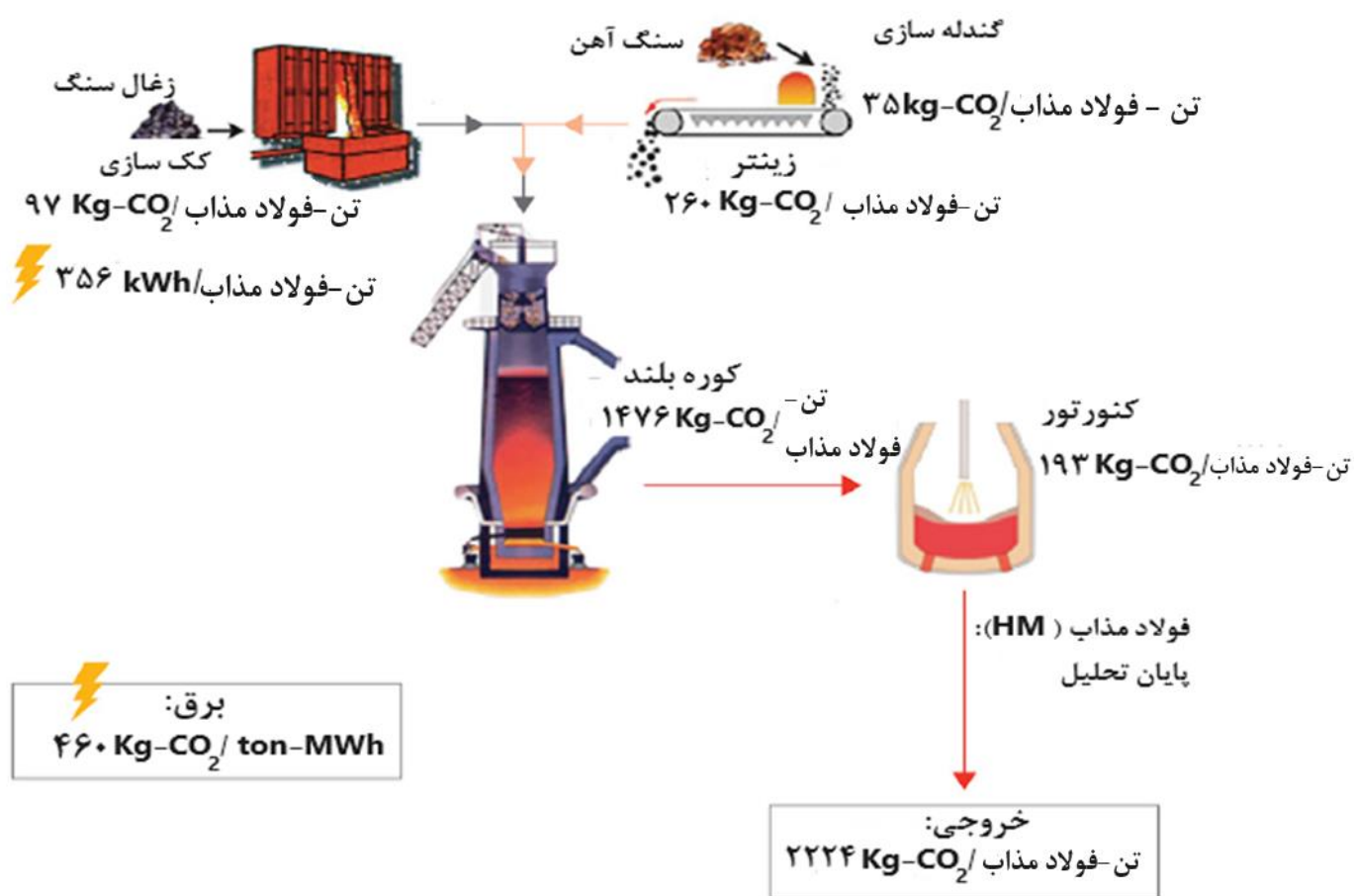
فرآیند کوره بلند به مواد اولیه مختلف (آهن دار، گندله، زینتر، کک متالورژی، آهک و ...) نیاز دارد تا بتواند آهن خام مذاب را تولید کند تا با کاهش کربن آهن خام مذاب در کنورتور اکسیژنی LD و پالایش نهایی مذاب تولیدی کنورتور در کوره های LF و کاهش گازهای محلول و ناخالصی های محلول در فولاد مذاب به آنالیز و کیفیت مورد نظر رسیده برای ریخته گری مداوم فرستاده میشود. در حالی که EAF هم قراضه فولاد و هم آهن اسفنجی را پس از ذوب و تبدیل به فولاد مذاب تخلیه و در کوره های LF و کاهش گازهای محلول و ناخالصی های محلول در فولاد مذاب به آنالیز و کیفیت مورد نظر رسیده و برای ریخته گری مداوم فرستاده میشود. (۳)

تبدیل گندله سنگ آهن به آهن اسفنجی عمدتاً محصولی سرد متخلخل، نفوذپذیر است در اثر جریان هوا یا رطوبت آهن اسفنجی سریعاً اکسیده شده و گرماً تولیدی حاصل از اکسیداسیون میتواند توده آهن اسفنجی قسمتی را به مذاب تبدیل نماید. لذا نگهداری حمل و نقل آن بر حسب مورد با اقداماتی برای جلوگیری از اکسید شدن مجدد آهن اسفنجی نیاز دارد. (۳)

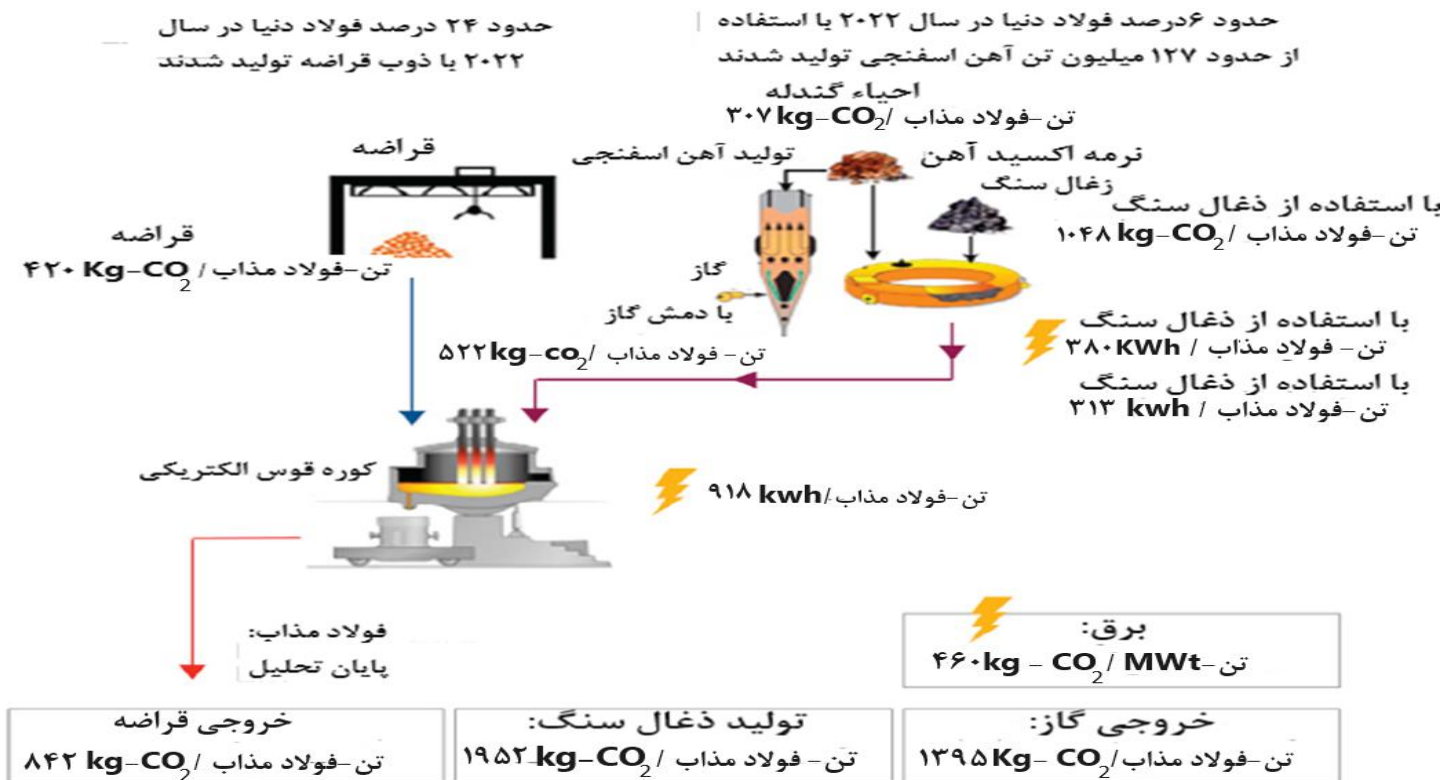
از صد و پنجاه سال قبل تاکنون محققین متالورژی دنیا با انجام تحقیقات پر هزینه مستمر توانستند بتدریج انرژی مصرفی بازار تن تولید فولاد را کاهش دهند. (۶)

شکل شماتیک ۴ فرآیند تولید فولاد با استفاده از روش کوره بلند + کنورتور را که حدود ۷۰ درصد فولاد تولیدی جهان در سال ۲۰۲۲ به این روش تولید شدند را نشان میدهد. (۱۰)

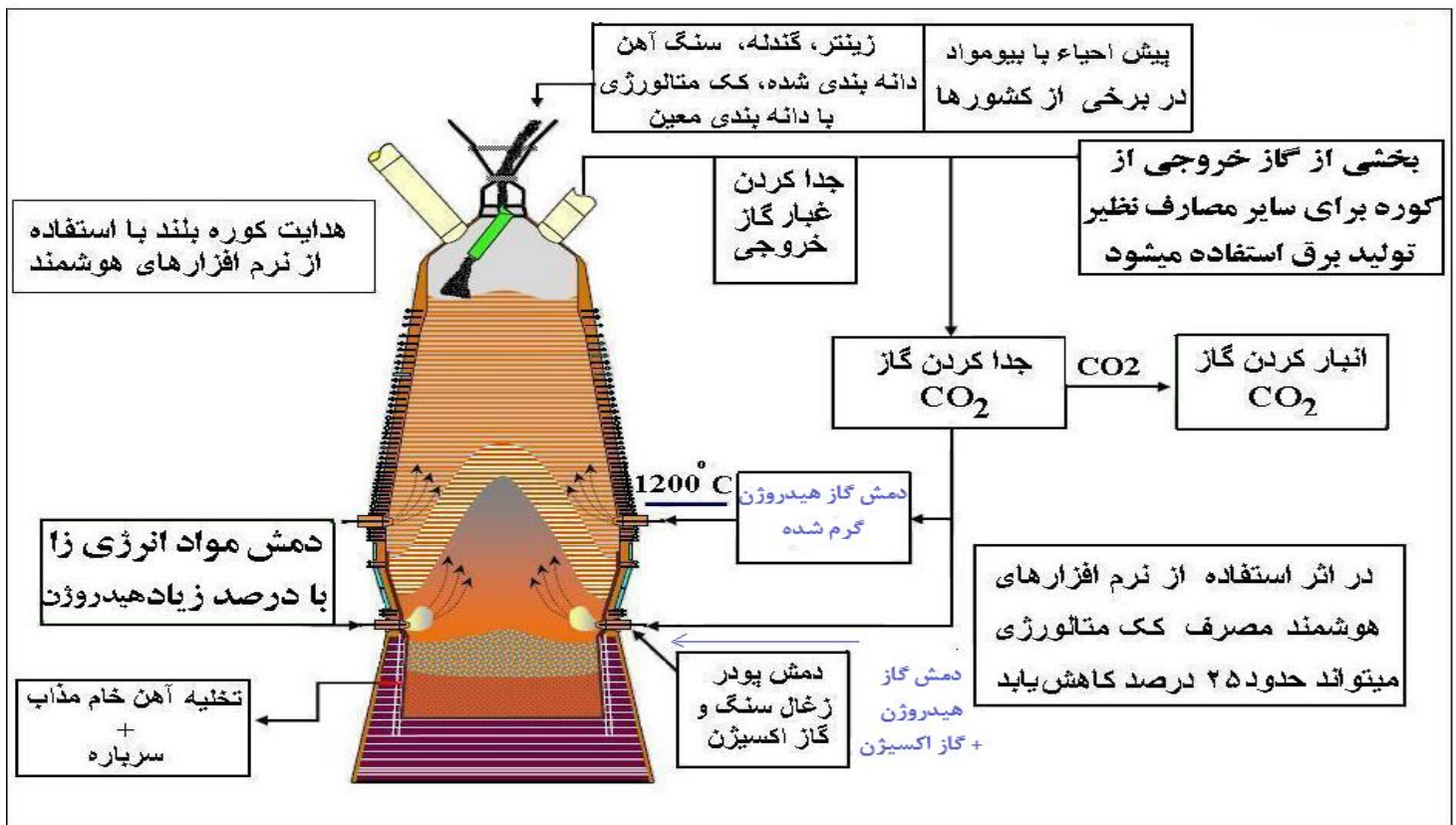
یکی از فرآیندهای تولید فولاد که حدود ۷۰ درصد فولاد جهانی سال ۲۰۲۲ به روش کوره بلند + کنورتور تولید شدند



شکل شماتیکی ۵ فرآیند تولید فولاد احیا گندله با گاز طبیعی و ذوب آهن اسفنجی در کوره قوس الکتریکی یا ذوب قراضه یا مخلوطی از این دو در کوره قوس الکتریکی را نشان میدهد. (۱۰)



شکل شماتیک ۶ فرآیندهایی که در کوره بلند برای تولید آهن خام مذاب صورت گرفته یا خواهد گرفت.

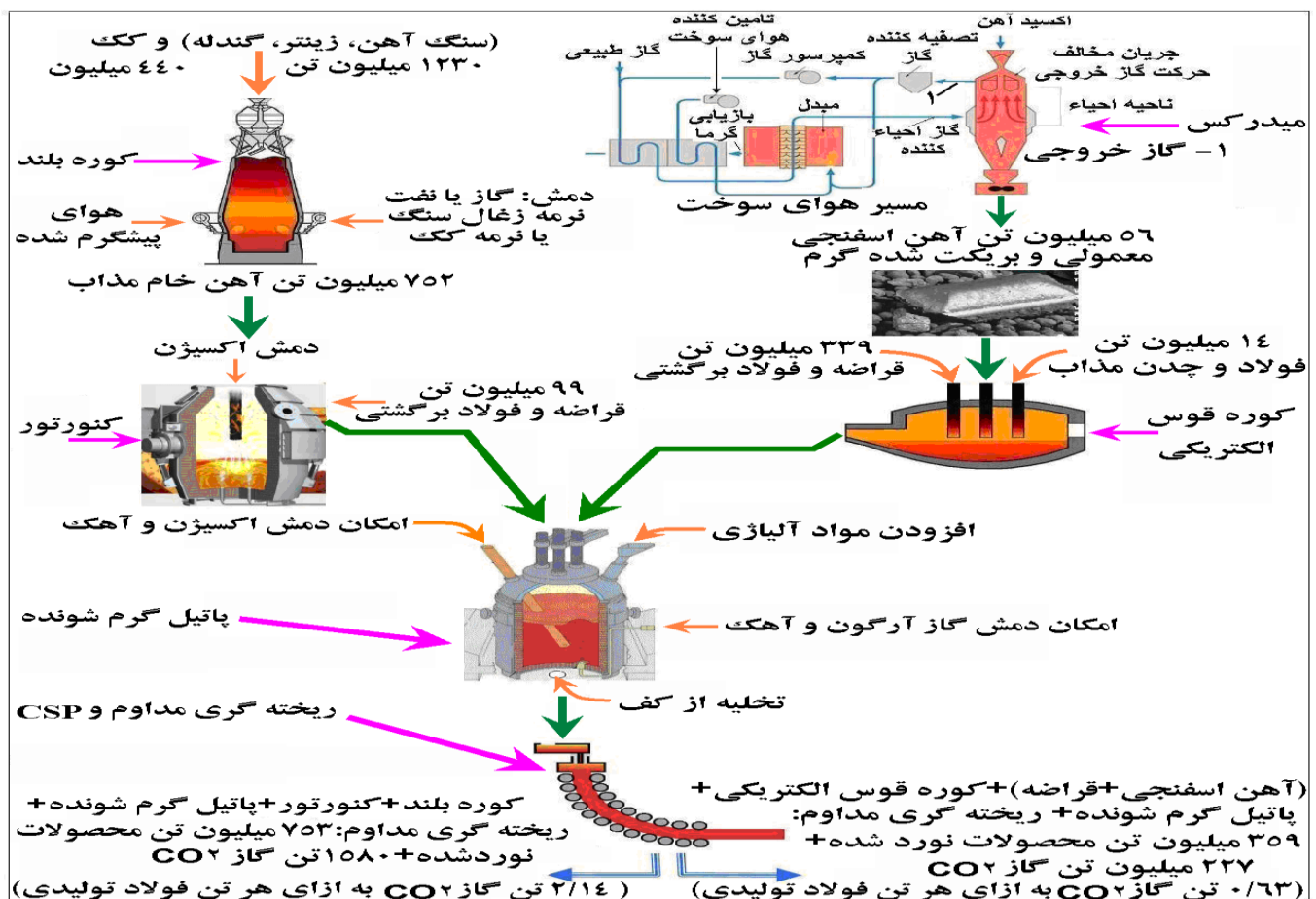


برای کاهش گاز CO₂ تولید شده کوره بلند به ازاء تن تولید آهن خام چندین سال است تحقیقاتی در دست انجام میباشد در یک کوره بلند مدرن امروزی محققین توانستند به جای دمش پودر زغال سنگ + اکسیژن از دمش گازهای هیدروژن و اکسیژن به قسمت پایین کوره همراه هوای گرم همچنین در قسمت وسط کوره با دمش هیدروژن سبز، عملاً ضمن حفظ شرایط کارکرد کوره بلند حدود ۲۰ درصد گاز CO₂ تولیدی به ازاء تن تولید آهن خام مذاب را کاهش دهند که در شکل به رنگ آبی آورده شده است.

بیشتر از این مقدار کاهش بنا به دلایل فنی و تئوری تحولاتی که داخل کوره بلند انجام میگردد مقدور نیست. (۳)

برای کاهش گاز CO₂ بازاء تن تولید آهن خام مذاب در کوره بلند میتوان با تغییرات جزئی تجهیزاتی بجای دمش پودر زغال سنگ یا گاز طبیعی نسبت به دمش هیدروژن سبز زیاد اقدام نمود. به عبارت دیگر با تمحیداتی میتوان گاز CO₂ تولیدی بازاء تن تولید آهن خام مذاب کوره های بلند مدرن امروزی را حداکثر ۲۰ درصد کاهش داد.

شکل شماتیک ۷ روش های مختلف تولید فولاد را از دید تولید گاز CO₂ با یکدیگر مقایسه نموده است. (۶)



در سال ۲۰۲۲ بازنه تن توليد فولاد با استفاده از روش كوره بلند + كنورتور روش متداول در ذوب آهن اصفهان حدود ۵ برابر روش متداول در مجتمع توليد فولاد مباركه گاز CO2 ايجاد ميشود. (۳)

محققين متالورژي كسورهاي پيشرفته صنعتي دنيا تحقيقاتي در جهت افزايش درصد بيشترى از گاز هيدروژن در مخلوط گاز (CO+H2) در كوره هاي عمودي احياء گندله اكسيد آهن انجام دادند نتايج اين تحقيقات آزمايشگاهي نيمه پايوت آن چنان اميدوار كننده بود كه قسمتي از ميانى تئوري و علمى دمس ۱۰۰ درصد از گاز هيدروژن بجاي مخلوط گاز (CO+H2) در كوره هاي عمودي احياء توليد گاز CO2 به ازاء تن توليد فولاد با استفاده از احياء گندله اكسيد آهن با گاز هيدروژن سبز و شارژ مداوم گرم آهن اسفنجي توليدي با حرارتي حدود ۶۰۰ درجه سانتىگراد در كوره قوس الكترىكي جهت ذوب و پالائش آن كه در شكل هاي شماتيك قبلى نشان داده شد حداكثر حدود يك درصد گاز CO2 توليدي كوره هاي بلند مدرن آلمان ، ژاپن ، چين در سال ۲۰۲۲ خواهد بود. (۳)

HYL / ENERGIRON-۳

ArcelorMittal فناورى ENERGIRON DRI را براى كارخانه فولاد Dofasco خود در هميلتون، انتاريو، كانادا انتخاب كرد.

Tenova و Danieli يك واحد احياى مستقيم ENERGIRON ZR با ظرفيت حدود ۲ ميليون تن در سال را طراحي و عرضه

خواهند كرد كه از گاز طبيعى به عنوان عامل احياء كننده با امكان مخلوط كردن آن با هيدروژن تا ۱۰۰٪ استفاده خواهد شد.

اين كارخانه براى جذب و فروش CO2 توليدي طراحي خواهد شد. انتظار مى رود اين كارخانه در سال ۲۰۲۶ راه اندازى شود.

Sinosteel Engineering & Technology Co.، واقع در پكن، چين، با Tenova براى طراحي و تامين يك واحد احياء

اكسيد آهن به ظرفيت اسمى يك ميليون تن در سال بر پايه هيدروژن قرارداد امضا كرد .

اين كارخانه در Baosteel Zhanjiang Iron & Steel Co., Ltd واقع در منطقه اقتصادى و فناورى Zhanjiang، استان

گوانگدونگ، چين نصب خواهد شد. كارخانه ENERGIRON عمدتاً از هيدروژن سبز به عنوان گاز كاهنده اكسيژن با قابليت مخلوط

كردن آن با گاز طبيعى و گاز كوره كك سازى استفاده خواهند شد .

اين كارخانه قادر به جذب CO2 براى فروش تجارى خواهد بود. تاتا استيل فناورى ENERGIRON را براى پروژه Heracless

(عصر هيدروژن-كربن-كمتر) خود كه براى انتقال به توليد فولاد مبتنى بر هيدروژن سبز در تاسيسات Ijmuiden، هلند، انتخاب شده

است .

این شرکت قصد دارد از کارخانه‌های DRI استفاده کند و تأسیسات را قادر سازد تا با استفاده از هیدروژن به تولید فولاد سبز با کیفیت بالا دست یابد. واحد احیاء DRI از نظر طراحی آماده کار یا گاز هیدروژن سبز خواهند بود و می‌توانند از هیدروژن به عنوان گاز احیاء کننده استفاده خواهد نمود. (۲)

۴-ژاپن هم تحقیقات در این زمینه را شروع کرده است به عبارت دیگر بین کشورهای صنعتی دنیا رقابت در هر چه زودتر تولید نمودن محصولات فولادی بدون استفاده از انرژی های فسیلی در چند سال اخیر در جریان است. (۳)

محققین متالورژی دنیا پیش بینی میکنند حدود ۴۰ درصد فولاد دنیا در سال ۲۰۳۰ بدون استفاده از انرژی های فسیلی تولید با استفاده از احیاء اکسید آهن توسط گاز هیدروژن سبز محصولات فولادی تولید نمایند جهت کاهش بیشتر تولید گاز CO₂ در فرآیند تولید فولاد با استفاده از روش کوره بلند + کنورتور مشابه روش رایج در ذوب آهن اصفهان همانطوریکه گفته شد محققین متالورژی به جای دمش گاز طبیعی یا نفت و یا ذغال سنگ همراه با هوای از پیش گرم شده ، با دمش گاز هیدروژن سبز همراه هوای پیش گرم شده، در کوره های بلند مدرن و پیشرفته ژاپن ، چین ، آلمان ، آمریکا را بصورت آزمایشی شروع کردند امید دارند با دمش گاز هیدروژن همراه با دمش هوا و در قسمت میانه ارتفاع کوره بلند مطابق شکل شماتیک شماره ۴ میتوانند حدود ۲۵ درصد از گاز CO₂ تولیدی بازا تن تولید آهن خام مذاب را کاهش دهند. به عبارت دیگر پیش بینی میشود در سال ۲۰۵۰ حداقل ۸۰ درصد فولاد دنیا بدون استفاده از انرژیهای فسیلی تولید شوند. (۳)

تقریباً بیش از ۵ دهه میگذرد که در کارخانه تولید فولاد هامبورگ آلمان که سهام دار اصلی آن شرکت هندی الاصل ARCELORMITTAL است در تنها واحد احیاء مستقیم اکسید آهن با استفاده از مخلوط گاز (CO+H₂) تولید شده از گاز طبیعی (CH₄) بروس میدرکس آهن اسفنجی تولید و با ذوب آن در کوره قوس الکتریکی نهایتاً انواع محصولات طویل فولادی با ارزش افزوده نسبتاً بالا بفروش میرسد.

واحد احیاء مستقیم به ظرفیت اسمی حدود ۵۰۰ هزار تن در سال بعنوان موش آزمایشگاهی کارخانه های ساخت و فروش واحد های تولید آهن اسفنجی در دنیا بوده است. از چندین سال قبل متخصصین متالورژی آلمان به فکر توسعه فن آوری هایی که میتوان بجای مخلوط گازی (CO+H₂) فقط با دمش گاز هیدروژن به تولید آهن اسفنجی با درصد فلزی حدود ۹۷ درصد هستند. (۳)

پس از انجام یک سری آزمایشات کاربردی ، دمش درصد بیشتری از گاز هیدروژن به واحد میدرکس متوجه شدند جهت کاربرد صد در صد گاز هیدروژن جهت تولید آهن اسفنجی باید آزمایشات متعددی در اشل پیلوت طبیعی به ظرفیت سالانه حدود ۱۰۰ هزار تن انجام دهند تا به تغییرات فنی که جهت دمش صد در صد هیدروژن خالص جهت احیاء اکسید آهن برای واحد صنعتی احیاء اکسید آهن به ظرفیت هایی بیش از حدود ۵۰۰ هزار تن تا بیش از دو میلیون تن در سال باید ایجاد نمایند واقف شوند.

احیاء اکسید آهن در اشل صنعتی با گاز هیدروژن چالش های فنی و عملی زیادی نسبت به روش متداول امروزی احیاء اکسید آهن با مخلوط گاز (CO+H₂) وجود خواهد داشت که در یک واحد پیلوت صنعتی با هزینه کمتری میتوان عملاً از نظر فنی با تجزیه تحلیل نتایج آزمایشات در اشل یا بلوت نسبت به طراحی ، ساخت و شروع به تولید آهن اسفنجی با دمش صد در صد هیدروژن سبز و ذوب گرم آهن اسفنجی تولیدی با حرارتی حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد در کوره قوس الکتریکی عملاً محصولات فولادی بدون مصرف انرژیهای فسیلی را از اواخر سال ۲۰۲۵ بصورت انبوه تولید نمایند.

همانطوریکه قبلاً گفته شد اتحادیه اروپا جهت حمایت از انجام این آزمایشات صنعتی حدود ۵۵ میلیون یورو بلاعوض از ۱۱۰ میلیون یورو سرمایه گذاری ساخت پیلوت با ظرفیت صد هزار تن در سال را در اختیار مدیریت فولاد هامبورگ قرار داده است.

مسئولین دولتهای محلی و مرکزی آلمان هم علاوه بر تسهیلات لازم جهت ساخت سیستم یا بلوت معافیت های مالیاتی جهت جبران قسمتی از هزینه ساخت و انجام آزمایشات را تقبل نموده اند.

الکترولیز آب جهت تولید هیدروژن سبز برای تامین انرژی لازم جهت تولید فولاد سبز

سرمایه گذاری پروژه های انجام الکترولیز آب جهت تولید گاز هیدروژن به سرعت در جهان در حال رشد است. سرمایه گذاری برای

الکترولیز آب جهت تولید گاز هیدروژن توسط چین ، کشورهای اروپایی ، عربستان و در دست انجام است چین در سال ۲۰۲۱

سرمایه گذاری جهت توسعه الکترولیز ۱۵۰ مگاواتی را شروع کرده بود همچنین این کشور یک تاسیسات ۲۶۰ مگاواتی را در پالایشگاه در سین کیانگ را در دست اجرا دارد که قبل از سال ۲۰۲۴ به تولید انبوه گاز هیدروژن سبز جهت تامین نیاز داخلی مصرف خواهد شد.

کشورهایی که که دارای مزیت خدادادی جهت تولید برق از انرژی خورشیدی دارند مانند عربستان ، استرالیا و ... سرمایه گذاری زیادی جهت تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی، الکترولیز آب و تولید هیدروژن با استفاده از انرژی خورشیدی عمدتاً جهت صادرات سرمایه گذاری زیادی در دست اجرا دارند عربستان هم اکنون با سرمایه گذاری زیاد امیدوار است با بهره برداری از تجهیزات الکترولیز به ظرفیت ۲ گیگاوات که ۸ برابر بزرگترین ظرفیت تجهیزات الکترولیز امروز جهانی است از سال ۲۰۲۶ همراه با صادرات نفت ، گاز مایع ، هیدروژن سبز تولیدی را هم بصورت انبوه صادر نماید.

استرالیا که تجربه صادرات گاز LNG را با کشتی دارد هم امیدوار است با کاهش ذخیره گاز خود بتواند هیدروژن مایع سبز تولید و صادر نماید.

کشورهای اروپایی که فاقد مزیت خدادادی برای استفاده از انرژی خورشیدی جهت تولید برق هستند با در نظر گرفتن حدود ۸۰۲ میلیارد دلار برای ایجاد زیر ساخت های الکتریکی در جزیره انرژی بین سالهای ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ حدود ۵۰ درصد کل برق مصرفی ۴ کشور بلژیک ، دانمارک ، هلند و انگلستان را در منطقه DOGGER BANK بسازند زمان بهره برداری آن قبل از سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است. این کشورها میخواهند مرکز به اصطلاح انرژی بادی در دریای شمال را که عمق کمی دارد بوجود آورند و ۵۰ درصد برق مورد نیاز خود را بدون استفاده از انرژی های فسیلی و با سرمایه گذاری فوق حدود ۸۰۲ میلیارد دلار تامین نمایند. سهم انرژی های تجدیدپذیر از ترکیب برق جهانی امروزه نزدیک به ۳۰ درصد است ، کشورهای دنیا با سرمایه گذاری های زیادی پیش بینی مینمایند که قبل از سال ۲۰۳۰ به بیش از ۵۰ درصد برسانند.

شتاب فرآیندهای که در سطح جهان پشت فناوری های استفاده هرچه بیشتر از انرژی پاک سبب شده است که از هم اکنون مجوزی در کشورهای پیشرفته برای احداث نیروگاه های تولید برق با استفاده از انرژی ذغال سنگ صادر نخواهد شد . استفاده هرچه بیشتر بشر از

انواع انرژی های پاک در سراسر جهان در حال پیشرفت است و غیر قابل توقف است. چنانچه آقای فاتح بیرویل مدیر اجرایی آژانس بین المللی انرژی در تاریخ ۲۴/۱۰/۲۰۲۳ چنین گفته است :

مسئله «اگر» نیست، فقط مسئله «چقدر زود» است – برای همه ما بهتر است هر چه زودتر دولتها، شرکتها برای جلوگیری از استفاده انرژی های فسیلی در ارتباط با تولید انرژی های پاک (خورشیدی ، باد و) جهت تولید هیدروژن سبز ، سرمایه گذاری لازم را انجام دهند. این فرآیند مزایای بسیار زیادی برای دنیا و کشورها دارد از جمله فرصت ها و مشاغل صنعتی جدید امنیت انرژی بیشتر ، هوای پاک تر، دسترسی جهانی به آب و هوا امن تر ، کاهش سوانح زیان بار مانند طوفان و سیل سالهای اخیر و میباشد.

کنفرانسی تحت عنوان پیشرفت فناوری جهانی (آب و هوا) توسط شرکت worldsteel با همکاری posco holding ، emiarats steel arkan ، sms group ، Qatar steel ، perimetals ، tenova ، midrex و در تاریخ ۲ دسامبر تشکیل خواهد شد . (۱۱)

ایران برای تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی مزیت خدادادی زیادی دارد که متأسفانه بعلت عدم سرمایه گذاری های لازم تاکنون از این مزیت خدادادی جهت توسعه همه جانبه و تامین رفاه بیشتر ملت استفاده کافی نشده است. هرچند در سال جاری (۱۴۰۲) اقداماتی را مسئولین محترم روی کاغذ انجام داده اند و طرح های کوچکی را در مقیاس جهانی امیدوارند انشاالله در جهت استفاده بیشتر از انرژی های تجدیدپذیر اجرا نمایند.

کشورهای امارات متحده عربی ، عمان ، مصر در حال مذاکره با کشورهای اروپایی و چین جهت سرمایه گذاری مشترک برای تولید گاز هیدروژن سبز و نهایتاً صادرات آن به کشورهای دیگر میباشد.

در آوریل ۲۰۲۳ Avaada یک توسعه دهنده پروژه استفاده از انرژی خورشیدی جهت تولید برق برای الکترولیز آب توانست ۱ میلیارد دلار از یک صندوق سرمایه گذاری کانادا برای سرمایه گذاری پروژه های تولید هیدروژن سبز در هند دریافت کند. سرمایه گذاری در مرحله رشد بهره برداری از انرژی های تجدیدپذیر شرکت های فناوری جهانی در حال توسعه است.

در تجزیه و تحلیل ۳۹۱ استارت آپ که از سال ۱۹۹۰ در دنیا شروع به فعالیت در ارتباط با تولید هیدروژن سبز، حمل و نقل آن و ... در جهان تاسیس شده اند. ۷۰ درصد این شرکتها حداقل یک درخواست ثبت اختراع جهانی در زنجیره تولید هیدروژن سبز را ارائه کردند. سرمایه گذاری ۲ میلیارد دلاری استرالیا برای تولید هیدروژن سبز با استفاده از الکترولیز آب در نظر گرفت همچنین دولت آمریکا یک بودجه سرمایه گذاری ۱/۶ میلیارد دلاری و بودجه زیادی ژاپن در زنجیره تولید انرژی سبز در استرالیا و تامین کرده اند.

در اوایل سال ۲۰۲۳ جانسون تیمی و پلاک پاور شراکت تولید الکترولیز را برای یک کارخانه ۵ گیگاواتی تا سال ۲۰۲۵ اعلام کردند که بیش از دو برابر ظرفیت فعلی ایالات متحده و پنج برابر از بزرگترین کارخانه های عملیاتی جهان در سال ۲۰۲۳ خواهد بود.

از ۳۸ طرح کارخانه الکترولیز آب جهت تولید هیدروژن با ظرفیت بیش از یک گیگاوات فقط شش پروژه طرح های ایالات متحده آمریکا هستند.

استفاده بیشتر و هرچه زودتر از انرژی خدادادی لایزال خورشیدی در ایران هزینه تولید و بهره برداری از انرژی خورشیدی برای تولید برق و تولید فولاد سبز در ایران کمتر از هزینه های لازم کشورهای پیشرفته صنعتی بخصوص کشورهای عضو اتحادیه اروپا میباشد. و سبب میشود که تولید فولاد در ایران ارزانتر از هر نقطه ای در جهان بشود. فرآیند احیا مستقیم با گاز هیدروژن به هماهنگی جهانی نیاز دارد زیرا دستیابی به مشکلات این تکنولوژی نو به همکاری جهانی وابسته است. آنچه مسلم است احداث واحدهای جدید تولید آهن اسفنجی با استفاده از گاز هیدروژن در اروپا، ژاپن، آمریکا و با تغییرات فنی که در واحدهای احیاء مستقیم ایران که بزرگترین تولید کننده آهن اسفنجی دنیا با استفاده از گاز طبیعی میباشد گرانتر خواهند بود و دیرتر به بهره برداری خواهند رسید.

سرمایه گذاری و راه اندازی واحدهای جدید تولید برق از انرژی های تجدید پذیر در ایران از سرمایه گذاری های لازم برای تاسیس نیروگاه های تولید برق گازسوز و نیروگاه های هسته ای با در نظر گرفتن هزینه بهره برداری از آنها از دید اقتصادی هم برای ایران به صرفه تر است.

شاید بتوانند مسئولین محترم این سرمایه گذاری را با استفاده از وام بانک جهانی یا بعضی از کشورها تامین نمایند. نیروگاه های تولید برق تجدیدپذیر با ظرفیت های سالانه حدود ۳۵ مگاوات و به تعداد زیاد همچنین تولید برق با ظرفیت های از یک کیلو وات به بالا در

ایران میتواند حداکثر ظرف دو سال به ناترازی برق و گاز کشور خاتمه داد بخصوص از نظر پدافند غیر عامل مولد های برق تجدیدپذیر اضطراری در مراکز حیاتی ایران میتواند کارساز باشند.

کشور چین در طراحی ، ساخت و بهره برداری انرژی های تجدیدپذیر سرمایه گذاری زیادی نموده است بیشترین درصد تولید برق با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر دنیا در سال ۲۰۲۱ ، ۲۰۲۲ ، ۲۰۲۳ داشته و خواهد داشت.

مسئولین محترم ایران باید به کمک مسئولین چینی در امر تولید برق با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر که کمکی به جلوگیری از گرم شدن کره زمین مینماید بخواهند به جای فروش بعضی از اقلام غیر ضروری به تعداد زیاد و نزدیک به نقاط مصرف ، نیروگاه های برق خورشیدی با ظرفیت های حدود ۳۵ تا ۵۰ مگاوات تاسیس شوند تا انتقال برق آنها به علت نزدیکی به نقاط مصرف مانند استفاده از شبکه برق سراسری انتقال برق فعلی که با تلفات زیادی مواجه است تولید برق توسط نیروگاه های کوچک نزدیک به مصرف از تولید تا مصرف تلفات زیادی مانند وضعیت فعلی ایران نخواهند داشت.

عدم نفع واحدهای تولیدی ایران در دو سال اخیر به دلیل قطع یا کاهش برق و گاز دستوری آنها هر ساله حدود ۷ تا ۸ میلیارد دلار تخمین زده میشود امید است مسئولین طراز اول کشور با تمام مشکلاتی که روزانه با آن مواجه هستند عنایت خاصی برای خروج از گرفتاری روزمرگی به تولید هرچه بیشتر و زودتر برق با استفاده از انرژی خورشیدی داشته باشند تا فاصله سطح استفاده تکنولوژی کشور ایران از پیشرفت تکنولوژی جهانی بیشتر از این نشده و به امید خدا با همت مسئولین و همیاری متخصصین وطن پرست فاصله استفاده از سطح تکنولوژی فعلی ایران از کشورهای پیشرفته صنعتی کاهش چشمگیری یابد انشالله.

تجزیه و تحلیل جهانی در جهت سرمایه گذاری بیشتر دنیا برای کاهش گاز CO2 تولیدی که به علت افزایش رشد مصرف سرسام آور انرژی های فسیلی در کشورهایی مشابه ایران را در سالهای اخیر شاهد هستیم . بشرط زنده بودن در آینده نزدیک با تجزیه و تحلیل جهانی ذخایر نفت و گاز ، ذغال سنگ کشورهای مختلف دنیا تجزیه و تحلیل روند مصارف انرژیهای فسیلی، تجدیدپذیر ، انرژی آبی ، انرژی هسته ای کشورهای دنیا در چند سال اخیر توجه مسئولین محترم دولت سیزدهم را جهت سرمایه گذاری بیشتر برای استفاده از تولید انرژی های تجدیدپذیر بجای سرمایه گذاری های زیاد در جهت افزایش ظرفیت تولید برق جهت کاهش مشکلات ناشی از

ناترازی گاز، برق که منجر به کاهش دستوری تولید صنایع انرژی بر ایران واحد های تولید فولاد ایران جمعا در ماه اوت ۲۰۲۳ نسبت به ماه قبل ۲۴ درصد کاهش داشت و بیشترین درصد کاهش تولید فولاد دنیا را در ماه اوت ۲۰۲۳ ایران بخود اختصاص داد. به امید خدا در سالهای آینده مواجهه با چنین وضعیتهایی نباشیم انشاءالله.

منابع

۱-خبر از سایت www.h2fly.de تاریخ ۷ سپتامبر ۲۰۲۳

۲- MidrexSTATSBook2022 تاریخ انتشار مقاله سپتامبر ۲۰۲۳

۳- تحلیل نویسنده

۴- world steel 2023 سایت (www.worldsteel.org)

۵-کتاب سید تقی نعیمی، تولید فولاد در ایران و مسائل جنبی آن، سازمان پژوهش های علمی صنعتی ایران، فروردین ماه ۱۳۶۱

۶- کتاب سید تقی نعیمی تولید آهن فولاد در ایران و جهان - پژوهشگاه مواد و انرژی - بهمن ماه ۱۳۸۸

۷- مقاله از سایت میدرکس (midrex NG with H2 addition) ۲۰۲۳

۸- کتاب به زبان آلمانی سید تقی نعیمی Herstellung und verarbeitung von Eisenschwamm Dip.-Ing. Dr.-Ing. S.T. Naimi book = (R.W.T.H.A-1980)

۹- منبع از سایت www.cell.com/joule/home سال ۲۰۲۳

۱۰- فصل نامه علمی انرژی های تجدیدپذیر سال دهم شماره بهار و تابستان ۱۴۰۲

۱۱- سایت آژانس بین المللی انرژی (www.iea.org) خبر روز تاریخ ۲۴/۱۰/۲۰۲۳ (The energy world is set to change significantly)
(by 2030, based on today's policy settings alone)