



استراتژی های کربن زدایی در تولید فولاد



اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

معاونت بررسی های اقتصادی





تهیه کننده: فروغ کریمی امیرکیاسر

ناظر: عاطفه قاسمیان

واحد گردآوری و تحلیل آمارهای اقتصادی

معاونت بررسی‌های اقتصادی

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

خرداد ۱۴۰۰

از طریق ایمیل زیر می‌توانید پیشنهادهای و نظرات اصلاحی خود را به واحد مربوطه منعکس نمایید:

economic.tccim@gmail.com

استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع بلامانع است.



چکیده

گذار به سمت انرژی پاک و کربن زدایی از سوخت‌ها، یکی از مهم‌ترین موضوعات در صنایع سنگین است. صنعت فولاد یکی از سه عامل کلیدی در انتشار دی‌اکسید کربن در جهان است؛ بطوریکه بیش از ۷۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد جهان مستقیماً مربوط به استفاده از زغال سنگ به عنوان سوخت و احیاکننده است. مک‌کنزی اخیراً در گزارشی استراتژی‌هایی را برای کربن زدایی در فرایند تولید فولاد ارائه کرده که می‌تواند به طور موثرتری انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. براساس این گزارش، اولین گام برای دستیابی به این هدف، کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و بازتعریف استفاده از فولاد، از طریق تغییر مواد اولیه به سمت مواد جایگزین در ساخت فولاد و تولید کارآمد محصولات فولادی بادوام است. در وهله دوم، عملیات را می‌توان با افزایش استفاده از ضایعات و قراضه‌ها و الکترولیز فاقد کربن، کربن زدایی کرد. برخی از سازندگان فولاد از بیومس به عنوان عامل احیاکننده به جای زغال سنگ استفاده می‌کنند و استفاده هوشمند از کربن را برای کاهش انتشار گازهای دی‌اکسید کربن انجام می‌دهند.

چالش کربن‌زدایی در تولید فولاد

گذار به سمت انرژی پاک و کربن‌زدایی از سوخت‌ها، یکی از مهم‌ترین موضوعات در صنایع سنگین است. صنعت فولاد یکی از سه عامل کلیدی انتشار دی‌اکسید کربن در جهان است؛ بطوریکه بیش از ۷۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد جهان مستقیماً به دلیل استفاده از زغال سنگ به عنوان سوخت و احیاکننده است. فولادسازان در حال برداشتن گام‌هایی برای کربن‌زدایی هستند و از روش‌هایی برای دستیابی سریع به این هدف، استفاده می‌کنند (جدول ۱). اولین گام برای دستیابی به این هدف، کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و بازتعریف استفاده از فولاد، از طریق تغییر مواد اولیه به سمت مواد جایگزین در ساخت فولاد و تولید کارآمد محصولات فولادی بادوام است. در وهله دوم، عملیات را می‌توان با افزایش استفاده از ضایعات و قراضه‌ها و الکترولیز عاری از کربن، کربن‌زدایی کرد. برخی از سازندگان فولاد از بیومس^۱ به عنوان احیاکننده به جای زغال سنگ استفاده می‌کنند و استفاده هوشمند از کربن را برای کاهش انتشار گازهای دی‌اکسید کربن انجام می‌دهند.

جدول ۱- تولیدکنندگان فولاد در حال ارزیابی طیفی از استراتژی‌های کربن‌زدایی هستند

استراتژی‌های کربن‌زدایی، کامل تا متوسط

چشم‌انداز فعلی	مثال‌ها	استراتژی	
فناوری به راحتی و با هزینه رقابتی در دسترس است.	ورودی BOF بهینه‌سازی شده، افزایش تزریق سوخت در BF (به عنوان مثال هیدروژن، زغال‌سنگ پودر شده)	برای بهینه سازی عملیات BF-BOF ^۲ ، بهبود کارایی ایجاد کنید.	کوره اکسیژن پایه (BOF)
این فرآیند در آمریکای لاتین و روسیه به دلیل موجود بودن بیومس امکان پذیر است.	استفاده از فرآیند تولید به روش شرکت Tecnoled برزیلی از طریق استفاده کمتر از زغال‌سنگ	از بیومس به عنوان احیاکننده یا سوخت جایگزین، استفاده کنید.	بیومس احیاکننده
در حال حاضر در مرحله میانی است.	تولید بیواتانول از انتشار دی‌اکسید کربن	سوخت‌های فسیلی و آلاینده‌ها را بگیرید و محصولات جدید ایجاد کنید.	جذب و استفاده از کربن (CCU ^۳)
در حال حاضر در مرحله میانی است.	دی‌اکسید کربن گرفته شده از فرآیند آهن‌سازی برای تقویت بازیافت به میدین نفتی تزریق می‌شود.	دی‌اکسیدکربن را از فرآیند تولید فولاد گرفته و ذخیره کنید و در فرآیند دیگری، به عنوان سوخت رها یا تزریق کنید.	جذب و ذخیره کربن (CCS ^۴)
فناوری به راحتی و با هزینه رقابتی در دسترس است.	استفاده از EAF برای ذوب قراضه‌ها	با ذوب قراضه‌های بیشتر در EAF، جریان ثانویه و بازیافت را به حداکثر برسانید.	کوره قوس الکتریکی (EAF ^۵)

¹ Biomass

^۲ کوره بلند (BF-Blast Furnace) - کوره اکسیژن پایه (BOF-Basic Oxygen Furnace)

³ Carbon Capture and Storage (CCS)

⁴ Carbon Capture and Usage (CCU)

⁵ Electric Arc Furnace (EAF)



چشم‌انداز فعلی	مثال‌ها	استراتژی	DRI ^۱ به علاوه EAF با استفاده از گاز طبیعی
فناوری به راحتی در دسترس است.	نیروگاه های فعلی DRI به همراه EAF با استفاده از گاز طبیعی (NG)	افزایش استفاده از DRI در EAF	
فناوری با هزینه بالا در دسترس است.	روند MIDREX DRI در H _۲ اجرا می‌شود. فرآیند ENERGIION DRI در H _۲ در حال اجرا است.	سوخت‌های فسیلی را در فرآیند DRI با انرژی تجدیدپذیر یا H _۲ جایگزین کنید.	DRI به علاوه EAF با استفاده از H _۲

منبع: مک‌کنزی

تحولات اخیر در مقررات، همراه با تعهد برخی دولت‌ها برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، بسیاری از سازندگان فولاد را به هدف‌های بالاتری از کربن‌زدایی در سال‌های آینده سوق داده است. بنابراین، امروز شرکت‌های فولادی باید مسیرهای میان‌مدت و بلندمدت خود را برای کربن‌زدایی مشخص کنند (شکل ۱).

شکل ۱- چهار مسیر اصلی به سمت کربن‌زدایی تا سال ۲۰۵۰



منبع: مک‌کنزی

^۱ آهن کربن کاهش‌یافته به روش مستقیم (DRI- Direct Reduced Iron)



در حالی که در دهه آینده احتمالاً شاهد اصلاحاتی در فرآیندهای فعلی، از جمله فرآیند جذب و ذخیره کربن (CCS) و جذب و استفاده از کربن (CCU) خواهیم بود، اما بر اهمیت اجرای فرایندهای جدید هم افزوده خواهد شد. یکی از عوامل تقویت‌کننده و اهرمی برای تسریع این گذار، کاهش کربن سنگ‌آهن با استفاده از هیدروژن به جای زغال سنگ خواهد بود. با این حال، عامل تعیین‌کننده موفقیت این فناوری در دسترس بودن هیدروژن در سطحی اقتصادی و به اندازه خواهد بود.

در حالی که CCS و CCU هر دو گزینه‌های اقتصادی میان‌مدت و بلندمدت هستند، اما جایگزینی هیدروژن با توجه به لزوم تامین اهداف جاه‌طلبانه بین‌المللی در رابطه با تغییرات اقلیمی، فرصتی رو به رشد است. استفاده از این فناوری، یکی از محدود گزینه‌ها برای کاهش انتشار آلاینده‌ها در صنعت فولاد سازی است که می‌تواند در پارادایم فعلی، یک مزیت رقابتی برای توسعه‌دهندگان انرژی تجدیدپذیر هم ایجاد کند. براساس گزارش مک‌کنزی، تولید فولاد مبتنی بر هیدروژن می‌تواند تولید فولادی که تقریباً عاری از کربن است، را امکان‌پذیر کند (شکل ۲).

شکل ۲- تولید فولاد مبتنی بر هیدروژن با گام‌های موثری همراه است



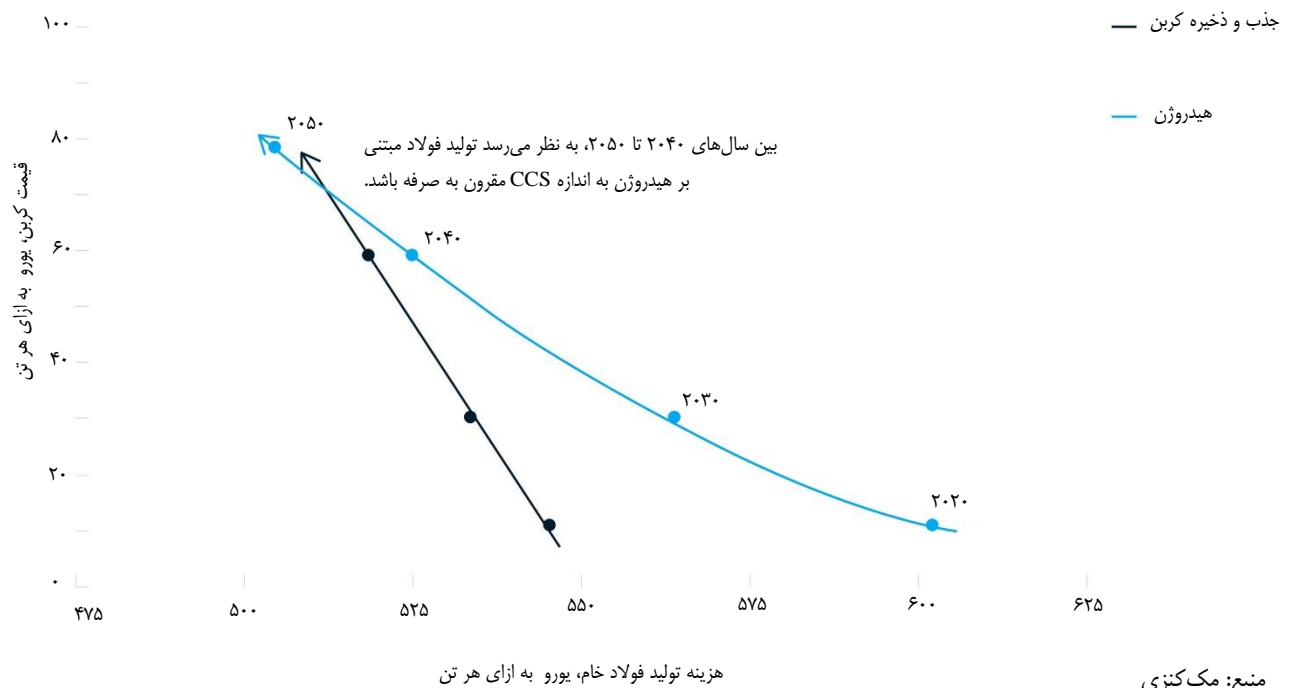
منبع: مک‌کنزی

استفاده از فناوری CCS یا CCU در کوره‌های بلند، تقریباً حدود ۱۰۰ یورو به هزینه عملیاتی در تولید هر تن فولاد خام اضافه می‌کند و تولید فولاد بر پایه هیدروژن، تقریباً نیاز به ۱۷۰ یورو هزینه اضافی در هر تن فولاد خام دارد. تا سال ۲۰۵۰،



با افزایش تولید هیدروژن در مقیاس اقتصادی و اخذ مالیات کربن، تولید فولاد مبتنی بر هیدروژن، CCS و CCU گزینه‌های رقابتی را برای فولادسازان فراهم خواهد کرد (شکل ۳).

شکل ۳- به نظر می‌رسد تا سال ۲۰۵۰، تولید فولاد مبتنی بر هیدروژن به اندازه تولید به روش CCS مقرون به صرفه باشد



پیش‌بینی می‌شود هزینه تولید فولاد خام به روش هیدروژن از حدود ۶۰۰ یورو به ازای هر تن فولاد خام در سال ۲۰۲۰، به حدود ۵۰۰ یورو به ازای هر تن فولاد خام در سال ۲۰۵۰ کاهش یابد و در مقابل بهای کربن از حدود ۱۰ یورو در هر تن به ۸۰ یورو در هر تن برسد.

این باور وجود دارد که امروزه، کربن‌زدایی در صنعت فولاد منجر به نتایج بهتری برای هریک از شرکت‌ها خواهد شد. با نگاهی به افق بلندمدت ساخت یا مقاوم‌سازی سایت‌های صنعتی موجود، می‌توان از طریق سرمایه‌گذاری و برنامه‌هایی که هم‌اکنون برخی از آن‌ها هم آغاز شده، به طور موثرتری انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد.