

تدوین استراتژی های کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در صنعت فولاد با استفاده از مدل LEAP جنوبی

ماندانا مقصودی^۱

علی محمدی^{۲*}

ali.mohammadi@srbiau.ac.ir

فریده عتابی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این مطالعه تحلیل اثر بخشی اقدامات مختلف بر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در صنعت فولاد و الویت بندی راه کارهای پیشنهادی و ارایه بسته مدیریت انتشار گازهای گلخانه ای در صنعت فولاد کشور است. صنعت فولاد بعد از نیروگاه ها، دومین صنعت انرژی بر می باشد.

روش بررسی: در این تحقیق ابتدا سیاست های توسعه صنعت فولاد و اثر آن ها بر تقاضای انرژی این صنعت و انتشار گازهای گلخانه ای در سناریوی پایه، سپس اثر سیاست های مختلف در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای با استفاده از مدل ساز LEAP. بررسی گردید. پس از آن سیاست ها با توجه به پتانسیل های کاهش انتشار الویت بندی شد و در نهایت بسته مدیریتی پیشنهاد شده است. سناریوهای تعریف شده چهار نوع هستند: سناریوهای پایه، بهینه سازی، نوسازی و سناریوی مربوط به جایگزینی سوخت در تولید برق مورد نیاز صنعت فولاد

یافته ها: در صورت اجرای سه سناریوی بهینه سازی الویت با سناریوی BOF است. در صورت اجرای سناریوهای نوسازی الویت با استفاده از فناوری MIDREX است. از آنجایی که بیشتر برق کشور از طریق سوزاندن سوخت فسیلی تولید می شود در صورتی که استفاده از سوخت مایع در نیروگاه ها انجام می شد جایگزینی با سوخت گاز طبیعی می توانست کاهش زیادی در میزان انتشار کربن نشان دهد ولی با توجه به اینکه نیروگاه های کشور اکثراً از سوخت گاز طبیعی استفاده می کنند چنین سناریویی حذف می شود.

نتیجه گیری: در مجموع نتایج نشان دهنده این است که اثر بخش ترین راه کار در کاهش انتشار معادل دی اکسید کربن در سال ۲۰۳۰ در سناریوی MIDREX دیده می شود که از سناریوهای زیر مجموعه نوسازی می باشد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، گازهای گلخانه ای، مصرف انرژی، مدل LEAP، صنعت فولاد.

^۱ کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آلودگی هوا، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. ایران
^۲ استادیار گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. ایران

ایران* (مسوول مکاتبات)

^۳ دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. ایران

Emission reduction strategies in the steel industry with LEAP energy planning model

Mandana Maghsoodi¹

Ali Mohammadi^{2*}

ali.mohammadi@srbiau.ac.ir

Farideh Atabi³

Accepted Date: October 20, 2024

Date Received: August 12, 2024

Abstract

Background and Purpose: The aim of this study is analyze the effectiveness of different measures for mitigation of greenhouse gas emissions in the steel industry and prioritizing strategies and management packages on greenhouse gas emissions in the countries' steel industry. Steel industry after the power plants, is the second most energy intensive industry.

Analysis method: In this investigation at first steel industry development policies and their consequence on energy demand and greenhouse gas emissions in the baseline scenario. Then the policies due to the potential emission reduction were prioritized and the management package was suggested. Four scenarios was defined: Baseline Scenarios, optimization, renovation and replacement fuel in power generation scenarios in the steel industry

Findings: In case of running the three optimization scenarios, BOF scenario takes priority. If running modernization scenarios MIDREX takes priority. Since most of the country's electricity is generated by burning fossil fuels, in case of usage liquid fuels in power plants, replacing natural gas would show a significant decrease in carbon emissions, however considering that most of the country's power plants use natural gas fuel this scenario will be deleted

Conclusion: The results demonstrate that the greatest impact on reducing carbon dioxide equivalent emissions in 2030 is MIDREX scenario in the sub- renovation scenarios.

Keywords: Climate Change, Greenhouse Gases, Energy Consumption, Modeling LEAP, Steel Industry.

¹ Master of Environment Engineering-Air pollution, College of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Assistant Professor of the Environmental Planning, Management and Education, Faculty of the Graduate School of Natural Resources and Environment, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*(Corresponding Author)

³ Associate Professor of the Environmental Engineering, Faculty of the Graduate School of Natural Resources and Environment, SR.C.,Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۱- مقدمه

هدف از این تحقیق ارایه راه‌کارهایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد و بررسی اثر بخشی اقدامات مختلف بهینه‌سازی و نوسازی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نهایت ارایه بسته مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد کشور می‌باشد.

اهداف دیگری که این مطالعه تامین می‌نماید، تعیین کلیه پارامترهای موثر در تولید گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد، برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد مورد نظر با استفاده از مدل LEAP، پیش‌بینی روند آتی گازهای گلخانه‌ای در صنعت مورد نظر با توجه به سیاست‌های توسعه در کشور، تدوین انواع سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت مورد نظر، تحلیل روند انتشار و بررسی تأثیر اجرای سیاست‌های مختلف بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد می‌باشند.

به دلیل گرمایش جهانی و روند رو به رشد افزایش دمای کره زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای، رژیم حقوقی آتی تغییر اقلیم به سمت قبول تعهد توسط تمامی کشورهای عضو کنوانسیون تغییر اقلیم می‌رود و با توجه به این که ج.ا.ایران نیز تعهداتی در قالب گزارش مشارکت‌های معین مورد نظر ملی^۱ به صورت ۴ درصد تعهد غیر مشروط با استفاده از منابع داخلی کشور و ۸ درصد تعهد مشروط به کمک‌های مالی، فنی و ظرفیت‌سازی سازی مجامع بین‌المللی را قبل از جلسه بیست و یکم اعضاء کنوانسیون تغییر آب و هوا در سال ۲۰۱۵ به ثبت رسانده است (۱)، تلاش برای کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد که جزو صنایع انرژی‌بر بوده و بالتبع دارای سهم بالایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای است و همچنین یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی کشورها می‌باشد، لزوم پیدا می‌نماید. لذا در این تحقیق اثرگذاری روش‌های مختلف بررسی شده است.

تحقیقات و مطالعات زیادی در این خصوص در داخل و خارج از کشور انجام شده است از جمله:

مطالعه کاناکو تاناکا^۲ در سال ۲۰۱۲ با عنوان "مقایسه بین روش‌های دستیابی به بهره‌وری انرژی^۳ و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت آهن و فولاد اروپا و ژاپن"، مطالعه استرینتیپ جانتیونگ^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۴ با عنوان "شدت انرژی^۵ و دی‌اکسیدکربن از صنعت فولاد تایلند و

پیش‌بینی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سال ۲۰۵۰"، مطالعه نیکولاس پاردو^۶ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با عنوان "سناریوهای آتی در بهره‌وری انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در آهن و صنعت فولاد اروپا"، مطالعه پورزیو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با عنوان "کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از بهبود شدت انرژی صنایع از طریق سیستم‌های پشتیبانی به‌عنوان یک مثال کاربردی در صنایع فولاد" و در داخل کشور مطالعه بهری و همکاران در سال ۱۳۹۱ با عنوان "روش‌های کاربردی بازیابی و ذخیره انرژی برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در کوره هنگام تولید آهن و فولاد"، مطالعه کیاندهخت بهرامیان در سال ۱۳۸۸ با موضوع پایان نامه کارشناسی ارشد "بررسی روند انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت سیمان و کاهش آن با استفاده از مدل LEAP".

در مقایسه با تحقیقات بالا نتایج این تحقیق می‌تواند برای اهداف توسعه پاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت فولاد ایران مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی با توجه به این که در این مطالعه اثر روش‌های کاهش انتشار در سناریوهای مختلف در یک افق ۱۵ ساله در یکی از صنایع فولاد ایران به طور موردی بررسی خواهد شد، می‌تواند نه تنها در تدوین راه بردهای توسعه پاک و پایدار در این صنعت مورد استفاده قرار گیرد، بلکه می‌تواند به عنوان برنامه‌های اجرایی میان مدت نیز به کار گرفته شود.

۲- روش اجرای تحقیق

روش اجرای تحقیق در این مطالعه شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به چگونگی فرآیند تولید فولاد در داخل کشور و خارج از کشور، مطالعه تحقیقات مشابه در صنایع دیگر، اخذ آمار لازم از منابع معتبر نظیر سایت World Steel، ایمیدرو، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت و نیز اسناد بالادستی نظیر مطالعات طرح جامع فولاد کشور می‌باشد. سپس میزان رشد تولید فولاد به‌دست آمده و با در نظر گرفتن هدف سند چشم‌انداز فولاد که تولید ۵۵ میلیون تن فولاد در سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵) می‌باشد، آمار بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ تعمیم داده شد. پس از آن سناریوی BAU با فرضیات ذیل در نظر گرفته شد:

- ✓ سال پایه سال ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است.
- ✓ شدت انرژی از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۳۰ ثابت در نظر گرفته شده است.
- ✓ شدت مصرف انرژی طبق اسناد ایمیدرو برای کوره بلند و برای کوره قوس الکتریکی

¹ Intended National Determined Contributions (INDCs)

² Kanako Tanaka

³ Energy Efficiency

⁴ Sirintip Juntueng

⁵ Energy Intensity

⁶ Nicolás Pardo

تحلیل قرار می‌گیرد ولی در ابتدا نتایج سناریوی پایه بررسی می‌شود.

۳-۱- نتایج مدل‌سازی در سناریوی پایه

سناریوی BAU انعکاس دهنده ادامه وضع فعلی در آینده است. در ادبیات موضوع به انتشار حاصل از تولید برق، انتشارات غیر مستقیم صنعت آهن و فولاد اطلاق می‌شود. (۴) نتایج نشان می‌دهد که میزان انتشار از حدود ۳۱ میلیون تن معادل دی-اکسیدکربن سال ۲۰۱۰ با میزان رشدی معادل ۶/۴۵٪ در سال به حدود ۱۷۰ میلیون تن معادل دی-اکسیدکربن در سال ۲۰۳۰ می‌رسد. (۵) ضمناً سهم انتشار غیرمستقیم از کل انتشارات صنعت فولاد کشور در سال ۲۰۳۰ حدود ۱۰/۶ درصد می‌باشد. در جدول (۱) مقادیر عددی انتشار معادل دی-اکسیدکربن در سناریوی BAU برحسب فرآیندهای صنعت آهن و فولاد با احتساب انتشار ناشی از مصرف برق در مجتمع فولاد آورده شده است.

مقداری از انتشار ناشی از صنعت فولاد، انتشار فرآیندی است که بیش‌تر ناشی از فرآیند احیاء، در مرحله احیاء مستقیم در کوره پاتیلی و احیاء غیرمستقیم در کوره احیاء و نیز در فرآیند تولید آهنک می‌باشد. (۶)

۳-۲- سناریوهای مربوط به بهینه‌سازی سیستم‌ها

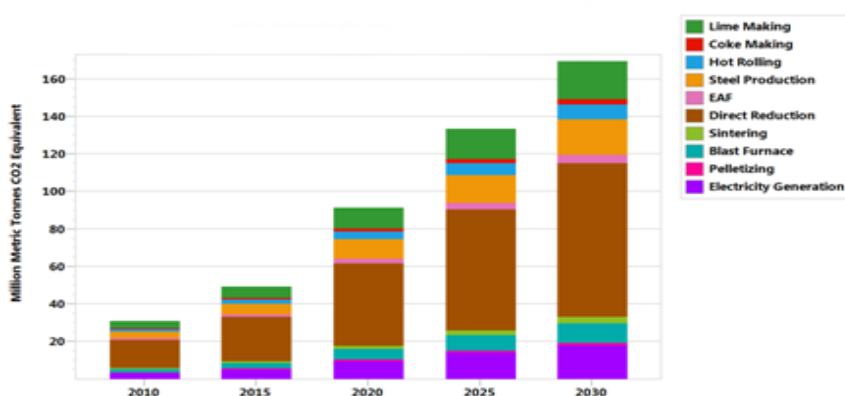
این بخش شامل سه سناریوی کوره بلند، کوره قوس الکتریک و سناریوی احیاء مستقیم می‌باشد:

✓ سهم روش‌های تولید فولاد یعنی EAF و BOF به ترتیب به نسبت ۸۰٪ و ۲۰٪ تا سال آخر مدل‌سازی یعنی ۲۰۳۰ ثابت در نظر گرفته شده است.
✓ میزان تولید فولاد در سال ۲۰۲۵ (۱۴۰۴)، ۵۵ میلیون تن در نظر گرفته شده است (۲).

سپس سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سه دسته بهینه‌سازی، نوسازی و جایگزینی برق مصرفی تعریف شد. در این تحقیق، برای انجام تحلیل لازم از نرم افزار LEAP استفاده شده است. این نرم افزار می‌تواند انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای ناشی از هر یک از بخش‌های زنجیره سوخت نظیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از استخراج، فرآوری، توزیع و احتراق در اثر استفاده یا تغییر سوخت را محاسبه نماید. ضمناً مدل LEAP اثر کاهش انتشار یک سیاست را به صورت منفرد در خود بخش تقاضا و نیز کاهش انتشار ناشی از تقاضای سوخت ناشی از این سیاست را در سیکل چرخه تا چرخ محاسبه می‌نماید. با تزریق داده‌های مربوط به عرضه فولاد مانند میزان تولید و شدت انتشار فرآیندهای مختلف چرخه تولید فولاد به نرم افزار، می‌توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از این صنعت و روند آن را از LEAP استخراج نمود (۳).

۳- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این بخش یافته‌های تحقیق که حاصل مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم افزار LEAP است، ارائه شده و مورد تجزیه و



شکل (۱) - مجموع انتشار مستقیم و غیرمستقیم معادل دی‌اکسیدکربن در سناریوی BAU بر حسب فرآیندهای صنعت آهن و فولاد با احتساب انتشار ناشی از مصرف برق در مجتمع فولاد.

Figure 1- Total direct emissions and indirect carbon dioxide equivalent in the BAU scenario based on iron and steel industrial processes including the emissions from electricity consumption in steel plant.

جدول (۱) - مقادیر عددی انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در سناریوی BAU برحسب فرآیندهای صنعت آهن و فولاد با احتساب انتشار ناشی از مصرف برق در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

Table 1- The numerical values of equivalent carbon dioxide emissions in the BAU scenario based on iron and steel industrial processes including the emissions from electricity consumption in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
BAU	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۷۴/۴	۹۱/۲	۱۰۸	۱۲۴/۹	۱۴۰/۶	۱۵۵/۱	۱۶۹/۷

مقادیر عددی میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در سناریوی BF در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ در جدول (۲) آورده شده است.

۲. کوره قوس الکتریک

برای این منظور چهار راه‌کار شامل بهبود کنترل فرآیند (صرفه‌جویی انرژی در حدود ۴۰ کیلووات‌ساعت بر تن آهن اسفنجی تولیدی)، شارژ آهن اسفنجی^۲ داغ (صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در حدود ۱۳۰ کیلووات‌ساعت بر تن فولاد تولید شده)، استفاده از قراضه خردشده (صرفه‌جویی انرژی در حدود ۱۱ کیلووات‌ساعت بر تن آهن اسفنجی تولیدی) و پیش‌گرم کردن قراضه (صرفه‌جویی حدود ۳۰ کیلووات‌ساعت بر تن آهن اسفنجی) را در نظر می‌گیریم.

شکل (۳) میزان انتشار دی‌اکسیدکربن معادل صنعت فولاد پس از اجرای راه‌کارهای فوق را نشان می‌دهد.

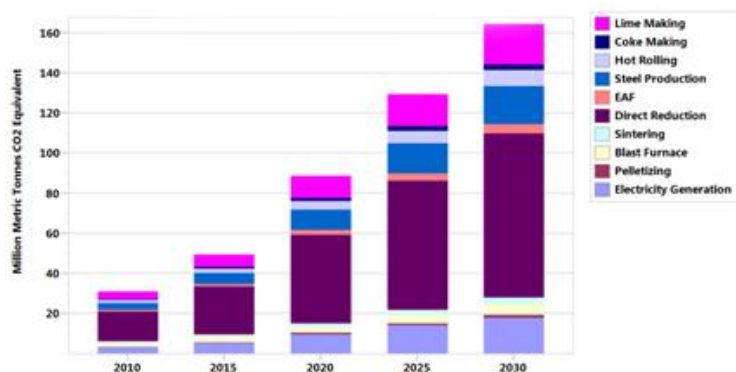
در جدول (۳) مقادیر عددی انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در سناریوی EAF نشان داده شده است.

۱. کوره بلند

در این سناریو راه‌کارهای در نظر گرفته شده در چهار بخش تزریق پودر زغال سنگ^۱ با صرفه‌جویی انرژی حدود ۳/۴۵ GJ/Ton، بهبود کنترل عمل کرد کوره بلند با پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در حدود ۰/۴ گیگاژول به ازای تولید یک تن فولاد، بهینه‌سازی کانویرها (پیش‌گرم‌کن‌های هوا) با پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در حدود ۰/۱۳ گیگاژول به ازای تولید هر تن چدن و بازیافت گاز کوره بلند که در این روش صرفه‌جویی انرژی در مجموع ۲/۵ GJ/Ton می‌باشد.

شکل (۲) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعت فولاد پس از اجرای راه‌کارهای مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی در کوره بلند (سناریوی BF) را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است میزان کاهش انتشار بر اثر اجرای سناریوی BF نسبت به سناریوی BAU در سال ۲۰۳۰ در حدود ۵ میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن می‌باشد و به حدود ۱۶۴/۵ می‌رسد.



شکل (۲) - انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی‌اکسیدکربن در صنعت فولاد در سناریوی BF

Figure 2- Emissions (process and combustion) of carbon dioxide in the steel industry in the BF scenario

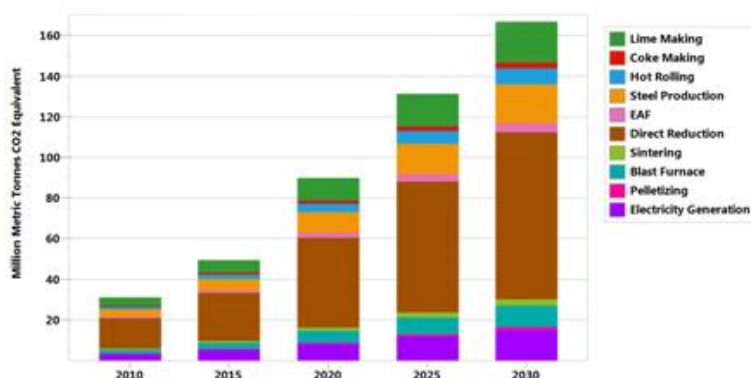
جدول (۲) - مقادیر عددی انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در سناریوی BF در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

Table 2- Numerical quantities of carbon dioxide equivalent Emissions in the period 2010 to 2030 in the BF scenario

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
Blast Furnace	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۷۳/۲	۸۸/۴	۱۰۴/۷	۱۲۱	۱۳۶/۲	۱۵۰/۳	۱۶۴/۴

¹ Particle Coal Injection (PCI)

² Direct Reduction Iron (DRI)



شکل (۳) - میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی EAF
Figure 3- Emissions (processes and combustion) of carbon dioxide in the EAF scenario steel industry

جدول (۳) - مقادیر عددی انتشار معادل دی اکسید کربن در سناریوی EAF در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

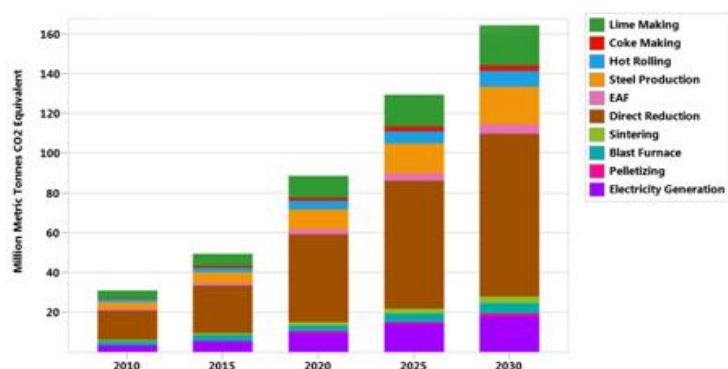
Table 3- Numerical quantities of carbon dioxide equivalent Emissions in the EAF scenario in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
EAF	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۷۳/۷	۸۹/۷	۱۰۶/۲	۱۲۲/۸	۱۳۸/۲	۱۵۲/۵	۱۶۶/۸

کردن گاز فرآیند با پتانسیلی معادل با حدود ۴۰ میلیون نرمال مت مکعب کاهش مصرف انرژی در سال در کل کشور می باشد. در شکل (۴) نیز میزان کاهش انتشار ناشی از اجرای سناریوی DR در مقایسه با سناریوی BAU نشان داده شده است که در حدود ۴/۵ میلیون مترمکعب معادل دی اکسید کربن می باشد. در جدول (۴) مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی DR نشان داده شده است.

۳. احیاء مستقیم

برای بهینه سازی مصرف انرژی در واحد احیاء مستقیم، راه کارهای مختلفی پیشنهاد می شود که اهم آن ها کاهش تخلیه گاز کوره احیاء به اتمسفر (۷) با میزان ۱۵ میلیون نرمال مترمکعب گاز کوره در سال، پیش گرم کردن گاز کوره مشعل های اصلی با پتانسیل صرفه جویی انرژی ۴۳ میلیون نرمال مترمکعب گاز طبیعی در سال در کل کشور به طور میانگین و پیش گرم



شکل (۴) - میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی DR
Figure 4- Emissions (processes and combustion) of carbon dioxide from steel industry in the DR scenario

جدول (۴) - مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی DR در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

Table 4- The numerical values of emissions carbon dioxide equivalent (processes and combustion) from steel industry in DR scenario in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
DR	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۷۳/۴	۸۸/۹	۱۰۵/۳	۱۲۱/۷	۱۳۷	۱۵۱/۱	۱۶۵/۳

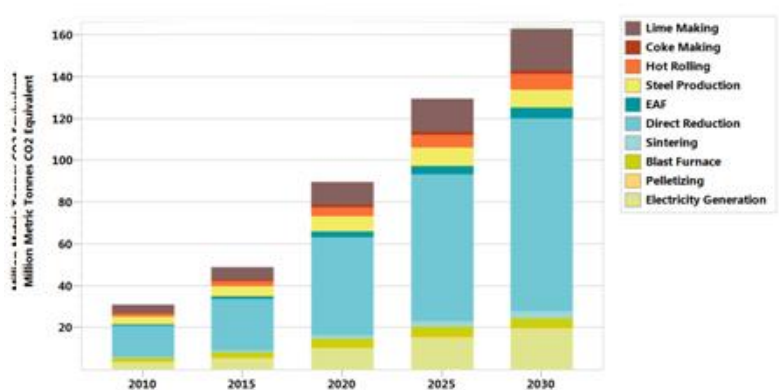
حدود ۹۵٪ می‌رسانیم. شکل (۵) میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن از صنعت فولاد در اثر اعمال این راه-کار نشان داده شده است.

در جدول (۵) مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی‌اکسیدکربن صنعت فولاد در سناریوی BOF به EAF نشان داده شده است.

۳-۳- سناریوهای نوسازی

سناریوهای مربوط به نوسازی در دو دسته در نظر گرفته شده‌اند: سناریوی تبدیل کوره بلند- کنورتور به کوره قوس الکتریک (۸) و سناریوی استفاده از فناوری MIDREX.

سناریوی تبدیل کوره بلند- کنورتور به کوره قوس الکتریک که در این سناریو سهم تولید فولاد به روش احیاء مستقیم - کوره قوس الکتریک را از ۸۰٪ به



شکل (۵) - میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی‌اکسیدکربن از صنعت فولاد در سناریوی BOF به EAF

Figure 5 - The emissions (processes and combustion) of carbon dioxide equivalent BOF to EAF from steel industry scenario

جدول (۵) - مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی‌اکسیدکربن صنعت فولاد در سناریوی BOF به EAF در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰

Table 5- emission numeric values (process and combustion) of carbon dioxide in the BOF to EAF scenario from steel industry in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
BOF to EAF	۳۰/۸	۳۵/۳	۴۰/۴	۵۹/۹	۷۳/۲	۸۹/۴	۱۰۵/۴	۱۲۱/۴	۱۳۶	۱۴۹/۵	۱۶۲/۸

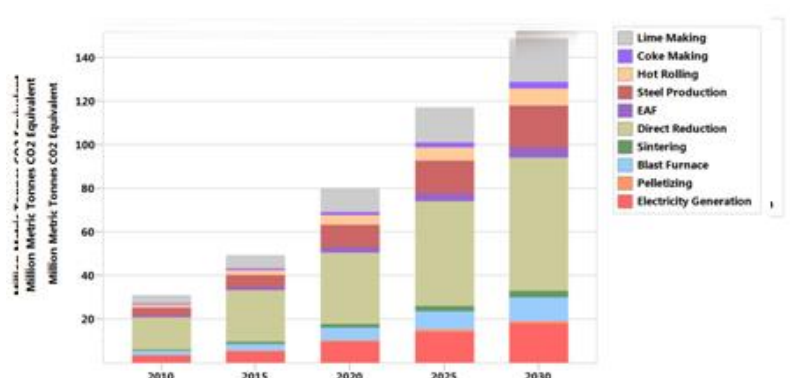
در جدول (۶) مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی‌اکسیدکربن صنعت فولاد در سناریوی MIDREX نشان داده شده است.

۳-۴- سناریوی مربوط به جایگزینی سوخت در تولید برق مورد نیاز صنعت فولاد

در این سناریو در نظر گرفته شده است که تا سال ۲۰۳۰، ۱۰ درصد از انرژی مورد نیاز برق مجتمع‌های فولاد از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود. شکل (۹) میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن از صنعت فولاد تا سال ۲۰۳۰ در اثر اجرای سیاست استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق مورد نیاز صنایع فولاد نشان می‌دهد.

5. MIDREX سناریوی

میدرکس فناوری است که به وسیله آن سنگ آهن، تبدیل به آهن احیاء شده با درجه خلوص بالا می‌شود. آهن احیاء شده در صنایع ذوب‌آهن و تولید فولاد دارای استفاده بسیار است. روش میدرکس در ایران نیز اجرا می‌شود و در حال حاضر واحدهای احیاء مستقیم چندین فولادساز بزرگ ایرانی از جمله فولاد خوزستان و فولاد مبارکه اصفهان از این روش برای تولید آهن اسفنجی استفاده می‌کنند. حدود ۸۵ درصد تولید آهن اسفنجی در دنیا با روش میدرکس تولید می‌شود. حدود ۴۹ واحد میدرکس در ۱۶ کشور دنیا مشغول به کار هستند که تمامی این‌ها از گازشکن‌ها برای تبدیل گاز طبیعی به «CO» و «H₂» استفاده می‌کنند. (۹) شکل (۶) میزان انتشار صنعت فولاد در کشور را در سناریوی MIDREX نشان می‌دهد.



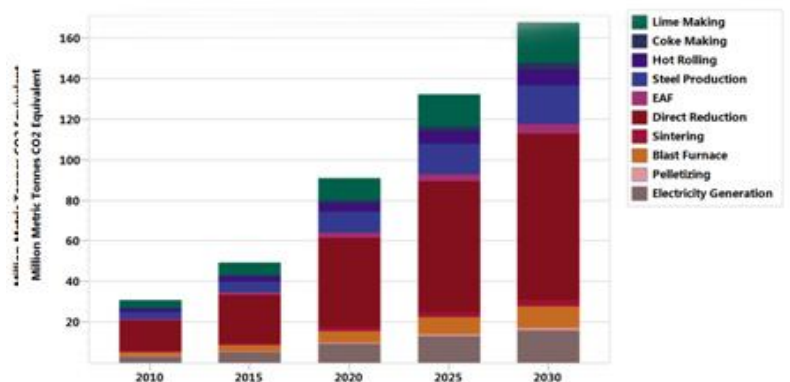
شکل (۶) - میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن از صنعت فولاد در سناریوی MIDREX

Figure 6 - carbon dioxide equivalent emissions (processes and combustion) of the steel industry in the scenario MIDREX

جدول (۶) - مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی MIDREX در بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۱۰

Table 6 - Numerical values of carbon dioxide emissions (processes and combustion) in the scenario MIDREX from steel industry in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
MIDREX	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۶۹/۸	۸۰	۹۴/۷	۱۰۹/۵	۱۲۳/۲	۱۳۶	۱۴۸/۷



شکل (۷) - میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن از سناریوی Low Carbon Electricity

Figure 7- carbon dioxide equivalent emissions (processes and combustion) of the Low Carbon Electricity scenario

میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی Low Carbon Electricity نشان داده شده است.

همان گونه که نتایج نشان می دهد میزان انتشار معادل دی اکسید کربن در این سناریو نسبت به سناریوی BAU در حدود ۲ میلیون تن کمتر می باشد. در جدول (۷) مقادیر عددی

جدول (۷) - مقادیر عددی میزان انتشار (فرآیندی و احتراقی) معادل دی اکسید کربن صنعت فولاد در سناریوی Low Carbon Electricity در بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۱۰

Table 7 - The numerical values of carbon dioxide emissions (processes and combustion) in the Low Carbon Electricity scenario from steel industry in the period 2010 to 2030

Year	۲۰۱۰	۲۰۱۲	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
Electricity Carbon Low	۳۰/۸	۳۵/۵	۴۰/۷	۵۷/۵	۷۴/۳	۹۰/۹	۱۰۷/۵	۱۲۴	۱۳۹/۴	۱۵۳/۵	۱۶۷/۶

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری

از آنجایی که صنعت فولاد جزو صنایع پر مصرف انرژی است، کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هم چنین کاهش انتشار فرآیندی در این صنعت می‌تواند تاثیر به سزایی در کاهش مصرف انرژی در بخش صنعت از خود به‌جا گذارد (۱۰). در جدول (۷) میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن

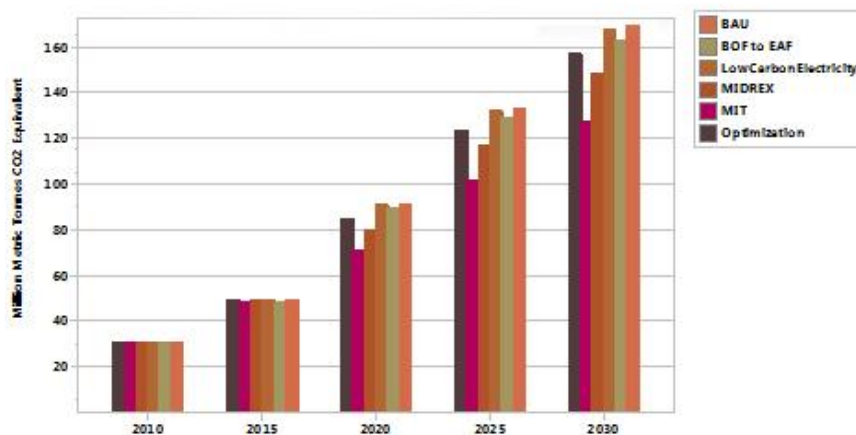
از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ به صورت هر ۵ سال یک بار نشان داده شده است.

نتایج به‌دست آمده در جدول (۸) نشان دهنده این است که بیش‌ترین تاثیر در کاهش انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۳۰ در سناریوی MIDREX وجود دارد و در شکل (۸) نیز می‌توان این نتایج را به‌صورت گراف مشاهده نمود.

جدول (۸) - نتایج کاهش انتشار حاصل از سناریوهای در نظر گرفته شده در مدل ساز LEAP

Table 8 - The results obtained from emission reduction scenarios considered in the modeling LEAP

سناریوها	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
BAU	۳۰/۸	۴۹/۱	۹۱/۲	۱۳۳/۳	۱۶۹/۷
BOF to EAF	۳۰/۸	۴۸/۶	۸۹/۴	۱۲۹/۳	۱۶۲/۸
Blast Furnace	۳۰/۸	۴۹/۱	۸۸/۴	۱۲۹/۲	۱۶۴/۴
سناریوها	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
DR	۳۰/۸	۴۹/۱	۸۸/۹	۱۲۹/۹	۱۶۵/۳
EAF	۳۰/۸	۴۹/۱	۸۹/۷	۱۳۱	۱۶۶/۸
Electricity Carbon Low	۳۰/۸	۴۹/۱	۹۰/۹	۱۳۲/۳	۱۷۶/۶
MIDREX	۳۰/۸	۴۹/۱	۸۰	۱۱۶/۸	۱۴۸/۷



شکل (۸) - مقایسه اثر بخشی سناریوهای تعریف‌شده کاهش انتشار در مدل سازی LEAP

Figure 8 - Comparison of the effectiveness of the mitigation scenarios defined in the modeling LEAP

بیشتر MIDREX اجرای سناریوی استفاده از فناوری می‌باشد. BOF to EAF از سناریوی

- از آنجایی که بیش‌تر برق کشور از طریق سوزاندن سوخت فسیلی تولید می‌شود، در صورتی که استفاده از سوخت مایع در نیروگاه‌ها انجام می‌شود، جایگزینی با سوخت گاز طبیعی می‌توانست کاهش زیادی در میزان انتشار کربن نشان دهد، ولی با توجه به این‌که نیروگاه‌های کشور اکثراً از سوخت گاز طبیعی استفاده می‌کنند، چنین سناریویی حذف می‌شود. به همین دلیل فقط جایگزینی سوخت فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر البته با توجه به زیر ساخت‌های موجود در حدود ۱۰ درصد

نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوهای مختلف در مدل برنامه‌ریزی انرژی LEAP نشان دهنده این است که:

- در صورت اجرای سه سناریوی بهینه‌سازی، الویت با 1- است. جدول (۹) سناریوهای EAF سناریوی بهینه‌سازی را از لحاظ میزان کاهش انتشار با یکدیگر مقایسه می‌کند.
- در صورت اجرای سناریوهای نوسازی الویت با استفاده 2- است. همان‌گونه که جدول MIDREX از فناوری (۱۰) نشان می‌دهد میزان کاهش انتشار حاصل از

تا پایان سال ۲۰۳۰ در سبد سوخت مورد نیاز تولید برق کارخانه‌های فولاد در نظر گرفته شده است که کاهش انتشار متناظر آن ۲ میلیون تن معادل دی-است که رقم BAU اکسیدکربن نسبت به سناریوی بالایی نمی‌باشد. ولی از لحاظ ایجاد زیرساخت‌های

لازم برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و حفظ منابع حایز اهمیت بوده و دارای الویت بالایی است. در جدول (۱۱) میزان کاهش انتشار معادل دی-اکسیدکربن ناشی از اجرای سناریوها به ترتیب بیش‌ترین به کم‌ترین اثر در کاهش انتشار آمده است.

جدول (۹) - میزان کاهش انتشار مورد انتظار سناریوهای بهینه‌سازی

Table 9 - The expected emission reduction in the Optimization scenarios

سناریوی تعریف شده	میزان کاهش انتشار نسبت به سناریوی BAU در سال ۲۰۳۰
EAF	۵ میلیون تن معادل دی اکسید کربن
BOF	۳ میلیون تن معادل دی اکسید کربن
DR	۴/۵ میلیون تن معادل دی اکسید کربن

6.

جدول (۱۰) - مقایسه میزان کاهش انتشار متناظر دو سناریوی تعریف شده نوسازی

Table 10 - Comparison of the two scenarios of emission reduction defined corresponding modernization

سناریوی تعریف شده	میزان کاهش انتشار نسبت به سناریوی BAU در سال ۲۰۳۰
BOF to EAF	۷ میلیون تن معادل دی اکسید کربن
استفاده از فناوری MIDREX	۲۱ میلیون تن معادل دی اکسید کربن

جدول (۱۱) - میزان کاهش انتشار معادل دی اکسیدکربن ناشی از اجرای سناریوها به ترتیب بیش‌ترین به کم‌ترین اثر در کاهش انتشار
Table (11) - Diffusion axis balance of the equivalent of the resulting carbon dioxide, if its scenarios were carried out in a pixel arrangement with two meters of effect on the diffusion axis

ردیف	سناریوی تعریف شده	میزان کاهش انتشار نسبت به سناریوی BAU در سال ۲۰۳۰ (میلیون تن معادل دی اکسید کربن)
۱	MIDREX	۲۱
۲	BOF to EAF	۷
۳	BF	۵
۴	DR	۴/۵
۵	EAF	۳
۶	جایگزینی منابع تجدیدپذیر در تولید برق مورد نیاز صنعت فولاد	۲

7.

پیشنهادهای

بیش‌ترین اثربخشی را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، سناریوی MIDREX دارد، زیرا در این روش با استفاده از کوره‌های پاتیلی عمودی و روش خاص ورود گاز احیاء از بالای کوره میزان مصرف انرژی حدود ۵۰٪ کاهش می‌یابد (۱۱) و آهن بسیار مرغوبی برای تهیه فولاد تولید می‌شود که درجه خلوص بالایی دارد (۱۲).

پس از سناریوی MIDREX، بیش‌ترین اثر در کاهش انتشار، مربوط به سناریوی BOF to EAF است که باز هم مربوط به جایگزینی و نوسازی سیستم‌ها می‌باشد. چون در روش EAF احیاء با استفاده از گاز طبیعی صورت می‌گیرد که دارای منابع

فراوان در ایران است و استخراج آن نسبت به ذغال سنگ به کار رفته برای احیاء در روش BOF انتشار کم‌تری دارد، بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به دلایل بالا و نیز عدم وجود منابع کافی زغال سنگ کک شو مورد استفاده در روش BOF در کشور، از روش تولید EAF در کشور بیش‌تر بهره گرفته شود و سهم آن تا جایی که ممکن است در تولید آهن خام مورد نیاز صنعت فولاد بالا ببریم. لازم به ذکر است که این تبدیل فناوری در حالتی در نظر گرفته شده است که برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در این دو روش تولید فولاد کاری در صنایع کشور انجام نگرفته باشد.

- Based on Environmental Criteria (Domestic Sector), Amir Kabir University of Technology (in Persian)
4. Analysis of Mining Industry (Iron & Steel), 1999, Ministry of Social Welfare & Social Security (in Persian)
 5. Third Climate Change National Report, 2015, Department of the Environment (DOE), National Plan for Climate change
 6. Nakhaei, Fardis et al., 2011, Global Production Trend of Iron and Steel Concentrates & Measures to Reduce the Energy Consumption, Industrial Technology Development Bi-annual, #19, pages 39 – 49 (in Persian)
 7. National Pension Fund Audit Institute, 2008, Analysis of Mining Industries, Iron and Steel, Qom, Sahafi publications (in Persian)
 8. Bahri, Zahra et al., 2012, Applied Techniques for Recycling and Storage of Energy for the Mitigation of CO₂ Emissions in Furnaces During the Production of Iron and Steel, 3rd Conference of Industrial Furnaces, Tehran, Kimia Energy Ham-Andishan (in Persian)
 9. John T. Kopfle, James M. McClelland, Gary E. Metius, Midrex Technologies, Inc, 2008
 10. Global Steel Industry Perspective – Synthesis Version, European Steel Technology & Application Days, 2014
 11. http://www.fooladnews.com/print_page/23791/0
 12. (www.midrex.com)

مجموع وزن راه‌کارهای مورد استفاده برای کاهش انتشار در سناریوهای BF و DR تقریباً برابر است و میزان کاهش انتشار آن‌ها خیلی بالا نیست. ولی چون این راه‌کارها معمولاً از نظر هزینه مقرون به صرفه هستند، پیشنهاد می‌شود کارخانجات فولادی که نمی‌توانند سرمایه‌گذاری برای به‌روزرسانی فناوری‌ها و روش‌های تولید خود انجام دهند، با انجام این روش‌های کم‌هزینه از کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار متناظر با آن در صنایع فولاد بهره‌مند شوند.

پیاده‌سازی سناریوی جایگزینی سوخت در تولید برق مورد نیاز صنعت فولاد نیز با وجود اثربخشی ناچیز، به دلیل اثری که در حفظ سرمایه‌های ملی و منابع طبیعی دارد در هر صورت پیشنهاد می‌گردد. این روش می‌تواند شروع راهی برای توسعه جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در مناطق گرم و خشک و بادی در مناطق بادخیز به جای سوخت‌های فسیلی در صنایع مختلف کشور باشد.

منابع

1. <http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>
2. Renewable Energy & Energy Efficiency Organization of Iran, Annual report, 2014, Renewable Energy & Energy Efficiency Organization of Iran (SATBA) Publication (in Persian)
3. Ahadi, Mohammad Sadegh, 2002, Comprehensive Plan of Energy Resources