مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۶۳ تا ۷۴

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد از آهن قراضه: مطالعه موردی در یک کارخانه فولاد

سارا خوش یمن[۱]، آوا حیدری[۱]، علیرضا حیدری[۲]

۱- گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- گروه فنی رادیال، شرکت مجتمع صنایع لاستیک یزد (یزد تایر)، یزد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۵
تاریخ ویرایش: ۹۸/۰۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۸
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۳/۲۹

واژگان کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، صنایع تولید فولاد، آهن قراضه، سیما پرو

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
heidari@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: صنعت فولاد، بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در جهان است. سالانه مقادیر زیادی ضایعات آهن تولید می‌شود که استفاده از آن در صنعت فولاد، امری اقتصادی است. در این مطالعه هدف آن است که پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از آهن‌های قراضه به‌عنوان ماده خام برای تولید فولاد با روش ارزیابی چرخه حیات بررسی شود.

روش بررسی: برای انجام این ارزیابی، از نرم افزار Simapro و پایگاه داده Ecoinvent استفاده شد. داده‌های مربوط به فرایند تولید فولاد (مواد خام، پسماند و محصول) به روش مصاحبه از کارخانه فولاد جمع‌آوری گردید، سپس اثرات زیست‌محیطی به کمک روش‌های ReCiPe، Cumulative Energy Demand (CED)، Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) و رد پای آب کمی شدند.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده از روش ReCiPe نشان داد که از بین گروه‌های تاثیر، سمیت برای اکوسیستم خشکی با مقدار kg 1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB) eq/ton ۱۴۳۹۲ فولاد و گرمایش جهانی با مقدار kg CO_2 eq/ton ۵۲۸۹ فولاد به ترتیب بزرگترین تاثیرات زیست محیطی این فرایند هستند. کمترین پیامد زیست محیطی این فرایند برای گروه‌های تاثیر سمیت سرطان‌زایی برای انسان و سمیت برای آب‌های شیرین به‌دست آمد. ردپای کربن ناشی از فعالیت این کارخانه ton CO_2 eq/ton ۵/۲۴ فولاد است. مهمترین زیربخش تولید کننده گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف الکتریسیته با مقدار kg CO_2 eq/ton ۲۹۰۰فولاد است. تقاضای انرژی تجمعی (انرژی حاصل از سوخت فسیلی) یک تن شمش فولادی برابر با MJ ۷۳۳۹۳ است که سه برابر معادل جهانی آن است. ردپای کلی آب برای یک تن فولاد، m^3 ۱۹/۵ آب است که تقریبا برابر با معادل آن در اروپا است.

نتیجه‌گیری: استفاده از ضایعات آهن قراضه در فرایند تولید فولاد به‌جای سنگ آهن، باعث کاهش مقدار پتانسیل سمیت در انسان و مصرف منابع معدنی شده است.

Please cite this article as: Khoshyomn S, Heidari A, Heidari AR. Life cycle assessment of steel production from iron scrap: a case study at a steel plant. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):63-74.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

مقدمه

ارزیابی چرخه حیات ((Life Cycle Assessment(LCA)، روشی برای بررسی اثرات زیست محیطی مربوط به یک محصول است. از طریق تجزیه و تحلیل LCA، تمام بارهای زیست‌محیطی احتمالی یک محصول در تعدادی از اثرات زیست‌محیطی (پتانسیل تخریب ازن، پتانسیل گرم شدن زمین و سمیت برای انسان، و غیره) طبقه‌بندی می‌شوند. LCA را می‌توان برای مقایسه تاثیرات زیست‌محیطی محصولات مختلف (LCA مبتنی بر محصول) استفاده کرد. همچنین می‌توان آن (LCA مبتنی بر فرایند) را نیز برای مقایسه فرایندهای مختلف تولید یا ارزیابی فرایندهای فرعی در فرایند تولید به کاربرد(۱). بنابراین، برای تعیین نقاط داغ زیست محیطی (مراحلی که بیشترین آسیب را به محیط‌زیست می‌زنند) در چرخه حیات محصول یا فرایند، LCA مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری‌که با کمک آن می‌توان فرایند یا محصول را ارتقا داد (۲، ۳).

صنعت آهن و فولاد، بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در جهان است و بزرگترین سهم را در اقتصاد جهان دارد (۴). مطالعات متعددی در مورد LCA صنعت آهن و فولاد در سراسر جهان از جمله در کشورهایی نظیر استرالیا، چین، کره جنوبی و لهستان انجام شده است. برای مثال، Sappala و همکاران (۵) در سال ۲۰۰۲، مطالعه LCA انجام دادند تا روند کلی مصرف مواد، انرژی، انتشارات و اثرات زیست محیطی ناشی از صنعت فولاد در فنلاند را بررسی کنند. همچنین، Norgate و همکاران (۶) اثرات زیست‌محیطی فولاد و فولاد ضدزنگ را از لحاظ پتانسیل گرمایش جهانی، پسماندهای جامد و نیاز انرژی، مورد ارزیابی قرار دادند. در همین راستا در مطالعه جامع دیگری، Tongpool و همکاران (۷) اثرات نسبی محصولات مختلف فولادی را در گروه‌های تاثیر سوخت‌های فسیلی، پتانسیل گرمایش جهانی، سمیت برای اکوسیستم، مواد معدنی، مواد سرطان‌زا و مواد آلی محرک تنفسی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که فولاد گالوانیزه، دارای بزرگترین تاثیرات است. همچنین، Gu و همکاران (۸) رد پای آب در صنعت فولاد را از منظر ارزیابی چرخه حیات محاسبه کردند و بیان کردند که کارخانه فولاد یک خطر جدی برای بخش آب در محیط‌زیست است. نهایتا، Olmez و همکاران (۹) در سال ۲۰۱۶ ارزیابی چرخه حیات تولید آهن و فولاد در ترکیه را با روش ارزیابی اثرات IMPACT 2002+ بررسی کردند. یافته‌های مطالعه آنها نشان داد که بزرگترین پیامد زیست محیطی این فرایند سمیت برای انسان و گرمایش جهانی است. اگرچه مصرف مجدد فلزات قراضه به ویژه آهن با کاهش سرعت تهی‌شدن ذخایر فلزی، نقش بسیار مهمی در تولید و مصرف پایدار آنها در آینده بازی می‌کند. اما فرایند و سیستم‌های بازیافت فلزات معمولا انرژی زیادی مصرف می‌کند که آنها را درگیر مسائلی مانند حفاظت منابع، راندمان انرژی، کاهش انتشارات و غیره می‌کند. پایا بودن این سیستم‌ها و فرایندهای بازیافت فلز مستلزم متمرکز شدن بر اصول پایداری (sustainability) است، برای نائل شدن بر این هدف لازم است ارزیابی چرخه حیات اثرات زیست محیطی آنها را ارزیابی کند (۱۰). این روزها، آهن قراضه به‌عنوان ماده خام به جای سنگ آهن در صنعت فولاد استفاده می‌شود و امری اقتصادی است. ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد از سنگ معدن حاوی آهن بسیار مورد بررسی واقع شده است (۱۱). تاکنون پیامدهای زیست‌محیطی استفاده از آهن قراضه در فرایند تولید فولاد، مورد تحقیق واقع نگردیده است. در این مطالعه، اثرات زیست محیطی فرایند تولید فولاد از آهن قراضه به کمک ارزیابی چرخه حیات بررسی می‌شود. اهداف این پژوهش عبارتند از (۱) انجام ارزیابی چرخه حیات با روش‌های ReCiPe، CED، و ردپای آب براساس استاندارد ISO14046، (۲) تجزیه و تحلیل فاکتورهای موثر مستقیم و غیرمستقیم در تولید فولاد از آهن قراضه، و (۳) ارائه پیشنهادات مفید برای کاهش بارهای زیست‌محیطی فرایند تولید فولاد (۱۲).

مواد و روش‌ها

- هدف و دامنه تحقیق

LCA براساس الزامات استاندارد بین‌المللی ISO14040:2006 انجام شد. در این تحقیق، چهار مرحله

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

LCA (هدف، دامنه و مرز سیستم، تجزیه و تحلیل ورودی‌ها و خروجی‌ها، ارزیابی اثرات زیست محیطی و تفسیر نتایج) همراه با پیشنهادات برای بهبود فرایند مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مطالعه، ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه در کوره الکتریکی القایی در استان یزد است. در این کوره الکتریکی از آهن قراضه به‌عنوان یک عنصر مهم در تولید فولاد استفاده می‌شود. مرز سیستم از "گهواره تا دروازه" در نظر گرفته شد. فرایندهای تولید (تولید مواد خام و تولید فولاد)، حمل و نقل (حمل و نقل مواد خام و مواد کمکی)، انرژی (الکتریسیته با ولتاژ بالا) دربرگیرنده سیستم هستند. واحد عملکردی یک تن فولاد مذاب در نظر گرفته شد. در واقع انرژی و مواد خام مورد نیاز برای تولید یک تن فولاد مذاب براساس داده‌های جمع‌آوری شده، تعیین شد. سیاهه داده‌ها از کارخانه تولید فولاد در استان یزد با روش مصاحبه به‌دست آمد. کارخانه مورد نظر مقادیر داده‌های تولید فولاد را به‌صورت میانگین ارائه کرد. سیاهه چرخه حیات تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طورکه در این جدول آمده است همه مواد خام، انرژی، انتشارات و پسماند در نظر گرفته شده است. مواد اولیه برای فرایند تولید فولاد در کوره الکتریکی شامل ضایعات آهن، آهن اسفنجی، منگنز، کک، شیشه، آب، اسید سیتریک، آجر نسوز، چسب پی‌وی‌سی و برق است. داده‌های مربوط به انتشار آلاینده‌های هوا (گازها، ذرات معلق و فلزات سنگین) با توجه به فاکتور انتشار آنها که تابعی از نوع کوره است، تعیین شد (۱۳، ۱۴).

جدول ۱- سیاهه چرخه حیات تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه

مواد خام	مقدار	انتشارات	مقدار (kg/ton)
ضایعات آهن	۶۵۰ (kg/ton)	NO_x	۲
آهن اسفنجی	۴۰۰ (kg/ton)	SO_2	۱
منگنز	۰/۰۱۱ (kg/ton)	CO	۹
کک	۰/۰۰۰۵ (kg/ton)	$PM_{2.5}$	۲
شیشه	۱۰۰۰ (kg/ton)	PM_{10}	۲
اسید سیتریک	۰/۴ (kg/ton)	Hg	۰/۰۰۰۰۷۶
آجر نسوز	۵۰ (kg/ton)	Cd	۰/۰۰۰۱۸۳
چسب پی وی سی	۲ (L/ton)	Cr	۰/۰۰۱۵۲۳
آب	۱۰ و ۲۰ (m^3/ton)	Ni	۰/۰۰۰۶۰۹
انرژی		Cu	۰/۰۰۰۵۸۷
برق	۲۱۶۰۰ (MJ/ton)	Se	۰/۰۰۰۰۲
مواد خروجی (پسماند)		Mn	۰/۰۰۸۸۶۲
		As	۰/۰۰۰۰۳۳۶
لجن (سرباره)	۱۲۵ (kg/ton)	V	۰/۰۰۰۶۱۶
		Pb	۰/۰۰۲۲۷۳
		Zn	۰/۰۳۴۷۹۴

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

- روش‌های ارزیابی چرخه حیات

بررسی چرخه عمر تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه با استفاده از نرم افزار SimaPro V.8.5.0 و پایگاه‌های داده درون آن انجام شد. در این مطالعه ارزیابی چرخه حیات به کمک چهار روش ارزیابی اثرات چرخه حیات: (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change و Cumulative Energy Demand (CED) وReCiPe Midpoint H و ردپای آب، انجام شد. نتایج روش‌های ارزیابی چرخه حیات محاسبه شد و مهمترین منابع بارهای زیست محیطی شناسایی شدند. مهمترین جنبه صنعت فولاد انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بنابراین، روش IPCC 2007 برای این منظور در نظر گرفته شد. روش IPCC این امکان را می‌دهد که ارزیابی کمی از تاثیرات گازهای گلخانه‌ای با توجه به عملکرد CO_2 آزاد شده، در افق زمانی ۱۰۰ ساله ارائه شود (۱۵). دومین جنبه مهم در تولید فولاد، مصرف انرژی است. بدین منظور، برای ارزیابی منابع انرژی، روش CED انتخاب شده است. CED نشان‌دهنده انرژی مستقیم و غیرمستقیمی است که در طول عمر یک محصول استفاده می‌شود. از جمله انرژی مصرف شده در طول استخراج، تولید و دفع مواد خام و کمکی است (۱۶). این روش شامل ۷ دسته از منابع است. دو منبع از انرژی‌های تجدید ناپذیر (فسیلی و هسته‌ای) و پنج منبع از انرژی‌های تجدید پذیر (زیست توده، آب، باد و خورشیدی و زمین گرمایی) است. صنعت آهن و فولاد همچنین اثرات منفی بر سلامت انسان و مصرف منابع می‌گذارد. ReCiPe، روشی از LCA است که تاثیرات زیست محیطی موثر بر انسان و مصرف منابع را کمی می‌کند. بنابراین این روش برای دسته‌بندی این اثرات انتخاب شد. هدف اصلی روش ReCiPe این است که نتایج موجود در چرخه حیات را به تعداد محدودی از نمرات شاخص‌بندی شده تبدیل کند (تبدیل کیفی به کمی) که در آن میزان شدت تاثیرگذاری‌های زیست محیطی نشان داده می‌شود. در ReCiPe شاخص در ۲ سطح با ۱۸ شاخص میانه و ۳ شاخص نقطه پایان تعیین می‌شود. این روش بعد از روش CML2002 آمده است (۱۲، ۱۷). ردپای آب، مقدار آبی است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در فرایند تولید محصول، مصرف می‌شود. این مطالعه، از روشBerger و همکاران (۱۸) برای محاسبه رد پای آب فرایند تولید فولاد استفاده گردید.

روش انجام این تحقیق را می‌توان این‌گونه خلاصه کرد: (۱) تهیه نرم افزار ارزیابی چرخه حیات (Simapro V.8.5.0)، (۲) سیاهه‌نویسی مواد ورودی (مواد خام و انرژی) و خروجی (محصول، پسماند و انتشارات) فرایند تولید فولاد، (۳) جمع‌آوری داده‌های سیاهه از کارخانه فولاد آلیاژی با روش مصاحبه، (۴) تعیین واحد عملکردی (یک تن) و تبدیل داده‌های جمع‌آوری شده به آن، (۵) وارد کردن داده‌ها در نرم افزار Simapro، (۵) تعیین روش‌های ارزیابی پیامدهای زیست محیطی (مانند ReCiPe) با توجه به هدف مطالعه و مطالعات انجام شده در این زمینه، (۶) انجام فرایند ارزیابی در نرم‌افزار، و (۷) تفسیر نتایج ارزیابی چرخه حیات.

یافته‌ها

- روش ReCiPe

نتایج ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه با استفاده از روش ReCiPe در جدول ۲ ارائه شده است. سهم گروه‌های تاثیر زیست محیطی؛ گرمایش جهانی، سوراخ شدن لایه ازن، تابش‌های یونیزه کننده (رادیواکتیو)، تشکیل ازن، تشکیل ذرات معلق ریز، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، سمیت برای اکوسیستم، سمیت سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای انسان، کاربری زمین، کاهش منابع طبیعی، کاهش منابع فسیلی و مصرف آب در فرایند تولید فولاد از آهن قراضه کمی شد. همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد از بین گروه‌های تاثیر، سمیت برای اکوسیستم خشکی با مقدار ۱۴۳۹۲ kg 1,4-DCB eq/ton در رتبه اول، گرمایش جهانی با مقدار ۵۲۸۹kg CO_2 eq/ton در رتبه دوم و کاهش منابع فسیلی با مقدار ۱۳۲۸ kg/ton معادل نفت در رتبه سوم اهمیت و بزرگی قرار دارد. کمترین تاثیر محیط زیستی مربوط به گروه سمیت برای اکوسیستم آب شیرین با مقدار ۱/۱۴ kg 1,4-DCB eq/ton-، سوراخ شدن لایه ازن با مقدار ۰/۰۰۱ kg CFC11 eq/ton و پرغذایی دریا با مقدار ۰/۰۰۱ kg N eq/ton بود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

جدول ۲- نتایج ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد براساس روش ReCiPe و مقایسه آن با سایر مطالعات

گروه تاثیر	واحد	این مطالعه	منابع علمی با توجه به نوع کوره			
		IMF	IMF (۱۹)	EAF + BF (۲۰)	EAF (۱۲)	BOF (۱۲)
گرمایش جهانی	kg CO_2 eq	۵۲۸۹	۷۲۰	۶۰۵	۷۶۶	۱۷۰۳
سوراخ شدن لایه ازن	kg CFC11 eq	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۶۱	–	–
تابش‌های یونیزه‌کننده	kBq Co-60 eq	۱۹/۸۴	–	–	۲۴/۱۳	۸۲/۸
تشکیل ازن انسانی	kg NO_x eq	۵/۶	–	–	–	–
کاهش منابع معدنی	kg Cu eq	۱۴۵	–	–	۱۳	۸۵۰
کاهش سوخت فسیلی	kg oil eq	۱۳۲۸	–	–	۱۴۳	۵۲۹
سمیت برای انسان	kg 1,4-DCB	۳۹۸	۵۹	۵۷	۳۵	۶۴
سمیت برای اکوسیستم خشکی	kg 1,4-DCB	۱۴۳۹۲	۰/۰۴	۶۳/۴	۶۰	۰/۱۷
سمیت برای آب شیرین	kg 1,4-DCB	-۱/۴	۵/۲	۳۷۰	۷	۱۳
سمیت برای دریا	kg 1,4-DCB	۶/۲	۲۷۰۰۰	۴۷۲۰۰۰	۷۱/۱	۱۳/۳
اسیدی شدن	kg SO_2 eq	۷/۸۳	۵/۵	۲/۰۲	۲/۵	۴/۸
پرغذایی آب شیرین	kg P eq	۰/۴۷	–	–	۰/۴۶	۰/۸۱
پرغذایی دریا	kg N eq	۰/۰۰۱	–	–	۰/۱۴	۰/۳
تشکیل ذرات معلق	kg $PM_{2.5}$ eq	۱۷/۵۸			۰/۷۸	۴/۶۱
مصرف آب	m^3	۵۶/۷	–	–	۱/۸۸	۸۷/۴
تغییر کاربری	m^2	۲۰۲	–	–	۰/۰۶	۰/۲

BOF؛ کوره اکسیژنی بازی (Basic oxygen steelmaking)

EAF؛ کوره قوس الکتریکی (Electric arc furnace)

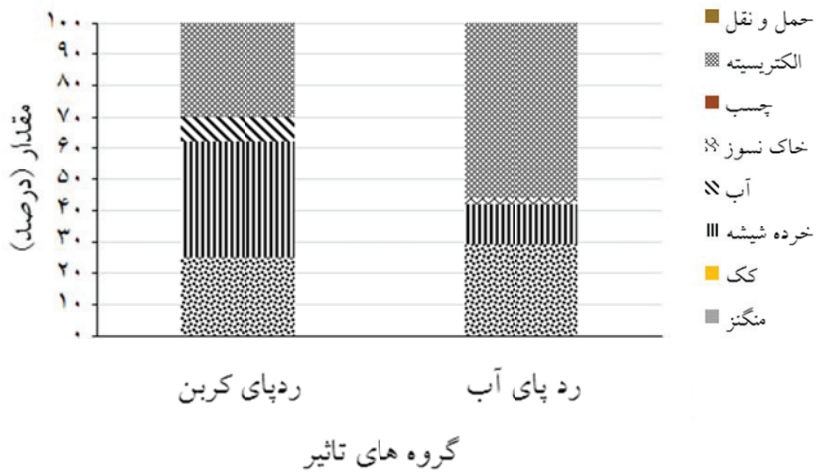
BF؛ کوره بلند (Blast furnace)

IMF؛ کوره القایی (Induction furnace)

- ردپای کربن (روش IPCC) و ردپای آب

نتایج ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه با استفاده از روش IPCC در نمودار ۱ نشان داده شده است. ردپای کربن ناشی از فعالیت این کارخانه ۵/۲۴ ton CO_2 eq/ton فولاد است. مهمترین زیر بخش تولید کننده گاز گلخانه‌ای، مصرف الکتریسیته در کوره با مقدار ۲/۹ ton CO_2 eq/ton فولاد است. بعد از الکتریسیته، آهن قراضه با مقدار ۱/۴۷ ton CO_2 eq/ton و خرده شیشه با مقدار ۰/۶۸ ton CO_2 eq/ton به ترتیب بیشترین نقش را در تولید گاز گلخانه بازی می‌کنند. همچنین، نمودار ۱ نتایج رد پای آب تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار ۱ می‌توان دید ردپای کلی آب برای واحد عملکردی یک تن شمش فولادی، ۱۹/۵ m^3 آب است. در چرخه حیات فولاد، بیشترین مقدار آب برای تولید خرده شیشه با مقدار ۰/۵۷ m^3، الکتریسیته با مقدار ۰/۴۵ m^3 و آهن قراضه با مقدار ۰/۳۶ m^3 مصرف می‌شود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]



نمودار ۱- نتایج ردپای کربن و آب فرایند تولید فولاد از آهن قراضه

-روش CED

نتایج ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه با استفاده از روش CED در جدول ۳ آمده است. در واقع CED تقاضای انرژی تجمعی برای تولید یک تن فولاد با توجه به زنجیره فرایند تولید آن (فرایندهای تولید مواد خام، حمل و نقل و انرژی) را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول آمده است تقاضای کل انرژی تجمعی برای یک تن شمش فولادی برابر با MJ ۷۳۳۹۳ است. تقاضای انرژی سوخت فسیلی، هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر (آب، باد، زمین‌گرمایی و خورشیدی) برای یک تن فولاد به ترتیب برابر با ۶۰۵۲۵، ۴۸۲۸ و MJ ۸۰۳۸ است. پر مصرف‌ترین بخش‌ها در فرایند تولید فولاد، به ترتیب مربوط به زیر بخش الکتریسیته با مقدار MJ ۵۵۲۷۶، آهن قراضه با مقدار MJ ۸۴۴۳ و خرده شیشه با مقدار MJ ۸۰۷۲ است.

جدول ۳- نتایج تقاضای انرژی تجمعی فرایند تولید فولاد از آهن قراضه

گروه تاثیر	نام	واحد	مقدار
CED		MJ	۷۳۳۹۳
	آهن اسفنجی	MJ	۶۲۵/۵
	آهن قراضه	MJ	۷۹۷۴/۰۶
	منگنز	MJ	۰/۴
	کک	MJ	۰/۰۲
زیر بخش‌ها	خرده شیشه	MJ	۶۳۲۸/۳
(بخش‌های تشکیل دهنده فولاد)	آب	MJ	۱۲۵/۵
	خاک نسوز	MJ	۱۷۲۳/۱
	چسب	MJ	۴۴/۸
	الکتریسیته	MJ	۴۳۷۰۴/۲
	حمل و نقل	MJ	۰/۰۳

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

بحث

نتایـج ارزیابی چرخه حیات تولید فولاد با اسـتفاده از آهن قراضه به روش ReCiPe با برخی از مطالعات انجام شـده در این زمینه مقایسه گردید (جدول ۲). همانگونه که در این جدول می‌توان دید مقادیر گروه‌های تاثیر بسیار تحت تاثیر نوع کوره ذوب است. به‌طور کلی مقادیر اکثر شـاخص‌های محیط زیسـتی (گرمایش جهانی، سوراخ شدن لایه ازن، کاهش سوخت فسیلی، سمیت برای انسان، سـمیت برای اکوسیستم خشکی، اسیدی شـدن، تشکیل ذرات معلـق و تغییر کاربری) بیش از مقادیر گزارش شـده در مطالعات Özdemir و همـکاران (۱۹)، Gomes و همـکاران (۲۰) و Burchart-Korol (۱۲) اسـت. در فراینـد تولید فولاد، از بین همـه گروه‌های تاثیر، با اهمیت‌ترین آنها گرمایش جهانی، مصرف آب، کاهش منابع انرژی، کاهش منابع فسیلی و سمیت برای انسان هسـتند. لذا این پنج گروه در مطالعات انجام شده در چند کشور مختلف با هم مقایسه شد (۱۲، ۲۱-۲۳) (جدول ۴). همان‌گونه‌که می‌توان در این جدول مشـاهده کرد، بار زیست محیطی ناشی از کاهش منابع فسـیلی و گرمایش جهانـی در این مطالعه بیش از مقدار گزارش شده در مطالعات انجام شده در اروپا، لهستان، چین و آمریـکا بود در حالی‌که کاهش منابع معدنی به‌طور قابل توجهی پایین‌تـر از بقیه بود. کاهش منابع فسـیلی و گرمایش جهانی هر دو به‌طور مسـتقیم تحت تاثیر مصرف انرژی هستند. مقدار انرژی مصرف شـده در کارخانه فولاد مورد مطالعه بیشتر از کارخانه‌های مورد مطالعه در کشـورهای دیگر است. کاهش منابع طبیعی هم تحت تاثیر مصرف منابعی مانند فلزات است. دلیل کم بودن مقدار آن در این تحقیق، اسـتفاده از آهن قراضه به جای سـنگ معدن آهن در فرایند تولید فولاد بود. مقدار عددی پتانسـیل سمیت در انسان در این تحقیق، بسیار کمتر از آن در اروپا و لهستان بود، اما در مقایسه با مقادیر آمریکا و چین بالاتر بود. سمیت برای انسان و اکوسیسـتم از اثرات سمیت حاد و مزمن ایجاد شده توسط فلزات سنگین، لجن و مواد آلی برای گونه‌های مختلف، خاک و آب ناشی می‌شـود. همانطور که در جدول ۱ آمده اسـت در کارخانه فولاد فلزات سـنگینی از قبیل مس، کادمیوم، کروم، منگنز، آرسنیک، سـرب، روی، سلنیوم، نیکل، وانادیوم و جیوه منتشر می‌شوند. این فلزات قابلیت تجمع‌پذیری در بخش‌های محیط زیست (آب، خاک و موجودات زنده) را دارا هسـتند. تجمع این فلزات در خاک و آب باعث مسمومیت آنها و از دست رفتن حیات موجودات زنده در آنها می‌شـود. این فلزات اگر در بدن موجودات زنده گیاهی و جانوری تجمع یابند می‌توانند از طریق زنجیره غذایی منتقل و به انسـان برسـند و باعث تاثیرات مختلف از جمله نارسـایی کبد و کلیه تا ایجاد تومورهای مختلف در بدن می‌شوند (۲۷-۲۴). در واقع، مقدار زیادی از این آلاینده‌ها در فرایند تولید فولاد، از جمع‌آوری، پردازش و ذوب سـنگ آهن در کوره ذوب ایجاد می‌شوند. در این کارخانه به جای سـنگ آهن از آهن قراضه به‌عنوان ماده خام تولید فولاد استفاده می‌شود، لذا مقادیر سمیت برای انسان کاهش یافته است. مقـدار مصرف آب در چرخه حیات تولید فولاد در ایران نزدیک به این عدد در اروپا، بیشتر از چین و کمتر از لهستان بود. برای مثال، Ma و همکاران (۲۲) رد پای آب تولید فولاد در چین را بررسـی کردند و مقـدار ۷/۱۹ m^3/ton فولاد را گزارش کردند. ردپای آب در صنعـت فولاد این کارخانه در ایران، بیش از ۲ برابر تولید فولاد در چین است.

جدول ۴- مقایسه برخی گروه‌های تاثیر تولید فولاد در کشورهای مختلف (واحد براساس یک تن فولاد است)

گروه تاثیر	واحد	چین (۲۲)	اروپا (۲۱)	لهستان (۱۲)	آمریکا (۲۳)	این تحقیق (ایران)
گرمایش جهانی	kg CO_2 eq	۲۱۷۵	۴۸۶۶	۱۷۰۳	۲۰۴۴	۵۲۸۹
کاهش منابع معدنی	kg Fe eq	۶۹۶۵	۱۳۸۴۶	۸۵۰	-	۱۴۵
کاهش منابع فسیلی	kg oil eq	۶۴۶	۱۱۵۵	۵۲۹	۵۱۶	۱۳۲۸
مصرف آب	m^3	۱۲/۳	۴۷/۶	۸۷/۴	-	۵۶
سمیت برای انسان	kg 1,4-DCB	۹۴	۲۳۲۶	۶۴۳	۳۹	۳۹۹

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

مقدار گازهای گلخانه‌ای محاسبه شده با روش IPCC، به صورت معادل CO_2 محاسبه شده در این کارخانه فولاد برابر با ۵/۲ ton CO_2 eq/ton فولاد است که بسیار بالاتر از مقادیر گزارش شده در سایر تحقیقات انجام گرفته در کشورهای دیگر است. برای مثال، مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در مطالعات Das و همکاران (۲۸)، Hu و همکاران (۲۹)، Sakamoto و همکاران (۳۰)، Norgate (۳۱) و Dorota Burchart (۱۲) برای تولید فولاد به ترتیب برابر با ۲/۱۲، ۱/۹۷، ۲/۱۵، ۲/۳ و ۲/۴۶ ton CO_2 eq/ton فولاد است. مقدار گاز گلخانه‌ای انتشار یافته در کارخانه فولاد مورد مطالعه تقریبا بیش از ۲/۵ برابر مقدار این آلاینده‌ها در سایر مطالعات ذکر شده است. این وضعیت از بخش انرژی یا به‌عبارتی از الکتریسیته ناشی می‌شود که یکی از بزرگترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در واقع سوختن سوخت‌های فسیلی از جمله گاز طبیعی در نیروگاه منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود (۳۲). دلیل بالاتر بودن این مقدار در ایران نسبت به سایر کشورها در جهان، مصرف بیشتر الکتریسیته در صنعت فولاد است.

مسئله مصرف انرژی در صنعت فولاد، بسیار مورد بحث و نگرانی است. Schino (۳۳) اثرات زیست محیطی صنعت فولاد را در مقیاس جهانی مورد بررسی قرار داد. یافته‌های تحقیق او نشان داد که تولید فولاد فرایندی به شدت انرژی‌گیر است، به این دلیل که بیشترین بخش تولید در دمای بالا اتفاق می‌افتد. تاثیرات زیست محیطی تولید فولاد عمدتا تحت تاثیر مصرف انرژی است. مقدار انرژی تجمعی محاسبه شده برای تولید یک تن شمش فولادی برابر با ۷۳۳۹۳ MJ است. در چرخه حیات تولید فولاد بیشترین تقاضای انرژی مربوط به الکتریسته مورد نیاز برای کوره و بعد از تولید آهن قراضه است. Burchart-Korol تقاضای انرژی تجمعی برای تولید یک تن فولاد از سنگ آهن در کشور لهستان را ۲۴۵۲۰ MJ گزارش کرد. در این تحقیق بیشترین تقاضای انرژی مربوط به تولید کک مورد نیاز فرایند تولید فولاد بود. لازم است ذکر شود که تقاضای انرژی تجمعی در این کارخانه با کوره ذوب القایی تقریبا ۳ برابر این تقاضا در مطالعه انجام شده در لهستان با کوره ذوب اکسیژن بازی است.

این مطالعه اولین تحقیقی است که اثرات زیست محیطی فرایند تولید فولاد از آهن قراضه در ایران را با روش ارزیابی چرخه حیات بررسی می‌کند. در جمع‌آوری داده‌های سیاهه چرخه حیات محدودیت‌های وجود داشت: (۱) داده‌های انتشار آلاینده‌های هوا مستقیما در کارخانه اندازه‌گیری نشد. مقادیر آن با توجه به مطالعات انجام شده در سایر کشورها محاسبه شد. (۲) انتشارات به آب و خاک در نتیجه پسماند جامد ناشی از کارخانه در نظر گرفته نشد. در آینده باید تحقیقات LCA انجام شود که علاوه بر در نظر گرفتن این محدودیت‌ها، به تولید فولاد در کوره‌های مختلف مانند قوس الکتریکی و اکسیژن بازی هم بپردازد. به‌علاوه نتایج به‌دست آمده از این تحقیق یک آنالیز جامع زیست محیطی از تولید فولاد در ایران ارائه می‌کنند که می‌تواند به سیاستمداران و تصمیم‌گیران صنعت تولید فولاد کمک کند که طبیعت را بهتر درک کنند. همچنین، از آنجایی‌که تقاضای انرژی تجمعی در صنعت فولاد در ایران حدود سه برابر این مقدار در دنیا است، لذا نیاز جدی برای به‌کار گرفتن فرآیندهای تولید موثر وجود دارد. به‌عبارت دیگر تلفات انرژی باید با ارتقا تجهیزات یا تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر یا استفاده از رویکردهای خلاقانه جدید کاهش یابد. به‌علاوه می‌توان از اقدامات استفاده مجدد از انرژی هدر رفته مانند استفاده از آن برای گرمایش منازل و محل کار یا تبدیل آن به انرژی مکانیکی استفاده کرد. این کاهش استفاده از انرژی عمدتا به‌وسیله اقدامات مهم در فرایند و کاهش تلفات مواد در مراحل مختلف تولید و استفاده از سرباره فولاد صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی چرخه حیات فرایند تولید فولاد آلیاژی از آهن قراضه مورد بررسی واقع شد. سیاهه‌نویسی چرخه حیات تولید فولاد نشان داد که از بین مواد خام مصرف شده در تولید، آهن قراضه بیشترین مقدار را دارد. انتشارات به هوا در این فرایند شامل NO_x، SO_x، CO، $PM_{2.5}$، PM_{10} و فلزات سنگین است. برای

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

ارزیابـی چرخه حیات فولاد از روش‌هـای ReCiPe، IPCC، CED و ردپای آب اسـتفاده شـد. بر طبـق روش ReCiPe، سمیت برای اکوسیستم خشکی و گرمایش جهانی از مهمترین تاثیرات زیسـت محیطـی فولاد آلیاژی هسـتند. رد پای کربن محاسبه شده با روش IPCC و رد پای آب یک تن شمش فولاد بـه ترتیـب برابر بـا $5241\ kg\ CO_2\ eq$ و $19/5\ m^3$ اسـت. تقاضای انرژی تجمعی یک تن شـمش فـولادی، تخمین زده شده با روش CED، برابر با MJ ۷۳۳۹۳ است.

ملاحظات اخلاقی

نویسـندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانـه، تحریف داده‌ها و داده‌سـازی را در ایـن مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقالـه حاصل پایان‌نامه بـا عنوان "ارزیابـی چرخه حیات بازیافـت آهن قراضـه برای تولید فولاد" در مقطع کارشناسـی در سـال ۱۳۹۷ و کد ۲۴۴۱۳۳۸۵ است که با حمایت دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شده است.

References

1. Yilmaz O, Anctil A, Karanfil T. LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting. Journal of Cleaner Production. 2015;105:337-47.
2. Nicholas MJ, Clift R, Azapagic A, Walker FC, Porter DE. Determination of 'Best Available Techniques' for integrated pollution prevention and control: A Life Cycle Approach. Process Safety and Environmental Protection. 2000;78(3):193-203.
3. Nasrollahi-Sarvaghaji S, Alimardani R, Sharifi M, Taghizadeh Yazdi M. Comparison of the environmental impacts of different municipal solid waste treatments using life cycle assessment (LCA)(Case Study: Tehran). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):273-88 (in Persian).
4. Zhang J, Wang G. Energy saving technologies and productive efficiency in the Chinese iron and steel sector. Energy. 2008;33(4):525-37.
5. Seppälä J, Koskela S, Melanen M, Palperi M. The Finnish metals industry and the environment. Resources, Conservation and Recycling. 2002;35(1):61-76.
6. Norgate T, Jahanshahi S, Rankin W. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production. 2007;15(8-9):838-48.
7. Tongpool R, Jirajariyavech A, Yuvaniyama C, Mungcharoen T. Analysis of steel production in Thailand: Environmental impacts and solutions. Energy. 2010;35(10):4192-200.
8. Gu Y, Xu J, Keller AA, Yuan D, Li Y, Zhang B, et al. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China. Journal of Cleaner Production. 2015;92:274-81.
9. Olmez GM, Dilek FB, Karanfil T, Yetis U. The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study. Journal of Cleaner Production. 2016;130:195-201.
10. Norgate T. Metal recycling: The need for a life cy-

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

cle approach. Australia: CSIRO; 2013. Report No.: EP135565.
11. Lee S-Y. Existing and anticipated technology strategies for reducing greenhouse gas emissions in Korea's petrochemical and steel industries. Journal of Cleaner Production. 2013;40:83-92.
12. Burchart-Korol D. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study. Journal of Cleaner Production. 2013;54:235-43.
13. Remus R, Aguado-Monsonet M, Roudier S, Sancho LD. Best available techniques (BAT) reference document for iron and steel production. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2013.
14. Wang K, Tian H, Hua S, Zhu C, Gao J, Xue Y, et al. A comprehensive emission inventory of multiple air pollutants from iron and steel industry in China: Temporal trends and spatial variation characteristics. Science of the Total Environment. 2016;559:7-14.
15. IPCC. Climate change 2007 – The physical science basis contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
16. VDI Society Energy and Environment. Cumulative energy demand terms, definitions, methods of calculation. Berlin: Beuth; 1997.
17. Śliwińska A, Czaplicka-Kolarz K. Reducing life-cycle environmental impacts of coal-power by using coal-mine methane. International Journal of Energy Research. 2013;37(9):1044-58.
18. Berger M, van der Ent R, Eisner S, Bach V, Finkbeiner M. Water accounting and vulnerability evaluation (WAVE): considering atmospheric evaporation recycling and the risk of freshwater depletion in water footprinting. Environmental Science & Technology. 2014;48(8):4521-28.
19. Özdemir A, Günkaya Z, Özkan A, Ersen O, Bilgiç M, Banar M. Lifecycle assessment of steel rebar production with induction melting furnace: Case study in Turkey. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste. 2017;22(2):04017027.
20. Gomes F, Brière R, Feraille A, Habert G, Lasvaux S, Tessier C. Adaptation of environmental data to national and sectorial context: application for reinforcing steel sold on the French market. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2013;18(5):926-38.
21. Ecoinvent Centre. Swiss Centre for life cycle inventories. Swiss: Ecoinvent Centre; 2015.
22. Ma X, Ye L, Qi C, Yang D, Shen X, Hong J. Life cycle assessment and water footprint evaluation of crude steel production: A case study in China. Journal of Environmental Management. 2018;224:10-18.
23. National Renewable Energy Laboratory. Life cycle inventory database. Washington DC: US Department of Energy; 2014.
24. Chibuike GU, Obiora SC. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. Applied and Environmental Soil Science. 2014;2014:12.
25. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. Experientia supplementum (2012). 2012;101:133-64.
26. Bai L-y, Zeng X-b, Li L-F, Chang P, Li S-h. Effects of land use on heavy metal accumulation in soils and sources analysis. Agricultural Sciences in China. 2010;9(11):1650-58.
27. Siyahati Ardakani G, Mirsanjari M, Azimzadeh H, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(3):449-64 (in Persian).
28. Das A, Kandpal TC. Iron and steel manufacturing technologies in India: Estimation of CO2 emission. International Journal of Energy Research. 1997;21(12):1187-201.
29. Hu C-q, Chen L-y, Zhang C-x, Qi Y-h, Yin R-y. Emission Mitigation of CO2 in Steel Industry: Current Status and Future Scenarios. Journal of Iron and Steel Research, International. 2006;13(6):38-52.
30. Sakamoto Y, Tonooka Y, Yanagisawa Y. Estimation of energy consumption for each process in the Japanese steel industry: a process analysis. Energy Conversion and Management. 1999;40(11):1129-40.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

31. Norgate TE. Metal recycling: An assessment using life cycle energy consumption as a sustainability indicator. Australia: CSIRO; 2004.
32. Solgi A, Nabizadeh R, Guodini K. Survey of relation between consumption of energy and environmental pollutants emission resulted of these consumptions in central main campus of Tehran University. Iranian Journal of Health and Environment. 2009;2(2):150-59 (in Persian).
33.Schino AD. Environmental impact of steel industry. In: Hussain CM, editor. Handbook of environmental materials management. Cham: Springer International Publishing; 2018.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Life cycle assessment of steel production from iron scrap: a case study at a steel plant

S Khoshyomn[1], A Heidari[1,*], AR Heidari[2]

1- Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Radial Technic, Yazd Rubber Complex (Yazd Tire), Yazd, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 24 February 2019

Revised: 14 May 2019

Accepted: 18 May 2019

Published: 19 June 2019

Keywords: Life cycle assessment, Steel plant, Iron scraps, Simapro

***Corresponding Author:**
heidari@ferdowsi.um.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: The steel industry is the world's largest consumer of energy. A large amount of iron waste is produced annually, which its use in the steel industry can be economic. The purpose of this study was to investigate the environmental impacts of the steelmaking from iron scrap as a raw material using a life cycle assessment (LCA) method.

Materials and Methods: Simapro software and the ecoinvent database were used to conduct LCA. Data on the steel production process (raw materials, waste, and products) were collected by a questionnaire from a steel plant. Environmental burdens were quantified using ReCiPe, Cumulative Energy Demand (CED), IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) and water footprints methods.

Results: The results of the ReCiPe method showed that the terrestrial ecotoxicity with a value of 14392 kg 1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB) eq/ton of steel and global warming with 5289 kg CO_2 eq/ton of steel, had the greatest environmental impact, respectively. The lowest environmental impact of this process was obtained for freshwater ecotoxicity and human carcinogenic toxicity. The carbon footprint resulting from steelmaking is 5.24 ton CO_2 eq/ton of steel. The most important sector of the greenhouse gas producer is the consumption of electricity with a rate of 2900 of kg CO_2 eq/ton of steel. The cumulative energy demand of one ton of steel ingot was 73393 MJ, which is three times the global equivalent. The total water footprint for one t of steel was 19.5 m^3 of water, which is almost near to the equivalent in Europe.

Conclusion: the use of iron scrap as raw material in the process of steelmaking instead of iron ore has reduced the amount of human toxicity potential and mineral resource consumption.

Please cite this article as: Khoshyomn S, Heidari A, Heidari AR. Life cycle assessment of steel production from iron scrap: a case study at a steel plant. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):63-74.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-13]