مجلهٔ محیط شناسی ،سال سی و پنجم، شمارهٔ ۵۱ پاییز ۸۸، صفحهٔ ۱۱۱-۱۲۲

توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در ایران از جنبهٔ زیست‌محیطی با استفاده از منطق شلال

چکیده

حفظ و تعادل زیست‌محیطی، از جمله ارکان توسعهٔ پایدار است. در این مقاله برخی از عوامل آلایندهٔ آب و خاک کشاورزی، هوا و SO_3/ SO_2 آبهای شیرین، جنگل، مواد مصرفی و نیز انرژی برای تولید آهن و فولاد که در توسعهٔ پایدار کشور ما ایران مؤثرند، شناسایی و توابع عضویت آنها بر اساس منطق شلال، بین صفر و یک تعریف می‌شوند. به‌نحوی که درجه عضویت «صفر» یعنی توسعهٔ تولید آهن و فولاد اصلا پایدار نیست و درجهٔ عضویت «یک» یعنی توسعهٔ تولید آهن و فولاد، کاملاً پایدار است و درجهٔ عضویت «بین صفر و یک»، یعنی توسعهٔ تولید آهن و فولاد به طور نسبی با همان درجه، پایدار است. بر اساس داده‌های موجود در ایران و نیز شرایط بهینه و بین‌المللی در این صنعت، توابع عضویت محاسبه و از طریق منطق شلال نتیجه‌گیری شده است. مراحل پژوهش به ترتیب زیر انجام شد: داده‌های مرتبط با پژوهش از منابع داخلی گردآوری شد. سپس با توجه به داده‌ها و ماهیت رخدادها، توابع عضویت تعریف و در نهایت درجهٔ پایداری توسعهٔ آهن و فولاد در ایران محاسبه و با کمک قوانین استنتاج فازی تعیین شد. نتیجه آن‌که توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد با شرایط سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳، ممکن نیست زیرا اولا شرایط زیست محیطی گاز کربنیک هوا مناسب نیست، ثانیا مقدار سرب در خاک کشاورزی زیاد است و درنهایت ضایعات زیادی در این صنعت نسبت به سایر کشورها تولید می‌شود. بنابراین برای افزایش درجهٔ توسعهٔ پایدار، باید به طور همزمان در جهت کاهش تولید گاز کربنیک و افزایش کاشت درخت، اقدام کرد.

کلید واژه

منطق شلال ، توسعهٔ پایدار ، زیست‌محیطی ، عوامل مؤثر در تولید آهن و فولاد

سرآغاز

با توجه به گستردگی و توانایی توسعهٔ پایدار در مناسبات زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و صنعتی، این پدیده بسرعت به مهم‌ترین مناظره و نیز یکی از شاخص‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم تبدیل شده است (مجیدی و دوامی، ۱۳۸۵). در گذشته انسان شاید به‌طور غریزی دریافته بود که رمز بقای او در گرو هماهنگی با طبیعت و زوال طبیعت، زوال اوست. بدین لحاظ در بیانیهٔ ریو دربارهٔ مسائل زیست محیطی و توسعه به این موضوع مهم در بیست‌وهفت اصل اشاره شده است. مطابق اصل ۳، ۴، ۶ و ۸ کنفرانس سازمان ملل متحد که در ۳۰ ژوئن سال۹۲ دربارهٔ محیط زیست و توسعه برگزار شده است، توسعهٔ پایدار این‌گونه تعریف می‌شود «توسعهٔ پایدار فرایند تغییری است در استفاده از منابع، هدایت سرمایه‌گذاری‌ها، سمت‌گیری توسعهٔ فناوری و تغییری نهادی است که با نیازهای حال و آینده سازگار باشد».

در این مقاله توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست‌محیطی از شش دیدگاه: آب و خاک کشاورزی، هوا، جنگل، مواد اولیهٔ مصرفی (تنوع زیستی)، SO_3 /SO_2 آبهای شیرین و انرژی، از طریق منطق شلال[1] بررسی شد (مجیدی و دوامی، ۱۳۸۵). با کمک منطق شلال (فازی) درجهٔ پایداری توسعهٔ تولید آهن و فولاد بین «صفر» و «یک» تعریف و تعیین شد. به‌نحوی که درجهٔ عضویت «صفر»، یعنی توسعهٔ تولید آهن و فولاد اصلا پایدار نیست و درجه عضویت «یک» یعنی توسعهٔ تولید آهن و فولاد، به‌طورکامل پایدار است و درجهٔ عضویت «بین صفر و یک»، یعنی توسعهٔ تولید آهن و

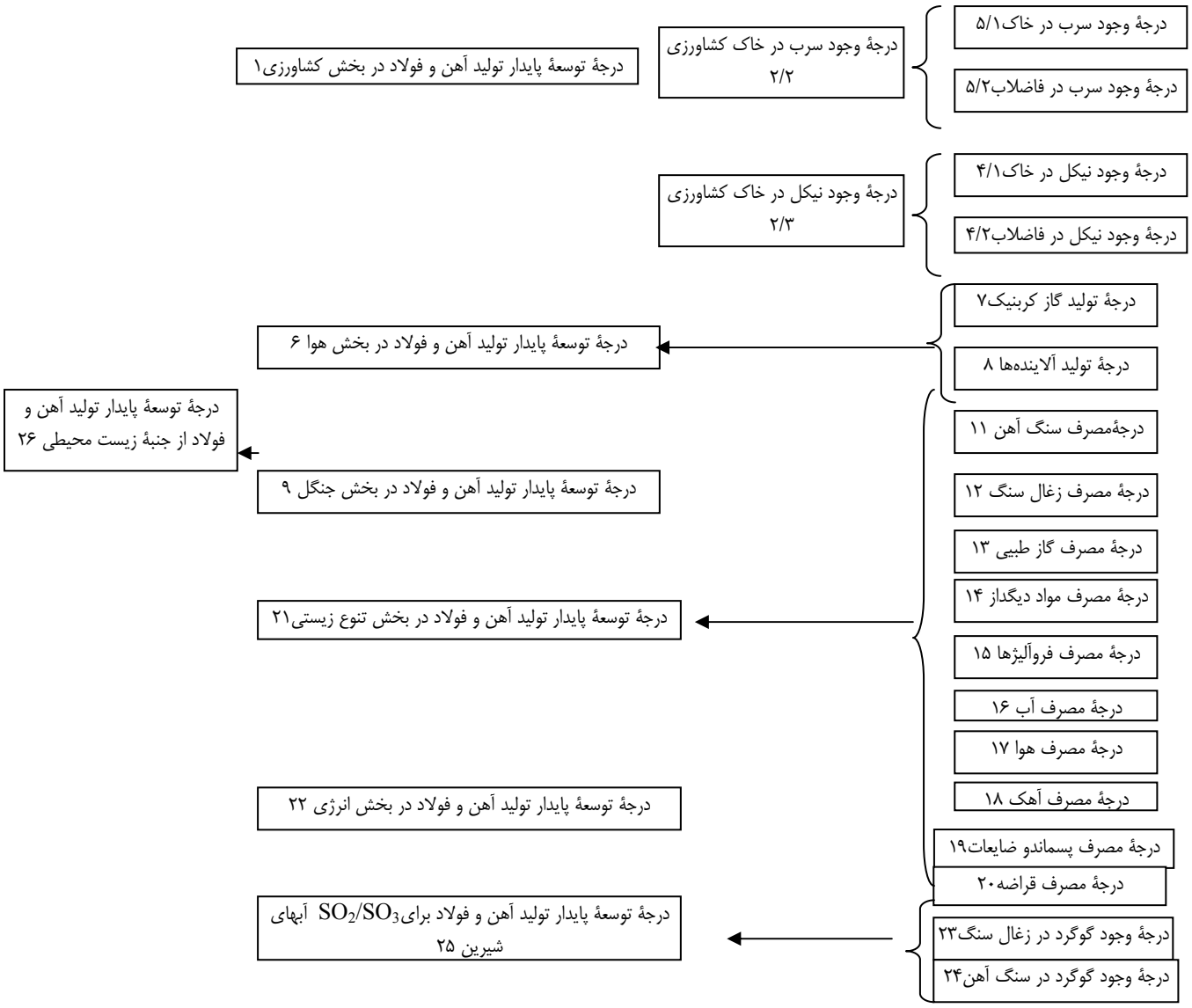
نویسنده مسئول:تلفن:۰۹۱۱۱۲۱۴۰۰۸

E-mail: e.vahdat@iauamol.ac.ir

فولاد به‌طورنسبی با همان درجهٔ، پایدار است. در این پژوهش اعداد تا دقت سه رقم اعشار محاسبه شده‌اند. این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از دیدگاه زیست‌محیطی است که در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی انجام شده است.

مواد و روش بررسی

الگوی توسعهٔ پایدار و توابع عضویت آنها از جنبهٔ زیست‌محیطی در بخش‌های آب و خاک کشاورزی، هوا، جنگل، تنوع زیستی، آب شیرین و انرژی برای تولید آهن و فولاد، به ترتیب در ادامه تعریف می‌شود الگوریتم روش استنتاج درجهٔ پایداری تولید آهن و فولاد در ایران مطابق با شکل شمارهٔ (۱) است. چنانچه در مورد موضوعی داده در اختیار نباشد فرض می‌شود آن موضوع کاملاً پایدار است، یعنی درجهٔ پایداری آن ۱ درنظر گرفته می‌شود. بنابراین عملا در استنتاج فازی تأثیری ندارد.



شکل شمارهٔ (۱): الگوریتم استنتاج شلال (فازی)

(توضیح:درتمام استنتاج‌ها از قانون کمینهٔ شلال استفاده می‌شود. شمارهٔ نوشته شده در درون هر مستطیل، شمارهٔ معادله مربوط در جدول شمارهٔ(۵) است.)

توابع عضویت آب و خاک کشاورزی در توسعهٔ پایدار

بیشترین عوامل آلاینده آب و خاک کشاورزی در تولید آهن و فولاد، کادمیم، نیکل و سرب، است. با توجه به مقادیر استخراج شده از جدول شمارهٔ (۱) و این واقعیت که کمیت کادمیم، نیکل و سرب اندازه‌گیری شده در آب و خاک کشاورزی ایران کمتر از حد بحرانی است، عددی برای مقدار بحرانی عوامل آلوده‌کنندهٔ خاک کشاورزی، یافت نشد، بنابراین فرض براین است که تولید عوامل آلاینده خاک کشاورزی تا رسیدن به حد بحرانی، مجاز است. چون حداقل مقدار عوامل آلایندهٔ آب و خاک کشاورزی در جهان در دسترس نیست، درنتیجه حداقل مقدار عوامل آلاینده آب و خاک کشاورزی در ایران، ملاک توسعهٔ پایدار قرار می‌گیرد. در هر صورت تولید عوامل آلاینده آب و خاک کشاورزی باعث کاهش درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش کشاورزی می‌شود، بنابراین توابع عضویت برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش کشاورزی مطابق با معادلات شمارهٔ (۱) تا(۵) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود.

$MF_{Pb,\ S}=0.1/8.2=0.012$

$MF_{Pb,\ W}=5.1/34.58=0.147$

$MF_{Pb}=\min(0.012,0.147)=0.012$

$MF_{Ni,\ S}=0.2/1.5=0.133$

$MF_{Ni,\ W}=1$

$MF_{Ni}=\min(0.133,1)=0.133$

$MF_{Cd,\ S}=1$

$MF_{Cd,\ W}=0.01/0.07=0.143$

$MF_{Cd}=\min(1,0.143)=0.143$

$MF_{Ac}=\min(0.143,0.133,0.012)=0.012$

در مورد مقدار آلایندهٔ کادمیم در خاک و نیکل در فاضلاب، داده در اختیار نیست بنابراین فرض شد کاملاً پایدارند یعنی درجهٔ پایداری آنها ۱ درنظر گرفته می‌شود. بنابراین عملاً در استنتاج فازی تأثیری ندارند.

چنانچه روزی مقدار عوامل آلوده‌کننده در بخش کشاورزی از حد بحرانی فراتر رود، تولید عوامل آلاینده در بخش کشاورزی به هیچ وجه مجاز نخواهد بود. بنابراین از آن پس توسعهٔ پایدار در بخش کشاورزی وقتی حاصل خواهد شد که هیچ عامل آلاینده در بخش کشاورزی ایجاد نشود، درنتیجه این توابع عضویت تغییر خواهد کرد.

جدول شمارهٔ(۱): مقدار مجاز فلزات در فاضلاب‌های صنعتی(میلی‌گرم در لیتر آب) و در خاک کشاورزی(میلی گرم در کیلوگرم خاک) برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد

فلزات آلاینده	مقدار مجاز فلزات در فاضلاب‌های صنعتی	حداقل مقدار در جهان	مقدار اندازه‌گیری شده فلزات در فاضلاب‌های صنعت تولید آهن و فولاد ایران		مقدار مجاز فلزات در خاک کشاورزی	حداقل مقدار در جهان	مقدار فلزات اندازه‌گیری شده در خاک کشاورزی ایران	
			حداقل	حداکثر			حداقل	حداکثر
کادمیم	-----	-----	۰/۰۱	۰/۰۷	-----	-----	----	----
نیکل	-----	-----	----	----	-----	-----	۰/۲	۱/۵
سرب	-----	-----	۵/۱	۳۴/۵۸	-----	-----	۰/۱	۸/۲

(منابع: بقایی، خادمی، محمدی و افیونی، ۱۳۸۳، سرتاج، طالبی و حسین‌زاده، ۱۳۸۱)

توابع عضویت هوا در توسعهٔ پایدار

آلاینده عمدهٔ هوا در صنعت تولید آهن و فولاد، گاز کربنیک است. مقدار مجاز گاز کربنیک در هوا ppm ۳۰۰ است. این مقدار در سال ۲۰۰۳ میلادی با روند افزایشی ppm ۱/۵ در سال بالغ بر ۳۵۷ ppm است. برای کاهش گازکربنیک از طریق کاشت درخت، تلاش‌های زیادی انجام گرفته است، زیرا که هر اصله درخت در هر سال، یک تن گازکربنیک جذب می‌کند. تولید گازکربنیک به ازای هر تن فولاد خام در کنورتور و در کورهٔ قوس الکتریکی، متفاوت است. برای مثال در چین به ازای هر تن فولاد خام در کنورتور، ۳/۹ تن و در قوس الکتریکی، ۰/۹ تن گازکربنیک تولید می‌شود. این مقدار در اروپای غربی به ترتیب برابر با ۲ تن و ۰/۲ تن گازکربنیک است، بنابراین در جهان مقدار میانگین کل تولید گازکربنیک به ازای هر تن فولاد خام در کنورتور، ۲/۵ تن و در کورهٔ قوس الکتریکی استاندارد، ۰/۶ تن تخمین زده شد.

جدول شمارهٔ (۲): مقدار مجاز و مقدار تولید شده عوامل آلایندهٔ هوا برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد برحسب تن به ازای تولید یک تن فولاد خام

عوامل آلاینده هوا	کمیت مجاز	میانگین کل تن	در کوره قوس الکتریکی		در کنورتور	
			حداقل	میانگین	حداکثر	میانگین
گازکربنیک در جهان	۰	۱/۹	۰/۲	۰/۶	۳/۹	۲/۵
گازکربنیک در ایران	۰	۲ تا ۳	----	----	----	----
سایر آلاینده‌ها در جهان	۰	۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۹	----	----	----	----
سایر آلاینده‌ها در ایران	۰	----	----	----	----	----

(منابع: جولازاده ،۱۳۸۳، احسانی و اقبالی بابادی،۱۳۸۳، حسینی،۱۳۸۳، ابراهیمی، احسانی و زیودار ،۱۳۸۳، علیزاده، سعیدی و صفریان ،۱۳۸۳، اعزازی، ۱۳۸۱، آیت و مختاری،۱۳۸۱)

شایان ذکر است مقدار گازکربنیک موجود در هوا از حد بحرانی گذشته است، پس تولید آن به هیچ‌وجه مجاز نیست. بنابراین توسعهٔ پایدار در بخش هوا وقتی حاصل خواهد شد که تولید گازکربنیک وجود نداشته باشد. بدین ترتیب در شرایط کنونی، تولید گازکربنیک به هر نحو، درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد را در بخش هوا صفر می‌نماید. چنانچه روزی مقدار گازکربنیک در هوا از مقدار بحرانی آن (۳۰۰ppm) کمتر شود تولید گاز کربنیک مجاز خواهد بود. بدین‌ترتیب با توجه به مقادیر استخراج شده از جدول شمارهٔ (۲)، توابع عضویت برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش هوا مطابق معادلات شمارهٔ (۶) تا (۸) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود. برای مثال محاسبات در شرایط جدید انجام می‌شود.

برای مقدار سایر آلاینده‌ها در ایران داده‌ای نداشتیم، بنابراین از درجهٔ تولید آلاینده‌ها صرف‌نظر شد، یعنی فرض شد در ایران کمترین مقدار آلاینده‌های هوا برای تولید آهن و فولاد نسبت به جهان تولید می‌شود.

طبق معادلهٔ شمارهٔ (۷) در جدول شمارهٔ (۵)، درجهٔ تولید گازکربنیک در ایران برابر با ۰/۲ تقسیم بر ۳، یعنی برابر با ۰/۰۶۷ است. بنابراین درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش هوا برابر با کمینه (۱و۰/۰۶۷) ، یعنی کوچکترین عدد بین دو عدد ۱ و ۰/۰۶۷ یعنی ۰/۰۶۷ است.

توابع عضویت جنگل در توسعهٔ پایدار

چون به ازای هر تن فولاد، ۳ تن گاز کربنیک تولید می‌شود، بنابراین برای تثبیت پایداری محیط زیست به ازای تولید هر تن فولاد باید سه اصله درخت کاشته شود تا میزان گازکربنیک محیط در اثر افزایش تولید آهن و فولاد پایدار بماند. با توجه به تولید ۳ تن گاز کربنیک به ازای هر تن فولاد خام در کشورمان، کاشت سه اصله درخت در ازای افزایش تولید هر تن فولاد خام، چشمگیر است (رادمهر و احمدی،۱۳۸۳، مهردادی، حسینی و صدیق‌زاده،۱۳۸۱، منوری ،۱۳۸۱). درصورتی‌که جنگل‌های موجود برای مصرف گازکربنیک کافی باشند تابع عضویت درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش جنگل به صورت معادلهٔ شمارهٔ (۹) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود.

در این بخش داده‌ای در دست نبود، پس فرض شد که به ازای افزایش تولید هر تن فولاد، ۳ اصله درخت کاشته می‌شود. بنابراین درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش جنگل، ۱ شد، یعنی به‌طورکامل پایدار است. به‌عبارت دیگر چنانچه به‌ازای هر تن افزایش ظرفیت تولید آهن و فولاد، سه اصله درخت کاشته شود درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد حفظ می‌شود.

درجهٔ عضویت مواد اولیهٔ مصرفی در توسعهٔ پایدار

بر اساس تعریف توسعهٔ پایدار، منابع اولیه از جمله برای تولید آهن و فولاد نیز باید به صورتی مصرف شود که با نیازهای حال و آینده سازگار باشد. منابع و معادن جهان محدود بوده و به طور یکنواخت و یکسان در تمام نقاط کرهٔ زمین توزیع نشده‌اند. مواد اولیهٔ مصرفی تولید آهن و فولاد شامل سنگ آهن، زغال سنگ، گاز طبیعی، مواد دیرگداز، آهن قراضه و فروآلیاژها با کیفیت متفاوت در کشورهای جهان وجود دارند که بخشی از آن باید برای نسل‌های آینده حفظ شوند. بنابراین مصرف بهینهٔ مواد اولیه از طریق آماده‌سازی، بازیافت، افزایش کیفیت محصولات نهایی و نیز اصلاح و بهبود فرهنگ مصرف و همچنین افزایش بازدهی فرایند تولید برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی ضروری و اجتناب ناپذیر است.

مقدار سنگ آهن قطعی در جهان ۲۰۰ میلیارد تن برآورد شده که ۶/۶ میلیارد تن، یعنی ۳/۳ درصد آن، در ایران وجود دارد. در سال ۲۰۰۲ میلادی، ۱۱۲۸/۵ میلیون تن سنگ آهن در سال در جهان تولید شده که ۱۱ میلیون تن یعنی ۰/۹۷ درصد آن در ایران استخراج شده است. مشاهده می‌شود در حالی‌که نیروی تولید سنگ آهن در ایران تا مقدار ۳/۳ درصد مقدار تولید جهانی، یعنی ۳۷/۲ میلیون تن سنگ آهن، بوده است. بنابراین سهم تولید سنگ آهن در ایران از سهم تولید سنگ آهن در جهان کمتر است. مطابق با معادلهٔ شمارهٔ (۱۰) در جدول شمارهٔ (۵)، چنانچه مقدار سنگ آهن لازم برای مصرف n =۱۰۰ سال آینده در نظر گرفته شود، درجهٔ عضویت مصرف سنگ آهن در جهان و ایران «یک» می‌شود، یعنی سبب کاهش درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی نمی‌شود، پس اهمیت سنگ آهن در محاسبهٔ درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی نسبت به سایر متغیرها بسیار کمتر است و با شرایط موجود درعمل تأثیری ندارد، زیرا:

$$MF_{Fe,\ Iran} = \left(1 ،\ \frac{\text{درجهٔ عضویت تولید سنگ آهن استخراجی در ایران}}{\text{کمینه}}\right) = 1$$

$$\frac{۶۶۰۰}{۱۱\times۱۰۰}$$

در صورت وجود اطلاعات در مورد سایر مواد اولیه مورد نیاز در تولید آهن و فولاد، مشابه روش فوق اقدام کرده و میزان اهمیت مصرف هر یک از مواد اولیه مشخص می‌شود. در جدول شمارهٔ (۳) فهرست مواد اولیه در تولید آهن و فولاد به ازای هر تن فولاد خام نشان داده شده است.

جدول شمارهٔ (۳): مواد اولیه مصرفی در تولید آهن و فولاد به ازای تولید یک تن فولاد خام

	سنگ آهن کیلوگرم	زغال سنگ کیلوگرم	گاز طبیعی متر مکعب	مواد دیرگداز کیلوگرم	آهک کیلوگرم	فروآلیاژها کیلوگرم	آب متر مکعب	هوا (اکسیژن) متر مکعب	پسماندها و ضایعات کیلوگرم	قراضه کیلوگرم
مصرف بهینه	۱۲۵۴	---	۲۷۰	۱۵	---	۱۵	--	-----		۴۲۳
مصرف در ایران	۱۴۶۷	۳۹۰	----	۳۵	۱۵۰	------	۱۱	۱۶۸۰	۴۰۰	۲۵۰
متوسط مصرف جهانی	۱۴۲۰	۵۹۹	----	۲۵	۳۰۰	----	۱۰	۱۸۰۰	۲۱	۱۴۰

(منبع: ترابی و صفائیان،۱۳۸۳)

توابع عضویت درجهٔ عضویت مصرف سنگ آهن، زغال‌سنگ، گاز طبیعی، مواد دیرگداز، فروآلیاژها، آب، هوا، آهک و آهن قراضه در توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد به صورت معادلات شمارهٔ (۱۱) تا (۲۰) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود. مصرف سنگ آهن برای تولید آهن خام به دلیل فراوانی آن از درجهٔ اهمیت کمتری برخوردار است. در هر صورت مقدار مصرف مواد اولیه نامبرده، و یا تولید ضایعات هر چه کمتر باشد در توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی بهتر است. بنابراین برای محاسبهٔ توابع عضویت درجهٔ عضویت سنگ آهن، زغال سنگ، گاز طبیعی، مواد دیرگداز، فروآلیاژها، آب، هوا (اکسیژن)، آهک و ضایعات در صورت کسر، مصرف بهینه، یا متوسط مصرف جهانی و در مخرج کسر، میزان مصرف مواد در ایران مستخرج از جدول شمارهٔ (۳) لحاظ می‌شود. از جمله در میان مواد اولیه برای تولید فولاد خام هرچه آهن قراضه بیشتر مصرف شود، بازیافت مواد بهتر است، یعنی توسعه پایدارتر است. بنابراین تابع عضویت درجهٔ عضویت مصرف آهن قراضه به‌صورت معادلهٔ شمارهٔ (۲۰) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود. قابل توجه است‌که در جدول شمارهٔ (۵) در معادلات شمارهٔ (۱۱) تا (۱۹)، مصرف بهینه در صورت کسر و در معادلهٔ شمارهٔ (۲۰)، مصرف بهینه در مخرج کسر قرار دارد. در برخی موارد به‌دلیل عدم وجود داده به‌جای مصرف بهینه، متوسط مصرف جهانی جایگزین شده است. با توجه به قانون عطف شلال (کمینه)، تابع عضویت درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی به صورت معادله شمارهٔ (۲۱) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود.

$MF_{Fe\ melting}=\min(1,1254/1467)=0.855$

$MF_{Coal}=\min(1,599/390)=1$

$MF_{Re}=\min(1,15/35)=0.428$

$MF_{Ca}=\min(1,300/150)=1$

$MF_{Disposal}=\min(1,21/400)=0.052$

$MF_{Scrap}=\min(1,250/423)=0.591$

$MF_{Water}=\min(1,10/11)=0.910$

$MF_{air}=\min(1,1800/1680)=1$

در مورد مقدار مصرف گاز طبیعی و مقدار مصرف فروآلیاژها به ازای تولید یک تن فولاد خام، داده در اختیار نبود بنابراین فرض شد

به‌طورکامل پایدارند، یعنی درجهٔ پایداری آنها ۱ درنظر گرفته شد. بنابراین عملاً در استنتاج فازی تأثیری ندارند، یعنی:

$MF_{Ferro}= 1$

$MF_{NG}= 1$

$MF_{Ecology} =$

$\min(0.855,1,0.428,1,0.052,0.591,0.910,1,1,1)$

$=0.052$

تابع عضویت مصرف انرژی در توسعهٔ پایدار

صنعت تولید آهن و فولاد بشدت انرژی مصرف می‌کند. یکی از فرایندهای اصلی مصرف‌کنندهٔ انرژی در تولید آهن و فولاد، واحد احیاست. واحد احیا سهم بالایی در مصرف انرژی برای تولید آهن خام دارد. قریب به ۷۰ درصد گاز طبیعی یک مجتمع تولید فولاد در واحد احیا به مصرف می‌رسد و مصرف انرژی الکتریکی آن نزدیک به ۱۵درصد است. به‌طورکلی بازدهی یک کوره بلند، ۴۵ تا ۵۵ درصد و بازدهی کنورتور، ۸۶ تا ۹۵ درصد است. در سال ۲۰۰۳ میلادی در کشورهای فوق پیشرفته، بویژه در صنعت تولید آهن و فولاد مانند کشور آلمان میانگین مصرف انرژی برای تولید یک تن فولاد خام، ۱۸/۷ گیگا ژول گزارش شده است. این مقدار در ایران، ۱۲/۵۴ گیگا ژول در واحدهای احیا در شرکت فولاد خوزستان گزارش شده است، با احتساب این‌که ۷۰ درصد انرژی مصرفی کل در بخش احیا مصرف می‌شود. کل انرژی مصرفی در ایران حدود ۱۷/۹۱ گیگاژول به ازای تن فولاد خواهد بود (نساجی، شریفی و جمالی ،۱۳۸۳، جولازاده، ۱۳۸۳ توحیدی، ملک پور، و بختیاری،۱۳۸۳، همایونی فر، سبوحی و فیروز آبادی ،۱۳۸۱). هر چه مصرف انرژی برای تولید یک تن فولاد خام کمتر باشد بهتر است، یعنی توسعه پایدارتر است. بنابراین تابع عضویت درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش انرژی به صورت معادلهٔ شمارهٔ (۲۲) در جدول شمارهٔ (۵) تعریف می‌شود.

$MF_{Energy}=\min(1,18.7/17.91)=1$

تابع عضویتSO_2 /SO_3آبهای شیرین در توسعهٔ پایدار

گوگرد از جمله مواد آلاینده زیست‌محیطی است‌که از طریق گاز SO_2 /SO_3 و درنهایت تولید باران اسیدی و همچنین به طور مستقیم از طریق انحلال SO_2 /SO_3 در آب شیرین، باعث آلودگی زیست محیطی می‌شود.

شایان ذکر است فرض شد در حال حاضر مقدار گوگرد موجود در آبهای شیرین کمتر از حد بحرانی است، اما عددی برای مقدار حد بحرانی در دسترس نیست. بنابراین آلوده‌سازی آبهای شیرین تا رسیدن به حد بحرانی مجاز است. در هر صورت انحلال گوگرد در آبهای شیرین سبب کاهش درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش آبهای شیرین می‌شود. گوگرد در تولید آهن و فولاد از طریق زغال سنگ، یا کک و همچنین سولفید آهن موجود در سنگ آهن وارد زیست‌محیطی شده و باعث آلوده‌سازی آبهای شیرین می‌شود. مقدار گوگرد زغال سنگ از ۰ تا ۱۰ درصد متغیر است. این مقدار پس از شست‌وشوی زغال سنگ به ۲/۹۵ درصد کاهش می‌یابد. چنانچه مقدار آن به ۱/۵ درصد برسد زغالی با کیفیت، برای تولید کک و درنهایت برای تولید فولاد با کیفیت، خواهد بود. گوگرد موجود در کک باعث افت حرارتی، خوردگی تجهیزات و همچنین آلودگی زیست محیطی می‌شود. گوگرد موجود در سنگ آهن از ۰/۷۵۵ درصد تا ۰/۱۷۵ درصد متغیر است و چنانچه از طریق کلینگر به ۰/۱۳ درصد تقلیل یابد مادهٔ با کیفیتی برای تولید فولاد با کیفیت، خواهد بود. بدین ترتیب با توجه به توضیحات فوق و داده‌های جدول شمارهٔ (۴)، توابع عضویت درجهٔ گوگرد موجود در زغال سنگ، یا کک و همچنین مقدار مجاز گوگرد در سنگ آهن ودرنهایت درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش آبهای شیرین مطابق با معادلات شماره (۲۳) تا (۲۵) در جدول شمارهٔ (۵)تعریف می‌شود.

$MF_{S\ ore}=\min(1,1.5/2.95)=0.508$

$MF_{S\ iron\ ore}=\min(1,0.13/0.13)=1$

$MF_{S\ water}=\min(0.508,1)=0.508$

چنانچه روزی کمیت SO_2 /SO_3 آبهای شیرین از حد بحرانی فراتر رود، تولید عوامل آلاینده آبهای شیرین به هیچ وجه مجاز نیست. بنابراین توسعه پایدار در بخش آبهای شیرین وقتی حاصل خواهد شد که هیچ عامل آلوده‌سازی آبهای شیرین تولید نشود، ودرغیر اینصورت توابع عضویت تغییر خواهد کرد.

جدول شمارهٔ (۴): کمیت مجاز و اندازه‌گیری شده عوامل آلاینده آبهای شیرین برای توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد

ردیف	عامل آلوده‌کننده	مقدار مجاز	مقدار اندازه‌گیری‌شده (درصد)	
			حداقل	حداکثر
۱	گوگرد زغال سنگ	۱/۵	۰	۲/۹۵
۲	گوگرد سنگ آهن	۰/۱۳	--	۰/۱۳

(منابع: احسانی و اقبالی بابادی ،۱۳۸۳، حسینی ،۱۳۸۳، علیزاده، سعیدی و صفریان ،۱۳۸۳)

درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست‌محیطی

با توجه به این‌که درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست‌محیطی به عوامل کشاورزی (آب و خاک)، هوا، آبهای شیرین، انرژی، مواد اولیهٔ مصرفی و جنگل وابسته است از طریق قانون کمینهٔ منطق شلال، تابع عضویت درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد مطابق با معادلهٔ شمارهٔ (۲۶) در جدول شمارهٔ (۵) محاسبه می‌شود.

$$MF_{total} = \min (0.508, 0.012, 1, 1, 0, 0.052) = 0$$

نتایج

با توجه به این‌که اعداد و ارقام گردآوری شده مربوط به سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ شمسی است.بنابراین مطابق با اطلاعات موجود در جدول شماره‌های (۱) تا (۴) و معادلات شمارهٔ (۱) تا (۲۶) در جدول شمارهٔ (۵)، درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی برای ایران محاسبه ونتایج در جدول شمارهٔ (۶) ثبت شده است.

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله به علت محدودیت اطلاعات، برخی از عوامل مؤثر در آلوده‌سازی زیست‌محیطی به‌وسیلهٔ واحدهای تولید آهن و فولاد بررسی شد.

توسعهٔ پایدار در صنعت تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی با اطلاعات، داده‌های اندک و مفروضات موجود در جدول شمارهٔ (۶) برابر "صفر" است.

عامل اصلی در ناپایداری توسعهٔ صنعت تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی در ایران با درجهٔ عضویت "صفر" به علت تولید گاز کربنیک به ازای هر تن تولید فولاد و همچنین کمبود جنگل برای کاهش گاز کربنیک است.

برای افزایش درجهٔ توسعهٔ پایدار، باید به طور همزمان به‌منظور کاهش تولید گاز کربنیک و افزایش کاشت درخت، اقدام کرد.

دومین عامل در کاهش پایداری (درجهٔ عضویت ۰/۰۱۲)، وجود سرب زیاد در خاک کشاورزی است که در این صنعت وجود دارد.

سومین عامل در کاهش پایداری (درجهٔ عضویت ۰/۰۵۲۵)، ضایعات زیادی است‌که در این صنعت برای تولید هر تن فولاد ایجاد می‌شود. به علت اهمیت بررسی توسعهٔ پایدار در ایران در تمام زمینه‌ها از جمله زیست محیطی، لازم است سایر موارد زیست محیطی (سرتاج،و طالبی، و حسین زاده، ۱۳۸۱.).

بقایی، خادمی، محمدی و افیونی ،۱۳۸۳ ، اعزازی ،۱۳۸۱، آیت و مختاری،۱۳۸۱. نساجی، شریفی و جمالی،۱۳۸۳، جولازاده،۱۳۸۳، توحیدی، ملک‌پور و بختیاری، ۱۳۸۳، همایونی، سبوحی و فیروز آبادی ،۱۳۸۱) و نیز منطق شلال از سایر جنبه‌ها از جمله آنالیز داده‌ها،کنترل سیستم، تحقیق و توسعه، سیستم اقتصادی، آینده‌نگری (میرمحمد صادقی، شریف، عالی و خدارحمی،۱۳۷۶، توحیدی، وحدت و املح القرا، ۱۳۸۴، توحیدی، وحدت و املح القرا، ۱۳۸۵، توحیدی، توکلی مقدم و وحدت ،۱۳۸۲، توحیدی، علیمرادپور، وحدت و ربیعی‌فر، ۱۳۸۶) Towhidi, et al .2005. ،Vahdat, 2006 ،Vahdat, 2005 ،Driankov, 1993،Amlah, 2006 Towhidi &et al 2005 ،Qiujun, 2008 ،Terano, 1994 ،Harris, 1993) نیز مورد بررسی دقیق قرار گیرد و تحقیقات در زمینهٔ آلاینده‌های واحدهای تولید فلزات آهنی و غیر آهنی در ایران و آموزش آن در دانشگاهها، مورد توجه خاص قرار گیرد.

چنانچه مقدار گازکربنیک هوا از مقدار بحرانی (۳۰۰ پی پی ام) کمتر می‌بود درجهٔ توسعهٔپایدار در بخش هوا در ایران به‌جای صفر، ۰/۰۶۷ می‌شد.

بنابراین عوامل کم بودن درجهٔ پایداری توسعهٔ تولید آهن و فولاد در ایران در شرایط جدید بدین صورت تغییر می‌کرد.

$$MF_{total} = \min(0.508,0.012,1,1,0.067,0.052) =0.012$$

عامل اصلی در ناپایداری توسعهٔ صنعت تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی در ایران با درجهٔ ۰/۰۱۲ می‌شد که به‌دلیل وجود سرب زیاد در خاک کشاورزی می‌بود.

دومین عامل در کاهش پایداری با درجهٔ عضویت ۰/۰۵۲، ضایعات زیادی بود که در این صنعت برای تولید هر تن فولاد ایجاد می‌شد.

سومین عامل در کاهش پایداری توسعهٔ تولید آهن و فولاد در ایران با درجهٔ ۰/۰۶۷ ایجاد می‌شد که به علت تولید ۳ تن گاز کربنیک به ازای هر تن تولید فولاد و همچنین کمبود جنگل برای کاهش گاز کربنیک بود.

جدول شمارهٔ (۵): توابع عضویت برای تعیین درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی

معادله	تعریف توابع عضویت	
۱	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش کشاورزی	$MF_{Ac} = (MF_{Cd}(,MF_{Ni}, MF_{Pb})$ کمینه
۲/۱	درجهٔ عضویت وجود کادمیم	$MF_{Cd} = (MF_{Cd,S}, MF_{Cd,W})$ کمینه
۲/۲	درجهٔ عضویت وجود نیکل	$MF_{Ni} = (MF_{Ni,S}, MF_{Ni,W})$ کمینه
۲/۳	درجهٔ عضویت وجود سرب	$MF_{Pb} = (MF_{Pb,S}, MF_{Pb,W})$ کمینه
۳/۱	درجهٔ عضویت وجود کادمیم در فاضلاب	$MF_{Cd,W} =$ حداقل مقدار کادمیم اندازه‌گیری‌شده در فاضلاب جهان / حداکثر کمیت کادمیم اندازه‌گیری شده در فاضلاب برحسب میلی‌گرم در لیتر آب در ایران
۳/۲	درجهٔ عضویت وجود کادمیم در خاک	$MF_{Cd,S} =$ حداقل مقدار کادمیم اندازه‌گیری‌شده در خاک جهان / حداکثر کمیت کادمیم اندازه‌گیری شده در خاک برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم در ایران
۴/۱	درجهٔ عضویت وجود نیکل در خاک	$MF_{Ni,S} =$ حداقل مقدار نیکل اندازه‌گیری شده در خاک جهان / حداکثر کمیت نیکل اندازه‌گیری‌شده در خاک برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم در ایران
۴/۲	درجهٔ عضویت وجود نیکل در فاضلاب آب	$MF_{Ni,W} =$ حداقل مقدار نیکل اندازه‌گیری شده در فاضلاب جهان / حداکثر کمیت نیکل اندازه‌گیری‌شده در فاضلاب برحسب میلی‌گرم در لیتر در ایران
۵/۱	درجهٔ عضویت وجود سرب در خاک	$MF_{Pb,S} =$ حداقل مقدار سرب اندازه‌گیری‌شده در خاک جهان / حداکثر کمیت سرب اندازه‌گیری‌شده در خاک برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم در ایران
۵/۲	درجهٔ عضویت وجود سرب در فاضلاب	$MF_{Pb,W} =$ حداقل مقدار سرب اندازه‌گیری‌شده در فاضلاب جهان / حداکثر کمیت سرب اندازه‌گیری‌شده در فاضلاب برحسب میلی‌گرم در لیتر آب در ایران
۶	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش هوا	$MF_{air} =$ کمینه (MF_{CO2}, MF_{P})
۷	درجهٔ عضویت تولید گاز کربنیک	$MF_{CO2} = ۰/۲ =$ (حداقل کمیت کل گازکربنیک اندازه‌گیری‌شده برحسب تن در جهان / حداکثر کمیت گازکربنیک اندازه‌گیری‌شده برحسب تن در ایران)
۸	درجهٔ عضویت تولیدآلاینده بر حسب کیلوگرم در جهان =۰/۰۰۱	$MF_{P} = ۰/۰۰۱ =$ (حداقل کمیت آلاینده بر حسب کیلوگرم در جهان / حداکثر کمیت اندازه‌گیری‌شده آلاینده برحسب کیلوگرم در ایران)
۹	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش جنگل	$MF_{G} =$ افزایش کاشت تعداد اصله درخت در سال / افزایش تولید فولاد خام در یک سال بر حسب تن × (یک تن فولاد خام در سال/ ۳ درخت)
۱۰	درجهٔ عضویت تولیدسنگ آهن استخراجی	$MF_{Fe} = (۱ ،$ کمیت سنگ آهن قطعی / کمیت تولید سنگ آهن × n کمینه)

۱۱	درجهٔ عضویت مصرف سنگ آهن $MF_{Fe\ melting}$ = (۱ ، کمینه (۱۲۵۴ / مقدار سنگ آهن برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۲	درجهٔ عضویت مصرف زغال سنگ MF_{coal} = (۱ ، کمینه (۵۹۹ / مقدار زغال سنگ برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۳	درجهٔ عضویت مصرف گاز طبیعی MF_{NG} = (۱ ، کمینه (۲۷۰ / مقدار گاز طبیعی برحسب متر مکعب برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۴	درجهٔ عضویت مصرف مواد دیرگداز MF_{Re} = (۱ ، کمینه (۱۵ / مقدار مواد دیرگداز برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۵	درجهٔ عضویت مصرف فروالیاژها MF_{Ferro} = (۱ ، کمینه (۱۵ / مقدار فروآلیاژها برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۶	درجهٔ عضویت مصرف اب MF_{water} = (۱ ، کمینه (۱۰ / مقدار آب برحسب متر مکعب برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۷	درجهٔ عضویت مصرف هوا (اکسیژن) MF_{air} = (۱ ، کمینه (۱۸۰۰ / مقدار هوا (اکسیژن) برحسب متر مکعب برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۸	درجهٔ عضویت مصرف آهک MF_{Ca} = (۱ ، کمینه (۳۰۰ / مقدار آهک برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۱۹	درجهٔ عضویت ایجاد پسماند و ضایعات $MF_{Disposal}$ = (۱ ، کمینه (۲۱ / مقدار ایجاد ضایعات برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران))
۲۰	درجهٔ عضویت مصرف آهن قراضه MF_{Scrap} = (۱ ، کمینه (مقدار مصرف آهن قراضه برحسب کیلوگرم برای تولید یک تن فولاد خام در ایران / ۴۲۳))
۲۱	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش تنوع زیستی $MF_{Ecology}$ =(کمینه(MF_{Ca} ، MF_{air} ، MF_{water} ، MF_{Ferro} ، MF_{Re} ،MF_{NG} ، MF_{coal} ، $MF_{Fe\ melting}$ ، $MF_{Disposal}$ ، MF_{Scrap})
۲۲	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش انرژی MF_{Energy} = (۱ ، کمینه (۱۸/۷ / مصرف انرژی برای تولید یک تن فولاد خام بر حسب گیگاژول))
۲۳	درجهٔ عضویت وجود گوگرد در زغال سنگ $MF_{S,\ Ore}$ = (۱ ، کمینه (۱/۵ / حداکثر مقدار گوگرد در زغال سنگ بر حسب درصد))
۲۴	درجهٔ عضویت وجود گوگرد در سنگ آهن $MF_{S,\ iron\ ore}$ = (۱ ، کمینه (۰/۱۳ / حداکثر مقدار گوگرد در سنگ آهن بر حسب درصد))
۲۵	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد برای SO_2/SO_3 آبهای شیرین $MF_{S,\ water}$ = (کمینه ($MF_{S,\ Ore}$ ، $MF_{S,\ iron\ ore}$)
۲۶	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبه زیست محیطی MF_{Final} =(کمینه($MF_{S,\ water}$,MF_{Energy} , $MF_{Ecology}$, MF_{G} , MF_{air} , MF_{Ac})

جدول شمارهٔ(۶): درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبهٔ زیست محیطی و درجهٔ عضویت عوامل مؤثر در آن

درجهٔ پایداری توسعه	درجهٔ عضویت عوامل اصلی	درجهٔ عضویت عوامل فرعی		داده‌ها و مفروضات در ایران
درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد از جنبه زیست محیطی صفر	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش کشاورزی ۰/۰۱۲	درجهٔ عضویت وجود کادمیم در فاضلاب	۰/۱۴۳	حداکثرمقدار کادمیم فاضلاب ۰/۰۷میلی گرم در لیتر حداکثر مقدار کادمیم در خاک $X_{Cd,S}$
		درجهٔ عضویت وجود نیکل در خاک	۰/۱۳۳	حداکثر مقدار نیکل در فاضلاب $X_{Ni,W}$ حداکثرمقدارنیکل خاک۱/۵میلی‌گرم درکیلوگرم
		درجهٔ عضویت وجودسرب۰/۱۴۷	درجهٔ عضویت وجودسرب درخاک۰/۰۱۲	حداکثرمقدارسرب خاک۸/۲میلی‌گرم درکیلوگرم
			درجهٔ عضویت وجود سرب درفاضلاب ۰/۱۴۷	حداکثرمقدارسرب فاضلاب۳۴/۵۸میلی‌گرم درلیتر
	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش هوا صفر	درجهٔ عضویت تولید گازکربنیک	صفر	متوسط گاز کربنیک ۳ تن به ازای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت ایجاد آلاینده ها	۱	----
	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش جنگل		۱	----
	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش موادمصرفی ۰/۰۵۲	درجهٔ عضویت مصرف سنگ آهن	۰/۸۵۴	۱۴۶۷کیلوگرم سنگ آهن برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف زغال سنگ	۱	۳۹۰کیلوگرم زغال سنگ برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف گاز طبیعی	۱	----
		درجهٔ عضویت مصرف مواد دیرگداز	۰/۴۲۸	۳۵ کیلوگرم مواد دیرگداز برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف فروآلیاژها	۱	----
		درجهٔ عضویت مصرف آب	۰/۹۱	۱۱ مترمکعب آب برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف هوا	۱	۱۶۸۰ مترمکعب هوا برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف آهک	۱	۱۵۰ کیلوگرم آهک برای هر تن فولاد
		درجهٔ عضویت ایجاد ضایعات	۰/۰۵۲	۴۰۰ کیلوگرم پسماند وضایعات برای هرتن فولاد
		درجهٔ عضویت مصرف آهن قراضه	۰/۵۹۱	۲۵۰ کیلوگرم آهن قراضه برای هر تن فولاد
	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش انرژی		۱	۱۷/۹۱گیگاژول انرژی به ازای هرتن فولاد خام
	درجهٔ توسعهٔ پایدار تولید آهن و فولاد در بخش آبهای شیرین۰/۵۰۸	درجهٔ عضویت گوگرد زغال سنگ	۰/۵۰۸	حداکثر مقدار گوگرد در زغال سنگ۲/۹۵ درصد
		درجهٔ عضویت گوگرد سنگ آهن	۱	حداکثر مقدار گوگرد در سنگ آهن ۰/۱۳ درصد

یادداشت

1-Fuzzy logic

منابع مورد استفاده

ابراهیمی، ح. و احسانی، م.ر. و زیوداار م.۱۳۸۳. گوگردزدایی زغال سنگ طبس با استفاده از محلول سولفات آهن، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۶۲ تا ۶۹ .

احسانی، م.ر. و اقبالی بابادی، ف.۱۳۸۳. کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ طبس به روش فلوتاسیون، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۱۰ تا ۱۹ .

اعزازی، ع.۱۳۸۱. صنعت فولاد و زیست محیطی، سمپوزیوم فولاد۸۱، صفحات ۷۵۵ تا ۷۹۰ .

آیت، س.م. و مختاری، ر.۱۳۸۱. راهبردهای حفظ زیست محیطی در صنایع تولید آهن و فولاد، سمپوزیوم فولاد۸۱، صفحات ۸۰۰ تا ۸۱۲ .

بقایی، ا.ح. و خادمی، ح. و محمدی، ج. و افیونی، م.۱۳۸۳. مقایسهٔ پراکنش سرب در خاک سطحی در اطراف دو کارخانهٔ ذوب فلزات، سمپوزیوم فولاد۸۱ ، صفحه ۷۵۶ تا ۷۶۵ .

بقایی، ا.ح. ، خادمی، ح. ، محمدی، ج. و افیونی، م. ۱۳۸۳. استفاده از تخمین‌گر کریجینگ در پهنه بندی پراکنش سرب و نیکل در اطراف دو کارخانهٔ ذوب فلز در منطقهٔ اصفهان ، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۱۰۹۲ تا ۱۰۹۹ .

ترابی، غ. و صفائیان، ح.۱۳۸۳. تولید و مصرف مواد اولیه صنایع فولادسازی در ایران و جهان، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۱ تا ۹.

توحیدی، ن. ، ملک‌پور، ف. و بختیاری، ک.۱۳۸۳. بهینه سازی شرایط واحدهای احیای مستقیم شرکت فولاد خوزستان از طریق پردازش اطلاعات آنها، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۱۰۴ تا ۱۱۹.

توحیدی، ن. ، وحدت، س.ا. و املح‌القرا، ا.ع.۱۳۸۴. آیا آهن برای ایران فلزی استراتژیک است؟، سمپوزیوم فولاد ۸۴، صفحات ۱۰۷۲تا۱۰۸۳.

توحیدی، ن. ، وحدت،س.ا. و املح‌القرا، ا.ع.۱۳۸۵. درجهٔ بحرانی، آسیب پذیری و استراتژیک منگنز برای ایران،ویژه نامه مهندسی متالورژی، شمارهٔ۱،صفحهٔ۳۰تا۴۴

توحیدی، ن. ، توکلی مقدم، ر. و وحدت، س.ا.۱۳۸۲. استفاده از تئوری منطق فازی برای انتخاب فولاد ابزار مناسب، نشریه دانشکده فنی، جلد۳۷، شمارهٔ۳، صفحهٔ ۴۲۷ تا۴۳۴ .

توحیدی، ن. ، علیمرادپور، غ. ، وحدت، س.ا. و ربیعی فر، ا.۱۳۸۶. کاربرد منطق شلال برای شناخت کاراترین شرایط کار واحدهای تولید آهن اسفنجی در شرکت فولاد خوزستان جهت گرایش به توسعه پایدار، سمپوزیوم فولاد ۸۶، صفحهٔ ۹۵۵ تا ۹۶۶.

جولازاده م.ح.۱۳۸۳. تحقیق در زمینهٔ میزان نشر گاز دی اکسیدکربن در صنایع فولاد، هشتمین کنگره سالانه انجمن مهندسان متالورژی ایران،صفحه۸۴۹ تا ۸۵۶

جولازاده، م.ح.۱۳۸۳. نقش سیستم بارگیری بدون زنگ در بهره وری کوره بلند، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۹۲ تا ۱۰۳.

حسینی، ا.۱۳۸۳. شویندگی زغال‌های کک شو با روش آنالیز تصویری، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۵۴ تا ۶۱ .

رادمهر، ب. و احمدی، ر.۱۳۸۳. مزیت‌های رقابتی در صنعت فولاد، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۱۰۲۴ تا ۱۰۳۵.

علیزاده، م. ، سعیدی، ع. و صفریان، ج.۱۳۸۳. تعیین شرایط بهینه پخت سنگ دولومیت در کوره‌های دوار شرکت فولاد مبارکه، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۴۲ تا ۵۳.

سرتاج، م. ، طالبی، م. و حسین زاده، م. ۱۳۸۱. حذف سرب و کادمیم از فاضلاب واحدهای صنعتی تولید آهن و فولاد، سمپوزیوم فولاد۸۱، صفحات ۷۵۱تا۷۵۵.

نساجی، ع. ، شریفی، ح. و جمالی، س.م. ۱۳۸۳. بررسی اثر مصرف گندله در کوره بلند۱و۲ ذوب آهن اصفهان، سمپوزیوم فولاد۸۳، صفحات ۸۲ تا۹۱.

مجیدی، ب. و دوامی، پ. ۱۳۸۵. مهندسی مواد و توسعهٔ پایدار درایران، مجلهٔ مهندسی متالورژی، شمارهٔ۱، صفحات ۱۱ تا ۱۷.

منوری، م.۱۳۸۱. ارزیابی آثار زیست محیطی در صنایع فولاد، سمپوزیوم فولاد۸۱، صفحات ۷۹۱ تا ۷۹۹.

مهردادی، ن. ، حسینی، س.م. و صدیق‌زاده، ا.۱۳۸۱. مبانی انتخاب و راهبری فیلترهای پالایش هوا مورد استفاده در صنایع فولاد، سمپوزیوم فولاد۸۱، صفحهٔ ۷۳۹ تا ۷۵۰.

میرمحمدصادقی، ع. ، شریف، ح.; عالی، ح. و خدارحمی، ح.۱۳۷۶. بررسی وضعیت فولاد، چاپ اول، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، تهران. ۲۸۸ صفحه

همایونی‌فر، پ. ، سبوحی، ی. و فیروزآبادی، ب.۱۳۸۱. طراحی یک سیستم انرژی جایگزین برای احیای آهن به روش میدرکس، سمپوزیوم فولاد۸۱ صفحهٔ ۳۱تا ۴۱.

Amlah,A. and et al.2006. Application of the Fuzzy Logic for Determining Strategic Metals in Iran, The International Conference on Problem Solving Strategies & Techniques (PSST 2006), Iran, Tehran, 9 pages.

Driankov,D., H.,Hellendoorn and M.,Reinfrank.1993. An Introduction to Fuzzy Control, Springer-Verlag, New York, ISBN 0-387-56362-8,

Harris,C.J., C.G.,Moore and M.,Brown.1993. Intelligent Control, Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets, World Scientific, ISBN 981-02-1042-6.

Qiujun,S. and Z.,Qun.2008. Evaluation on sustainable development of China iron and steel industries, 2008 international symposiums on information processing, pages 700-704.

Terano,T., K.,Asai and M.,Sugeno.1994. Applied Fuzzy Systems, AP Professional, ISBN 0-12-685242-1.

Towhidi,N. and R.,Tavakkoli-Moghaddam and S.E.,Vahdat.2005. The use of fuzzy logic theory for selecting appropriate tool steels with price analysis, Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 29, no. B6, pages 559-567.

Vahdat,S.E. 2005. Selecting of appropriate electrode in fully salt water by fuzzy logic, Metallurgy Society (MetSoc), COM2005, pages 329-336.

Vahdat,S.E. 2006. Comparing of electrochemical corrosion of steels in fully salt water by fuzzy logic, ECS2006, Egypt, Cairo, 10 pages.