

# دهمین همایش بین المللی انرژی

## نقشه راه بهینه‌سازی مصرف انرژی - ضرورت و مطالعه موردی صنعت فولاد

یدالله ذاکری - سمیرا فاضلی ویسری - ملک ارسلان صدری - امیر دودابی نژاد

دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر - سازمان بهره‌وری انرژی ایران - شرکت سامان انرژی - سازمان بهره‌وری انرژی ایران

*a.doudabi@saba.org - fazeli@saba.org - sadri@samanenergy.ir - yzakeri@cc.iut.ac.ir*

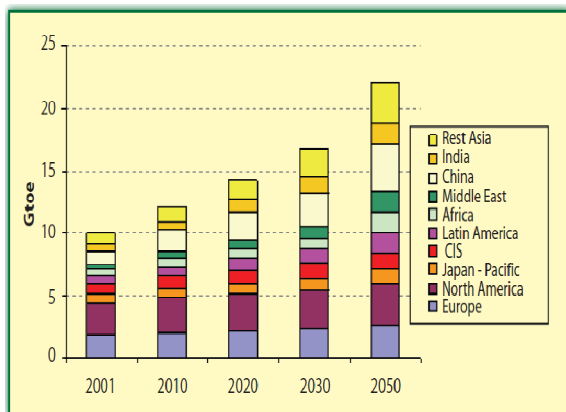
### چکیده

صنعت آهن و فولاد کشور بعد از نیروگاه‌ها سهم عمده انرژی بخش صنعت را مصرف می‌کند. تجربه‌های جهانی و ارزیابی‌های انجام شده واحدهای صنعتی کشور نشان‌دهنده فرصت‌های مناسب صرفه‌جویی انرژی در این صنعت است. در این مقاله ابتدا در خصوص اهمیت بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی و ضرورت وجود برنامه جامع (نقشه راه) برای بهینه‌سازی مصرف انرژی توضیحاتی ارائه شده است. سپس مفهوم نقشه راه توضیح داده شده و جایگاه صنعت آهن و فولاد کشور از نظر مصرف انرژی و اهمیت تدوین سند نقشه راه برای آن برجسته می‌شود و پس از برآورد مصرف انرژی صنعت فولاد در افق چشم‌انداز، در خصوص فناوری‌های تولید فولاد و شدت مصرف انرژی آنها توضیحاتی ارائه می‌شود. سپس تکنولوژی‌ها و فناوری‌های نوین تولید جهانی در این صنعت در حوزه‌های توسعه و بهبود تجهیزات و توسعه و بهبود فرآیندها معرفی می‌شود. در ادامه وضعیت موجود صنعت فولاد کشور از نظر فناوری‌های تولید، مصرف انرژی و ... ترسیم شده و روش‌های تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی معرفی و دقت‌های لازم در آن، از جمله نحوه استفاده از شاخص‌های جهانی معرفی می‌شود و با توجه به وضعیت فعلی صنعت، فرصت‌های صرفه‌جویی برآمده از ممیزی‌های انرژی صورت گرفته در واحدهای اصلی تولید آهن و فولاد کشور و میزان سرمایه‌گذاری لازم برای آنها ارائه می‌شود.

### کلید واژه

صنعت آهن و فولاد - بهینه‌سازی مصرف انرژی - نقشه راه - فرصت‌های بهبود کارایی انرژی

# دهمین همایش بین المللی انرژی



شکل ۱: پیش‌بینی مصرف انرژی اولیه جهان تا سال ۲۰۵۰ [۷]

## مقدمه

محدویت منابع فسیلی، رشد بالای مصرف سالانه انواع انرژی در ایران، خارج شدن کشورمان از جرگه صادرکنندگان نفت از اواخر قرن حاضر و بالطبع قطع درآمدهای ناشی از صدور نفت باعث می‌شود که در صورت عدم برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های لازم، روند توسعه کشور بطور جدی تحت تأثیر قرار بگیرد. عدم کارآیی فنی و اقتصادی مصرف انرژی و هدررفتن قریب به یک سوم از کل انرژی در فرآیندهای مصرف و مشکلات فزاینده زیست محیطی ناشی از آن، ضرورت مدیریت مصرف انرژی و بالا بردن بازده و بهره‌وری انرژی را در کشورمان پیش از پیش آشکار می‌سازد.

حرکت براساس برنامه منبعث از مطالعات نظام‌مند و برنامه‌های اجرایی جامع در این حوزه، شرط موفقیت در این امر است. به همین منظور تدوین برنامه‌های جامع در حوزه‌های مختلف تحت عنوان "نقشه راه" مورد توجه قرار گرفته شده است.

صنعت آهن و فولاد کشور بعد از بخش نیروگاه، سهم عمده انرژی مصرف شده در بخش صنعت را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین با توجه به شرایط موجود صنعت از نظر مصرف انرژی و تکنولوژی‌های به کار رفته، فرصت‌های مناسب صرفه‌جویی انرژی در آن وجود دارد. لذا تهیه نقشه راه بهینه‌سازی مصرف انرژی در این صنعت، به عنوان گامی موثر در راستای اجرای سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنایع کشور، در دستور کار قرار گرفت.

## ۱- چرا بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی اهمیت دارد؟

### ۱-۱- میزان و روند مصرف انرژی در جهان و اثرات آن:

شکل ۱ پیش‌بینی مصرف انرژی اولیه جهان تا سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. روند افزایش و پیش‌بینی‌های انجام شده برای افزایش مصرف و سهم ناچیز انرژی‌های تجدیدپذیر و اثرات مخرب زیست محیطی، علاوه بر تهدید ناشی از مصرف منابع طبیعی تجدیدناپذیر، توجه جهانی برای کنترل مصرف انرژی و آلاینده‌های ناشی از آن را برانگیخته است.

## ۲- چرا برای بهینه‌سازی مصرف انرژی نیاز به برنامه جامع (نقشه راه) داریم؟

### ۲-۱- ضرورت وجود برنامه منسجم:

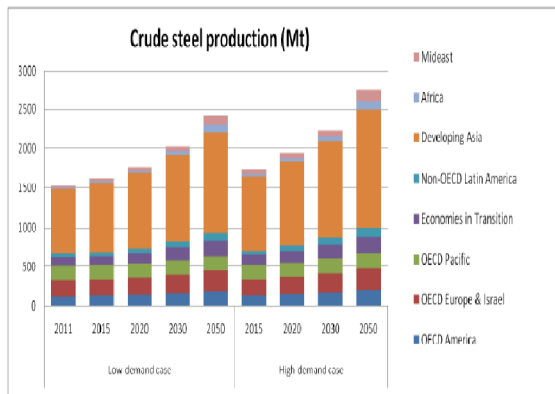
افزایش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از آن به عنوان یک چالش مشترک جهانی که نیازمند راه‌حل‌های جهانی است، شناخته شده است. بزرگی و گستردگی مشکل، عمل بر مبنای برنامه‌های یکپارچه و جامع را ایجاب می‌کند. در سطح جهانی فعالیت‌هایی مانند مطالعات سامان یافته، مدیریت کربن، آگاه‌سازی عمومی و به اشتراک‌گذاری دانش و تجربیات و حمایت‌های مالی، علمی و فناوری به‌طور مستمر دنبال می‌شود. در داخل کشور نیز طی سه دهه اخیر، فعالیت‌های متعددی انجام شده و در عین حال در تمام بررسی‌ها و اظهارنظرها بر ضرورت متمرکز کردن مدیریت انرژی و تدوین برنامه جامع انرژی تأکید شده است.

### ۲-۲- نقشه راه چیست؟ چگونه تهیه می‌شود؟

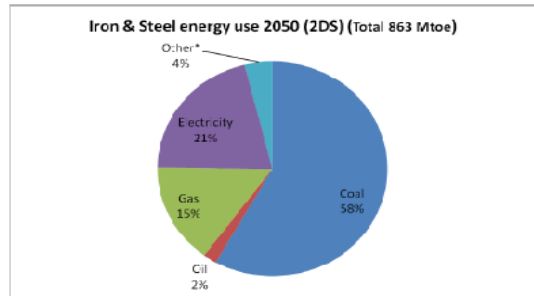
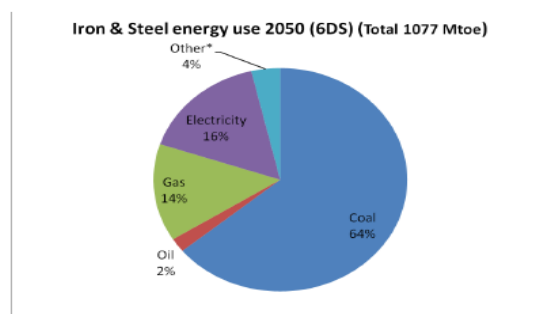
تغییر و بهینه‌سازی زیرساخت‌های انرژی و تجهیزات نهایی مصرف‌کننده انرژی در حوزه‌های مختلف صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و مسکن، هزینه‌های بسیار بالایی دارد. برنامه‌ریزی برای اختصاص منابع محدود، تعیین اولویت‌ها و هماهنگ کردن اقدامات، فرآیندی پیچیده است که مستلزم همکاری و هماهنگی جمع بزرگی از ذینفعان در بخش‌های مختلف مانند دولت، بخش خصوصی و مجامع علمی می‌باشد.

همچنین نظارت و بهبود مستمر، حداقل شرایط موفقیت این برنامه‌ها هستند. برنامه‌های از این نوع به عنوان «نقشه

# دهمین همایش بین المللی انرژی



شکل ۱: میزان فعلی تولید جهانی فولاد خام و پیش‌بینی حداقل و حداکثر تا سال ۲۰۵۰ [۲]



شکل ۳: میزان انرژی مصرفی آهن و فولاد در سال ۲۰۵۰ بر پایه دو سناریوی ۲ و ۶ درجه [۵]

## ۴- چرا برای صنعت فولاد در سطح ملی نیاز به نقشه راه داریم؟

### ۴-۱- مصرف انرژی صنعت فولاد کشور (اعداد کلان) و سهم آن از بخش صنعت و کل انرژی:

شکل نمودار جریان انرژی در کشور در سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱: اهداف اصلی زنجیره تامین فولاد (تجارت، ۱۳۹۲) برآورد تولید فولاد را تا افق چشم انداز نشان می‌دهد. در حال حاضر سهم صنعت از انرژی نهایی کشور حدود ۲۵٪ و سهم صنعت فولاد از آن نیز حدود ۳۰٪ (۷.۵٪ انرژی نهایی کشور که سهم قابل توجهی از آن انرژی الکتریکی است) است. صنعت فولاد بعد از

راه» شناخته می‌شوند. در حوزه انرژی، آژانس بین‌المللی انرژی با هدف کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub> به نصف تا سال ۲۰۵۰، طی سال‌های اخیر اقدام به تدوین نقشه‌های راه برای فناوری‌های انرژی در حوزه‌های مختلف از جمله حمل و نقل الکتریکی، ذخیره کربن، صنعت سیمان و انرژی‌های نو نموده است [۹]. تهیه نقشه راه توسعه فناوری‌های آهن و فولاد از اقدامات بعدی آژانس است. [۸].

یک نقشه راه توسعه‌ای، طی فرآیند چهار مرحله‌ای زیر ایجاد می‌شود:

- تهیه طرح مقدماتی و فعالیت‌های پشتیبان: ایجاد چارچوب، دیدگاه، زمان‌بندی و اهداف.
- توسعه نقشه راه
- پیگیری و اجرای فعالیت‌ها
- به‌هنگام‌سازی: زیرا نقشه راه یک سند ایستای صرف نبوده و لازم است در دوره‌های مختلف و با توجه به تغییر پارامترهای موثر، به روزرسانی شود.

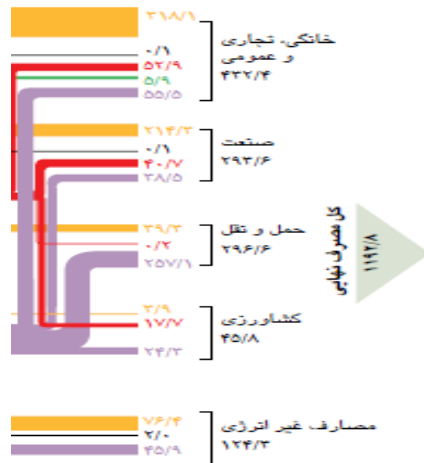
## ۳- چرا صنعت فولاد نیاز به نقشه راه صرفه‌جویی انرژی دارد؟

### ۳-۱- تولید جهانی فولاد و مصرف انرژی صنعت فولاد:

شکل ۲ میزان فعلی تولید جهانی فولاد خام و پیش‌بینی حداقل و حداکثر این میزان تا سال ۲۰۵۰ [۲] و شکل ۳ میزان انرژی مصرفی آهن و فولاد در سال ۲۰۵۰ بر پایه دو سناریوی ۲ و ۶ درجه [۵] را نشان می‌دهد. براساس این برآورد تولید فولاد خام در سال ۲۰۵۰ بین ۱.۷ تا ۱.۹ برابر تولید کنونی خواهد بود. برای تحقق سناریوی ۲ درجه سانتیگراد، میزان انتشار CO<sub>2</sub> باید نصف شود که نشان دهنده تلاشی است که باید برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، تغییر در ترکیب انرژی اولیه، و نیز تحول در فناوری تولید به هر دو منظور انجام گیرد.

همچنین با در نظر گرفتن کل انرژی برآورد شده برای این سال که برای بخش صنعت ۵۰۰۰ میلیون تن معادل نفت خام است [۵]، حدود ۲۰٪ کل مصرف انرژی بخش صنعت به صنعت آهن و فولاد اختصاص دارد که نشان‌دهنده جایگاه و اهمیت این صنعت است.

# دهمین همایش بین المللی انرژی



شکل ۴: نمودار جریان انرژی نهایی - سال ۱۳۹۰ (نبرو، ۱۳۹۰)

## ۶- فناوری های تولید فولاد و شدت مصرف انرژی آنها

### ۱-۶ فناوری های تولید فولاد:

شکل ۵ فرآیندهای مختلف تولید فولاد را نشان می دهد. فرآیند تولید مناسب براساس منابع انرژی و مواد اولیه در دسترس و با رعایت استانداردهای زیست محیطی انتخاب می شود.

### ۲-۶ میزان مصرف انرژی فناوری های مختلف:

انرژی مورد نیاز برای تولید محصولات فولادی شامل انرژی های لازم برای:

۱- احیای آهن (سنگ آهن): مصرف انرژی نهایی حدود ۱۰ گیگا ژول بر تن آهن

۲- ذوب آهن (محصول احیا یا قراضه) و تولید فولاد مذاب ریخته گری: (حدود ۱.۵ گیگاژول بر تن آهن)

۳- گرم کردن فولاد برای شکل دهی و نورد محصول نهایی (حدود ۰.۸۸ گیگاژول بر تن آهن)

در هر یک از فرآیندها بسته به فناوری های استفاده شده انرژی های متغیر زیر به صورت سرباره مصرف می شود:

۱- ذوب مواد همراه سنگ آهن که به صورت سرباره در می آید.

۲- ذوب افزودنی های لازم مانند آهک و فروآلیاژها.

نیروگاه ها بزرگ ترین گروه مصرف کننده انرژی در کشور است و لذا همانگونه که در اقتصاد کلان به عنوان یک پیشرانه شناخته می شود، در بهینه سازی مصرف انرژی نیز می تواند هم از نظر میزان صرفه جویی و هم تاثیرگذاری بر دیگر صنایع پیشگام باشد.

اگرچه با افزایش قیمت محصولات فولادی و ثابت ماندن قیمت انرژی سهم هزینه انرژی در قیمت نهایی محصولات فولادی کاهش یافته است، ولی براساس سیاست های اعلام شده افزایش قیمت حامل های انرژی قطعی است و لذا اقدام برای صرفه جویی انرژی هم برای صنعت فولاد و هم برای سازمان های مسئول بهینه سازی مصرف یک ضرورت است.

سیاست های ملی در توسعه ظرفیت تولید فولاد به ۲ تا ۳ برابر ایجاب می کند در انتخاب تکنولوژی های تولید، نوع محصولات هدف و مکان یابی واحدها برنامه ریزی متمرکزی صورت گیرد. لحاظ نکردن صرفه جویی انرژی حتی در طراحی چینش خطوط می تواند فرصت های صرفه جویی انرژی را غیر عملی کند.

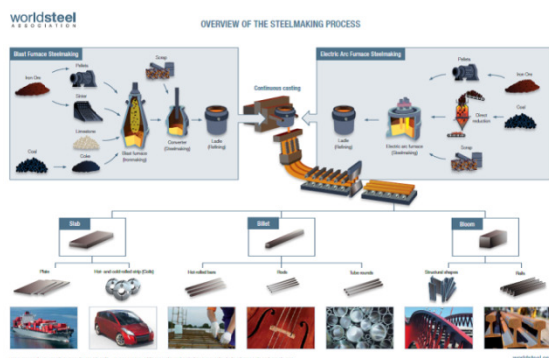
## ۵- برآورد مصرف انرژی صنعت فولاد در افق چشم انداز

جدول ۲ برآورد مصرف انرژی صنعت فولاد در افق چشم انداز را نشان می دهد. پیش بینی ظرفیت ۳۶ یا ۵۵ میلیون تن که در اسناد بالادستی متفاوت دیده شده است، می تواند مصرف را با ضریب ۱.۵۲ تغییر دهد. این تفاوت به معنای تفاوت ۲۶۰۰ تن تولید در ساعت و حدود ۲۵۰۰ مگاوات توان مصرفی (معادل ۲۵۰۰ مگاوات نیروگاه) است. این اعداد در بخش های دیگر مانند زیرساخت های حمل و نقل اثرات مشابهی دارند و باید حل شود.

جدول ۱: اهداف اصلی زنجیره تامین فولاد (تجارت، ۱۳۹۲)، (ایمیدرو، ۱۳۹۱) میلیون تن فولاد خام

سال	کل (برنامه وزارت صنعت)	ایمیدرو
۱۳۸۹	۱۲	
۱۳۹۰		۱۴.۳
۱۳۹۱		۱۵.۹
۱۳۹۲		۲۲.۳
۱۳۹۳		۲۸.۴
۱۳۹۴	۳۰	۳۴.۶
۱۴۰۴	۳۶	

# دهمین همایش بین المللی انرژی



شکل ۵: فرآیندهای تولید فولاد

## ۳-۶- فناوری‌های نوین تولید فولاد:

توسعه مداوم فناوری‌های تولید فولاد در دو محور توسعه و بهبود تجهیزات و توسعه و بهبود فرآیندها دنبال می‌شود. فناوری‌های دارای بازگشت سرمایه قابل قبول به عنوان فناوری‌های تجاری شده و فناوری‌هایی که در شکل فعلی توجیه اقتصادی ندارند و یا کاملاً توسعه نیافته‌اند، به عنوان فناوری‌های نوین نام برده می‌شوند. جدول ۳ مهم‌ترین این فناوری‌ها و مزیت‌های آنها را نشان می‌دهد:

جدول ۳: فناوری‌های انرژی صرفه‌جو در صنعت آهن و فولاد

ردیف	تجاری / نوین	فناوری
۱	تجاری	بازیافت انرژی کک داغ (CDQ)
۲	تجاری	شارژ DRI داغ به کوره‌های قوس الکتریک
۳	تجاری	بازیابی انرژی گاز خروجی کوره بلند (TRT)
۴	نوین	بازچرخه گاز خروجی کوره بلند (TGR)
۵	تجاری	بازیابی انرژی گازهای خروجی کوره قوس
۶	تجاری برای واحدهای جدید	بازیاب حرارت راندمان بالا در ریفرمرهای گاز، کوره های پیش گرم
۷	تجاری	فناوری‌های احیای مذاب (مانند COREX)
۸	تجاری	ریخته‌گری نزدیک شکل نهایی
۹	تجاری / نوین	مشعل‌های مدرن کوره‌های حرارتی (خودبازیاب، بدون شعله)
۱۰	تجاری	شارژ گرم تختال و شمش به نورد
۱۱	تجاری	عایق کاری، ایزوله کردن و جلوگیری از نشتی
۱۲	تجاری نوین	ابزارهای اندازه گیری و کنترل نوین

۳- هدر رفت انرژی از طریق دود ناشی از احتراق، تلفات حرارتی تجهیزات و یا حرارت محصولات.

۴- تلفات تبدیل انرژی مانند: راندمان تولید برق از انرژی اولیه، تلفات ریفرمر

جدول ۲ برآورد مصرف انرژی صنعت فولاد در افق چشم‌انداز

واحدهای جدیدالتاسیس:	
ظرفیت واحدهای جدیدالتاسیس (تن)	۱۲ میلیون تن (یا ۳۱ میلیون تن)
مصرف انرژی الکتریکی (با احتساب ۸۵۰ کیلووات-ساعت بر تن و با فرض استفاده از فرایند احیاء)	۱۰۲۰۰ (یا ۲۶۳۵۰) میلیون کیلووات-ساعت در سال
مصرف انرژی حرارتی (با احتساب ۱۵ گیگاژول بر تن)	۱۸۰ (یا ۴۶۵) میلیون گیگاژول در سال معادل ۴.۸ (یا ۱۲.۴۸) میلیارد مترمکعب گاز طبیعی
واحدهای موجود و در حال ساخت:	
ظرفیت کنونی تولید فولاد (موجود + در مرحله ساخت و راه اندازی)	۲۴ میلیون تن شامل: ۲.۵ میلیون تن کوره بلند ۲۱.۵ میلیون تن احیاء مستقیم
برآورد مصرف انرژی الکتریکی پس از بهینه‌سازی مصرف انرژی (با احتساب ۱۰۰۰ کیلووات-ساعت بر تن برای تولید بر مبنای احیاء مستقیم و ۴۰۰ کیلووات-ساعت بر تن بر مبنای کوره بلند)	۲۱۵۰۰ میلیون کیلووات ساعت در سال
برآورد مصرف انرژی حرارتی پس از بهینه سازی (با احتساب ۱۶ گیگاژول بر تن برای تولید بر مبنای احیاء مستقیم و ۱۸ گیگاژول بر تن بر مبنای کوره بلند)	۳۴۴ میلیون گیگاژول در سال معادل: ۹.۲۳ میلیارد متر مکعب گاز در سال + ۴ میلیون تن کک زغال سنگ در سال
سرجمع برآورد مصرف انرژی سالیانه در افق سند چشم انداز	
انرژی الکتریکی: (میلیون کیلووات-ساعت در سال):	۳۶ سناریوی ۲۱۵۰۰+۱۰۲۰۰=۳۱۷۰۰ میلیون تن: ۵۵ سناریوی ۲۱۵۰۰+۲۶۳۵۰=۴۷۸۵۰ میلیون تن:
انرژی حرارتی: (میلیارد مترمکعب در سال):	۳۶ سناریوی ۹.۲۳+۴.۸=۱۴.۰۳ میلیون تن: ۵۵ سناریوی ۹.۲۳+۱۲.۴۸=۲۱.۷۱ میلیون تن: ۴+ میلیون تن زغال سنگ

# دهمین همایش بین المللی انرژی

## ۷- فرصت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد کشور

### ۱-۷ روش‌های تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی

برای تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی از دو روش بالا به پایین و پایین به بالا<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. در هر دو روش نیاز به تعریف و استخراج شاخص‌های شدت مصرف انرژی داریم. این شاخص‌ها در سطوح مختلف و برای کاربردهای متفاوت تعریف می‌شوند. میزان دقت، کاربرد و حجم داده لازم برای این منظور در شکل ۶ نشان داده شده است:

در روش بالا به پایین محاسبه شاخص‌ها و ارزیابی آنها بر اساس اطلاعات آماری کلان و محک‌زنی با شاخص‌های مبنا در همان سطح انجام می‌شود. نتایج این تحلیل می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های کلان کشور مانند ضرورت و میزان و نحوه دخالت دولت در بهبود شاخص‌ها و تاثیر آن در شاخص‌های کلان اقتصادی و زیست‌محیطی و نیز برنامه‌های توسعه تاثیرگذار باشد. روش‌های متنوعی برای این ارزیابی وجود دارد. در مطالعات انجام شده از روش آینده نگاری برای استخراج نقشه راه بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع موجود و سیاست‌های توسعه و انتخاب تکنولوژی استفاده شده است.

در روش پایین به بالا - که با عنوان ممیزی انرژی شناخته می‌شود- داده‌های مصرف انرژی تجهیزات اصلی جمع‌آوری و با استفاده از مدل ریاضی بالانس انرژی تحلیل و نیز با شاخص‌های مبنا حک زده می‌شود. شاخص‌های مبنا در صنعت فولاد با دو مشکل اساسی روبرو است که تحلیل دقیق نتایج مقایسه‌ای را ایجاب می‌کند:

۱- برخلاف بخش‌هایی مانند پالایش نفت و سیمان اطلاعات دقیق و برای واحد مرزهای مشخص تولید فولاد وجود ندارد، حتی انجمن بین المللی آهن و فولاد<sup>۲</sup> هم داده‌های مبنای خود را برای یک خط تولید فرضی ارائه می‌کند

۲- تعریف و روال یکسانی برای تعیین مرز بین فرآیندها و نحوه محاسبه شدت مصرف، تاثیر شرایط اقلیمی و کیفیت مواد اولیه وجود ندارد. جدول ۴ نمونه‌ای از محک‌های ارائه شده در چند مرجع پر استناد را نشان می‌دهد که برای بعضی فرآیندها اعداد در حد چند برابر تفاوت را نشان می‌دهد.

### ۲-۷ محک‌های جهانی و نحوه استفاده از آن:

استفاده از محک‌های شاخص‌های مصرف انرژی و فرصت-های صرفه‌جویی در صنعت فولاد در هر دو سطح کلان و خرد باید با توجه به نکات زیر صورت گیرد:

۱- محک‌های معیار ارائه شده ممکن است تجمیع مصرف انرژی تولید فولاد خام به روش‌های احیای سنگ آهن و نیز قراضه باشد.

۲- در بعضی کشورها تامین بعضی حامل‌های انرژی مانند گازهای صنعتی و آب خام برون‌سپاری می‌شود و انرژی مصرفی آنها در محاسبه شاخص‌ها لحاظ نمی‌شود.

در سطح خرد (ممیزی انرژی):

۱- فرآیندها دقیقاً معرفی و مرز آنها اعلام نشده است. به عنوان مثال ممکن است مصرف تاسیسات تصفیه و خنک‌سازی آب در گردش، تامین آب خام و یا اکسیژن لحاظ نشده باشد.

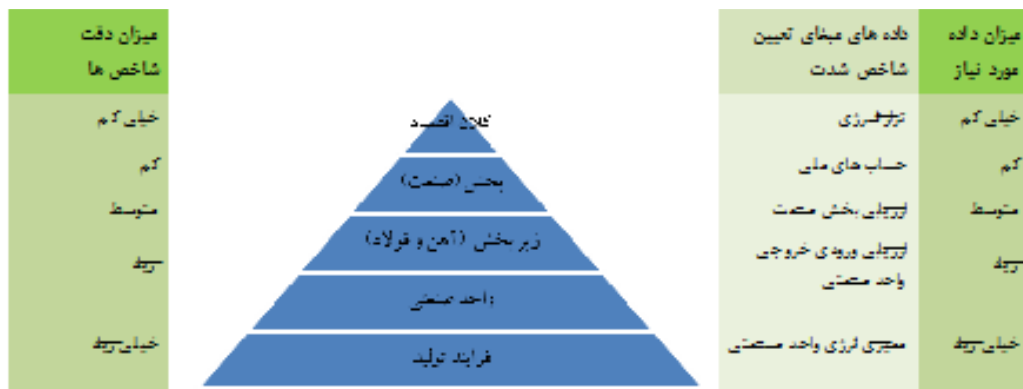
۲- انرژی تلفاتی قابل بازیاب از مصارف کسر نشده است.

و در هر دو سطح منطق توجیه هزینه‌های بهینه‌سازی و عوامل تاثیرگذار بر آن از جمله عمر سایت، چینش خطوط، تفاوت هزینه برای بهینه‌سازی یا هزینه برای تعویض تجهیزات فرسوده‌ای که در هر حال باید تعویض شوند، نیز به طور جدی بر تصمیم‌گیری‌ها اثرگذار است.

<sup>1</sup> Top-Down and Bottom-Up Approaches

<sup>2</sup> International Institution of Iron and Steel (IISI)

# دهمین همایش بین المللی انرژی



شکل ۶: حجم داده مورد نیاز، منبع داده‌ها و میزان دقت در تعیین شاخص‌های مصرف انرژی

جدول ۴: شدت مصرف فرآیندهای تولید فولاد در سه مرجع پر استناد

## Iron & Steel BATs ETP 2014

Source	Year	Sintering [GJ/t]	Hot rolling & finishing [GJ/t]	Cold rolling & finishing [GJ/t]	Coke oven net use [GJ/t]	Blast furnace net use [GJ/t]	DRI gas [GJ/t]	DRI coal [GJ/t]	Smelt reduction [GJ/t]	Combined EAF [GJ/t]
Current BAT Tracking Clean Energy Progress	2013	-	2.0	1.0	3.7	10.4	10.4	20.0	-	1.1
Worrell, et al. Berkeley National Laboratory <sup>1</sup>	2008	1.4	2.7	1.5	0.6	12.3	11.7	17.7	17.3	2.5
EU BAT Reference Report <sup>2</sup>	2012	1.4-2.3 *EU actual	-	-	-	-	10.5 - 14.5	-	-	1.8 *EU average

<sup>1</sup> "World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors"  
<sup>2</sup> European Commission JRC Reference Report: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production



### ۸- وضعیت موجود صنعت فولاد کشور

#### ۸-۱- فناوری‌های موجود تولید فولاد در کشور

جدول ۵ فرآیندهای تولید و تجهیزات اصلی مصرف‌کننده انرژی در صنعت فولاد کشور و شدت مصرف انرژی در آن‌ها را نشان می‌دهد.

#### ۸-۲- فرصت‌های کاهش مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور (نتایج ممیزی انرژی واحدهای تولید فولاد):

جدول ۶ جمع‌بندی صرفه‌جویی‌های حاصل از اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای موجود

صنعت آهن و فولاد را در سطح ملی نشان می‌دهد. ارزیابی توجیه‌پذیری اقتصادی اجرای این راهکارها به شدت متأثر از تصمیمات کلان از جمله قیمت انرژی، میزان سرمایه‌گذاری، دوره بازگشت سرمایه، تصمیم به بهبود شاخص‌ها از طریق توسعه ظرفیت‌ها و یا بهبود خطوط تولید و مانند آن‌ها است.

استفاده از این فرصت‌ها نه تنها تأثیر بسزایی در بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در صنعت غالب کشور از نظر مصرف انرژی می‌گذارد، بلکه محرک بالقوه مهمی در توسعه فناوری در کشور و ایجاد ارزش افزوده در حوزه علم و فناوری است.

# دهمین همایش بین المللی انرژی

جدول ۵: فرآیندهای تولید و تجهیزات اصلی مصرف‌کننده انرژی در صنعت فولاد کشور

شدت مصرف انرژی (کیلووات-ساعت بر تن محصول فرآیند)	شدت مصرف الکتریکی (کیلووات-ساعت بر تن محصول فرآیند)	کارکرد	(تجهیز)	فرآیند تولید
۱.۹	۴۷	تبدیل مواد معدنی به کلوخه قابل شارژ در کوره بلند	ماشین آگلومراسیون	آگلومراسیون
۴.۲	۴۶	تبدیل زغال سنگ به کک قابل شارژ در کوره بلند	ماشین پخت کک	کک‌سازی
۵.۱	۵۶	تولید آهک به عنوان یکی از مواد اصلی و پر مصرف کمک ذوب	کوره آهک	آهک‌سازی
۱۲-۱۵		تولید آهن خام مذاب	کوره بلند	تولید آهن خام مذاب به روش کوره بلند
-۰.۲	۰	تبدیل آهن خام مذاب به فولاد	کنورتور	تولید فولاد به روش کوره بلند
۰.۷-۱.۲		تبدیل سنگ آهن به گندله	ماشین گندله‌ساز و کوره پخت گندله	آهن‌سازی در روش احیاء مستقیم- کوره قوس
۱۲	۱۱۰	احیاء گندله و تولید آهن اسفنجی	مدول‌های احیاء مستقیم	فولادسازی در روش احیاء مستقیم- کوره قوس
	۶۰۰-۸۷۰	ذوب آهن اسفنجی و قراضه و تولید آهن مذاب	کوره‌های قوس الکتریک	
	۳۰-۵۰	تبدیل آهن خام مذاب به فولاد	کوره پاتیلی	
		ریخته‌گری فولاد مذاب به شکل شمش و تختال	ماشین ریخته‌گری	ریخته‌گری
۱-۳.۷	۳	پیشگرم شمش و تختال برای نورد گرم	کوره‌های پیشگرم	نورد گرم
	۳۰-۵۰	نورد شمش و تختال گرم و تولید مقاطع طولی یا تخت	قفسه‌های نورد	
	۲۶۰	خنک‌کاری محصولات و ماشین‌آلات	پمپ‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ	Utilities
	۱۰۰	تامین هوای احتراق، تخلیه آلاینده‌ها	فن‌ها و دمنده‌ها	
	۱۰-۸۰	تامین اکسیژن به میزان ۱۰ تا ۶۰ متر مکعب بر تن محصولات	تولید اکسیژن	



# دهمین همایش بین المللی انرژی

جدول ۶: تجمیع صرفه‌جویی‌های حاصل از بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع موجود تولید آهن و فولاد

دوره زمانی	سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)	صرفه‌جویی در مصرف برق		صرفه‌جویی در مصرف سوخت (معادل گاز طبیعی)	
		(میلیون کیلووات-ساعت در سال)	میلیارد ریال در سال (با قیمت های کنونی انرژی)	(میلیون متر مکعب در سال)	میلیارد ریال در سال (با قیمت های کنونی انرژی)
کوتاه مدت (تا دو سال)	۲۵۶	۹۰۰	۳۶۰	۴۹۰	۷۳۵
میان مدت (۲ تا ۷ سال)	۳۴۰			۴۷۲	۷۰۸
بلند مدت (۷ تا ۱۵ سال)	۳۳۰۰	۱۶۲	۶۵	۶۲۵	۹۳۸
جمع فرصت ها	۳۸۹۶	۱۰۶۲	۴۲۵ میلیارد ریال	۱۵۸۷	۲۳۸۰ میلیارد ریال

## ۹- نتیجه‌گیری

صنعت آهن و فولاد کشور شامل مجموعه‌ای از فرصت‌های مهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. اگر چه بررسی‌های انجام شده لیست قابل اعتنایی را نشان می‌دهد ولی پایین بودن قیمت انرژی فقط بخشی از آن را دارای توجیه اقتصادی نشان می‌دهد. تمرکز بر چاره‌جویی برای این صنعت علاوه بر صرفه‌جویی قابل توجه، می‌تواند موانع بر سر راه آن در بخش صنعت را برجسته کند.

## سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پروژه «برنامه عملیاتی بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد کشور» که توسط سازمان بهره‌وری انرژی ایران تعریف و مدیریت و توسط شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان و شرکت سامان انرژی اصفهان انجام شده، استخراج شده است. تیم اجرایی پروژه سپاس خود را از مدیریت عالی و کارشناسان سازمان بهره‌وری انرژی ایران، شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان و شرکت سامان انرژی اعلام می‌دارد.

## مراجع

[1] Ghenda, J. T. (2013). A Steel Roadmap for a Low Carbon Europe 2050.

[2] Horvath, L. (2013). Energy Technology Perspective 2014. IEA.

[3] IEA. (2013) Key World Energy Statistics . International Energy Agency.

[4] IEA .(2014) .IEA Global Industry Dialogue and Expert Review Workshop .Energy Technology Perspective 2014.

[5] Nezhad, H. (2009) .World Energy Senarios To 2050 .Metropolitan State University Minneapolis.

[6] OVERVIEW OF THE STEEL PROCESS POSTER .Worldsteel Association.

[7] Systems, D. G .(2006) .Energy Futures, The Role of Research and Technology Development . European Commission.

[8] Tam, C .(2013) .Iron and Steel Roadmap- Draft proposal .IEA.

[9] Tam, C .(2012) .Technology Roadmaps . International Energy Agency.

[۱۰] ایمیدرو. (۱۳۹۱). ظرفیت تولید فولاد.

[۱۱] اکبری-ع. پ.ع. (۱۳۸۹). مدیریت انرژی در ایران-

وضعیت موجود و راهکارها. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی