توسعه پایدار، افزایش بهره وری و کاهش شدت انرژی در صنایع تولید فلزات اساسی و فولاد کشور

بهاره فرهمندپور، رئیس بهینه سازی انرژی در بخش نیرو

مقدمه:

فلزات،آن دسته کالاهایی هستند که بدون آنها اقتصاد صنعتی مدرن نمیتواند وجود داشته باشد. به خصوص آهن و فولاد که در بسیاری از مکانها کاربرد دارند و برای تامین نیازهای اساسی مانند مسکن و حمل ونقل، نقشی کلیدی ایفا میکنند. گروه تولیدی فلزات اساسی حدود 20 ٪ از ارزش افزوده کل فعالیتهای صنعتی کشور را دربرداشته و بر این اساس، پس از صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، دومین صنعت مهم کشور محسوب میشود. شدت انرژی صنایع تولید فلزات پایه در کشور حدود 37 مگاژول بر دلار برآورد می گردد. در این مقاله نخست ارزش افزوده، مصرف و شدت انرژی در صنایع تولید فلزات اساسی کشور بررسی و با مقادیر متناظر آن در کشورهای مطرح تولید کننده مقایسه می گردد. سپس جایگاه ایران، روشهای تولید، چالشها و راهکارهای توسعه پایدار، مصارف و پتانسیلهای ارتقاء کارایی انرژی، راهکارهای کاهش مصرف انرژی و آلاینده ها و ارتقاء بهره وری در صنعت آهن و فولاد بحث و بررسی خواهد شد.

1- شدت انرژی در صنایع تولید فلزات اساسی

تولید فلزات اساسی فعالیتهایی از جمله ذوب یا پالایش فلزات غیر آهنی و غنی همچنین سایر فلزات غیرآهنی از سنگ معدن یا قراضه ها با استفاده از تکنیک متالوژی را شامل میشود. این صنعت همچنین شامل تولید آلیاژهای فلزی یا ابرآلیاژها با افزودن عناصر شیمیایی خاص به فلزات خالص نیز میشود. براساس ویرایش چهارم طبقه بندی بین المللی فعالیتهای اقتصادی (ISIC)،صنعت تولید فلزات پایه شامل 3رشته فعالیت صنعتی است که در جدول 1 بر اساس کدهای چهار رقمی مشخص شده اند. بیشترین ضریب اهمیت دربین رشته فعالیتهای این صنعت، مربوط به رشته فعالیت تولید محصولات اولیه آهن وفولاد با سهمی 71 درصد ازکل فعالیتهای صنعتی این گروه می باشد.

جدول 1 – مشخصات گروه صنایع تولید فلزات پایه [1]

کد آیسیک	نام صنعت	تعداد کارگاه در سال 1397	ارزش افزوده در سال 1397 (میلیارد دلار)	درصد از کل فعالیت
24	صنایع تولید فلزات پایه	1215	13.64	100
241	تولید آهن و فولاد پایه	560	9.68	71
242	تولید فلزهای پایه گرانبها و سایر فلزات غیر آهنی	421	3.69	27
243	ریختگری فلزات	234	0.28	2

در جدول 2 میزان مصرف انرژی گروه تولیدی فلزات پایه مطابق با اطلاعات مرکز آمار ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می گردد 73.6 درصد مصرف انرژی مربوط به گاز طبیعی و 24.5 درصد برق می باشد و در کل انرژی مصرفی 61.9 میلیون بشکه معادل نفت خام معادل 379.1 پتاژول برآورد می گردد. همچنین مطابق با ترازنامه هیدروکربوری سال 1396 میزان مصرف گاز طبیعی مصرفی صنعت فولاد 8370 و در سال 1397 حدود 8895 میلیون متر مکعب در سال ذکر شده است. از طرف دیگر مطابق با آمار شرکت ملی گاز رسانی گاز تحویلی به صنعت فولاد در سال 1397 بیش از 10 میلیارد متر مکعب در سال ذکر شده است. همچنین در ترازنامه انرژی وزارت نیرو مصرف گاز صنایع فولاد 10772.9 میلیون متر مکعب ذکر شده است. از آنجاییکه صنعت تولید فولاد بخشی از گروه فلزات اساسی می باشد بدیهی است کل انرژی مصرفی گروه صنایع فلزات اساسی بیشتر از مقادیر اعلامی طرح سرشماری مرکز آمار می باشد.

جدول 2 – میزان مصرف انرژی در صنایع تولید فلزات پایه [2]

کد آیس یک	نام صنعت	گاز طبیعی		برق		سایر	کل انرژی مصرفی
	واحد	میلیون متر مکعب	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون کیلووات ساعت	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام
24	صنایع تولید فلزات پایه/ 1396 مرکز آمار	7402	46	25810	15.2	1.1	61.9

در ترازنامه انرژی وزارت نیرو، مصرف انرژی، ارزش افزوده و شدت انرژی کشورهای منتخب مطابق گزارش آژانس بین المللی انرژی بر حسب نوع فعالیت صنعتی ارائه شده است. به منظور برآورد شدت انرژی گروه فلزات اساسی در ایران، مصرف انرژی اعلامی مرکز آمار با استفاده از اطلاعات ترازنامه انرژی وزارت نیرو مطابق جدول 3 اصلاح و شدت انرژی صنایع تولید فلزات اساسی در ایران در سال 1397 معادل 37.6 مگاژول بر دلار برآورد می گردد.

جدول 3– میزان مصرف انرژی در صنایع تولید فلزات پایه در سال 1397 [3] و [4]

	واحد	آهن و فولاد	سایر فلزات	ریخته گری
گاز طبیعی*	میلیون متر مکعب	10772.9		
برق **	میلیون کیلووات ساعت	21000	7000	1800
جمع	میلیون بشکه معادل نفت خام	83.9		
	پتاژول	513.4		

* جدول 136-1 ترازنامه انرژی وزارت نیرو صفحه 201

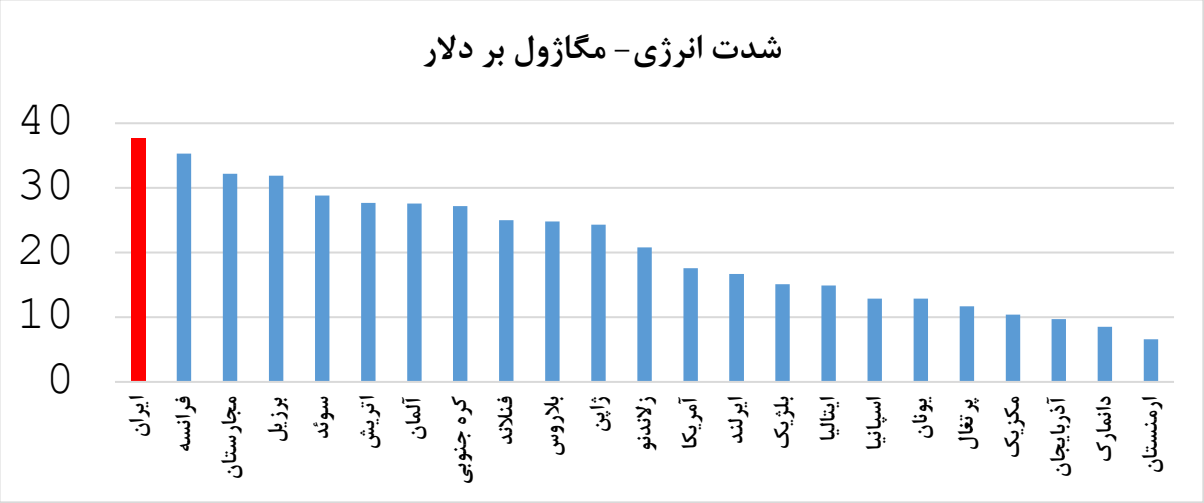
** جدول 1-248 ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال 1397صفحه 283

در جدول 4 میزان تولید فولاد خام، انرژی مصرفی، ارزش افزوده و شدت انرژی گروه فلزات اساسی شش کشور مطرح در تولید فولاد در سال 2017 با ایران مقایسه شده اند.

جدول 4- میزان تولید فولاد خام، انرژی مصرفی، ارزش افزوده و شدت انرژی گروه فلزات اساسی هفت کشور مطرح در تولید فولاد در سال 2017 **[3]**

	تولید فولاد خام (میلیون تن)	**انرژی مصرفی گروه فلزات اساسی (پتا ژول)**	**ارزش افزوده گروه فلزات اساسی (میلیارد دلار)**	**شدت انرژی گروه فلزات اساسی (مگا ژول بر دلار)**
ژاپن	**104.7**	**1959**	**80.5**	**24.3**
آمریکا	**81.6**	**1365.5**	**77.8**	**17.6**
کره جنوبی	**71**	**1129.6**	**41.6**	**27.2**
آلمان	**43.3**	**730.2**	**26.5**	**27.6**
برزیل	**34.5**	**925.1**	**29**	**31.9**
ایتالیا	**24.1**	**234.5**	**15.8**	**14.9**
ایران/2017	**21.1**			
ایران/2018	**24.5**	513.4	**13.64**	**37.6**

در نمودار شکل1 نیز مقایسه شدت انرژی مصرفی گروه تولیدی فلزات اساسی ایران با کشورهای منتخب در سال 2017 نمایش داده شده است.



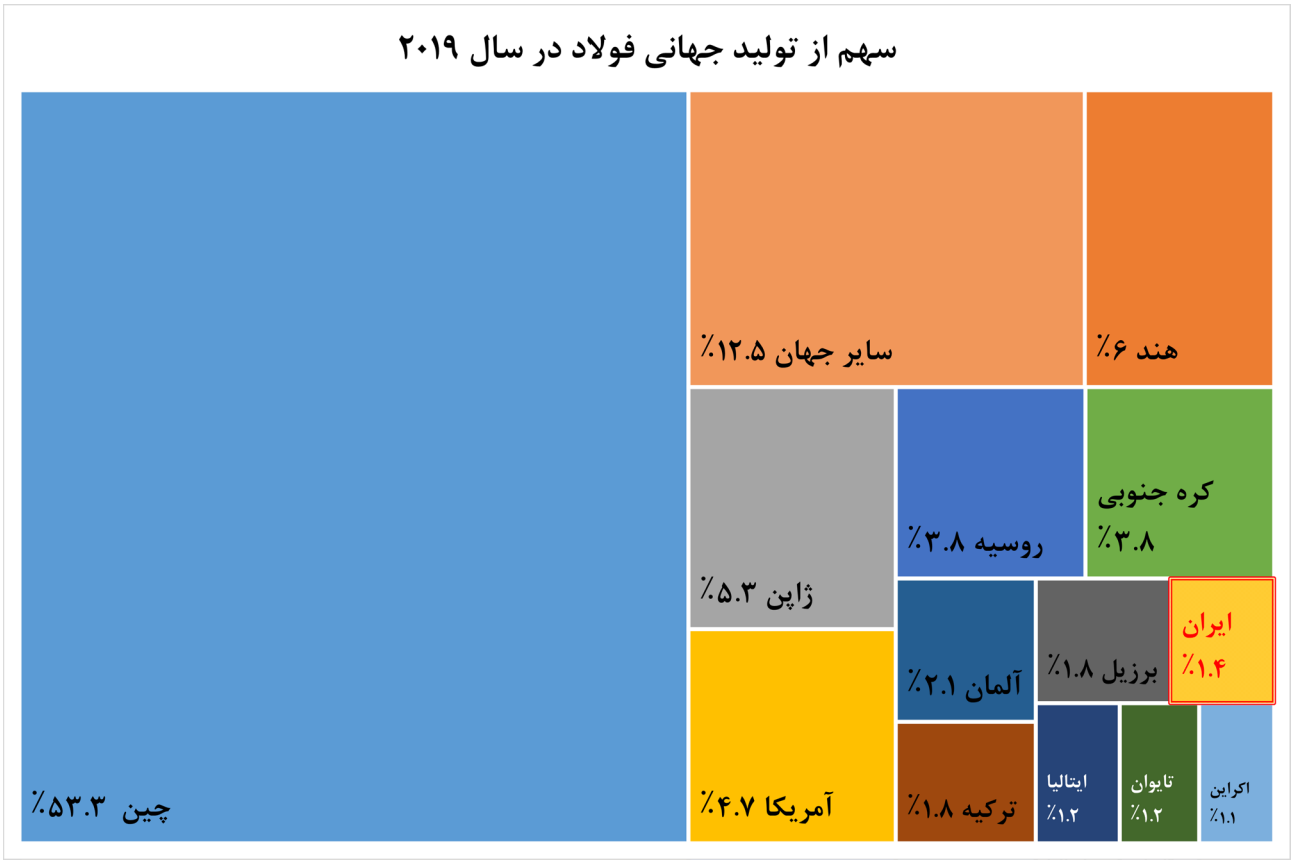
شکل 1 مقایسه شدت انرژی مصرفی گروه تولیدی فلزات اساسی ایران با کشورهای منتخب [3]

1- صنعت تولید فولاد:

بیشتر از ۹۵٪ تولید فلزات اساسی در جهان مربوط به فولاد و آلیاژهای فولادی بوده و مصرف فلزات دیگری مثل، آلومینیوم، سرب، روی و ... کمتر از ۵٪ می‌باشد صنعت فولاد به عنوان یکی از مهمترین صنایع تأثیرگذار

در رشد اقتصادی همه کشورها، علی‌الخصوص کشورهای در حال توسعه شناخته می‌شود .طبق آمار انجمن جهانی فولاد، کمتر از ۷۰ کشور در زمینه تولید فولاد فعال هستند و کشورهای بی بهره از این صنعت یا باید از پیشرفت خود چشم پوشی کنند و یا باید به کشورهای تولید کنند وابسته شوند. در حال حاضر ظرفیت سالانه تولید فولاد خام در کشور نزدیک به ۳۰ میلیون تن است و برابر سند چشم انداز 1404 مقرر گشته است تا ظرفیت تولید فولاد کشور تا پایان سند به بالای 55 میلیون تن و حداقل سرانه مصرف، به 421 کیلوگرم برسد.

مطابق با شکل2 ، در سال 2019 ایران با تولید 25.6 میلیون تن فولاد خام با سه رتبه صعود از جایگاه سیزدهم تولید فولاد به جایگاه دهم رسید. چین با تولید 996.3 میلیون تن سهم 53 درصدی از تولید جهانی فولاد را در اختیار دارد در حالی که هند با تولید 111.2 میلیون تن در رتبه دوم تنها به تولید 6 درصدی از فولاد جهانی میپردازد.



شکل 2: سهم کشورهای مهم تولید کننده فولاد جهان [4]

طبق گزارش انجمن جهانی فولاد ایران در بین کشورهای صادرکننده فولاد نیز توانسته با صادرات 9.3 میلیون تن در سال ۲۰۱8 جایگاه شانزدهم کشورهای صادرکننده فولاد را به دست آورد در حالی که در این جدول چین، ژاپن، روسیه و کره جنوبی به ترتیب هر یک با 68.8 ، 35.8 ، 33.3 و 30.1 میلیون تن در جایگاههای اول تا چهارم صادرکنندگان فولاد جهان قرار دارند. چالش های صنعت فولاد به طور خلاصه به شرح ذیل است:

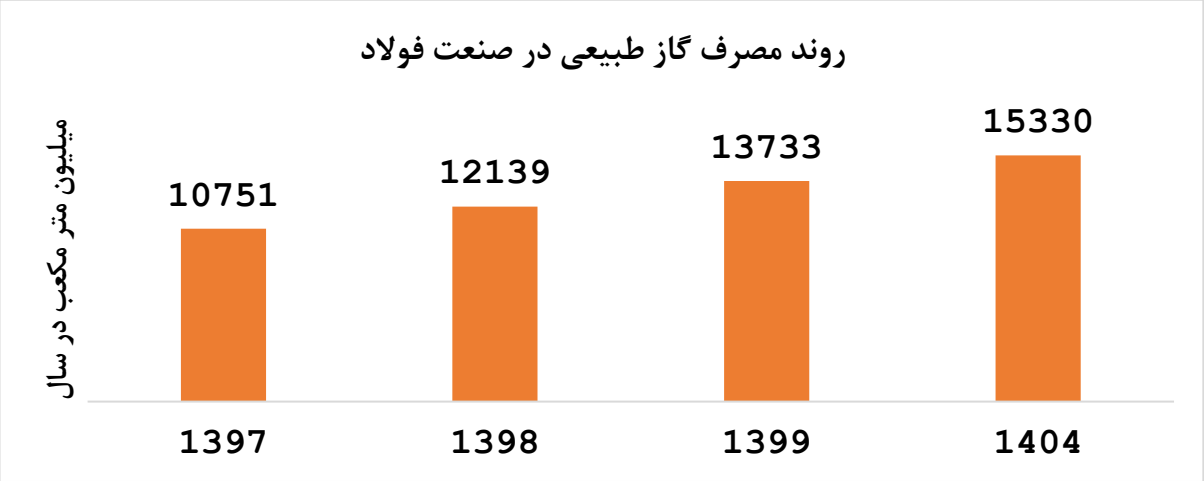
- تنوع پایین محصولات و بازارهای صادراتی: به نحویکه عمده صادرات فولاد کشور 69.8٪ را فولاد میانی (بیلت، بلوم و اسلب) و 30٪ مابقی را مجموع مقاطع طویل فولادی و انواع ورق تشکیل می دهد.
- زیرساخت های صنعت فولاد: مشکلات مرتبط با حمل و نقل ریلی، کمبود آب و برق
- مشکلات مرتبط با عوامل تولید و افزایش هزینه های تولید و قیمت تمام شده
- پایین بودن عیار سنگ های معدنکاری
- افزایش هزینه اتمام ذخایر معادن و پراکندگی معادن زغال سنگ
- جانمایی نامناسب کارخانجات تولید فولاد
-پایین بودن مصرف قراضه به دلیل نوع تولید فولاد کشور و کمبود قراضه
- وابستگی وارداتی به مواد نسوز و پایین بودن کیفیت مواد نسوز داخلی
- تحولات فناورانه و کاهش مصرف فولاد در جهان (گسترش بکارگیری مواد پیشرفته جایگزین فولاد نظیر کامپوزیتها)
- انحصار در حلقه های تولید ورق و تیرآهن
- ساختار رقابت و مدیریت به هم پیوسته
-ظرفیت سازی بیش از نیاز
- عدم تمایل به سرمایه گذاری جهت ارتقاء کارایی انرژی نظیر تولید برق از بازیافت حرارت به دلیل قیمتهای ناچیز و یارانه های انرژی
- تعدد قوانین و مقررات و دستورالعمل های بلند مدت
- بی ثباتی قیمت محصولات فولادی و عدم شفافیت برای فولاد سازان در جهت انجام برنامه ریزی

راهکارهای پیشنهادی در این عرصه عبارتند از:

- گسترش پهنه های اکتشاف و همکاری سازمان زمین شناسی
- اخذ عوارض از صادرات سنگ آهن ، آهن اسفنجی و قراضه
- مکانیابی دقیق برای ایجاد واحدهای جدید تولید فولاد و محصولات فولادی
- ایجاد واحدهای تحقیق و توسعه جهت تولید مواد نسوز مرغوب و با کیفیت
- تخصیص به موقع بودجه های عمرانی جهت تحریک تقاضا و ارتقاء کارایی مصرف انرژی
- افزایش کیفیت و تنوع محصول جهت دسترسی به بازارهای جهانی
- افزایش خطوط ریلی در مناطق معدنی و تولیدی فولاد
- استفاده از آبهای بازیافتی و ایجاد چرخه های های آب در کارخانجات
- احداث نیروگاه هایی با بازده بالا، بازیافت حرارت جهت تولید برق و سایر روشهای نوین تولید برق
- تجمیع قوانین و تدقیق آئین نامه و اتخاذ روشهای قیمت گذاری مشخص و شفاف

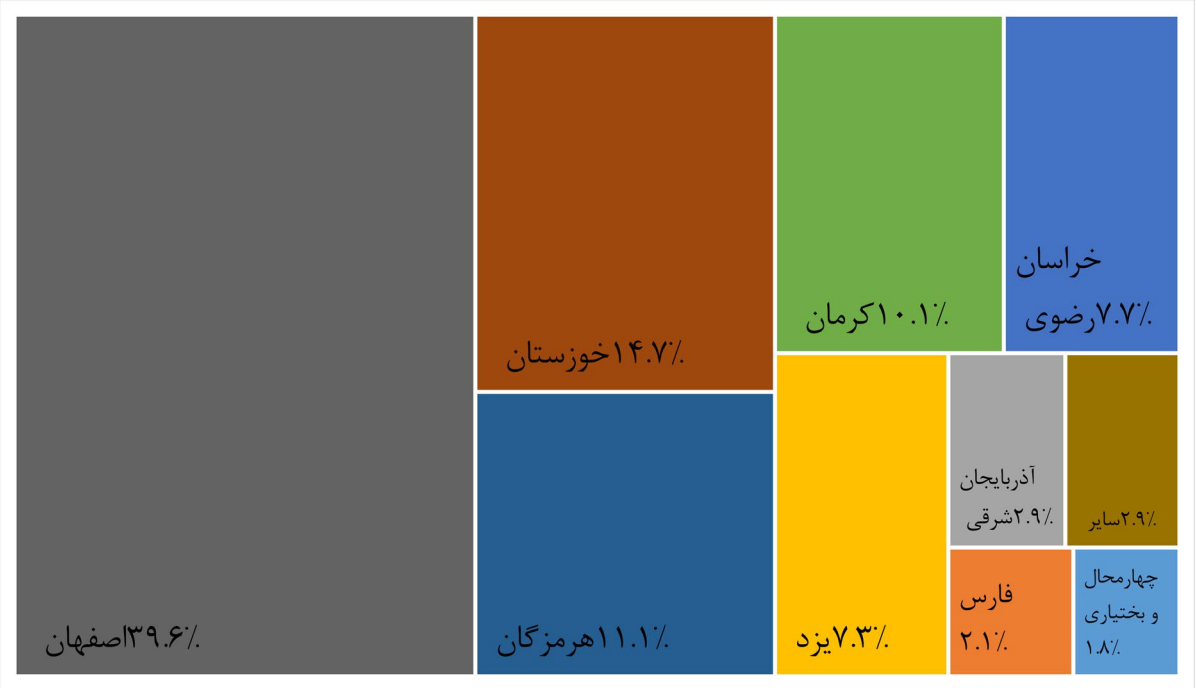
2- مصرف انرژی در صنایع تولید فولاد

مطابق با اطلاعات شرکت ملی گاز رسانی میزان مصرف گاز طبیعی در صنعت فولاد مطابق با نمودار شکل 3 از 10751 میلیون متر مکعب در سال 1397 با متوسط 8.5٪ رشد سالیانه به 13733 میلیون متر مکعب در سال 1399 افزایش یافته است.



شکل 3 روند مصرف گاز طبیعی در صنعت فولاد در سه سال گذشته و پیشبینی ادامه روند تا 1404 [5] و [6]

در سند گاز طبیعی مصوب شورای عالی انرژی، سقف گاز قابل تخصص به واحدهای فولاد حدود 42 میلیون متر مکعب در روز (معادل 15330 میلیون متر مکعب در سال) خواهد بود که مازاد گاز طبیعی مورد نیاز می بایست از محل اصلاح و بهینه سازی مصرف سوخت تامین گردد. در شکل 4 سهم استانهای مختلف از تخصیص گاز طبیعی جهت تولید فولاد را در سال 1397ملاحظه می نمایید. بیش از 75٪ آن مربوط به استانهای کم آب اصفهان، خوزستان، هرمزگان و کرمان می باشد و سهم استان اصفهان 40٪ از مصرف کل است.

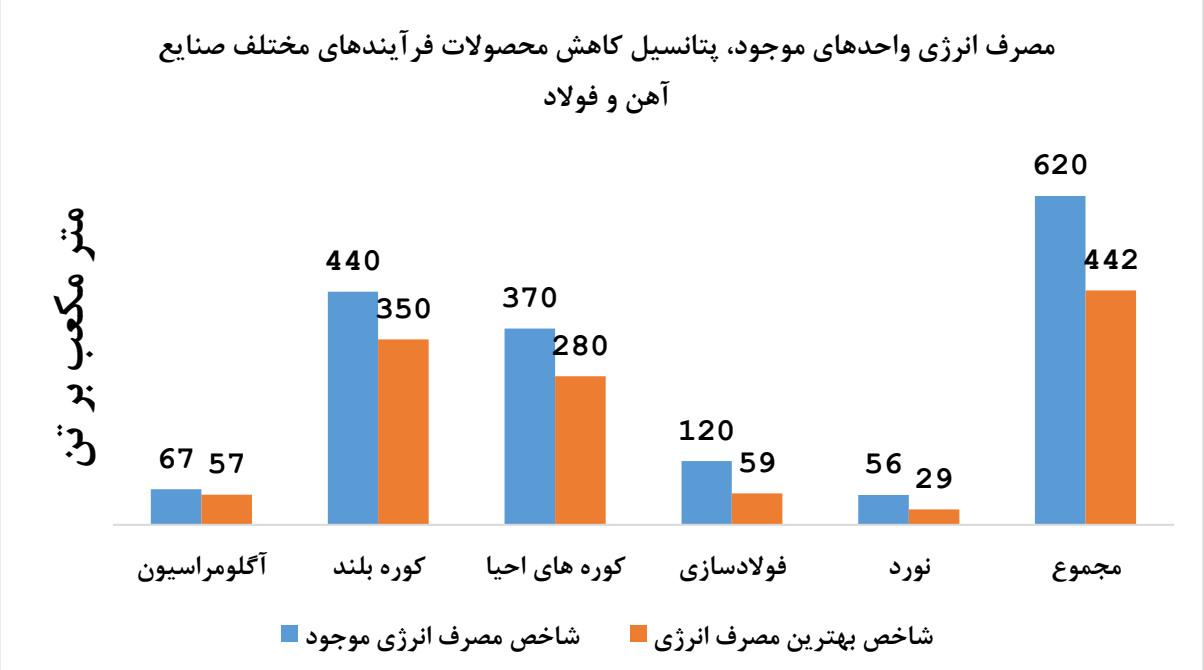


شکل 4 سهم استان های مختلف کشور از تخصیص گاز طبیعی جهت تولید فولاد[7]

برای تولید هر تن فولاد محصول بدون در نظر گرفتن فرآوری مواد اولیه و جابجایی حدود 650 تا 750 معادل متر مکعب گاز طبیعی انرژی مورد نیاز است و در نتیجه شدت مصرف انرژی این محصول بیشترین مقدار در بین صنایع انرژی بر در جهان می باشد که همواره پتانسیل نگهداشت انرژی زیادی را داراست. پتانسیل نگهداشت انرژی از جمله عوامل موثر در فرایند توسعه اقتصادی به شمار می رود. در جدول 5 و شکل 5 پتانسیل کاهش مطابق با فرآیندهای مختلف تولید نمایش داده شده است.

جدول 5- پتانسیل کاهش مصرف انرژی در فرآیندهای مختلف فولاد [9]

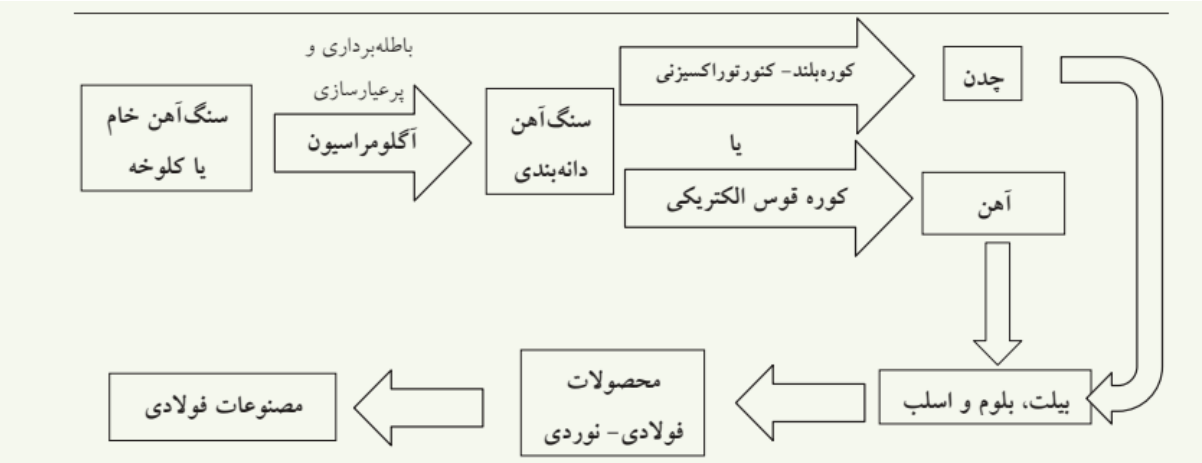
فرآیند	شدت مصرف موجود (m3 of natural gas)	شدت مصرف قابل تحقق (m3 of natural gas)	ظرفیت فعلی (Million tone)	میزان تولید (Million tone)
کک سازی	۲۷-	۴۴-[1]	۳/۷	۱/۶
زینترسازی	۵۲	۴۵	۵/۶	۲/۷
گندله‌سازی	۱۵	۱۴	۴۸	۴۱/۵
کوره بلند	۴۴۰	۳۵۰	۳/۷۵	۳/۶
کوره‌های احیاء	۳۷۰	۲۸۰	۳۲/۷	۲۶/۴
فولادسازی اکسیژنی	۲۰	۴-	۳/۶	۲/۳
کوره قوس الکتریک	۱۰۰	۶۳[2]	۳۰/۳	۲۲/۴
نورد	۵۶	۲۹-۶[5]	۴۱/۸	۱۷/۵



شکل 5 مصرف ویژه انرژی در فرایندهای مختلف تولید فولاد[9]

3- روشهای تولید فولاد

فـولاد در جهـان بـه دو روش کـوره بلنـد (کنورتـور ا کسـیژنی) و قـوس الکتریکـی یـا القایـی تولیـد میشـود. ایـن دو روش بـرای تولیـد خـام مـذاب مـورد اسـتفاده قـرار میگرد. در شکل 6 زنجیره ارزش تولید محصولات فولادی به طور خلاصه نمایش داده شده است.



شکل 6 زنجیره ارزش تولید محصولات فولادی [4]

امروزه فنآوریهای مورد استفاده در تولید محصولات فولادی در مراحل بعد از به دست آوردن فولاد مذاب، یعنی ریخته گری و نورد، کم و بیش یکسان است. اما برای به دست آوردن فولاد مذاب یا خام، از فنآوریهای مختلفی میتوان استفاده کرد. به طور کلی فولاد خام به دو روش تولید میگردد:

1 .تهیه آهن خام یا چدن مذاب در کوره بلند(BF) و تولید فولاد در کوره های اکسیژن پایه، مانند ذوب آهن اصفهان.

2 .احیای مستقیم سنگ آهن(DR) و ذوب آهن اسفنجی(DRI) و قراضه در کورههای الکتریکی از قبیل قوس الکتریکی (EAF) نظیر فولاد خوزستان یا القایی(IMF) ، مانند مجتمع فولاد جنوب

لازم به ذکر است که تولید فولاد از روشهای دیگری نظیر روش کوره باز نیز انجام میگیرد که حجم تولید آن در جهان بسیار محدود است

فولاد با استفاده از روش BOF مصرف انرژی پایین تری (31- 19/8 گیگاژول بر تن) در مقایسه با روشOHF (42-26گیگاژول بر تن) دارد.

روش دوم تولید فولاد، استفاده از کوره های الکتریکی و ذوب مجدد قراضه آهن و فولاد میباشد. در این روش تولید کک، محصول چدن و مراحل تولید فلز مذاب حذف میشوند که منجر به مصرف انرژی پایینتر میشود. هر چند مواد معدنی آهن به میزان زیادی در طبیعت وجود دارند، اما تولید فولاد بر پایه بازیابی قراضه ها،

نیازمند انرژی و منابع کمتری است ولی به دلیلی افزایش تقاضای روزافزون فولاد، فولادهای بازیابی شده به منظور بر آورده کردن نیاز جهانی کافی نیستند.

چین بالاترین سهم فولاد با کوره های اکسیژن پایه، ایران با بیشترین سهم تولید با کوره های قوس الکتریکی و اوکراین بالاترین تولید را با کورههای زیمنس مارتین دارد. 85٪ تولید فولاد کشور از روش قوس الکتریکی و 15٪ از روش کوره بلند تهیه می گردد.

4- راهکارهای کاهش انرژی مصرفی و آلودگیهای زیست محیطی در تولید فولاد

صنعت فولاد در طی 5 دهه اخیر قدمهای بزرگی برای کاهش انرژی مصرفی به ازای هر تن فولاد برداشته است و تحقیقات زیادی به این موضوع پرداخته اند. نتایج مطالعه میانگینهای جهانی انرژی مصرفی، حاکی از کاهش قابل ملاحظه میانگین انرژی مصرفی از 63 گیگاژول در سال 1950 به 18 گیگاژول بر تن در دهه گذشته بود. از دلایل عمده این کاهش، میتوان به جایگزینی کوره های اکسیژن پایه به جای کورههای زیمنس مارتین، افزایش تولید با کوره های قوس الکتریکی و استفاده از تکنولوژیهای بازیابی انرژی اشاره کرد. براساس گزارش آژانس بین المللی انرژی، صنعت آهن و فولاد تقریباً 4 -5 درصد از دی اکسیدکربن جهان را انتشار میدهد.

از جمله راهکارهای کاهش انرژی مصرفی و آلودگیهای زیست محیطی در تولید فولاد می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- **توسعه روش سرد کردن خشک کک:** به طور مرسوم، دمای کک داغ در محفظه ککسازی 1050-950 درجه سانتیگراد است که برابر 40 -35 درصد میزان حرارت مصرف شده در فرآیند ککسازی است.با بکارگیری روش سرد کردن خشک کک میتوان در حدود 80 درصد از حرارت کک داغ را بازیابی نمود. بر این اساس، در فرآیند سرد کردن خشک یک تن کک داغ، میتوان 0/6-0/45 تن بخار تولید کرد. در پایان سال 2005 سهم روش خشک کردن سرد کک در چین حدود 30 درصد بود ولی سهم استفاده از آن در سال 2007 به 45 درصد رسید

ـ **توربین بازیابی فشار گاز بالای کوره (TRT)**: این دستگاه یک توربین بازیابی انرژی است که از آن برای تبدیل انرژی فشاری و انرژی حرارتی گاز خروجی از انتهای بالایی کوره بلند به انرژی مکانیکی، به منظور به حرکت درآوردن ژنراتور تولید برق استفاده میشود. درتولید فولاد با کورههای دمشی، افزایش فشار در بالای کوره به طور سودمندی منجر به بازیابی انرژی میشود. در صورت استفاده از توربینها میتوان حدود 30 درصد انرژی بازیابی شود .

ـ **تزریق پودر زغال برای کوره های دمشی:** با جایگزینی زغال با کک در کورههای دمشی میتوان آلودگیهای زیست محیطی ناشی از تولید کک را کاهش داده و بازگشت سرمایه را از تفاوت قیمت کک و زغال

فراهم کرد. همچنین کاهش ذخایر زغالهای کک شو با کیفیت و قیمت بالای کک، تولیدکنندگان آهن و فولاد را مجبور به جستجو در تولیدات بر پایه کربن به منظور کاهش در مصرف کک کرده است.

ـ حذف تجهیزات سطح پایین و معرفی روشهای جدید: مصرف انرژی در واحدهای کوچک در حدود 1/5 برابر واحدهای متوسط و بزرگ است. زمان اجرای برنامه 5 ساله توسعه برای ذخیره انرژی و کاهش آلودگی در چین، تجهیزات و ظرفیتها افزایش داده شدند و استفاده از تکنولوژیهای جدید شدت گرفت. به طوری که در سال 2007 تعداد کورههای دمشی با ظرفیت 2000 متر مکعب برابر 63 یعنی 17 تا بیشتر از سال 2005 بود و ظرفیت تولید 35 درصد افزایش یافت. در سال 2007 ،انرژی مصرفی کل، آب تازه و انتشار دی اکسیدگوگرد به ازای هر تن 8 ،24 ،4/5 درصد در مقایسه با 2005 ،کاهش یافت .

ـ ایجاد شبکه زنجیرهای بازیابی در صنعت فولاد: هدف از ایجاد شبکه زنجیرهای، بازیابی گازهای خروجی کوره دمشی، مبدلها، کورههای ککسازی و تحقق بخشیدن انتشار گازدر حد صفر است.

- **دفن و ذخیره دی اکسیدکربن در صنایع فولاد و آهن:** دفن و ذخیره دی اکسید کربن فرآیندی است که درآن CO_2منتشر شده واحدهای انرژی سوخت فسیلی یا پالایشگاههای نفتی، دفن شده و در زمین ذخیره میشود .ذخیره CO_2 شامل متراکم سازی و سپس انتقال آن توسط خطوط لوله (یا توسط کشتی، در صورت دور بودن محل ذخیره) به یک محل مناسب است.

- مزایای زیست محیطی بازیافت قراضه و استفاده از ذرات باطله

قراضه فولاد در صنعت فولاد به بهترین منبع مواد خام تبدیل شده است، زیرا از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی بازیافت فولاد فرسوده سوددهی بسیاری را به دنبال دارد. در این زمینه، به مقایسه ای میان منافع حاصل از تولید فولاد از طریق بازیافت و تولید آن از کانه آهن پرداخته شده است.

- **بقای ذخایرمعدنی:** بازیافت قراضه فولاد به عنوان ابزاری مؤثر در بقای ذخایرمعدنی به شمار میآیند. این روش از لحاظ اقتصادی برای تولید کنندگان فولاد و همچنین برای مدیریت ذخایر معدنی آهن بسیار حائز اهمیت است. استفاده از این روش، مصرف کانی های با ارزش از قبیل کانه آهن، زغالسنگ، سنگ آهک و آب را به میزان زیادی کاهش میدهد. به ازای هر تن متریک فولاد تولید شده از قراضه ها، 1/5 تن کانه آهن، 0/5 تن زغال سنگ، 0/054 تن سنگ آهک، محفوظ باقی میماند. قراضه های فولاد به طور کامل قابل بازیافت هستند و طی فرآیند بازیافت از کیفیت آن کاسته نمیشود. به این ترتیب، میتوان آن را بارها و بارها بدون افت کیفیت بازیافت کرد.
- **صرفه جویی در انرژی:** استفاده از قراضه فولاد، در مقایسه با تولید فولاد از مواد خام، به طور قابل توجه انرژی مصرفی را کاهش میدهد. زیرا در مقایسه با قراضه فولاد، که موادی آماده برای تغذیه کوره قوس الکتریکی جهت تولید آسانتر و سریعتر فولاد میباشند، انرژی بسیار زیادی صرف استخراج،

حمل و نقل و فرآوری مواد مورد نیاز می شود. با تولید یک تن فولاد از قراضه فولاد، 14.3 گیگاژول در مصرف انرژی صرفه جویی میشود.

- **حفاظت محیط زیست:** تولید فولاد از کانه خام، انتشار گازهای گلخانهای را به همراه دارد. استفاده از قراضه فولاد، انتشار این گازها را به میزان ٪85 کاهش میدهد. همچنین نیاز به استخراج (معدنکاری، باطله برداری و حفاری) و فرآوری مواد معدنی را که آلودگی های آب و هوا را به همراه دارند نیست.

استفاده از سرباره های فولاد در هر زمینهای (مانند صنعت ساختمان، جاده سازی) را میتوان از لحاظ زیست محیطی مورد بررسی قرار داد، زیرا حذف انرژی مورد نیاز برای استخراج آگرگات های طبیعی و اثرات منفی ناشی از معدنکاری (نشست در سطح زمین) را در پی دارد. کاربرد سرباره های فولاد عبارتست از: بتن آماده، محصولات بتنی، زیرسازی و روسازی جاده ها، پرکنندگی، مواد سیمانکاری، بالاست خطوط ریلی، مواد پوششی برای زباله های دفن شده روزانه، مصالح سقف سازیو موارد مشابه.

کمبود آهن قراضه یکی دیگر از مشکلات تولید فولاد طی سال های آینده است. برای این منظور چند راهکار در نظر گرفته شده است از جمله: های قوس الکتریکی و القایی، استفاده ازآهن اسفنجی به جای آهن قراضه در کوره توجه به تولید آهن قراضه از منابع داخلی (بازیافت خودروهای فرسوده، بازیافت وسایل خانگی) و جلوگیری از صادرات آهن قراضه و واردات آهن قراضه

واحد های صنعتی می توانند با اجرای راهبردهای زیر، کارآیی فرآیند تولید را افزایش دهند و در صورت نیاز خطوط تولید خود را اصلاح نمایند

1. تغییر ریخته گری قالبی به ریخته گری پیوسته
2. استفاده از سنگ معدن هماتیت به جای سنگ آهن مگنتیت در فرآیند گندله سازی تا حد امکان.
3. استفاده از تزریق کننده های چند کاره برای ورودی سوخت، اکسیژن و کربن.
4. استفاده از سنسورها در کلیه مراحل تولید برای بهبود بازدهی.
5. پیش گرمایش گندله با استفاده از حرارت دودکش کوره.
6. تنظیم میزان سوخت و هوا در مشعل کوره ها.
7. انجام فرایند ذوب در غیر ساعات پیک در کارگاههای کوچک که ذوب دائم ندارند.
8. استفاده کامل از ظرفیت کوره ذوب.
9. تدوین برنامه منظم تعمیرات و نگهداری (PM) دستگاهها.
10. پیش گرمایش مواد اولیه ورودی به کوره با استفاده از گازهای خروجی.
11. بازیافت حرارت گازهای داغ خروجی از دودکش کوره ذوب به منظور تهیه آبگرم و پیش گرمایش هوای احتراقی(استفاده از رکوپراتور و یا ریژنراتور در کوره های مشعلی).
12. کنترل دمای فوق ذوب در کوره های ذوب.
13. کنترل دبی هوای ورودی به مشعلها برای جلوگیری از اکسید و به دما رساندن هوای اضافی و غیر قابل مصرف در کوره ها.

14. کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسورها .
15. نصب بانک های خازنی جهت بهبود ضریب قدرت.
16. کاهش نشتی و کنترل سرعت کمپرسور با نصب محرکه دور متغییر.VSD
17. کنترل سرعت فن های کارخانه با نصب محرکه دور متغییر. .VSD
18. بارگذاری مناسب موتورهای AC .
19. بارگذاری مناسب ترانسفور ماتور.
20. استفاده از ترانسفورماتورهای راندمان بالا.
21- کاهش دمای هوای ورودی کمپرسورها:

دمای هوای ورودی بالاتر، توان مکانیکی یا الکتریکی و در نتیجه انرژی مصرفی بالاتری را در پی خواهد داشت. یک راه بسیار ساده برای کاهش دمای هوای ورودی، نصب لوله کشی برای اتصال کمپرسورها به بیرون از اتاق کمپرسور خانه است که کمپرسور هوای ورودیش را از محیط بیرون بکشد. تجربه نشان داده است که استفاده از هوای سردتر بیرون از کارخانه به جای هوای داخل می تواند تا شش درصد باعث صرفه جویی در توان کمپرسور شود.

22-استفاده از فناوری های نو

- راه اندازی سیستم تولید ترکیبی برق و گرما (CHP) به منظور تأمین برق و بخار مورد نیاز.
- تولید برق از حرارت مازاد دودکش کوره ها.
- استفاده از موتورهای الکتریکی با بازدهی بالا و متناسب با بار. تحقیقات نشان داده است که حدود 12٪ انرژی مصرفی در صورت بکارگیری موتورهای با بازدهی بالا، قابل صرفه جویی خواهد بود.
- استفاده از کوره های ذوب با بازدهی بالا.
- بکارگیری فناوری های جدید در فرآیند ساخت آهن.
- استفاده از فناوری BOF به جای OHB
- روش های کنترل هوشمند با استفاده از اتوماسیون صنعتی.
- استفاده از روش احیای مستقیم برای تولید فولاد به جای روش کوره بلند.

5- نتیجه گیری

اهداف گسترده توسعه پایدار در صنعت فولاد به طور خلاصه عبارتند از: توسعه فرآیند به منظور حداکثرسازی بازدهی و کمینه سازی تولید مواد زائد و باطله، کاهش گازهای گلخانه ای در فرآیند با صرفه جویی در مصرف انرژی،کاهش انرژی مصرفی در فرآیند، تعیین مقررات زیست محیطی و ساختار تولید، افزایش بهره وری در صنایع تولید کنسانتره آهن،کاهش خطر انتشار دی اکسید کربن یا دفع دی اکسید کربن، تبدیل آلایندهها و مواد زائد به محصولات جانبی.

مهم‌ترین عامل پایین بودن بهره‌وری انرژی در ایران، مداخله قیمتی در بازار انرژی و پایین نگه داشتن قیمت حامل‌های انرژی است. افزایش بهره‌وری در اقتصاد مستلزم اصلاح ساختارها و سیاست‌ها در جهت کاهش انحصارات، افزایش شفافیت و رقابت در اقتصاد، کاهش دخالت‌های قیمتی، اجتناب از حمایت‌های غیرهدفمند

و بازنگری جدی در سیاست‌های حمایتی دولت، خصوصی‌سازی واقعی بنگاه‌های دولتی و کاهش تصدیگری دولت است.

با توجه به سند تولید و عرضه گاز طبیعی مصوب شورای عالی انرژی و محدودیتهای تخصیص گاز طبیعی به منظور توسعه صنایع از جمله صنایع انرژی بر ارتقاء کارایی انرژی ضرورتی غیر قابل اجتناب است و مهمترین محرک ارتقاء کارایی انرژی در صنعت فولاد راه اندازی هر چه سریعتر بازار انرژی و محیط زیست و تجمیع قوانین و تدقیق آئین نامه و اتخاذ روشهای قیمت گذاری مشخص و شفاف انرژی در صنعت فولاد می باشد.

مراجع:

[1] جداول آماری کارگاه‌های صنعتی بالای10 نفر کارکن سال 1397 کل کشور، طرح سرشماری مرکز آمار

[2] طرح سرشماری انرژی کارگاه‌های صنعتی بالای50 نفر کارکن سال 1396 کل کشور، مرکز آمار

[3] ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال 1397

[4] گزارش تحلیل زنجیره ارزش و ارائه بسته سیاستهای ارتقای توان رقابت پذیر صنعت فولاد در کشور ، طرح تدوین سیاستهای صنعتی، معدنی و تجاری ایران، ، موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، آبان 1399

[5] استعلامی از شرکت ملی گاز رسانی در سال 1399

[6] سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی، مصوب شورای عالی انرژی سال 1399

[7] ترازنامه هیدروکربوری وزارت نفت در سال 1397

[8] بهره وری انرژی و کاهش انتشار دی اکسیدکربن در صنعت فولاد با محور توسعه پایدار، انجمن آهن و فولاد، سمپوزیوم فولاد 93، فردیس نخعی، مهدی ایران نژاد، یزد اردکان، اسفند 1393

[9] کاهش مصرف انرژی در صنایع آهن و فولاد، علی آزادمهر، شماره 3 نشریه بهسو، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، مرداد 1399

[10] گزارشات آژانس بین المللی انرژی IEA