

گزارش خلاصه مدیریتی

۱- مقدمه

با توجه به محدود بودن منابع آب و انرژی و همچنین لزوم کاهش آلاینده‌گی‌های زیست محیطی، نیاز است که تدابیری جهت کاهش مصرف آب و انرژی و تولید آلاینده‌گی در صنایع کشور و از جمله صنعت فولاد در نظر گرفته شود. روش‌های مختلفی در تمامی واحدهای یک مجتمع فولادسازی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب این روش‌ها باید با توجه به منابع در دسترس، میزان آلاینده‌گی آن‌ها و همچنین ظرفیت بهینه واحدهای تولیدی تعیین گردند.

صنعت فولاد نقش مهمی در توسعه پایدار کشور دارد و یکی از صنایع تاثیرگذار بر بخش‌های انرژی، آب، حمل و نقل و تاثیرات محیط‌زیستی کشور می‌باشد. بنابراین با توسعه و توزیع بهینه تولید فولاد در نقاط استراتژیک کشور، می‌توان میزان حمل و نقل مواد، مصرف انرژی و مصرف آب را کاهش و بهره‌وری اقتصادی تولید را افزایش داد. از این رو توسعه ابزاری برای تحلیل و بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی، دسترسی به منابع و میزان حمل و نقل مواد به عنوان یک ضرورت مطرح می‌باشد. همچنین برای رسیدن صنعت فولاد کشور به سطح رضایت‌بخش و چه بسا پیش‌رو در زمینه شاخص‌های شدت مصرف و راندمان انرژی در واحدهای آتی این صنعت، می‌بایست الزاماتی را بر اساس پیشرفت فناوری‌های خرد در روش‌های تولید فولاد، تدوین نمود.

بنابراین در این پروژه، در بخش اول به بررسی و انتخاب روش‌ها و فناوری‌های تولید فولاد کشور پرداخته شده است. همچنین شاخص‌های مصارف فناوری‌های تولید فولاد کشور با شاخص‌های جهانی مورد مقایسه قرار گرفته است و پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی برای واحدهای جدیدالحداث معرفی شده‌اند. در بخش دوم توسعه مدل بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد به عنوان ابزاری کارآمد برای سیاست‌گذاری توسعه صنعت فولاد مد نظر قرار گرفته است. این بخش خود نیز شامل تشریح مدل بهینه‌سازی، فرضیات و سناریو حل مدل و نتایج حل مدل می‌باشد. در بخش آخر الزامات و ضوابطی برای توسعه صنعت فولاد بر مبنای نقشه‌راه بهینه‌سازی مصرف انرژی این صنعت فولاد و تبدیل آن به یک صنعت پیش‌رو و در کلاس جهانی، پیشنهاد

شده است. همچنین پیشنهادهایی برای ادامه پروژه در راستای استفاده هرچه بیشتر از ابزار توسعه داده شده برای تحلیل و بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد به همراه تجارب و اطلاعات تخصصی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) ارائه شده است.

۲- روش و فناوری تولید فولاد

چرخه تولید فولاد، فرایندی به شدت انرژی‌بر و همراه با تولید آلاینده‌گی می‌باشد. این صنعت نقش مهمی در مصرف انرژی و تأثیرات محیط‌زیستی دارد. بر مبنای اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی، صنعت فولاد سهم ۲۱ درصدی از مصرف انرژی صنایع کل دنیا و سهم ۳۰ درصدی از تولید و انتشار آلاینده‌گی را به خود اختصاص داده است. همچنین انرژی دومین نهاده هزینه بر در تولید فولاد بعد از نیروی انسانی است، سهم انرژی در هزینه تمام شده فولاد در یک سیستم یکپارچه تولید فولاد از سنگ معدن، بیشتر از ۳۰ درصد هزینه تمام شده است. از سوی دیگر روند تقاضای فولاد و به تبع آن، تولید فولاد در جهان رو به رشد است؛ از اینرو کاهش مصرف انرژی، آب و همچنین کاهش تولید آلاینده‌ها در این بخش صنعت، از اهمیت بسزایی برخوردار است. یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی و آب در صنعت فولاد، کاربرد روش‌ها و نسل‌های جدید فناوری‌های تولید فولاد و افزایش بازده تولید می‌باشد. از این رو در این گزارش روش‌های مختلف تولید فولاد مورد بررسی قرار گرفته است و روش‌های با مزایای نسبی و دارای همخوانی با منابع طبیعی و شرایط جغرافیای کشور معرفی شده‌اند. روش‌های منتخب شامل روش احیاء مستقیم از طریق فناوری میدرکس و روش احیاء ذوبی از طریق فناوری‌های فاینکس و کورکس می‌باشد.

میدرکس یک روش احیاء مستقیم است که توسط شرکت فولاد میدرکس-کوبه توسعه پیدا نموده است. در این روش گندله و یا ترکیبی از گندله و کلوخه سنگ آهن توسط گاز احیاء در یک استوانه عمودی یا کوره، احیاء می‌شود. حدود ۷۰ درصد از آهن اسفنجی تولید شده در دنیا با استفاده از میدرکس تهیه می‌شود. انرژی مورد نیاز این فرایند در حدود ۱۰/۴ گیگاژول بر تن تخمین زده می‌شود. همچنین میزان آلاینده‌گی

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

روش میدرکس یک سوم روش کوره بلند گزارش شده است.

مزایای اصلی روش میدرکس عبارتند از:

- ✓ سهولت فرایند به دلیل استفاده از گاز طبیعی
- ✓ بازده بالا به دلیل وجود راکتور بسته و جریان مخالف
- ✓ انعطاف پذیری بالا در زمینه استفاده از گازهای احیا با طیف وسیعی از نسبت هیدروژن به مونواکسیدکربن (۰/۵ تا ۳/۵)
- ✓ آلاینده‌گی پایین

توسعه صنعت فولاد کشور تاکنون عمدتاً به روش احیاء مستقیم میدرکس بوده است. با توجه به مزایای ذکر شده و منابع عظیم گاز طبیعی کشور و نیز دستاوردهای صنایع فولاد کشور در بومی‌سازی و بهبود این فناوری، به عنوان یکی از روش‌های اصلی در سبد تولید فولاد کشور توصیه می‌شود. لازم به ذکر است یکی از معایب این روش ظرفیت تولید پایین آن در مقایسه با روش کوره بلند می‌باشد. برای این منظور می‌توان از حداکثر ظرفیت موجود این واحدها و نیز استفاده از چندین واحد موازی بهره برد. همچنین برای بهبود هرچه بیشتر شاخص‌های مصرف انرژی، آب و کاهش آلاینده‌گی‌های زیست محیطی روش میدرکس، به کارگیری فناوری‌ها و راهکارهای پیشنهادی برای بهینه‌سازی مصارف این روش نیز به صورت الزام توصیه می‌شود، که در بخش‌های بعد به آن پرداخته شده است.

روش‌های کورکس و فاینکس مبتنی بر زغال سنگ کک‌نشو هستند که شامل دو محفظه گازی‌ساز و احیا می‌باشند. این روش‌ها برای جایگزینی کوره بلند مطرح شده‌اند و در آنها تمامی فرایندها در دو محفظه احیا و ذوب کننده گازی‌ساز رخ می‌دهد. گفتنی است دمای فرایند و کیفیت مذاب این روش‌ها مشابه کوره بلند می‌باشد. میزان مصرف زغال سنگ روش فاینکس کمتر از ۷۰۰ کیلوگرم به ازای هر تن فولاد داغ است. لازم به ذکر است روش‌های احیاء ذوبی نیاز به گندله‌سازی ندارند و سنگ آهن پس از ترکیب با زغال سنگ به صورت مستقیم به آن شارژ می‌شود. همچنین میزان آلاینده‌گی آن حدود ۴ درصد کمتر از کوره بلند گزارش

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

شده است. از جمله مزایای روش‌های احیاء ذوبی شامل موارد زیر می‌باشد:

- ✓ استفاده از زغال سنگ کک‌نشو
- ✓ توان استفاده از سنگ آهن
- ✓ سهولت راه‌اندازی و توقف عملیات
- ✓ استفاده از زغال سنگ با کیفیت پایین
- ✓ آلایندگی کمتر نسبت به کوره بلند

مهمترین معایب این روش مشتمل بر نیاز به مقادیر زیاد اکسیژن و هزینه اولیه بالا می‌باشد. با توجه به منابع قابل قبول زغال سنگ کک‌نشو کشور و مزایای روش احیاء ذوبی نسبت به روش کوره بلند، این فناوری نیز به عنوان یکی از فناوری‌های مناسب در سبد تولید فولاد کشور برای استان‌های دارای منابع زغال سنگ توصیه می‌گردد.

۳- شاخص‌ها و پتانسیل‌های افزایش بهره‌وری

با توجه به جایگاه و اهمیت مصرف انرژی در چرخه تولید فولاد، شناسایی پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش بهره‌وری تولید به عنوان یک ضرورت مطرح می‌باشد. با شناخت از مقادیر شاخص‌های مصرف انرژی و آب در بهترین حالت‌های عملیاتی دنیا^۱ (بهترین حالت عملیاتی روش یا تکنیکی است که تاکنون منجر به نتایج برجسته‌ای نسبت به روش‌های دیگر شده است و به عنوان یک شاخص استفاده می‌شود) و مقایسه با مقادیر مشابه داخلی، پتانسیل‌های کاهش این شاخص‌ها در طرح‌های آتی شناسایی می‌شوند و راهکارهای کاهش شاخص مصارف انرژی و آب ارائه می‌گردند. سپس با امکان‌سنجی فنی، اجرایی و اقتصادی بهترین راهکارها و فناوری‌های در دسترس در هر قسمت و سپس غربالگری و انتخاب چند فناوری مناسب، میزان تاثیر بهبود در مصرف انرژی و آب تعیین می‌گردد.

^۱ Best Practice Technique(BPT)

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

بررسی شاخص کل مصرف انرژی روش‌های تولید فولاد نشان دهنده مصرف کمتر انرژی در روش کوره بلند- کنورتور اکسیژنی (در بهترین حالت عملیاتی) نسبت به دیگر روش‌های تولید فولاد می‌باشد. اما با توجه به محدودیت منابع زغال سنگ کک‌شو و آلاینده‌گی بیشتر روش کوره بلند، این روش برای کشور ایران توصیه نمی‌شود.

با مقایسه شاخص مصرف واحد کوره بلند در استاندارد کشور (برابر با ۱۲/۲ گیگاژول بر تن محصول) با بهترین حالت‌های عملیاتی دنیا (برابر با ۱۰/۴ گیگاژول بر تن محصول)، پتانسیل کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در واحدهای کوره بلند موجود کشور و یا واحدهای جدیدالحداث مشخص می‌شود. استفاده از این پتانسیل افزایش بهره‌وری در روش کوره بلند، نیازمند ایجاد الزام در کاهش شاخص مصرف انرژی از طریق به کارگیری فناوری روز دنیا برای واحدهای قدیمی و جدیدالحداث (در صورت تصمیم‌گیری بر استفاده از روش کوره بلند) می‌باشد. الزامات مربوطه برای افزایش بهره‌وری واحدهای جدیدالحداث در بخش الزامات توسعه صنعت فولاد مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی شاخص مصرف انرژی واحدهای احیاء مستقیم بر اساس استاندارد کشور (برابر با ۱۰/۴ گیگاژول بر تن محصول) و مقایسه با مقادیر جهانی و یا بهترین حالت‌های عملیاتی دنیا (برابر با ۱۰/۴ گیگاژول بر تن محصول) نشان دهنده وضعیت مطلوب این فناوری در کشور می‌باشد. اما با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی کشور، با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تولید برای ایجاد قابلیت رقابت با صنایع پیشرو تولید فولاد جهان، راهکارهایی برای بهبود هرچه بیشتر این فناوری و تبدیل آن به بهترین حالت عملیاتی دنیا پیشنهاد شده است. این راهکارها می‌تواند به عنوان یک الزام در توسعه صنعت فولاد مطرح شود که در بخش الزامات توسعه فولاد به آن پرداخته شده است. این راهکارها عمدتاً مشتمل بر بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب در واحدهای احیاء مستقیم میدرکس و فولادسازی کوره قوس الکتریک می‌باشد:

- بازیافت حرارت از گاز داغ خروجی از ریکوپراتور واحد احیاء:

گازهای خروجی از ریکوپراتور واحدهای احیاء دارای دمایی در حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس می‌باشند و

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

میزان زیادی انرژی از این طریق اتلاف می‌شود. می‌توان با افزودن مبدل‌هایی برای بازیافت بیشتر انرژی از این گاز و پیش‌گرمایش هرچه بیشتر هوای احتراق ریکوپراتور به صرفه‌جویی انرژی در واحدهای احیاء مستقیم میدرکس پرداخت. در اثر افزایش بازیافت حرارت از این گاز داغ می‌توان از اتلاف انرژی معادل ۱۱۳ مگاوات‌ساعت برای یک مجتمع ۶ واحدی با ظرفیت هریک ۱۰۲ تن بر ساعت، جلوگیری نمود. این میزان صرفه‌جویی انرژی معادل ۶/۵ درصد مصرف گاز طبیعی واحد احیاء مستقیم و یا ۰/۶۶ گیگاژول بر تن محصول می‌باشد.

- جایگزینی اسکرابر تر واحد احیاء با جداکننده‌های خشک (سیکلون):

در واحد احیاء مستقیم، به منظور بازگردانی گاز خروجی از بالای کوره به ریفرمر و ادامه چرخه تولید، لازم است تا فشار گاز توسط کمپرسورها افزایش پیدا کند. از آنجا که گاز ذکر شده شامل مقادیری از ذرات جامد آهن می‌باشد، افزایش فشار مستقیم آن منجر به خوردگی پره‌های کمپرسور می‌گردد. بنابراین از اسکرابر تر به همراه مصرف میزان زیادی آب برای پاک‌سازی این گاز استفاده می‌شود. اگر این گاز توسط جداکننده خشک ذرات (سایکلون) پاک‌سازی شود و حرارت موجود در آن بازیابی گردد، می‌تواند باعث کاهش ۳۰ درصدی در مصرف آب، کاهش ۵۵ الی ۶۰ درصدی در مصرف برق و کاهش ۸ الی ۱۰ درصدی در مصرف گاز طبیعی واحد احیاء مستقیم میدرکس گردد.

- بهینه‌سازی مصرف انرژی واحد فولادسازی کوره قوس الکتریک:

واحدهای فولادسازی کوره قوس الکتریک یکی از بخش‌های انرژی‌بر در چرخه تولید فولاد به روش احیاء مستقیم می‌باشند. با استفاده از راهکارهای بهینه‌سازی انرژی در این واحدها، می‌توان مجموعاً ۱/۱۷ الی ۱/۵۳ گیگاژول بر تن محصول صرفه‌جویی انرژی داشت. راهکارهای پیشنهادی برای صرفه‌جویی انرژی و افزایش بهره‌وری تولید شامل بهبود کنترل فرایند، شارژ داغ آهن اسفنجی، بهینه‌سازی پس از احتراق، فومی کردن سرباره و استفاده از جریان مستقیم می‌باشد.

۴- مدل تحلیل و بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد کشور

با توجه به اهمیت مدیریت مصرف انرژی، آب و کاهش حمل و نقل مواد در صنایع بزرگ و انرژی‌بر، شناخت عوامل تاثیرگذار و رفتار آنها در عملکرد صنعت مورد نظر، برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مناسب و نیل به اهداف تعیین شده ضروری می‌باشد. مطالعه رفتار و ایجاد درک صحیح از هر صنعت کلان می‌تواند از طریق مدل‌سازی آن صنعت با اهداف نیل به وضعیت مطلوب توسعه و تولید انجام شود. بنابراین مدل‌سازی صنعت فولاد می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند در جهت تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری توسعه صنعت فولاد مورد استفاده واقع شود که در این پروژه توسعه و به کاربری این ابزار نیز هدفگذاری شده است.

برای مدل‌سازی هر صنعت کلان و رسیدن به شناخت مناسب، در اولین مرحله می‌بایست فرایندهای مهم و اساسی در صنعت مورد نظر شناسایی و یک مرزبندی منطقی صورت گیرد و در صورت لزوم ساده‌سازی برای آن انجام شود. صنعت آهن و فولاد را می‌توان به دو بخش عمده عرضه و تقاضا تقسیم نمود که هر یک به زیربخش‌هایی تفکیک شده و بر اساس رفتار زیربخش‌ها مدل رفتاری هر بخش توصیف می‌شود. بدین منظور مرزهای سیستم عرضه و تقاضای صنعت فولاد کشور شناسایی و تعیین سطوح و مرزبندی مناسب از طریق نمودار مرجع انجام شده است. بخش عرضه به عنوان بخش تولیدی صنعت آهن و فولاد، مشتمل بر فناوری‌ها و جریان‌های انرژی و مواد می‌باشد که هر یک در سطوح مشخص شده قرار می‌گیرند. مدل‌سازی بخش عرضه در صنعت فولاد مستلزم شناسایی فناوری‌ها و جریان مواد و انرژی و نیز ارتباط مابین آنها می‌باشد. سطوح مختلفی در بخش عرضه آهن و فولاد از هم متمایز شده‌اند:

- منابع،
- استخراج و بهره‌برداری از منابع،
- فرآورش اولیه (کنسانتره‌سازی)،
- تاسیسات،
- فرآورش ثانویه (آگلومراسیون و گندله‌سازی)،

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

- احیاء (آهن‌سازی)،
- ذوب (فولادسازی)،
- پالایش نهایی،
- ریخته‌گری،
- نورد
- مصرف (تقاضا).

در گام بعد مدل ریاضی صنعت مورد مطالعه به کمک مجموعه معادلات ریاضی لازم برای تعیین نحوه عملکرد صحیح هریک از اجزاء و مبتنی بر قوانین بالانس جرم و انرژی و دیگر قوانین مورد نیاز تهیه شده است. معادلات و قوانین حاکم بر مدل به عناصر زیر تقسیم شده‌اند:

- موازنه تقاضا
- موازنه مواد و انرژی
- موازنه منابع
- موازنه نشر آلاینده‌ها
- محاسبه ظرفیت فرآیندها
- محاسبه هزینه‌ها
- قیدها.

مدل ریاضی بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد بر پایه حداکثر کردن سود واحد تولیدی توام با کمینه‌سازی مصرف منابع برای تحقق مقدار معینی تولید می‌باشد. معیار شناسایی و ارزیابی نقطه بهینه در مجموعه معادلات مدل ریاضی هر صنعت مورد نظر، تابع هدف خواهد بود و قانونمندی جریان انرژی و ارتباط آن با جریان‌های مواد و سیالات، مجموعه محدودیت‌های مدل را شکل می‌دهد. در مدل ریاضی بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد از یک تابع هدف بر اساس کمینه‌سازی هزینه تولید استفاده شده است. در این تابع هدف هزینه

تولید، جمع هزینه‌های عوامل تولید است که به صورت ارزش کنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه منابع منظور شده است.

اصلی‌ترین محدودیت‌های این تابع هدف مشتمل بر تحقق مقدار معین تولید (معمولاً ظرفیت تولید و یا تقاضا برای محصول می‌باشد)، محدودیت عوامل تولید، منابع و محدودیت تخصیص مقادیر مثبت به متغیرهای فیزیکی می‌باشند. همچنین معادلات و قیدهایی به صورت ایستا و دینامیک برای عملکرد صحیح سیستم، ایجاد ترکیب مناسب عوامل تولید و اعمال کلیه محدودیت‌های منابع طبیعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در نظر گرفته شده است. مهمترین این قیدها شامل قید جریان‌های انرژی و مواد، قید ظرفیت‌های فرایندها و فناوری‌ها، قیدهای تولید آلاینده‌گی و غیره می‌باشد.

مدل جریان بهینه انرژی و مواد صنعت فولاد که اصول حاکم بر آن در مطالب فوق تشریح شد، مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی پایه ریزی شده است و به تبع آن از روش بهینه‌سازی سیمپلکس برای شناسایی نقطه بهینه استفاده شده است. بستر شکل‌گیری این مدل در نرم افزار ای.اس.ام (مدلسازی سیستم‌های انرژی) می‌باشد. این مدل و نرم‌افزار در پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف توسعه داده شده است. این نرم‌افزار اصولاً برای تخمین دینامیک انرژی یک کشور، منطقه یا گروهی از مناطق به کار می‌رود. مدل و نرم‌افزار ای.اس.ام، جریان انرژی و مواد از منبع تا مصرف کننده نهایی در بخش‌های اقتصادی-اجتماعی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این پروژه با ایجاد ساختار جریان‌های مواد و انرژی صنعت فولاد و تعریف تمامی پارامترها و فرضیات مورد نیاز این صنعت در مدل و نرم‌افزار ای.اس.ام، بستر تحلیل و بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد کشور در این نرم‌افزار شکل گرفته است و این ابزار قدرتمند جهت نیل به اهداف مورد نظر آماده بهره‌برداری گشته است.

۵- فرضیات و سناریو حل مدل بهینه‌سازی

مدل بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد می‌تواند در قالب سناریوهای مختلف کلان کشوری و با توجه به پیش‌بینی‌ها و رخدادهای مهم بین‌المللی به ارزیابی عوامل مختلف تولید بپردازد. برای تعیین

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

سناریوی کلان توسعه صنعت فولاد در گام اول می‌باید به تعیین تقاضای فولاد پرداخت. یکی از روش‌ها تعیین تقاضا بر مبنای برنامه‌های رشد و توسعه در نظر گرفته شده در سندهای چشم انداز کشوری می‌باشد. با توجه به اینکه سند چشم انداز توسعه کشور تولید ۵۵ میلیون تنی فولاد را تا سال ۱۴۰۴ در نظر گرفته است، بنابراین سناریوی پایه حل مدل، به صورت میزان تعیین شده جمع کل تولید فولاد و توزیع بهینه تولید در استانها، انتخاب شده است.

تقاضای داخلی فولاد در استان‌های مختلف تا سال ۱۴۰۴، با هدف توزیع بهینه میزان تولید در استان‌های کشور و مقایسه با نتایج توزیع طرح جامع فولاد، بر اساس اطلاعات و نتایج مدل‌های تخمین تقاضا ارائه شده در طرح جامع فولاد کشور، در نظر گرفته شده است. روش مصرف سرانه به عنوان داده تقاضا برای حل مدل انتخاب شده است. تقاضای فولاد برای هر یک از استان‌های کشور از طریق پیش‌بینی جمعیت استان‌های کشور تا افق ۱۴۰۴ و استفاده از مصرف سرانه سالیانه، محاسبه شده است. همچنین میزان کل صادرات برابر ۱۴ میلیون تن در سال و میزان کل تقاضای داخلی برابر ۴۱ میلیون تن لحاظ گردیده است.

جریان‌ها و فرضیات مربوط به سطح منابع از سه دسته کلی تشکیل خواهد شد که شامل موارد: مواد معدنی، حامل‌های انرژی و مواد وارداتی از دیگر کشورها خواهد بود. اصلی‌ترین ماده معدنی مورد نیاز صنعت فولاد، سنگ آهن است. میزان برآورد ذخایر سنگ آهن ایران با توجه به نتایج طرح‌های اکتشافی انجام شده در سال‌های اخیر حاکی از آن است که کل ذخایر سنگ آهن به حدود ۴/۶ میلیارد تن رسیده که حدود ۲/۸ میلیارد تن ذخیره قطعی سنگ‌آهن در آن شناسایی شده است. حدود ۹۰ درصد ذخایر آهن ایران در سه منطقه معدنی یزد، کرمان و خراسان رضوی متمرکز هستند. شیوه پراکندگی منابع سنگ آهن تاثیر بسزایی در مکان‌یابی بهینه توسعه صنعت فولاد و کاهش هزینه‌های حمل و نقل مواد اولیه دارد. میزان ذخایر قطعی سنگ آهن به تفکیک هر استان و آخرین میزان استخراج برای حل مدل بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد در نظر گرفته شده است.

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

یکی دیگر از منابع تاثیر گذار در توسعه صنعت فولاد، منابع زغال سنگ کشور است. ذخایر قطعی زغال کشور طبق آمار اعلام شده حدود ۱/۶ میلیارد تن، ذخایر احتمالی ۱/۵ میلیارد تن و میزان ذخایر ممکن حدود ۱۰ میلیارد تن است. بیش از ۸۰ درصد این ذخایر، کک شو و مابقی زغالسنگ حرارتی است. به لحاظ منابع زغال سنگ کک‌شو، ۵۶ درصد کل ذخایر زغال سنگ در طبس، ۲۰ درصد در البرز مرکزی، ۱۸ درصد در کرمان واقع شده است.

قراضه یکی از مواد اولیه ورودی به کوره‌های قوس الکتریکی و کنورتر اکسیژنی می‌باشد. هر استان کشور دارای منابعی از آهن قراضه با توجه به جمعیت و صنعت آن می‌باشد که می‌تواند برای تولید فولاد و تامین نیاز فولاد همان استان استفاده شود. جهت برآورد میزان قراضه آهن بازیافت شده در استان‌های مختلف، از سرانه قراضه بازیافت شده معادل ۲۹ کیلوگرم و پیش‌بینی جمعیت هر استان استفاده شده است.

بر اساس شاخص‌های سازمان ملل و مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران هم‌اکنون در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. با توجه به بیلان منفی ذخایر آب کشور، فرض شده است واحدهای جدیدالاحداث از منابع آبی سطحی و زیر زمینی استفاده نمی‌کنند و آب مورد نیاز از منابع پساب و شیرین‌سازی آب دریا تامین شود. بنابراین هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی شیرین‌سازی و انتقال آب دریا برای استان‌های هم‌جوار دریا و استان‌های دارای طرح کلان کشوری انتقال آب با در نظر گرفتن نزدیکترین فاصله از سواحل محاسبه شده است. برای دیگر استان‌ها فرض بر استفاده از منابع پساب بوده است.

شاخص‌های مصرف الکتریسیته، گاز طبیعی و آب برای کلیه بخش‌ها و فناوری‌های چرخه تولید فولاد بر اساس استاندارد ملی کشور و تجارب شرکت فولاد تکنیک در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه سرمایه‌گذاری بخش‌های مختلف چرخه فولاد بر اساس اطلاعات واحدهای تازه تاسیس داخل کشور ارائه شده در طرح جامع فولاد کشور و نیز منابع معتبر خارجی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است، مسلماً محاسبه دقیق بهره‌وری اقتصادی و قیمت تمام شده محصول نیازمند اطلاعات جامع و دقیق برای هر یک از کارخانه‌ها به تفکیک می‌باشد، که با توجه به هدف مدل بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد مبنی بر مکان‌یابی و

تعیین میزان تولید با توجه به محدودیت‌های انرژی و آب، این سطح از اطلاعات هزینه سرمایه گذاری کافی می‌باشد و هزینه‌هایی از قبیل هزینه زیرساخت‌ها، زمین، بیمه، بالاسری و غیره در نظر گرفته نشده است. برای حل مدل در بازه زمانی سناریوی مورد نظر تا سال ۱۴۰۴ شمسی، نیاز به پیش‌بینی قیمت منابع معدنی، محصولات میانی چرخه تولید فولاد و نیز قیمت فولاد در این بازه زمانی می‌باشد. برای این منظور فرض بر استفاده از قیمت‌های بین‌المللی و پیش‌بینی‌های بانک جهانی برای منابع طبیعی بوده است. لازم به ذکر است در این پیش‌بینی فولاد خام در انتهای بازه زمانی ۱۴۰۴ شمسی با قیمت حدود ۵۳۵ دلار بر تن در سطح بین‌المللی عرضه خواهد شد. همچنین قیمت‌های نهاده‌های انرژی مشتمل بر گاز طبیعی، الکتریسیته و زغال سنگ، از طریق قیمت داخلی کنونی و فرض تغییرات متناسب با تغییرات جهانی پیش‌بینی شده در بانک جهانی محاسبه شده است. در انتها، برای اولویت‌دهی زیست محیطی در توسعه صنعت فولاد کشور، از تقسیم بندی شش‌گانه استان‌های کشور ارائه شده در طرح جامع فولاد کشور و اعمال اولویت متناسب با ضریب ۱ تا ۶ برای هر یک از مناطق، استفاده شده است.

۶- نتایج حل مدل بهینه‌سازی

بعد از تعریف فرضیات و سناریو توسعه صنعت فولاد و ورود اطلاعات به نرم‌افزار، در اولین گام نیاز به راستی‌آزمایی و اعتبار سنجی مدل می‌باشد. اگرچه این نرم‌افزار در سیستم‌های مختلف انرژی کشور و صنایع مختلف مورد ارزیابی و اعتبار سنجی قرار گرفته است، اما همچنان برای این منظور اطلاعات توزیع استانی تولید فولاد بر اساس اطلاعات طرح جامع کشور به مدل وارد شده است و نتایج مصارف انرژی و آب حاصل از مدل با نتایج موجود در گزارش طرح جامع مقایسه شده است که این مقایسه نشان از تطابق کامل نتایج مدل با نتایج موجود در گزارش طرح جامع فولاد کشور دارد.

همانطور که گفته شد، مقادیر توزیع استانی توسعه صنعت فولاد بر مبنای طرح جامع فولاد کشور در مدل تحلیل توسعه صنعت فولاد به صورت شبیه‌سازی وارد شده است. نتایج حاصل از حمل و نقل کلیه مواد اولیه و محصولات میانی چرخه فولاد در سال ۱۴۰۴ بر مبنای نتایج طرح جامع فولاد کشور در مقایسه با مقادیر

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

بهینه‌سازی شده توزیع استانی توسعه صنعت فولاد توسط مدل بهینه‌سازی در جداول زیر ارائه شده است:

CO ₂ (میلیون تن)	سوخت (میلیون تن)	هزینه حمل و نقل (میلیون دلار)	
۶/۹۳	۲/۱۸	۱۱۰۵	نتایج مدل بهینه‌سازی
۸/۱۳	۲/۵۵	۱۲۹۳	نتایج طرح جامع فولاد

در این پژوهش، تعیین میزان بهینه سهم هر یک از استان‌های کشور در توسعه صنعت فولاد، بر اساس تولید کل ۵۵ میلیون تن فولاد خام در افق سال ۱۴۰۴ و با هدف کاهش هزینه‌های تولید و دستیابی به صنعتی رقابت‌پذیر در سطح جهانی انجام شده است. نتایج حاصل از بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد نشان دهنده قابلیت کاهش میزان جابجایی مواد، میزان سوخت مصرفی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن در بخش حمل و نقل تا ۱۴/۵ درصد، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری تا ۶/۵ درصد و کاهش هزینه عملیاتی واحدهای جدیدالاحداث تا ۲/۵ درصد در مقایسه با توزیع طرح جامع فولاد کشور می‌باشد.

۷- ضوابط و الزامات توسعه صنعت فولاد کشور

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در توسعه صنعت فولاد می‌تواند نقش مهمی را در آینده انرژی، منابع آب و تأثیرات محیط زیستی کشور بازی کند. این سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی، نیازمند اطلاعات و ارزیابی جامعی از نحوه مصرف انرژی، آب و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی صنعت فولاد، و نگاه دقیق به فناوری‌های جدید تولید فولاد و محدودیت‌های انرژی، آب و محیط زیست در نقاط مختلف کشور، می‌باشد.

در سال‌های اخیر نقشه‌راه بهینه‌سازی مصرف انرژی برای صنعت فولاد کشور ایران نیز تهیه شده است. در سند این نقشه‌راه، سناریو منتخب به صورت "کاهش میزان مصرف انرژی با محوریت فرایند، فناوری، استانداردها و قوانین" می‌باشد. با توجه به پیشرفت فناوری‌های خرد در روش‌های تولید فولاد، برای نیل به هدف رسیدن به سطح رضایت‌بخش و چه بسا پیش‌رو در زمینه شاخص‌های شدت مصرف انرژی و بهره‌وری

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

تولید، می‌بایست الزاماتی را برای واحدهای آتی صنعت آهن و فولاد کشور تدوین نمود. این الزامات به صورت زیر معرفی شده‌اند:

- الزام عمومی:

توسعه صنعت فولاد متناسب با میزان بهینه تعیین شده در استان‌های منتخب و بر مبنای روش توصیه شده با هدف کمینه‌سازی مصرف انرژی، آب و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در سطح کل کشور (فاز دوم پروژه).

- الزام کاربرد فناوری‌های سطح ۱:

کاربرد فناوری‌ها و اقداماتی مطابق با می‌باشد، که از لحاظ توسعه فنی در مرحله تجاری هستند و برای دستیابی به اهداف کوتاه مدت و میان مدت نقشه راه بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور کمک خواهند نمود.

- الزام کاربرد فناوری‌های سطح ۲:

کاربرد فناوری‌ها و اقداماتی مطابق با می‌باشد، که از لحاظ توسعه فنی در مرحله تحقیق و توسعه و بلوغ هستند و برای دستیابی به اهداف بلندمدت نقشه راه بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور کمک خواهند نمود.

هدف از معرفی این الزامات، اطمینان از کاربرد نتایج بهینه‌سازی و تحلیل توسعه صنعت فولاد کشور و نیز کاربرد فناوری‌های روز دنیا در زمینه کاهش مصرف انرژی، آب و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی برای واحدهای جدیدالاحداث این صنعت می‌باشد.

۸- پیشنهاد برای ادامه پروژه

در این پروژه توسعه مدل تحلیل و بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری در آینده صنعت فولاد مد نظر قرار گرفته است. این مدل برای یک سناریوی

کاربرد مدل بهینه‌سازی برای ارزیابی و تحلیل توسعه صنعت فولاد با توجه به محدودیت‌های آب و انرژی در کشور

پایه‌ای با فرضیات مشخص در زمینه تقاضای فولاد، عدم استفاده از منابع آب‌های سطحی، اولویت‌دهی زیست محیطی مناطق و فرضیات هزینه عوامل تولید حل شده است. کاربرد این ابزار در راستای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری برای نیل به اهداف کلان کشوری، نیاز به جهت‌دهی مناسب این فرضیات و اطلاعات جامعی بر مبنای تجارب سازمان‌های کلان فولاد کشور از جمله ایمیدرو و شرکت ملی فولاد دارد. بنابراین موارد زیر برای ادامه پروژه در غالب زیرپروژه جدید و همکاری مشترک با سازمان ایمیدرو و کاربرد هرچه بیشتر مدل بهینه‌سازی توسعه صنعت فولاد کشور پیشنهاد می‌شود:

- توسعه و به روزرسانی مدل‌های تقاضا
- ساده سازی مدل با توجه به اهداف و اولویت‌های ایمیدرو
- حل سناریو پایه مشترک بر مبنای واقعیات صنعتی کشور
- ارزیابی ظرفیت موثر واحدهای تولیدی
- حل سناریو تعهد به کاهش آلاینده‌گی کشور
- بررسی تاثیر ورود و مکان یابی بهینه برای فناوری های نسل ۳ تولید فولاد