

روشهای کاهش انتشار گروه غیر انرژی
بخش فرایندهای صنعتی

گزارش چهارم

مهرماه ۱۳۸۷

گزارش نهایی

سعید میناپور

شماره گذاری در این گزارش بر اساس شماره بندی پیش بینی شده در گزارش ملی می باشد.

۳-۳-۱- مقدمه

منظور از بخش فرآیندهای صنعتی عبارت است از فرایندهایی که گاز گلخانه‌ای به عنوان محصول جانبی آن واحد و در اثر ملزومات فرایندی واحد تولید می‌شود. هدف گروه کاری فرایندهای صنعتی بررسی دقیق انتشار از این بخش در محدوده سالهای ۲۰۲۰-۲۰۰۰ در غالب تعریف سه سناریوی مختلف از این بخش می‌باشد.

۳-۳-۱-۱- چهارچوب مطالعه

طیف وسیعی از فرآیندهای صنعتی موجود در کشور باعث تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای - با نسبت‌های متفاوت- می‌شوند. این صنایع عبارتند از

الف: صنایع معدنی (تولید سیمان، آهک، دولومیت، خاکستر کربنات کلسیم، آسفالت، شیشه و ...)

ب- صنایع شیمیایی (تولید آمونیا، اسید نیتریک، کربید، محصولات پتروشیمی و ...)

ج- صنایع فلز (تولید آهن و فولاد، آلومینیوم، آلیاژهای آهن و ...)

د- سایر فرایندهای صنعتی (تولید چوب و کاغذ، محصولات غذایی و نوشیدنی و ...)

نتایج کارگروه اول انتشار از بخش فرآیندهای صنعتی (مربوط به سال ۲۰۰۰) نشان می‌دهد که ۹۰ درصد انتشار از بخش صنایع معدنی، ۹۷ درصد انتشار از بخش صنایع فلزی و تقریباً تمام انتشار از بخش صنایع شیمیایی به ترتیب مربوط به سه صنعت بزرگ تولید سیمان، تولید آهن و فولاد و تولید اسید نیتریک می‌باشد. بدین ترتیب این صنایع در اولویت کار برای بررسی و ارائه راهکار کاهش انتشار در گزارش ملی کاهش انتشار انتخاب گردید. همچنین در این مطالعه به صنعت آلومینیوم نیز به خاطر طرحهای بزرگ تولید در آینده، اقتصادی بودن روش کاهش انتشار و نیز در دسترس بودن اطلاعات آن، در اولویت دوم پرداخته شد.

مهمترین، وقت گیرترین و سخت‌ترین بخش انجام کار، جمع‌آوری اطلاعات و آمار قابل اطمینان از صنایع کشور بود. در این مرحله با مراجعه به مراجع ذیصلاح کشور، سعی گردید تا آمار تولید صنایع مختلف در محدوده سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ از منابع مختلف جمع‌آوری و قابل اطمینان‌ترین آنها انتخاب گردد.

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، سازمان مدیریت، مرکز آمار ایران و وزارت صنایع از جمله این مراجع می‌باشند. اطلاعات سال ۲۰۰۰ از گزارشات مورد تأیید گروه کاری محاسبات انتشار و اطلاعات سال ۱۹۹۴ نیز از کتاب Initial National Communication to UNFCCC استخراج شد.

سپس با توجه به آمار به دست آمده محاسبات انتشار بخش فرآیندهای صنعتی در محدوده سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ انجام گردید. در صورت موجود بودن فاکتور انتشار محلی، محاسبات بر مبنای آن انجام گرفت و در غیر این صورت، فاکتورهای معتبر ارائه شده از طرف سازمان ملل ملاک محاسبه قرار گرفت. بدیهی است میزان انتشار در محدوده سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ برای هر سه متودولوژی توسعه یافته یکسان است.

پیش بینی میزان انتشار از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ بر اساس سه سناریو- که در بخش بعد تعریف می‌شود- برآورد شده و نمودارهای آنها رسم و مقایسه گردید. نحوه انجام محاسبات و برآورد انتشار در قسمت تعریف سناریوها آورده شده است. سپس، اولویت بندی سیاستهای بررسی شده ی کاهش انتشار بر اساس هزینه های کاهش، سازگاری با برنامه های توسعه و توسعه پایدار، امکان پذیری فنی و اقتصادی و امکان جذب سرمایه تحت کنوانسیون های بین المللی و توانایی و ظرفیتهای سازمانی کشور انجام گرفته و اینک ضمن آوردن نمودارهای حاصله، نتیجه کار به صورت یک برنامه ملی ارایه می‌گردد.

۳-۱-۲- سناریوهای پیش بینی میزان انتشار

• سناریوی پایه (BAU^۱)

هدف سناریوی پایه، محاسبه میزان انتشار در محدوده سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ با استفاده از مدل‌های موجود و با فرض نرخ رشدی معادل با نرخ رشد موجود در فاصله ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ می‌باشد. به عبارتی در این سناریو، بررسی و تحلیل و محاسبه میزان انتشار تا سال ۲۰۲۰ در صورت تداوم ساختار، برنامه‌ها و سیاست‌های کنونی در آینده (Current Acc Out) انجام می‌گیرد.

• سناریوی انتشار بر اساس برنامه‌های دولت (ODP^۲)

نشان دادن تأثیر سیاست‌های کشور در بخش صنعت بر روی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش فرآیندهای صنعتی، هدف توسعه این سناریو است. بر این اساس برنامه‌های مدون دولت مانند برنامه توسعه چهارم در کنار بررسی سند چشم‌انداز افق ۱۴۰۴ بررسی شده و تأثیرات احتمالی آن در محاسبات انتشار در نظر گرفته شده است. سیاست‌های توسعه کشور به صورت بالقوه می‌تواند اثر افزایشی یا کاهشی داشته باشد. به عنوان مثال، وضع قانونی برای کاهش میزان مجاز انتشار NOx از صنایع، منجر به حرکت صنایع به سمت شکستن NOx می‌شود و انتشار NO_x افزایش می‌یابد. بنابراین پیش‌بینی این نکته که نمودار ODP بالای BAU است یا زیر آن، تا هنگام بررسی‌های بیشتر مقدور نیست.

• سناریوی کاهش انتشار

هدف این سناریو، اعمال سیاست‌های کاهش انتشار در بخش فرآیندهای صنعتی و محاسبه مجدد میزان انتشار می‌باشد. به طوریکه بتوان در مقایسه با دو سناریوی قبلی، میزان اثر این سیاست‌ها را برآورد کرد. به این منظور در این مرحله ابتدا شناخت کاملی از روش‌های موجود کاهش انتشار به دست آمد. به این خاطر ضمن بازنگری راهکارهای گزارش ملی اول، کلیه پروژه‌ها و متودولوژی‌های ثبت شده موجود در سایت UNFCCC و اثر بخشی آنها بررسی گردیده و به تفکیک هر بخش محاسبات انتشار انجام شده و نمودارهای مربوط به آن رسم گردید.

همچنین به منظور تسهیل در اولویت‌بندی طرح‌ها برای تهیه برنامه ملی کاهش انتشار، سیاست‌های کاهش انتشار از نظر اقتصادی بررسی شده و شاخص هزینه کاهش انتشار هر کدام (شاخص CSC) مشخص شد. برای طرح‌های اصلی نیز پروفایل کاهش انتشار تهیه گردید.

$$\text{Cast Of Saved Carbon} = \text{CSC} \left[\frac{\$}{\text{tc}} \right] = \frac{\Delta \text{NPV}_i [\$]}{\Delta \text{NPE}_j [\text{tc}]}$$

NPV= (Net Present value): کل هزینه

NPE: میزان کل کاهش انتشار

مشروح بخش‌های فوق در گزارشات اول تا سوم این گروه کاری ارائه گردید.

^۱- Business As Usual

^۲- Official Development Plan

۳-۳-۲- توسعه سناریوهای انتشار برای بخش فرایندهای صنعتی

۳-۳-۱- توسعه سناریوی پایه (BAU)

• بررسی صنعت سیمان:

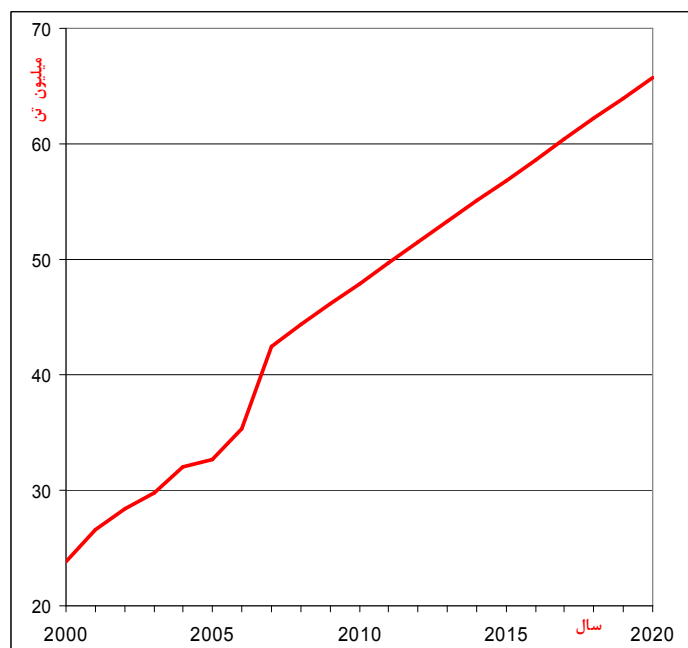
سیمان در میان فرآورده های صنعتی بیشترین میزان تولید را دارد و سابقه تولید آن در ایران ۷۵ سال می باشد. اهمیت این فرآورده به حدی است که برنامه چهارم توسعه توجه زیادی را به آن نشان داده است. پیش بینی افزایش ظرفیت تولید کارخانجات سیمان از ۳۲ میلیون تن در انتهای برنامه سوم به ۷۳ میلیون تن در انتهای برنامه چهارم موید همین مطلب است. برای توسعه این سناریو، میزان دقیق تولید سیمان کشور تا کنون (منظور انتهای سال ۸۶ می باشد) مورد نیاز است. جداول ۱ میزان تولید سیمان کشور را در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ (مجموع تولید کارخانجات سیمان کشور که به تفصیل در گزارش دوم آورده شده است) نشان می دهد.

جدول ۱- وضعیت سیمان طی پنج ساله سوم توسعه و سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

صادرات	تحویل	تولید		سال
		سیمان	کلینکر	
۱/۵۰۲	۲۳/۹	۲۳/۸۸	۲۳/۹۰	۱۳۷۹
۱/۲۰۳	۲۶/۵۶	۲۶/۶	۲۵/۹۸	۱۳۸۰
۰/۸۲۷	۲۸/۵۰	۲۸/۴۵	۲۶/۹۰	۱۳۸۱
۰/۵۷۶	۳۰/۳۹	۲۹/۷۸	۲۸/۶۴	۱۳۸۲
۱/۸۸	۳۲/۱۲	۳۲	۳۰/۶۶	۱۳۸۳
۱/۲	۲۸/۲۹	۲۸/۳	۲۷/۲۲	متوسط
۱/۹۲۰	۳۲/۵۵۸	۳۲/۶۵۲	۲۹/۸۰	۱۳۸۴
۰/۵	۳۵/۲۶	۳۵/۳۰	۳۲/۰۶	۱۳۸۵

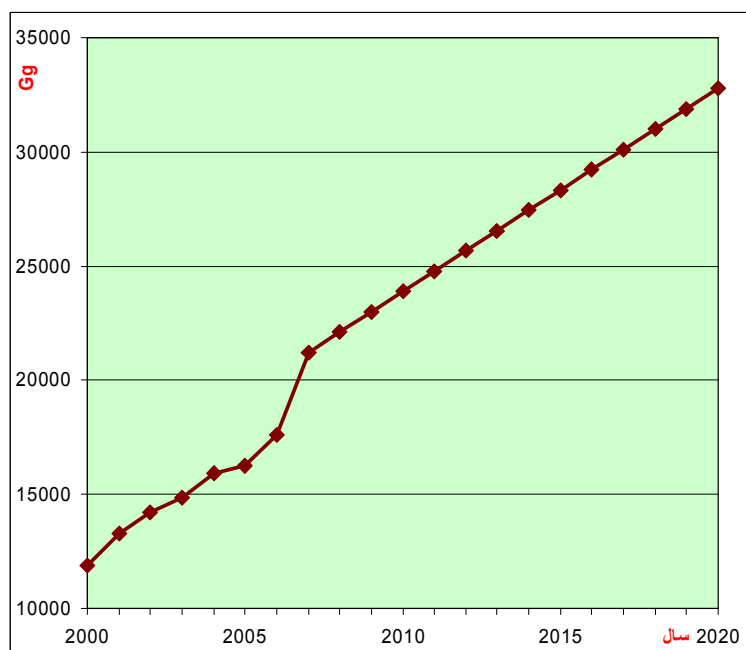
تولید سیمان در سال ۸۶ نیز کمی بیش از ۴۲ میلیون تن بوده است.^۳ نوع نگاه ما در توسعه سناریوی پایه بر مبنای پیش بینی تولید در اثر ادامه روند تولیدات گذشته است. با تحلیل آمار تولید ملاحظه می گردد که تا سال ۸۶ افزایش تولید دارای نرخ خطی و یکسان است و در سال ۸۶ جهش زیادی در تولید سیمان شاهد بوده ایم. بنابراین با توجه به تعریف سناریوی پایه برای پیش بینی تولید تا سال ۱۴۰۰، روند خطی موجود در جدول ۱ را برای بعد از سال ۸۶ ادامه داده و شکل ۱ را بدست می آوریم.

^۳ محمود حجتی، رییس اتحادیه صادرکنندگان سیمان، به نقل از روزنامه سرمایه ۸۷/۱/۲۸



شکل ۱- پیش بینی تولید سیمان تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی پایه

شکل ۲ نیز تولید گاز گلخانه ای CO₂ را بر اساس سناریوی پایه نشان میدهد. فاکتور انتشار بر اساس مقدار ذکر شده در مدارک IPCC و نیز مقدار استفاده شده در گزارش موجودی انتشار (Inventory)، ۰/۴۹۸۵ ton CO₂/ton produced cement در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- پیش بینی انتشار CO₂ از بخش سیمان تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی پایه (Gg)

همانطور که این شکلها نشان میدهد، میزان تولید سیمان در صورت ادامه روند موجود کشور در سال ۲۰۲۰ به ۶۵/۷۵ میلیون تن می رسد که این مقدار تولید سیمان، باعث انتشار ۳۲۷۷۶ گیگاگرم گاز گلخانه ای CO₂ می گردد.

• **بررسی صنعت فولاد:**

فولاد ترکیب بسیار متنوعی از آهن، کربن و عناصر آلیاژی است به طوری که می‌توان با تغییر مقدار و نوع این عناصر، ترکیبات مختلف فولادی با خواص بسیار جالب و متفاوت را تولید نمود. صنعت فولاد یکی از بخشهای مهم در اقتصاد جهان محسوب می‌شود و بدلیل دارا بودن کثرت حلقه های ارتباط پیشین و پسین با دیگر بخشهای اقتصادی به عنوان صنعتی پیشرو و کلیدی، از اهمیت خاصی برخوردار است بطوری که میزان تولید و مصرف آن نشان دهنده پیشرفت کشورها و تحرک دیگر بخشهای اقتصادی است. در میان ۲۰ کشور بزرگ تولید کننده فولاد، فقط کشورهای آمریکا، روسیه، مکزیک، آفریقای جنوبی و ایران دارای عناصر اصلی تولید فولاد یعنی سنگ آهن، انرژی و آب هستند. بنابراین تولید فولاد در ایران می‌تواند از مزیت نسبی بالایی برخوردار باشد.

تولید فولاد خام در ایران در ۶ واحد تولیدی به شرح زیر صورت می‌گیرد: ذوب آهن اصفهان، فولاد مبارکه، فولاد خوزستان، گروه ملی صنعتی، فولاد آلیاژی و فولاد خراسان. تولید فولاد خام طی سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ روندی صعودی داشته بطوریکه از میزان ۶/۹ میلیون تن در سال ۱۳۸۰ به میزان حدود ۹/۸ میلیون تن در سال ۱۳۸۶ رسیده است و بطور متوسط سالانه از رشدی در حدود ۸/۶ درصد برخوردار بوده است. جدول ۲ میزان تولید فولاد خام در سالهای ۷۹ تا ۸۶ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میزان تولید فولاد خام در سالهای ۷۹ تا ۱۳۸۶

سال	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶
میلیون تن	۶,۶۱۴,۰۶۸	۶,۹۲۷,۰۳۰	۷,۴۷۷,۰۸۶	۷,۹۵۹,۱۱۰	۸,۹۸۵,۴۱۵	۹,۵۷۴,۲۹۱	۹,۹۲۸,۰۸۱	۹,۸۰۰,۰۷۷

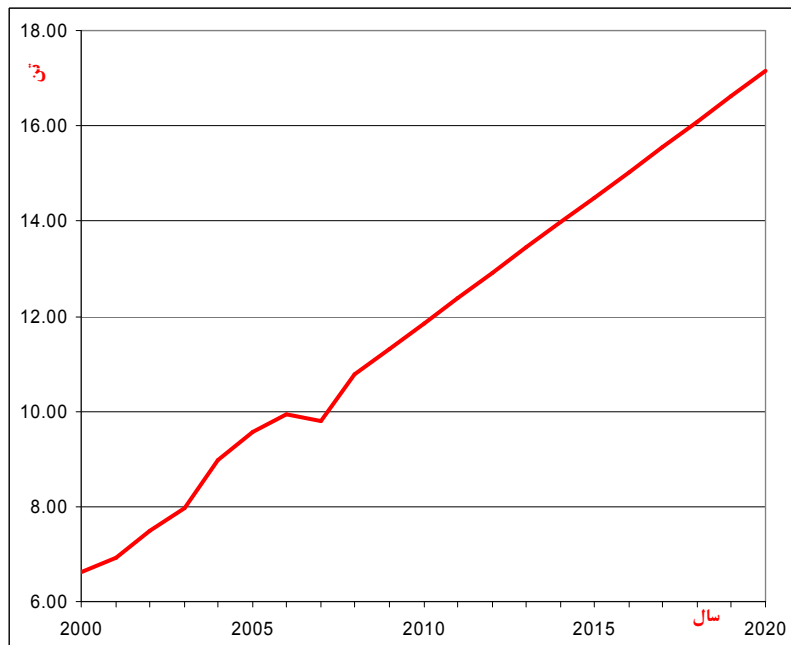
در این سالها حدود ۳۰ درصد تولید فولاد با استفاده از کوره بلند (احیای غیر مستقیم) و تبدیل کننده اکسیژنی و ۷۰ درصد با استفاده از روش احیای مستقیم و کوره قوس الکتریکی انجام گرفته است و به طور متوسط ۲۰ درصد شارژ کوره های قوس الکتریکی را آهن قراضه تشکیل می‌دهد. باید توجه داشت که ضرایب انتشار روشهای مختلف تولید آهن و فولاد با یکدیگر متفاوت بوده و باید آنها را در محاسبات مد نظر قرار داد.

به منظور توسعه سناریوی پایه، ابتدا باید به تولید سال ۸۶ دقت کنیم. همانطور که ملاحظه می‌گردد، تولید سال ۸۶ نسبت به سال ۸۵ کاهش یافته است. این کاهش تولید به دلایل چندی از جمله محدودیت در مصرف حاملهای انرژی در سال ۸۶ می‌باشد. بنابراین به خاطر تعریفی که برای سناریوی پایه آورده ایم (تداوم روند تولید موجود) و با صرفنظر از تولید سال ۸۶، به یک روند خطی افزایش تولید با $R^2 = 0.98$ می‌رسیم. با فرض ادامه تولید با همین روند افزایشی، شکل ۳ نمودار تولید فولاد کشور را تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی پایه تعریف شده نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌گردد که بر طبق این سناریو، تولید فولاد در انتهای برنامه سوم توسعه، انتهای برنامه چهارم توسعه و در انتهای سال ۱۳۹۹ به ترتیب به ۹، ۱۱/۳ و ۱۷/۹ میلیون تن خواهد رسید. حال با توجه به جدول ۱-۴ فصل چهارم جلد سوم راهنمای سال ۲۰۰۶ و IPCC ۱۹۹۶، مقادیر جدول ۳ را برای فاکتور انتشار از بخش فولاد انتخاب می‌کنیم.

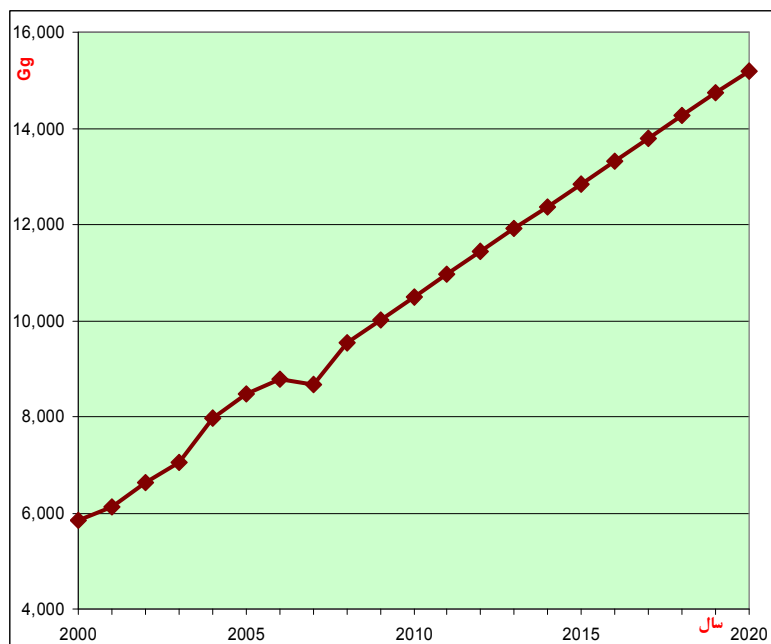
جدول ۳- مقادیر فاکتور انتشار انتخابی برای فرایندهای مختلف تولید فولاد

مقدار	واحد	روش
۱/۶	Tone CO ₂ /tone iron or steel product	برای تولید به روش کوره بلند و دمش اکسیژن
۰/۷۰۵	Tone CO ₂ /tone DRI+steel product	برای تولید به روش احیای مستقیم و کوره قوس الکتریکی
۰/۰۸	Tone CO ₂ /tone steel product	برای ذوب آهن قراضه و تولید فولاد



شکل ۳- پیش بینی تولید فولاد تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی پایه

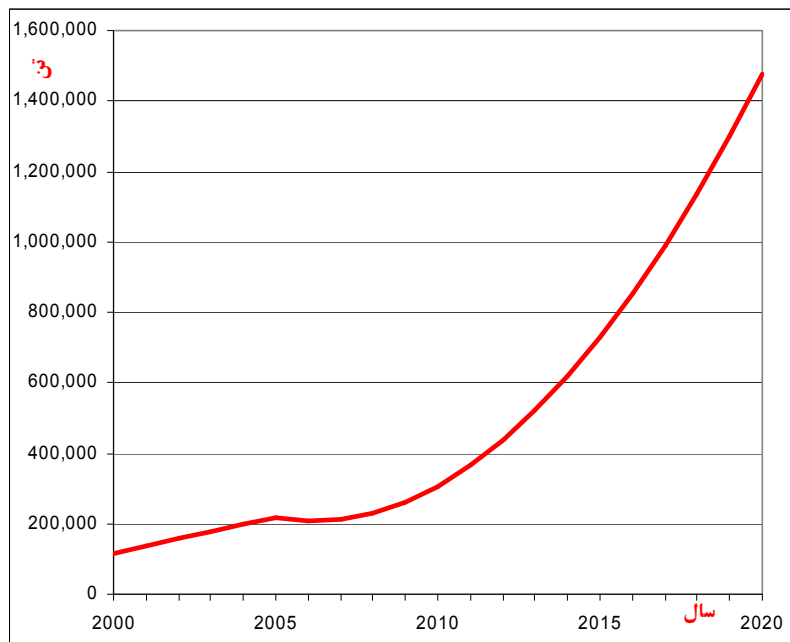
با این فاکتورهای انتشار و مقادیر بدست آمده تولید فولاد کشور با سناریوی پایه، میزان انتشار گازهای گلخانه ای از بخش فولاد محاسبه شده و در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- پیش بینی انتشار CO2 از بخش فولاد تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی پایه (Gg)

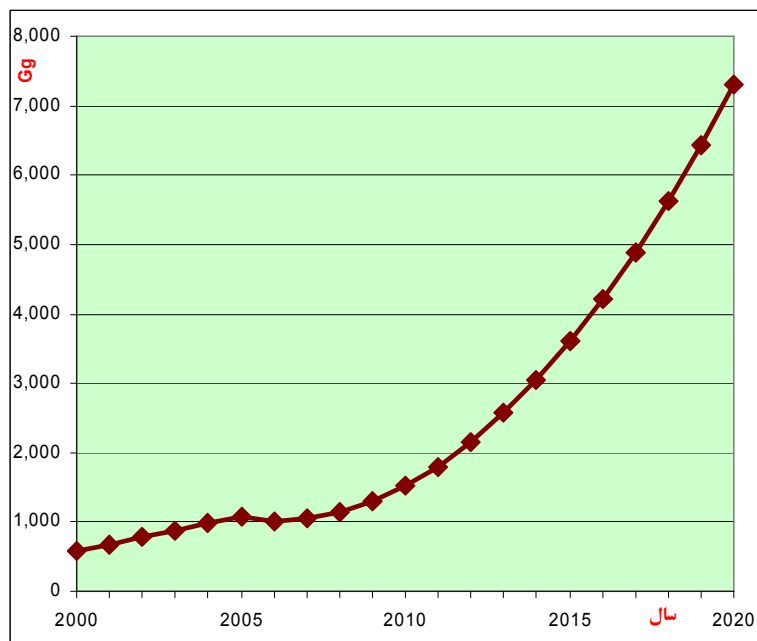
• **بررسی صنعت آلومینیوم:**

اگر چه انتشار از این بخش، بسیار محدود و فقط در حدود یک درصد انتشار بخش صنایع فلزی را تشکیل می‌دهد، اما به خاطر برنامه های مفصل تولید آلومینیوم در برنامه توسعه چهارم و سند چشم انداز ۲۰ ساله، به بررسی این صنعت نیز پرداخته شد. آغاز فعالیت در این صنعت در ایران به سال ۱۳۴۶ بازمی گردد. در آن زمان کنگ مجتمع آلومینیوم اراک به زمین نشست و ۵ سال بعد یعنی در سال ۱۳۵۱ این مجتمع موفق به تولید ۱۰ هزار تن آلومینیوم شد. ساخت دومین کارخانه تولید آلومینیوم هم در سال ۱۳۶۹ در بندر عباس آغاز شد و در سال ۱۳۷۶ به تولید رسید. در حال حاضر همین ۲ واحد تولید آلومینیوم اولیه در کشور فعالیت دارند که ایرالکو و آلومینیوم المهدی هستند. ظرفیت تولید این دو واحد به ترتیب ۱۲۰ و ۱۱۰ هزار تن بوده و در مجموع ۲۳۰ هزار تن در کل کشور است. مجموع تولید آلومینیوم اولیه در کشور در سال ۸۴، حدود ۲۱۸ هزار تن بوده است که در سال ۸۵ به حدود ۲۰۵ هزار تن تغییر کرده است. یعنی میزان تولید در سال ۸۵ به نسبت سال ۸۴ کاهش داشته است. میزان تولید در سال ۸۶ به ۲۱۱ هزار تن رسید و پیش بینی تولید در سال ۸۷ حدود ۲۳۰ هزار تن می باشد. با توجه به روند غیر یکنواخت تولید آلومینیوم در سالهای گذشته، نمی توان پیش بینی مناسبی بر اساس تعریف سناریوی پایه داشت. بهترین گزینه پیش بینی ادامه روند افزایشی طی سه سال گذشته است که با توجه به عزم کشور در راستای افزایش تولید منطقی به نظر می رسد. بر این اساس شکل ۵ نمودار پیش بینی تولید آلومینیوم را بر اساس سناریوی پایه تا سال ۲۰۲۰ نشان می دهد.



شکل ۵- پیش بینی تولید آلومینیوم تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی پایه

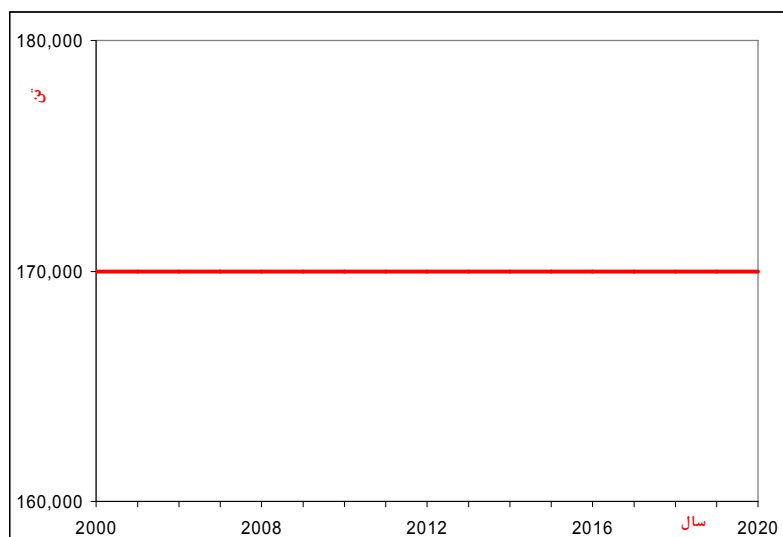
با در نظر گرفتن فاکتور انتشاری معادل ۱/۵ تن CO₂ و ۰/۵۳ کیلوگرم PCF به ازای هر تن آلومینیوم تولیدی و رسم میزان انتشار معادل CO₂ از بخش آلومینیوم بر اساس دو سناریو، شکل ۶ حاصل می شود. عمده PCF تولیدی از بخش آلومینیوم گاز CF₄ است که GWP آن ۶۸۰۰ در نظر گرفته شده است.



شکل ۶- پیش بینی انتشار معادل CO₂ از بخش فولاد تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی پایه (Gg)

• بررسی صنعت اسید نیتریک:

ظرفیت تولید سالیانه اسید نیتریک کشور ۱۷۰ هزار تن است. پتروشیمی شیراز تنها تولید کننده ی کشور است که آمار تولید آن منتشر می گردد. با احتساب فاکتور انتشار ۷/۵ کیلوگرم N₂O به ازای هر تن اسید نیتریک تولیدی و در نظر گرفتن عدد ۳۱۰ به عنوان GWP گاز N₂O، شکل ۷ به دست می آید که نشانگر تولید اسید نیتریک می باشد. میزان انتشار از این بخش نیز عددی ثابت و برابر ۳۹۵ گیگاگرم به دست می آید.



شکل ۷- پیش بینی تولید اسید نیتریک تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی پایه

۳-۳-۲-۲- توسعه سناریوی انتشار بر اساس برنامه‌های دولت (ODP)

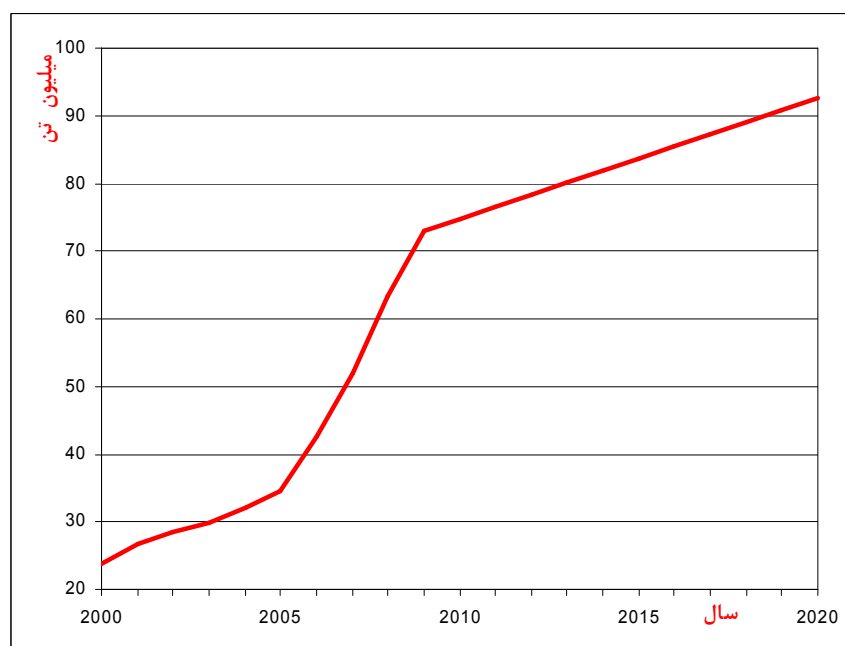
• بخش سیمان

دولت در برنامه چهارم توسعه برنامه وسیعی برای افزایش ظرفیت تولید کارخانجات سیمان کشور در نظر گرفته است. در صورت اجرای این طرحها مقدار تولید سیمان در انتهای سال ۸۸ بالغ بر ۷۲ میلیون تن خواهد شد. این افزایش ۲۲۵ درصدی نسبت به انتهای برنامه سوم، در ظاهر بسیار بلندپروازانه است که در صورت تحقق، نیاز داخل کشور را برطرف کرده و خروج سیمان از سبد حمایتی دولت را تسهیل می نماید. جدول ۴ برنامه افزایش ظرفیت کارخانجات سیمان طی برنامه چهارم توسعه را نشان می‌دهد.^۴

جدول ۴- پیش بینی ظرفیت اسمی کارخانه های سیمان طی برنامه چهارم

ظرفیت اسمی میلیون تن	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸
	۳۲/۵	۴۲/۵	۵۲	۶۳/۳	۷۲/۹

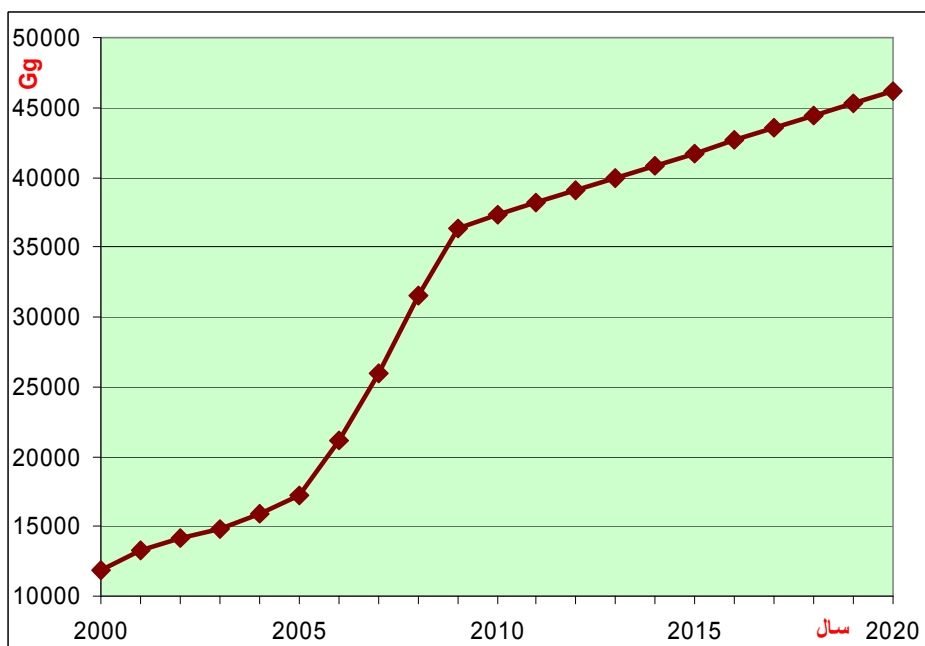
برای بعد از برنامه چهارم برنامه مدونی به صورت کمی در دسترس نیست اما طبق اظهار نظر مسوولین بر اساس سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور، تولیدی بالغ بر ۹۰ میلیون تن برای سال ۱۴۰۰ مد نظر قرار دارد. به این ترتیب برای رسم نمودار تولید سیمان بر اساس سناریوی برنامه های دولت، فرض می کنیم که افزایش ظرفیت تولید بعد از سال ۸۸ به صورت خطی و با شیبی برابر با افزایش تولید در برنامه سوم توسعه (فاصله سالهای ۷۹ تا ۸۳ که منجر به تولید ۹۲ تن در سال ۱۴۰۰ خواهد شد) می باشد. شکل ۸ نمودار تولید سیمان را بر اساس سناریوی فوق نشان می دهد.



شکل ۸- پیش بینی تولید سیمان تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی ODP

^۴-گزارش آخرین وضعیت صنعت سیمان کشور، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور معادن، دفتر صنایع معدنی، تیر ماه ۱۳۸۶، صفحه ۹

همانطور که ملاحظه میگردد، بر مبنای این سناریو، تولید سیمان بعد از رسیدن به میزان ۷۲/۹ میلیون تن در انتهای برنامه چهارم توسعه (جدول ۴) با شیئی ثابت افزایش می یابد تا نهایتاً در سال ۱۳۹۹ به مقدار ۹۲/۶ میلیون تن می رسد. قطعاً این نمودار با توجه به درصد موفقیت در رسیدن به اهداف برنامه چهارم و نیز نحوه تنظیم برنامه پنجم توسعه تغییراتی خواهد داشت. شکل ۹ نیز تولید گاز گلخانه ای CO₂ را بر اساس سناریوی ODP (برنامه های دولت) نشان میدهد. در این شکل نیز فاکتور انتشار بر اساس مقدار ذکر شده در مدارک IPCC و نیز مقدار استفاده شده در گزارش موجودی انتشار (Inventory)، ton CO₂/ton produced cement ۰/۴۹۸۵ در نظر گرفته شده است.



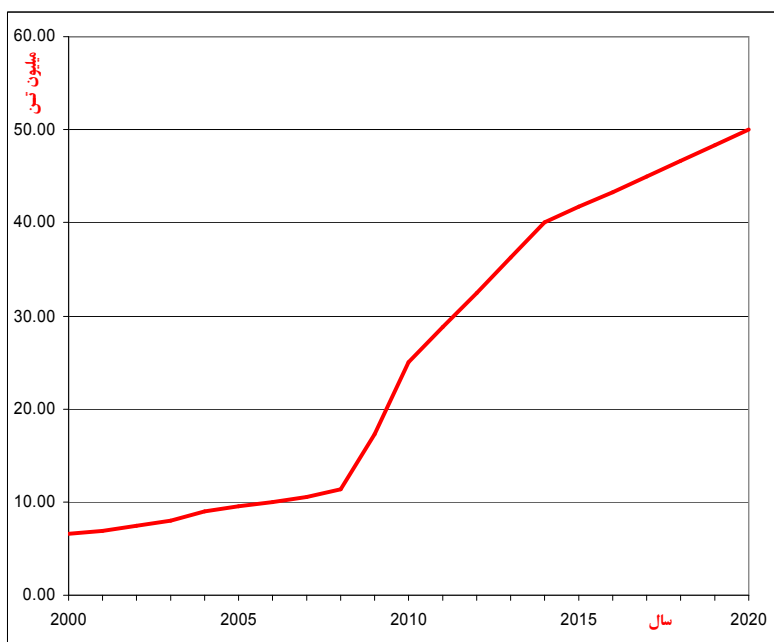
شکل ۹- پیش بینی انتشار CO₂ از بخش سیمان تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی ODP (برنامه های دولت) (Gg)

• بخش فولاد

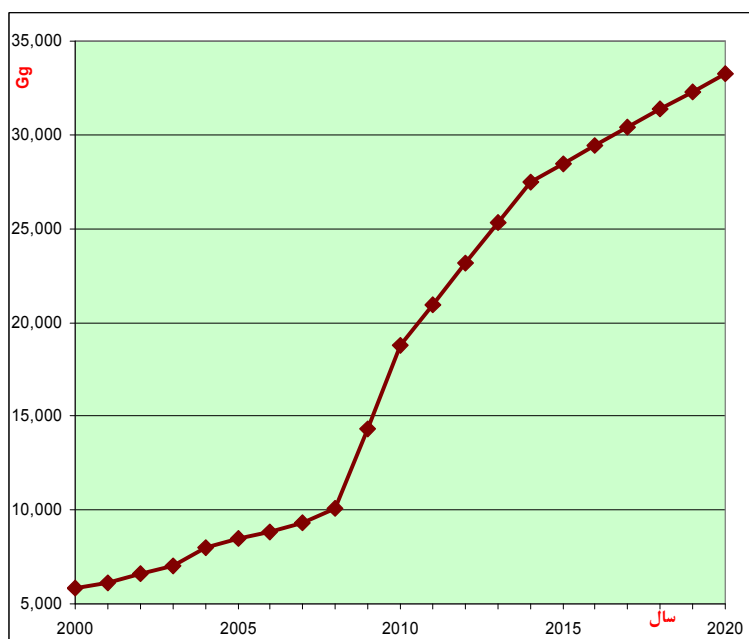
آخرین مصوبه شورای اقتصاد مورخ ۸۵/۴/۳ با هدف تولید ۹/۹ میلیون تن فولاد با بکارگیری دوماحور توسعه و تکمیل خطوط موجود و طرح های استانی به تصویب رسید. روش تولید فولاد در این برنامه، استفاده از کوره های قوس الکتریکی و محصول نهایی تمامی واحدها شمش بیلت ویابلوم می باشد. نظر کارشناسان با توجه به چشم انداز ۲۰ ساله، پیش بینی تولید ۴۳/۲ میلیون تن در انتهای برنامه پنجم (۱۳۹۳) و ۵۰ میلیون تن در انتهای چشم انداز را متصور است. با توجه به این اطلاعات نمودار پیش بینی تولید فولاد بر اساس آخرین برنامه های دولت در شکل ۱۰ آورده شده است.

لازم به توضیح است که توسعه فولاد در کشور در آینده با توجه به محدودیتهای زیست محیطی و مواد اولیه، صرفاً با استفاده از روش احیای مستقیم صورت خواهد گرفت و تولید فولاد به روش کوره بلند و کنورتور در حد ۴/۲ میلیون تن (ذوب آهن اصفهان ۳/۱۵، ذوب آهن زرد کرمان ۰/۸ و میبد ۰/۲۵ میلیون تن) متوقف خواهد شد. از سوی دیگر با توجه به حجم کم تولید قراضه در کشور و افزایش قیمت جهانی قراضه، عمده مواد اولیه مورد نیاز برای فولاد سازی از آهن اسفنجی تأمین می شود.^۵ با توجه به این اطلاعات و ثابت نگاه داشتن تولید با روش کوره بلند در ۴/۲ میلیون تن و محاسبه انتشار، شکل ۱۱ بدست می آید.

^۵ - مقاله جایگاه صنعت فولاد در ایران و جهان، ۸۵/۸/۲۰، <http://mine.mim.gov.ir>



شکل ۱۰- پیش بینی تولید فولاد تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی برنامه های دولت



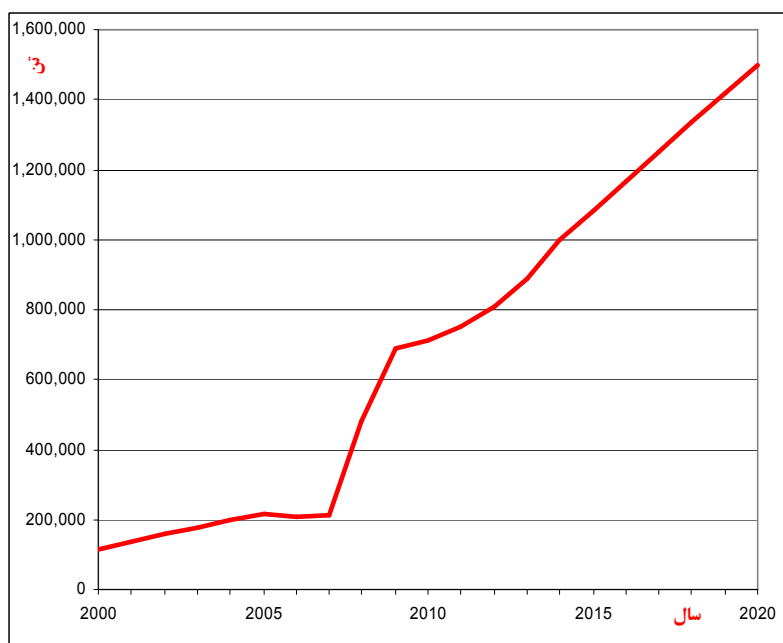
شکل ۱۱- پیش بینی انتشار CO2 از بخش فولاد تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی برنامه دولت (Gg)

ملاحظه می شود که با توجه به این سناریو میزان انتشار در سالهای انتهایی برنامه سوم توسعه، برنامه چهارم توسعه، برنامه پنجم توسعه و سال ۱۳۹۹ به ترتیب مقادیر ۸، ۱۴/۳، ۲۷/۵ و ۳۳/۳ میلیون تن می باشد.

• بخش آلومینیوم

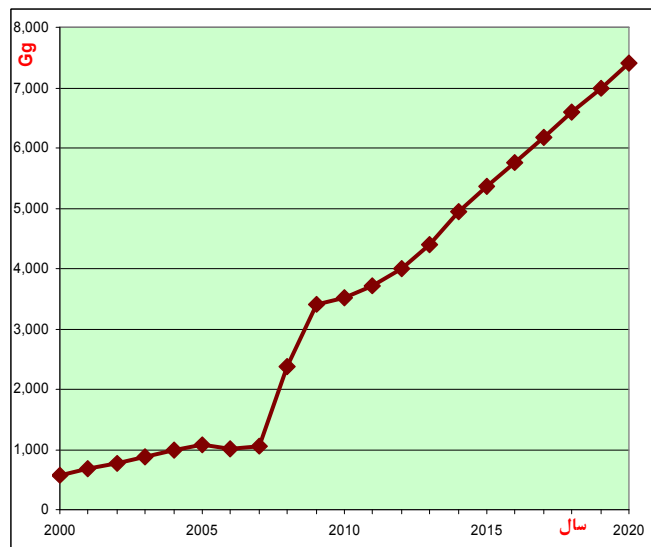
بر اساس سند راهبرد توسعه صنعتی و نیز طرح جامع آلومینیوم کشور، برای دستیابی به موقعیت و جایگاه نسبتاً مناسب در منطقه، برای افزایش ظرفیت آلومینیوم اولیه هدف گذاری کمی شده است. مجموع هدف گذاری در انتهای برنامه چهارم (سال ۸۸)، ظرفیت یک میلیون تن است. از این مقدار ۶۹۰ هزار تن با عاملیت یا مشارکت ایمیدرو و ۳۱۰ هزار تن توسط بخش خصوصی محقق خواهد شد. لازم به ذکر است که ۶۹۰ هزار تن بدون احتساب خط قدیم (فعلی) ایرالکو به ظرفیت ۱۲۰ هزار تن در نظر گرفته شده که در واقع فقط شامل خط ۱۱۰ هزار تنی المهدی است یعنی ایمیدو می بایست به تنهایی با مشارکت بخش خصوصی، ۵۸۰ هزار تن ظرفیت جدید ایجاد کند. با توجه به مشکلات بخش خصوصی، پیش بینی اتمام طرح ۳۱۰ هزار تنی تا پایان سال ۱۳۸۸ مشکل به نظر می رسد. لذا در توسعه سناریوی برنامه های دولت، افزایش ظرفیت ۳۱۰ هزار تنی بخش خصوصی، به تدریج و طی ۵ (از بعد از سال ۸۸) سال در نظر گرفته شد.

پیش بینی تولید آلومینیوم در انتهای چشم انداز ۲۰ ساله نیز حدود ۱/۵ میلیون تن است^۶. ماحصل این بحث به توسعه سناریوی برنامه های دولت منجر می شود که در شکل ۱۲ در نشان داده شده است. بر این اساس میزان انتشار نیز محاسبه شده و در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- پیش بینی تولید آلومینیوم تا سال ۲۰۲۰ بر اساس توسعه سناریوی برنامه های دولت

^۶- به نقل از احمد علی هراتی نیک، مدیر عامل ایمیدرو، چهارشنبه ۸۶/۶/۲۸، مراسم آغاز عملیات اجرایی کارخانه تولید شمش آلومینیوم جاجرم



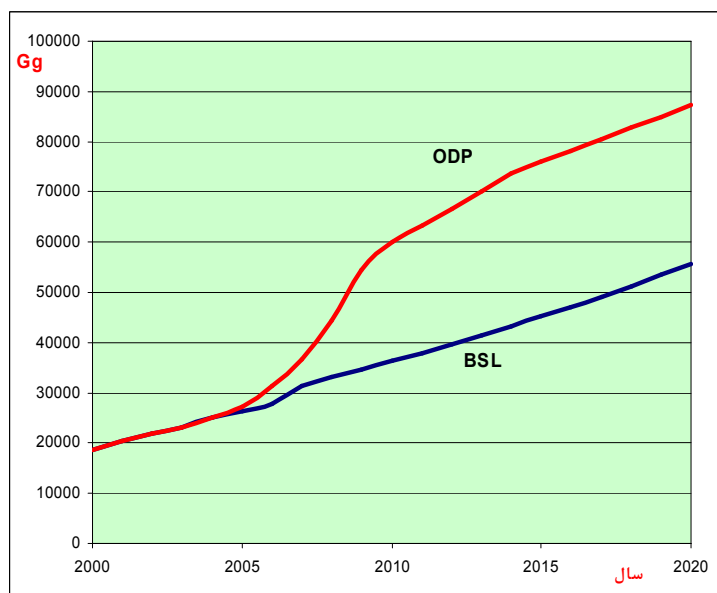
شکل ۱۳- پیش بینی انتشار CO₂ از بخش آلومینیوم تا سال ۲۰۲۰ بر اساس سناریوی برنامه دولت (Gg)

• بخش اسید نیتریک

در این بخش، سناریوی پایه و سناریوی ODP تفاوتی چه از منظر میزان تولید و چه از نظر میزان انتشار ندارند. لذا برای این قسمت نیز همان تولید ۱۷۰ هزار تن در سال و تولید سالانه ۳۹۵ گیگاگرم معادل CO₂ منظور می گردد.

۳-۳-۲-۳- کل انتشار از بخش فرایندهای صنعتی

با جمع مجموع انتشار از بخشهای مختلف اشاره شده، می توان میزان کل انتشار از دو سناریو را برای بخش فرایندهای صنعتی به دست آورد. این مقدار در شکل ۱۴ آورده شده است.



شکل ۱۴- پیش بینی کل انتشار CO₂ از بخش فرایندهای صنعتی (Gg)

۳-۳-۳- توسعه سناریوی کاهش انتشار ۳-۳-۳-۱- کاهش انتشار در هر زیربخش

• بخش سیمان

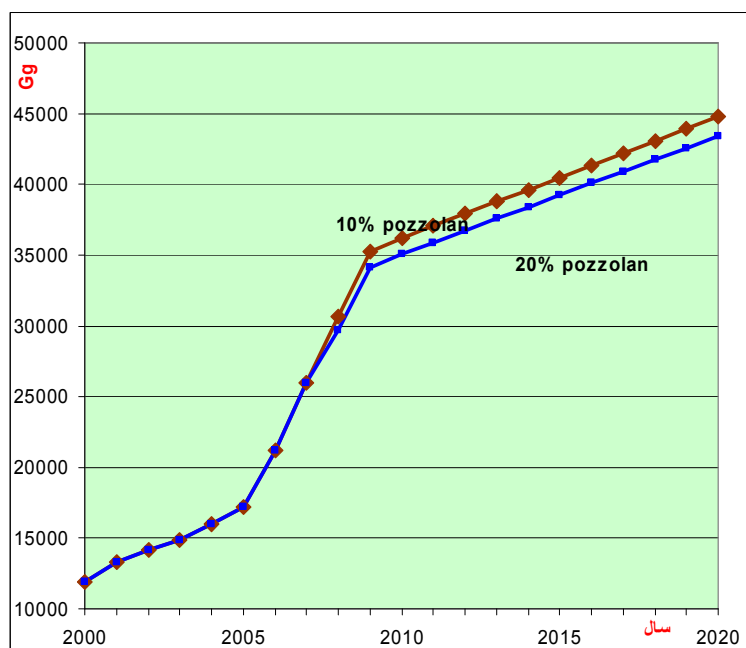
اصولاً طرحهای موجود در بخش فرایندهای صنعتی که به تغییر یا بهبود فرایند یک سیستم مربوط می باشد اندک است. در بخش سیمان نیز دو طرح قابلیت انجام گرفتن را دارا هستند که عبارتند از استفاده از مواد جایگزین کلینکر در ترکیب سیمان و جمع آوری و ذخیره کربن (CCS). اولی به مرحله اجرا در آمده است و دومی قابلیت اجرایی شدن در صنعت سیمان را داراست.

الف- استفاده از جایگزین کلینکر: همانطور که می دانیم، دی اکسید کربنی که از فرایند سیمان متصاعد می گردد، مربوط به عملیات پخت کلینکر است. اگر بتوانیم موادی طبیعی یا مصنوعی به ترکیب سیمان (بعد از عملیات پخت کلینکر) اضافه کنیم، بالطبع برای تولید مقدار مشخصی سیمان، گاز گلخانه ای کمتری تولید می گردد. سیمان پوزولان همانطور که از نامش پیداست سیمانی است که از ترکیب سیمان پرتلند معمولی با یک یا چند پوزولان بدست می آید. پوزولان ها مواد سیلیسی و یا سیلیسی آلومینی هستند که به عنوان یک مکمل سیمان پرتلند معمولی در افزایش خاصیت چسبندگی بتن موثرند. این مواد در حالت معمولی با آب واکنش نمی دهند ولی در مجاورت آهک یا سیمان واکنش شیمیایی ایجاد می کنند و مقاومت و دوام بتن را در دراز مدت افزایش می دهند. این مواد که به صورت طبیعی و مصنوعی قابل حصول می باشند، توانسته اند با جایگزینی با سیمان ضمن ایجاد صرفه جویی در سوخت برای تولید سیمان و کاهش آلودگی محیط زیست، در خواص بتن نیز موثر بوده و دوام آنها را بویژه در محیط خوردنده افزایش دهند. پوزولان در ایران در سال ۱۳۲۰ کشف شد و از پوزولان های طبیعی ایران می توان تراس جاجرود، خاک سرخ لومار و پوکه بستان آباد را نام برد. دامنه کوه های سهند، دماوند، تفتان و استان کرمان نیز از جمله مکان های پوزولان های طبیعی ایران می باشند. امروزه پوزولان های مصنوعی در کشورهای صنعتی که تولیدات زیادی دارند کاربرد وسیعی پیدا کرده است. پوزولان های مصنوعی شامل سرباره کوره های احیای آهن، دوده سیلیس، خاکستر پوسته برنج، رس کلسینه شده و است که البته استفاده از اینها هم ارزش اقتصادی به آنها داده و هم منجر به کاهش آلودگی محیط زیست شده است، چرا که این مواد، مواد زائد و تولیدات فرعی کارخانه ها و از آلاینده های محیط زیست هستند. با توجه به تعدد کارخانه های احیای آهن در ایران و نیز برنامه های دولت در احداث واحدهای جدید در آینده نزدیک، استفاده از سرباره کوره های احیای آهن در ترکیب سیمان بسیار محتمل و اقتصادی نیز می نماید.

ب- جذب و ذخیره کربن: در این روش به طرق مختلف دی اکسید کربن تولید شده را جذب و ذخیره کرده و در بخشهای دیگری مورد استفاده قرار می دهند. گرچه تاکنون این روش بیشتر در بخش مصرف انرژی به کار گرفته شده و دی اکسید کربن حاصل از احتراق را جمع میکند، اما به نظر میرسد که در کارخانجات بزرگ سیمان با توجه به حجم بالای تولید CO₂ در اثر احتراق سوخت و نیز در اثر فرایند پخت کلینکر، این روش انجام پذیر و مقرون به صرفه باشد. در این گزارش به این روش پرداخته نمی شود ولی سعی می شود تا با جمع آوری اطلاعات اقتصادی طرح، این روش نیز در گزارش نهایی ملحوظ گردد.

در محاسبه میزان کاهش انتشار از بخش سیمان ناچار از فرضی غلط هستیم و آن عدم تولید سیمان بنایی و پوزولانی در حال حاضر در کشور است. هر چند می دانیم که اکنون نیز برخی از کارخانجات سیمان در بعضی شرایط اقدام به تولید سیمان بنایی میکنند اما با توجه به نبود آمار دقیق و نیز برای مقایسه با شرایطی که از سرباره استفاده نمی شود، میزان تولید فعلی سیمان بنایی را (همانند فرض توسعه سناریوی ODP) ناچیز در نظر می گیریم. همچنین مطابق تحقیقات بخش سیمان دانشگاه علم و صنعت ایران، میزان افزایش مناسب سرباره به سیمان در حال حاضر ۱۰٪ در نظر گرفته می شود که با توجه به شرایط خنک شدن و به طور کلی شرایط فرایند تولید سرباره، این مقدار تا ۲۰٪ نیز قابل افزایش است. در این گزارش هر دو حالت ۱۰٪ و ۲۰٪ تولید

سرباره لحاظ شده است. فرض بعدی اینکه مطابق آمار، نیاز کشور ما به سیمان پوزولانی حداکثر ۳۰٪ است. با این فرضیات میزان انتشار در سناریوهای مختلف برآورد شده است. میزان تولید سیمان در قسمت کاهش انتشار، همان میزان تولید در برنامه های دولت (بر اساس سناریوی ODP) در نظر گرفته شده است. شکل ۱۵ میزان انتشار را در سناریوی کاهش انتشار از بخش سیمان برای دو حالت مذکور نشان می دهد.



شکل ۱۵- پیش بینی انتشار CO₂ از بخش سیمان بر اساس سناریوی کاهش انتشار (Gg)

• بخش فولاد

تولید فولاد خام به دو روش عمده صورت می گیرد. روش اول، تهیه چدن مذاب در کوره بلند و ساخت فولاد در کنورترهای اکسیژنی و ریخته گری مداوم فولاد مذاب است. روش دیگر، تولید آهن اسفنجی و ذوب آن به همراه قراضه در کوره های قوس الکتریکی و ریخته گری مداوم می باشد. در روش کوره بلند که حدود ۶۳/۳ درصد فرآیندهای تولید فولاد جهان به این روش صورت می گیرد، سنگ آهن پس از فرآوری (دانه بندی و گندله سازی)، در کوره بلند و طی فرآیند احیای غیرمستقیم با استفاده از کُک، به چدن مذاب و سپس در کنورتر اکسیژنی به فولاد مذاب تبدیل می شود. ضریب انتشار این روش ۱/۶ تن CO₂ به ازای هر تن فولاد تولیدی است. اما در روش احیای مستقیم با استفاده از گاز طبیعی، آهن اسفنجی تولید می گردد. در این روش علاوه بر اینکه آهن بصورت مذاب در نمی آید و سوخت کمتری مصرف می شود، در نتیجه عمل احیا CO₂ کمتری نیز تولید و نشر می یابد که حدود ۰/۷ تن به ازای هر تن فولاد است. پس تغییر روش تولید از احیای غیر مستقیم به روش احیای مستقیم یکی از طرحهای مرتبط با فرایند است که اثرات کاهش انتشار دارد.

از آنجا که گاز طبیعی در ایران ارزان و فراوان است، امکان این تغییر روش بسیار محتمل بوده و این تغییر در خود برنامه های دولت لحاظ شده است. به عبارتی تمام طرحهای توسعه فولاد ایران با روش احیای مستقیم و استفاده از حدود ۲۰٪ قراضه پیش بینی شده اند. به این خاطر در بخش پروسس فولاد طرحی برای کمتر کردن میزان انتشار مازاد بر پیش بینی بخش دولتی، فعلاً وجود ندارد.

• بخش آلومینیوم

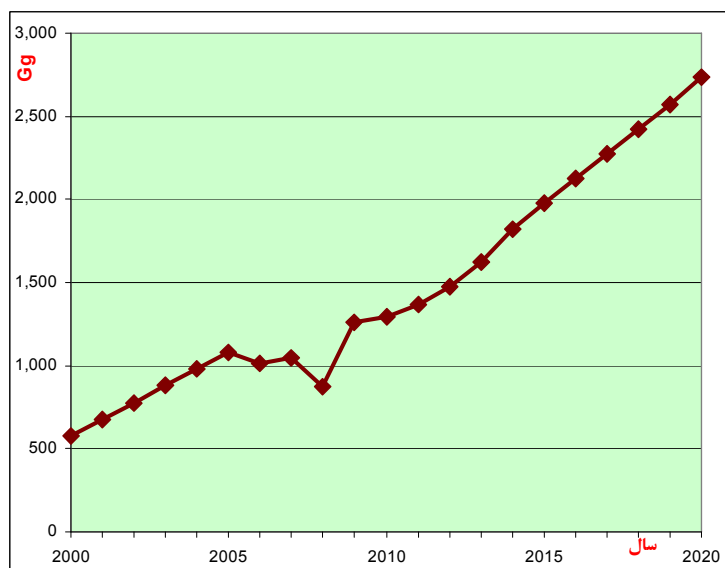
عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش صنعت آلومینیوم مربوط به انتشار دو گاز گلخانه‌ای CF_4 و C_2F_6 است. این گازها در طی فرایندی با نام اثر آندی متصاعد می‌شوند. اثر آندی در زمانی اتفاق می‌افتد که افزایش ناگهانی در ولتاژ سلول الکترولیز که آلومینیوم در آن احیا می‌شود حادث شود. این شرایط وقتی اتفاق می‌افتد که غلظت اکسید آلومینیوم موجود در سلول (ماده اولیه تولید آلومینیوم) بسیار پایینتر از حد خود برسد و در نتیجه محلول الکترولیت داخل ظرف (کریولیت) تحت الکترولیز قرار گیرد. این عمل علاوه بر کاهش بازدهی فرایند و افزایش هزینه، موجب انتشار گازهای فوق می‌گردد.

عموماً انتشار PCFها از فرایند تولید آلومینیوم به فرکانس اثر آندی (AE) و طول مدت آن بستگی دارد. این دو در حله اول به تکنولوژی سلول بستگی دارد و در نتیجه میزان انتشار از یک تکنولوژی به دیگری متفاوت است. در نتیجه برای کاهش انتشار از هر سلول باید استراتژی مشخصی داشت که شامل یک یا همه موارد زیر شود:

- **بهبود تکنیک خوراک دهی:** بوسیله نصب سیستم خوراک دهی نقطه ای (Point Feeder) و تنظیم ورود خوراک با یک سیستم کامپیوتری می‌توان تکنیک خوراک دهی را بهبود بخشید. در این روش، مقدار کمی از خوراک آلومینا (در حدود یک کیلوگرم) در بازه‌های زمانی کوتاه (کمتر از یک دقیقه) وارد سلول می‌شود. این بهترین روش خوراک دهی در حال حاضر است.
- **استفاده از سیستمهای کنترل کامپیوتری پیشرفته تر:** این کار برای بهبود بخشیدن بازدهی سلول است. این سیستم پارامترهای مختلفی که نشان از نزدیک شدن اثر آندی دارند را مانیتور می‌کند. به این صورت اپراتورهای سیستم قبل از شروع اثر از آن مطلع می‌شوند و لذا فرکانس اثر آندی کاهش می‌یابد. این سیستم می‌تواند به صورت ترکیبی با خوراک دهی نقطه ای نیز به کار رود.

- **آموزش اپراتورهای سلولها:** این کار برای کاهش فرکانس اثر آندی و نیز کاهش طول مدت آن ضروری است.

ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش صنعت آلومینیوم عبارتست از $1/5 \text{ tCO}_2/\text{t Al}$ و $0/53 \text{ Kg PCF/t Al}$. ضریب انتشار پرفلوئوروکربن پس از بهبود سیستم کنترل کامپیوتری و نصب روش خوراک دهی نقطه ای به $0/05 \text{ Kg PCF/t Al}$ می‌رسد. هرچند مقدار انتشار این گازها زیاد نیست، اما طول عمر زیاد آنها و نیز GWP بسیار بالای آنها (۶۵۰۰ برای CF_4 و ۹۲۰۰ برای C_2F_6) انتشار معادل دی اکسید کربن از این فرایند را افزایش زیادی می‌دهد. بر این اساس شکل ۱۶ میزان انتشار معادل CO_2 را از این بخش در سناریوی کاهش انتشار نشان می‌دهد.

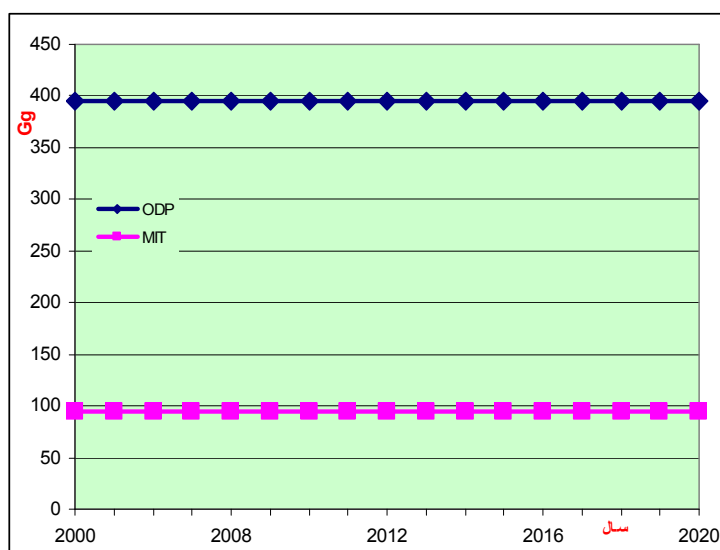


شکل ۱۶- پیش بینی انتشار CO_2 از بخش آلومینیوم بر اساس سناریوی کاهش انتشار (Gg)

• بخش اسید نیتریک

در فرایند ساخت اسید نیتریک، گازهای NO_x و N_2O تولید می شوند. گاز N_2O یک گاز گلخانه ای است که ۳۱۰ برابر دی اکسیدکربن اثر گرمایشی دارد. طرحهای موجود عبارت از جایگذاری بسترهای کاتالیستی در مسیر گازهای خروجی برای جذب می باشد. با توجه به الزامات زیست محیطی جدید برای حذف NO_x از خروجی واحدها، قابلیت انجام این طرح نیز بالاست. بدین صورت که همزمان با اجرای طرح حذف NO_x می توان از بسترهای کاتالیستی حذف N_2O نیز استفاده نمود. بسترهای کاتالیستی خاصی هم هستند که هر دوی این گازها را جذب می نمایند. لذا به راحتی می توان از آنها برای حذف هر دو گاز استفاده نمود.

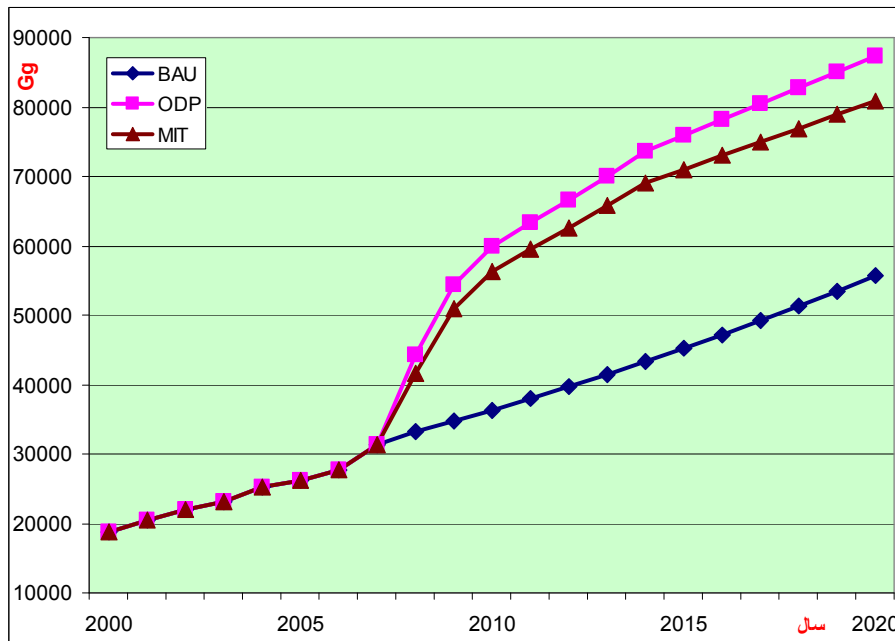
ضریب انتشار گاز N_2O از بخش صنعت ساخت اسید نیتریک حدود $7/5 \text{ Kg/t Acid}$ می باشد. بعد از نصب کاتالیست ضریب انتشار به حداکثر $1/8 \text{ Kg/t Acid}$ بسته به نوع کاتالیست و در تکنولوژیهای دیگر بسیار کمتر از این مقدار می رسد. بر این اساس با توجه به تولید ۱۷۰ هزار تن اسید نیتریک در کشور، میزان انتشار معادل دی اکسید کربن قبل و بعد از نصب کاتالیست، به ترتیب ۳۹۵۰۰۰ و ۹۵۰۰۰ تن می باشد. به این ترتیب نصب بسترهای کاتالیستی به کاهش انتشاری حدود ۳۰۰ هزار تن معادل CO_2 در سال می انجامد. شکل ۱۷ میزان کاهش انتشار از این بخش را در دو سناریوی ODP و کاهش انتشار مقایسه میکند.



شکل ۱۷- پیش بینی انتشار CO_2 از بخش اسید نیتریک بر اساس سناریوی کاهش انتشار (Gg)

۳-۳-۲- کل انتشار در بخش فرایندهای صنعتی

شکل ۱۸ کل انتشار از بخش فرایندهای صنعتی را نشان می دهد. در این شکل میزان کل انتشار از بخش فرایندهای صنعتی در قالب هر سه سناریو به منظور سادگی مقایسه آورده شده است.



شکل ۱۸- پیش بینی انتشار CO₂ از بخش فرایندهای صنعتی (Gg)

این شکل نشان می دهد که ادامه روند موجود، انتشاری در حدود ۵۷۰۰۰ گیگاگرم را در سال ۲۰۲۰ در پی خواهد داشت. در صورتی که تمامی برنامه های توسعه پیش بینی شده به انجام و بهره برداری برسد، مقدار انتشار به حدود ۸۷۰۰۰ گیگاگرم در سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت. یعنی با انجام تمامی برنامه های پیش بینی شده در این بخش، حدود ۵۳ درصد افزایش انتشار خواهیم داشت. در صورتی که تمامی برنامه های کاهش انتشار مطابق با این تحقیق انجام گیرد، مقدار پیش بینی شده برای انتشار در سال ۲۰۲۰ به حدود ۸۱۰۰۰ گیگاگرم می رسد. و این بدان معنی است که بخش فرایندهای صنعتی کشور، قابلیت کاهش انتشاری معادل ۶۰۰۰ گیگاگرم در سال ۲۰۲۰ و به طور کلی حدود ۶۰۰۰۰ گیگاگرم تا سال ۲۰۲۰ را دارا می باشد. میزان کاهش انتشار سالیانه در جدول ۵ آورده شده است.

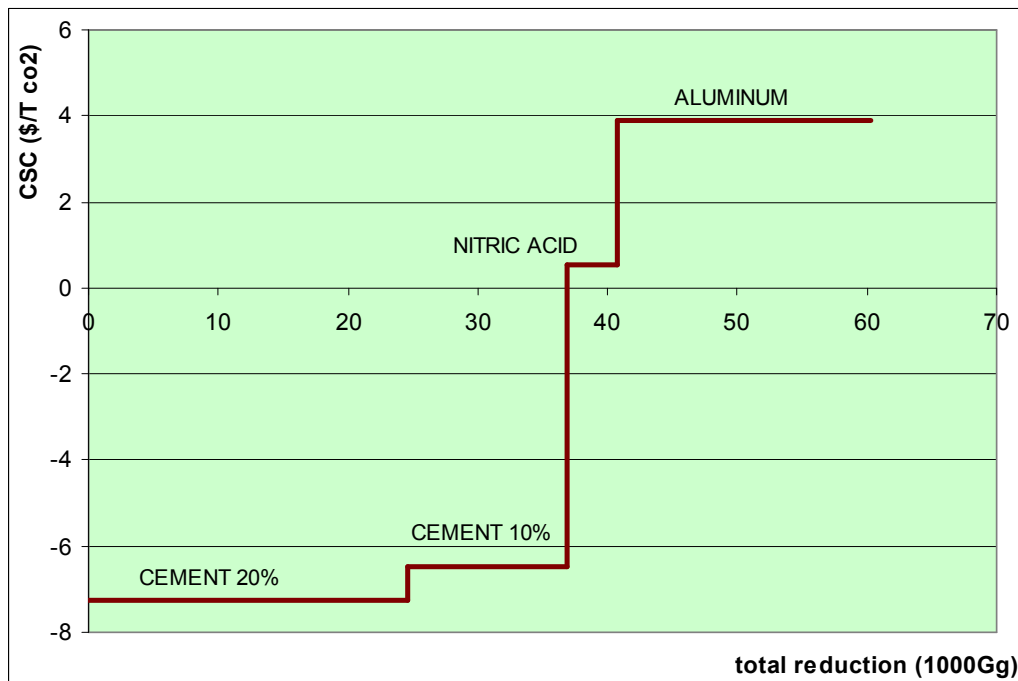
جدول ۵- میزان کاهش انتشار سالیانه نسبت به سناریوی odp در صورت عملی شدن سناریوی کاهش انتشار

سال	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴
کاهش انتشار (هزار تن)	۲۷۴۴	۳۵۴۳	۳۶۳۴	۳۷۸۶	۴۰۰۰	۴۲۷۶	۴۶۴۶
سال	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	
کاهش انتشار (هزار تن)	۴۹۳۲	۵۲۱۹	۵۵۰۶	۵۷۹۲	۶۰۷۹	۶۳۶۶	

لازم به ذکر است که در این محاسبات، طرح مربوط به سیمان با افزایش ۱۰٪ سرباره لحاظ شده است.

۳-۳-۳-۳- آنالیز هزینه برای طرحهای پیشنهادی

ملاحظات اقتصادی برای زیربخشهای مختلف و نحوه محاسبات آنها در ضمیمه ۱ آورده شده است. در این بخش به اولویت بندی پروژه های فوق الذکر می پردازیم. شکل ۱۹ نمودار شاخص CSC بر حسب کاهش کلی انتشار برای پروژه های مختلف را نشان می دهد. پر واضح است که با توجه به میزان هزینه کاهش انتشار و تاثیر کاهش انتشار اولویت بندی پروژه ها به ترتیب شامل پروژه بخش سیمان، پروژه بخش آلومینیوم و در نهایت پروژه بخش اسید نیتریک خواهد بود. البته در سیاست گذاری کلی، با توجه به وجود یک پروژه در هر بخش، اولویت بندی سیاست خاصی را مشخص نکرده و شایسته است که هر کدام که شرایط اجرایی ساده تری داشت، انجام گیرد.



شکل ۱۹- نمودار شاخص CSC بر حسب کاهش کلی انتشار

۳-۳-۴- برنامه ملی کاهش انتشار

همانطور که در بخش قبلی عنوان شد، به خاطر وجود و پیشنهاد تنها یک پروژه در هر زیربخش، بحث اولویت بندی پروژه ها فایده چندانی ندارد و اجرای هر کدام که زمینه اجرای آن فراهم است، مفید است. این طبقه بندی تنها در صورتی مفید است که تمامی شرایط برای انجام پروژه ها یکسان باشد. در این صورت اولویت بندی پروژه ها به صورت زیر پیشنهاد می شود.

- ۱- استفاده از جایگزین کلینکر در صنعت سیمان و تولید سیمان پوزولانی
- ۲- بهبود تکنیک خوراک دهی و استفاده از سیستمهای کنترل کامپیوتری پیشرفته تر در صنعت آلومینیوم
- ۳- استفاده از فرایند جذب کاتالیستی N_2O در تولید اسید نیتریک

ضمیمه ۱

ملاحظات اقتصادی طرحها

✓ بخش سیمان

ملاحظات اقتصادی در بخش سیمان بسیار ساده است. معمولاً کارخانجات سیمان تجهیزات افزایش پوزولان را که بسیار ساده است در اختیار دارند و از آن در مواقع خاصی (همانطور که ذکر شد) استفاده می کنند. لذا اکثر کارخانجات، هزینه اولیه ای متحمل نمی شوند. با این وجود با توجه به در نظر نگرفتن تولید سیمان پوزولانی تا کنون در کشور، هزینه نصب تجهیزات اولیه را معادل ۵۰۰ هزار دلار (IEA) در نظر میگیریم. قیمت سرپاره ذوب آهن اصفهان در حال حاضر ۱۱ تومان برای هر کیلوگرم است که در مقایسه با قیمت کلینکر (حدود ۱۵ تومان برای هر کیلوگرم)، هزینه عملیاتی این کار منفی میگردد. جدول ۶، محاسبات اجمالی برای شاخص CSC را نشان می دهد. در این جدول، محاسبات برای ۳۸ کارخانه ای که در سال ۲۰۰۸ موجود است انجام گرفته و کاهش انتشار یکسانی در طول ۱۳ سال (از ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰) ملحوظ گردیده است.

جدول ۶- محاسبه شاخص هزینه کاهش انتشار در بخش سیمان

ITEM	۱۰٪	۲۰٪	Unit
EPC	۵۰۰,۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰	\$
EPC for ۳۸ factory	۱۹,۰۰۰,۰۰۰	۱۹,۰۰۰,۰۰۰	\$
working cost (۲۰۰۸ till ۲۰۲۰)	-۹۸,۸۰۰,۰۰۰	-۱۹۷,۶۰۰,۰۰۰	\$
TOTAL INVESTMENT	-۷۹,۸۰۰,۰۰۰	-۱۷۸,۶۰۰,۰۰۰	\$
GROSS CER PER YEAR	۹۴۷,۰۰۰	۱,۸۹۳,۰۰۰	Ton CO ₂
TOTAL GROSS CER (۲۰۰۸ till ۲۰۲۰)	۱۲,۳۱۱,۰۰۰	۲۴,۶۰۹,۰۰۰	Ton CO ₂
CSC	-۶/۵	-۷/۲	\$/ton CO ₂

در این محاسبات سود حاصل از فروش کربن در نظر گرفته نشده است که با احتساب آن مقدار CSC منفی تر میگردد. به روشنی سودآور بودن این طرح مشخص است. یعنی به ازای کاهش انتشار هر تن CO₂، نه تنها هیچ هزینه ای پرداخت نشده که بلکه حدود ۷ دلار درآمد نیز نصیب کارخانه می گردد.

✓ بخش آلومینیوم

به طور کلی دو نوع تکنولوژی Sodelberg و Prebake در تولید آلومینیوم به کار گرفته می شوند. روش prebake روش جدیدتری نسبت به دیگری است که آندهای کربنی قبل از ورود به سلول، در قسمتی پخت می گردند. آلومینیوم تولیدی کشور ایران نیز از همین نوع است. هزینه اولیه بهبود فرایند در این روش در حدود ۸ تا ۹ میلیون دلار و به نسبت بالاست. در روش sodelberg این هزینه تا ۶۰ میلیون دلار میرسد. هزینه های عملیاتی سالانه هم به نسبت بالا و حدود ۱ تا ۳ میلیون دلار برآورد میشود که در این گزارش ۲ میلیون دلار در نظر گرفته شده است. بر این اساس، جدول ۷ محاسبات اجمالی شاخص CSC را نشان می دهد. لازم به ذکر است که هزینه فروش CER ها در این ملاحظات در نظر گرفته نشده است.

جدول ۷- محاسبه شاخص هزینه کاهش انتشار در بخش آلومینیوم

ITEM		Unit
EPC	۸,۰۰۰,۰۰۰	\$
Operating cost for ۱۳ year (۲۰۰۸ till ۲۰۲۰)	۲۶,۰۰۰,۰۰۰	\$
Total Investment Per Factory	۳۴,۰۰۰,۰۰۰	\$
Factory Quantity	۲	
Gross CER Per Year in ۲۰۰۸	۱,۴۹۸,۰۰۰	T CO ₂
TOTAL GROSS CER (۲۰۰۸-۲۰۱۲)	۱۹,۴۷۴,۰۰۰	T CO ₂
CSC in ۲۰۰۸ major case	۳,۴۹	\$/ T CO ₂
Operating cost for ۷ year (۲۰۱۴ till ۲۰۲۰)	۱۴,۰۰۰,۰۰۰	\$
Total Investment Per Factory	۲۲,۰۰۰,۰۰۰	\$
Factory Quantity	۵	
GROSS CER PER YEAR in ۲۰۱۴	۳,۱۲۰,۰۰۰	T CO ₂
TOTAL GROSS CER (۲۰۱۴-۲۰۱۲)	۲۱۸۴۰,۰۰۰	T CO ₂
CSC in ۲۰۱۴ major case	۵	\$/ T CO ₂

جدول ۷ نشان می دهد که در سال ۲۰۰۸، هزینه کاهش انتشار هر تن معادل CO₂ برابر \$۳/۴۹ می باشد. این هزینه برای هزینه های نصب و عملیات تا سال ۲۰۲۰ در دو کارخانه موجود کشور در حال حاضر است. متوسط این مقدار در سال ۲۰۱۴ و برای ۵ کارخانه موجود در آن سال (در صورتی که تمامی کارخانه ها در همان سال مجهز به سیستم کاهش انتشار گردند) ۵ خواهد بود.

✓ بخش اسید نیتریک

هزینه اولیه نصب واحدهای کاتالیستی در حدود ۸۰۰ هزار دلار و هزینه سالانه عملیاتی آن حدود ۱۰۰ هزار دلار است. بر این اساس و با توجه به اینکه تنها یک مرکز تولید اسید نیتریک در کشور فعال است، جدول ۸ محاسبات مربوط به شاخص CSC را برای صنعت اسید نیتریک نشان می دهد.

جدول ۸- محاسبه شاخص هزینه کاهش انتشار در بخش اسید نیتریک

ITEM		
EPC	۸۰۰,۰۰۰	\$
Operating cost for ۱۳ year (۲۰۰۸ till ۲۰۲۰)	۱,۳۰۰,۰۰۰	\$
Total Investment Per Factory	۲,۱۰۰,۰۰۰	\$
Factory Quantity	۱	
Gross CER Per Year	۳۰۰,۰۰۰	T CO ₂
Total Gross CER in ۱۳ year year (۲۰۰۸ till ۲۰۲۰)	۳,۹۰۰,۰۰۰	T CO ₂
CSC in ۲۰۰۸ major case	۰/۵۴	\$/ T CO ₂

این محاسبات نشان می دهد که هزینه کاهش انتشار هر تن معادل CO₂ از واحدهای اسید نیتریک سازی به کمتر از یک دلار میرسد.