

# تعیین فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی کشور و مقایسه آن با کشورهای آمریکای شمالی

سعید نظری<sup>\*</sup>، امیر سهرابی کاشانی<sup>۱</sup>، سوسن داوری<sup>۱</sup>، زهرا دلاور مقدم<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۸۸/۵/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله:

۸۸/۸/۱۲

## چکیده:

در این مقاله فاکتور انتشار ( $NO_x$ ،  $CO_2$  و  $SO_2$ ) خروجی از نیروگاه های کشور ارائه شده است. فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق برای ۵۰ نیروگاه بخار، گازی و سیکل ترکیبی با ظرفیت ۳۴۸۶۳ مگاوات بر اساس مشخصات بهره برداری نیروگاه مشتمل بر ظرفیت تولید، نوع و میزان سوخت مصرفی و تغییرات آن، مشخصات دودکش، آنالیز گازهای حاصل از احتراق و مشخصات فیزیکی گاز دودکش بر حسب  $g/kWh$  محاسبه شده و با میانگین گیری وزنی بر اساس انرژی الکتریکی تولیدی بر حسب  $kWh$  در هر نیروگاه و با در نظر گرفتن کل انرژی الکتریکی تولیدی در نیروگاه های سوخت فسیلی، نیروگاه های برق آبی و نیروگاه های بادی، فاکتور انتشار گاز های مذکور تعیین شده است. فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی کشور برای گاز  $CO_2$ ،  $640 g/kWh$ ، گاز  $SO_2$ ،  $2/75 g/kWh$  و گاز  $NO_x$ ،  $2/4 g/kWh$  محاسبه شده و سپس مقایسه ای بین این مقادیر و فاکتور انتشار گازهای مذکور در حوزه کشورهای آمریکای شمالی انجام شده است. در صورت استفاده بیشتر از انرژی های تجدیدپذیر، انرژی برق آبی و انرژی هسته ای و همچنین افزایش راندمان نیروگاه ها استفاده از سیستم های پایش مداوم و سیستم های کاهش آلاینده های (خروجی از دودکش) نیروگاه ها، فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های کشور به شدت کاهش می یابد.

## کلمات کلیدی:

فاکتور انتشار، گازهای حاصل از احتراق، نیروگاه-های سوخت فسیلی، مشخصات بهره برداری نیروگاه

## مقدمه

انقلاب صنعتی و رشد روز افزون صنایع مختلف موجب تولید و انتشار آلاینده‌های گازی و گازهای گلخانه‌ای شده است. اندازه‌گیری غلظت گازهای خروجی از دودکش و محاسبه دبی گاز خروجی از آن موجب تعیین میزان جرم آلاینده‌های خروجی در واحد زمان می‌شود. بر اساس قوانین استاندارد هوای پاک، بررسی میزان انتشار آلاینده‌های خروجی از صنایع یکی از راه‌های تشخیص و اندازه‌گیری کیفیت هوا محسوب می‌شود. بدین منظور فاکتور انتشار مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفته و یک ابزار کاربردی و اساسی در دست مدیران جهت کنترل کیفیت هواست. فاکتور انتشار و برآورد مقدار آن برای مدیریت کیفیت هوا ابزار کلیدی محسوب شده و تخمین میزان نشر برای توسعه راهکارهای کنترل انتشار بسیار مهم است. این فاکتور معمولاً بر اساس جرم آلاینده تولیدی بخش بر محصول یا ماده اولیه (واحد وزن، حجم، فاصله، انرژی تولیدی یا زمان انتشار آلاینده) بیان می‌شود. به عنوان مثال در یک صنعت که از زغال‌سنگ برای تولید انرژی استفاده می‌کند، میزان انتشار ذرات معلق بر حسب کیلوگرم به ازای هر مگاگرم زغال‌سنگ سوخته شده بیانگر فاکتور انتشار ذرات معلق خروجی از آن صنعت است.

در نیروگاه‌ها فاکتور انتشار برحسب میزان جرم آلاینده‌های تولیدی یا گازهای حاصل از احتراق بر حسب انرژی الکتریکی تولیدی یا انرژی حرارتی مورد استفاده بیان می‌شود. به طور کلی معادله تخمین انتشار به شرح زیر است [۱]:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

$E$  = میزان انتشار آلاینده (مقدار جرم آلاینده)

$A$  = نرخ فعالیت (میزان تولید واحد صنعتی، به طور مثال تناژ تولیدی سیمان یا کیلووات ساعت برق تولیدی)

$EF$  = فاکتور انتشار (مقدار جرم آلاینده منتشره به ازای میزان محصول تولیدی یا نرخ فعالیت)

$ER$  = درصد کلی کاهش انتشار بوده و در صورت عدم استفاده از سیستم‌های کاهش آلاینده این مقدار صفر است. برای محاسبه فاکتور انتشار روش‌های مختلفی نظیر پایش مداوم، روش موازنه مواد، مدل‌سازی و چند روش دیگر وجود دارد. پایش مداوم، بهترین روش است و به طور کامل میزان و نحوه انتشار را مشخص می‌کند، اما هزینه اجرایی زیادی دارد. بدین منظور از روش موازنه مواد استفاده می‌شود که ضریب اطمینان زیاد و هزینه کمتری نسبت به پایش مداوم دارد، ولی کاربرد آن محدود است. برای حل این مشکلات متخصصان به دنبال روش‌هایی‌اند که با هزینه کمتر، اطمینان لازم را جهت محاسبه فاکتور انتشار فراهم آورد. استفاده از روش‌های مدل‌سازی و نرم افزارهای نگارش یافته در این زمینه جهت محاسبه فاکتور انتشار و استفاده بلند مدت از آن کاربرد بسیار زیادی

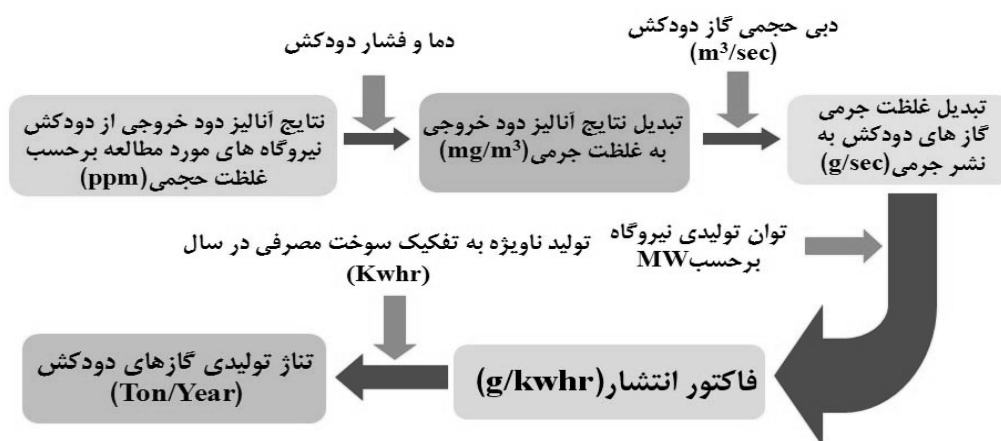
دارد. این روش دارای هزینه اجرایی کم و قابلیت اطمینان زیاد است و در صنایع و مناطقی که امکان اندازه‌گیری وجود ندارد کاربرد زیادی دارد [۲].

### مبنای انجام محاسبه تعیین فاکتور انتشار گاز های $CO_2$ ، $NO_x$ و $SO_2$ خروجی از نیروگاه های کشور

جهت تعیین فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از نیروگاه های کشور پروژه تدوین اطلس آلودگی نیروگاه های کشور در گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو و با کارفرمایی شرکت توانیر در فاصله سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ اجرا گردید. در این پروژه ۵۰ نیروگاه حرارتی کشور با ظرفیت ۳۴۸۶۳ مگاوات متشکل از نیروگاه های بخار، گازی و سیکل ترکیبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. ابتدا سیستم های اصلی و جانبی نیروگاه های حرارتی در رابطه با منابع تولید آلودگی شناسایی شد. در این ارتباط سیستم های پاشش سوخت، نوع دیگ بخار یا بویلر و مشخصات مشعل ها، مشخصات محفظه احتراق، سیستم کنترل احتراق، سیستم کنترل آلاینده ها، سیکل آب و بخار، قطر و ارتفاع دودکش و سیستم پایش آلاینده ها مورد مطالعه قرار گرفت [۲].

مرحله بعد، غلظت حجمی آلاینده های منتشر شده گازی برحسب ppm برای انواع واحد های هر نیروگاه به تفکیک فصل و تغییر سوخت در بار کامل اندازه گیری شده و با توجه به ساعات کارکرد واحدها در سال، فاکتور انتشار واقعی گازهای  $NO_x$ ،  $SO_2$  و  $CO_2$  در هر یک از واحد های ۵۰ نیروگاه مورد بررسی برحسب  $g/kWh$ ، به انضمام میزان کل آلودگی منتشر شده از هر واحد نیروگاهی در سال، محاسبه گردید. فاکتورهای انتشار آلاینده های نیروگاه ها برای اولین بار در کشور از طریق اندازه گیری و انجام محاسبه به دست آمد که می تواند ماخذ بسیار دقیقی برای انجام محاسبات مربوط به طرح های توسعه آبی نیروگاه های کشور باشد [۲].

برای اجرای این مرحله با توجه به تغییر سوخت از گاز به مازوت در نیروگاه های بخار و از گاز به گازوئیل در نیروگاه های گازی و سیکل ترکیبی در زمان مناسب به هریک از نیروگاه های اشاره شده مراجعه شده است. در این گزارش نتایج حاصل از اندازه گیری گازهای حاصل از احتراق شامل گازهای  $NO_x$ ،  $SO_2$  و  $CO_2$  ارائه شده و با توجه به روابط ترمودینامیک حاکم بر گازها و موازنه جرمی محصولات احتراق، غلظت این گازها در محیط نرم افزار EXCEL پردازش شده و خروجی این نرم افزار شامل غلظت جرمی گازهای حاصل از احتراق، میزان انتشار و فاکتور انتشار هریک از این گازها تعیین شده است. در شکل (۱) مراحل تعیین و محاسبه فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های کشور ارائه شده است [۲].



شکل ۱: مراحل تعیین و محاسبه فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های کشور [۱]

## ارائه فاکتور انتشار گازهای $NO_x$ ، $CO_2$ و $SO_2$ خروجی از نیروگاه های کشور به تفکیک تیپ های نیروگاهی

در جداول (۱) تا (۳) فاکتور انتشار گاز های  $NO_x$ ،  $CO_2$  و  $SO_2$  خروجی از نیروگاه های کشور به تفکیک تیپ های نیروگاهی ارائه شده است. همانطور که از این جداول مشخص است با افزایش راندمان فاکتور انتشار گاز  $CO_2$  کاهش می یابد. متوسط راندمان نیروگاه های بخار، توربین گازی و سیکل ترکیبی مطابق آمار تفصیلی صنعت برق کشور در سال ۱۳۸۶ به ترتیب ۳۶/۲ درصد، ۲۸/۲ درصد و ۴۲/۳ درصد است. بنابراین، نیروگاه های سیکل ترکیبی دارای بیشترین راندمان تولید انرژی الکتریکی و در نتیجه کمترین فاکتور انتشار گاز  $CO_2$  است. در مورد آلاینده  $NO_x$  علاوه بر راندمان، بود و نبود سیستم های متداول کاهش این آلاینده مانند سیستم های کاتالیستی، مشعل های پیش اختلاط نظیر مشعل  $LNB$  (Low  $NO_x$  Burner) در نیروگاه های بخار و مشعل  $DLN$  (Dry Low  $NO_x$ ) در نیروگاه های توربین گازی و سیکل ترکیبی در تعیین میزان فاکتور انتشار این آلاینده سهیم اند [۱،۲].

طبق بررسی ها و محاسبات انجام شده در پروژه تدوین اطلس آلودگی نیروگاه های کشور، فاکتور انتشار آلاینده  $NO_x$  در نیروگاه های توربین گازی در حالت گاز سوز با وجود راندمان کمتر نسبت به نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی، کمتر است و دلیل آن تجهیز نیروگاه های توربین گازی به مشعل های  $DLN$  است. در این وضعیت مجهز بودن نیروگاه ها به سیستم های کاهش این آلاینده بسیار موثرتر از نقش افزایش راندمان آنهاست. ۲۶/۷ درصد از ظرفیت نصب شده نیروگاه های سیکل ترکیبی و ۷۱/۴ درصد از ظرفیت نصب شده نیروگاه های توربین گازی کشور مجهز به مشعل

DLN در حالت گاز سوز است. هیچیک از نیروگاه های بخار هنگام مصرف سوخت گاز دارای سیستم کاهش آلاینده NOx نیست [۲۰].

در حالت استفاده از سوخت مایع فقط ۳/۷ درصد از کل ظرفیت نیروگاهی کشور مجهز به سیستم کاهش آلاینده NOx است. بنابراین، در حالت کلی در هنگام استفاده از سوخت مایع تیپ های نیروگاهی با راندمان تولید انرژی الکتریکی بیشتر، دارای کمترین فاکتور انتشار این آلاینده است، به جز نیروگاه های بخار، زیرا در این نیروگاه ها از سیستم GRFan (Gas Recirculation Fan) در هنگام بهره برداری با سوخت سنگین (مازوت) استفاده می نمایند. استفاده از GRFan موجب کاهش فاکتور انتشار آلاینده NOx در نیروگاه های بخار در مقایسه با نیروگاه های سیکل ترکیبی در هنگام مصرف سوخت مایع خواهد شد. ۱۸/۵ درصد از ظرفیت نیروگاه های بخار در کشور فاقد سیستم GRFan است [۲۱].

فاکتور انتشار آلاینده SO<sub>2</sub> در نیروگاه های بخاری با توجه به اینکه مازوت مصرفی در این نیروگاه ها به طور متوسط حاوی ۲/۵ درصد وزنی گوگرد است بسیار بیشتر از فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های توربین گازی و سیکل ترکیبی است. گازوئیل مصرفی در این نیروگاه ها بین ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی است. هیچیک از نیروگاه های کشور مجهز به سیستم کاهش این آلاینده نیست [۲].

همانطور که در جدول (۱) وارد شده، متوسط فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های بخار در کشور gr/kWh ۱۵/۲۷ است پراکندگی این آلاینده در اتمسفر با توجه به وضعیت هواشناسی و کلاس پایداری هوا و توپوگرافی منطقه دارای الگوهای مختلفی است. در فصل زمستان با توجه به اینکه ارتفاع اختلاط بسیار کمتر از فصول دیگر سال است، رقیق سازی این آلاینده در اتمسفر به خوبی صورت نمی گیرد، از این رو مناطق شهری و روستایی اطراف نیروگاه و خطوط انتقال و توزیع و سایر تجهیزات نیروگاهی از آن متاثر می گردد. با توجه به شکل (۲)، ۲۵/۹۱ درصد از برق کشور از سوخت های مایع نظیر مازوت و گازوئیل تامین می شود. جایگزینی سوخت های مایع با گاز طبیعی و با در نظر گرفتن ظرفیت های کشور به عنوان دومین دارنده ذخایر گاز طبیعی جهان موجب کاهش فاکتور انتشار گاز آلاینده SO<sub>2</sub> خروجی از نیروگاه های کشور خواهد شد [۲].

جدول ۱: میانگین فاکتور انتشار گاز های NOx، CO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> خروجی از نیروگاه های بخار در کشور [۲]

نوع سوخت	CO <sub>2</sub> (g/kWh)	NOx (gr/kWh)	SO <sub>2</sub> (gr/kWh)
گاز	۶۳۳	۲/۶۹۴	۰
مازوت	۱۰۲۵	۲/۵۱۹	۱۵/۲۷۶

جدول ۲: میانگین فاکتور انتشار گاز های  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$  خروجی از نیروگاه های توربین گازی کشور [۲]

نوع سوخت	$CO_2$ (gr/kWh)	$NO_x$ (gr/kWh)	$SO_2$ (gr/kWh)
گاز	۷۸۲	۱/۹۰۷	۰
مازوت	۱۰۴۸	۵/۷۹۲	۳/۸۴۲

جدول ۳: میانگین فاکتور انتشار گاز های  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$  خروجی از نیروگاه های توربین گازی کشور [۲]

نوع سوخت	$CO_2$ (gr/kWh)	$NO_x$ (gr/kWh)	$SO_2$ (gr/kWh)
گاز	۴۵۰	۲/۲۹۵	۰
مازوت	۶۲۲	۳/۷۸۲	۲/۳۲۵

### مقایسه فاکتور انتشار و تناژ تولیدی گاز های $SO_2$ , $NO_x$ , $CO_2$ خروجی از نیروگاه های کشور با کشورهای حوزه آمریکای شمالی

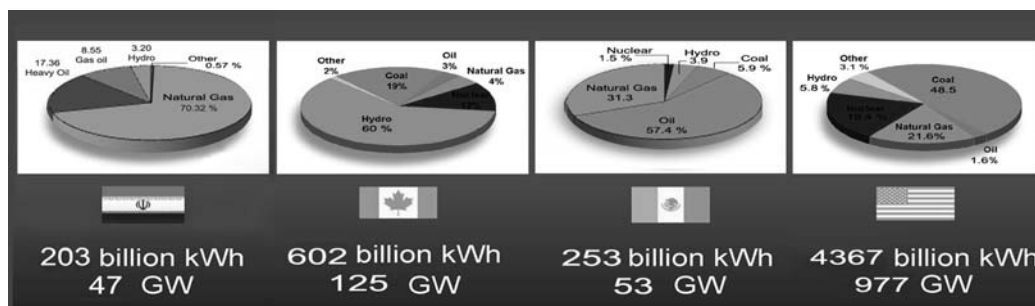
میانگین فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی کشور (با در نظر گرفتن سهم تولید انرژی الکتریکی توسط نیروگاه های برق آبی و توربین بادی) برای گاز  $CO_2$ ,  $640 \text{ gr/kWh}$ , گاز  $SO_2$ ,  $2/75 \text{ gr/kWh}$  و گاز  $NO_x$ ,  $2/4 \text{ gr/kWh}$  محاسبه و برآورد شده است. در صورت استفاده بیشتر از انرژی های تجدید پذیر، انرژی برق آبی و انرژی هسته ای و همچنین افزایش راندمان نیروگاه ها، استفاده از سیستم های پایش مداوم و سیستم های کاهش آلاینده های خروجی از دودکش نیروگاه ها این فاکتور های انتشار به شدت کاهش می یابد، برای نمونه در کانادا که ظرفیت عمده تولید برق آن از انرژی برق آبی (۶۱٪) و انرژی هسته ای (۱۲٪) است، فاکتور انتشار گاز  $CO_2$ ,  $220 \text{ gr/kWh}$ ، گاز  $SO_2$ ,  $1/08 \text{ gr/kWh}$  و گاز  $NO_x$ ,  $0/45 \text{ gr/kWh}$  است [۲،۵].

همانطور که در شکل های (۲)، (۳) و جدول (۴) مشاهده می شود، درصد بسیار زیاد مصرف گاز در نیروگاه های کشور موجب کاهش فاکتور انتشار کل در نیروگاه های کشور علی رغم عدم استفاده از سیستم های کاهش آلاینده ها و پایین بودن راندمان نیروگاه های کشور نسبت به نیروگاه های کشورهای آمریکای شمالی شده است. با توجه به وجود ۴ درصد وزنی گوگرد در سوخت مایع مورد استفاده در نیروگاه های کشور مکزیک و عدم استفاده از سیستم های متداول کاهش آلاینده  $SO_2$ ، متوسط فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های مکزیک بسیار بیشتر از متوسط فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های ایران شده است [۲،۵].

در آمریکا به دلیل اجرای برنامه باران اسیدی و نصب سیستم های کاهش آلاینده و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، متوسط فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق کمتر از نیروگاه های ایران است. بر اساس این برنامه که از سال ۱۹۹۵ اجراء شده، سقف مشخصی از انتشار برای کلیه نیروگاه‌ها در نظر گرفته می‌شود و سهم معینی از این مقدار به عنوان سهمیه انتشار یک نیروگاه تخصیص داده می‌شود. این سهمیه‌ها بر اساس میزان انرژی حرارتی ورودی به نیروگاه تعیین می‌شود. در سال اول این برنامه سقف انتشار گاز  $SO_2$  ۱۱/۹ میلیون تن در سال بوده است که در سال ۲۰۰۳ به مقدار ۱۰/۶ میلیون تن در سال کاهش داده شد. طبق این برنامه سقف انتشار این آلاینده در سال ۲۰۱۰ باید به میزان ۸/۹۵ میلیون تن در سال برسد که این مقدار ۱۰ میلیون تن کمتر از انتشار نیروگاه‌ها در سال ۱۹۸۰ است. استفاده از فن‌آوری‌های جدید کاهش این آلاینده موجب عملی شدن این برنامه خواهد شد [۴].

همانطور که در شکل های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود، سهم انرژی های نو و انرژی هسته ای در تولید برق آمریکا و کانادا در حال افزایش است. به این ترتیب فاکتور انتشار ملی این دو کشور در حوزه تولید انرژی الکتریکی در سال های آینده به دلیل پاک بودن انرژی های نو، کاهش می‌یابد. نکته قابل تامل دیگر در این نمودار ها رشد اندک تولید انرژی الکتریکی در آمریکا و کانادا تا سال ۲۰۳۰ است. علت آن کاهش مصرف انرژی الکتریکی و بهبود بهره‌وری انرژی الکتریکی است. بنابر این، صرفه جویی و بهبود بهره‌وری انرژی الکتریکی، بطور غیر مستقیم موجب کاهش فاکتور انتشار گازهای خروجی از دودکش نیروگاه ها خواهد شد [۶،۷].

در ایران نیز مطابق شکل (۶) توسعه ظرفیت نیروگاه های برق آبی، هسته ای و انرژی های تجدید پذیر هم هنگام با کاربرد سیستم های کاهش آلاینده های  $SO_2$  و  $NOx$  خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی موجب کاهش فاکتور انتشار ملی در حوزه تولید انرژی الکتریکی خواهد شد. با توسعه نیروگاه‌های زغال‌سنگ سوز تا سال ۱۴۰۴ علاوه بر آلاینده‌های ذکر شده فاکتور انتشار جیوه (Hg) نیز باید تحت کنترل قرار گیرد. صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در کشور ایران موجب کاهش تقاضا و در نتیجه کاهش تولید و در نهایت کاهش انتشار آلاینده های گازی در کشور خواهد

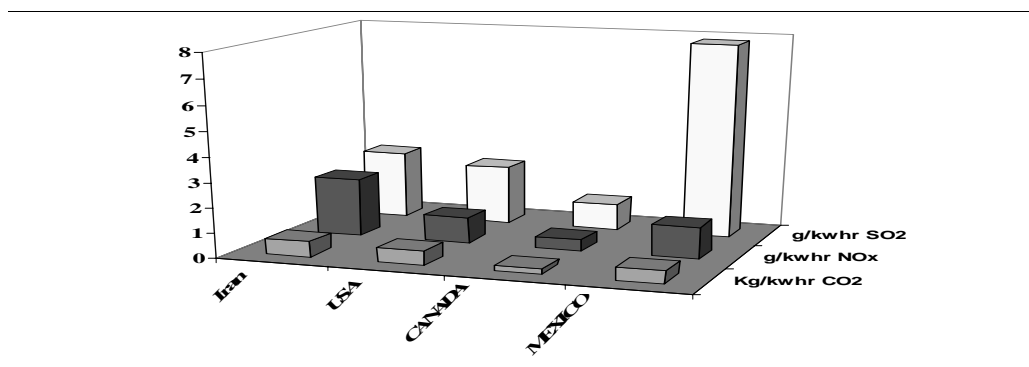


شکل ۲: سهم سوخت های فسیلی و سایر انرژی های متداول در تولید برق کشورهای آمریکای شمالی و ایران در

سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۷ [ ۲ ]

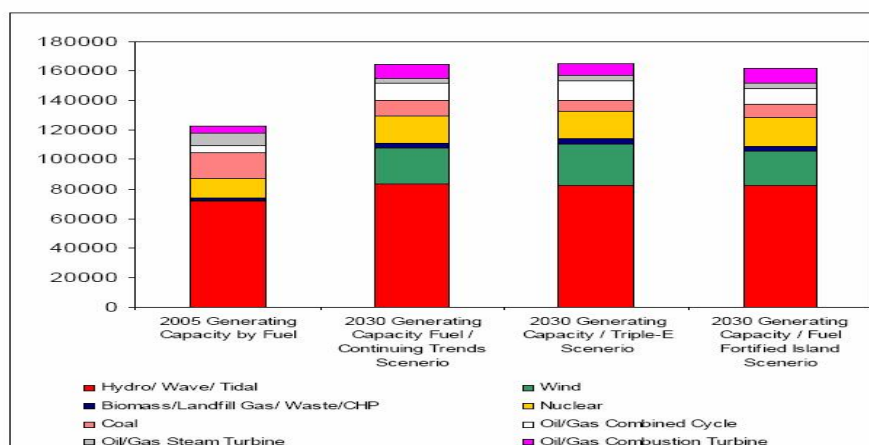
جدول ۴: فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق با در نظر گرفتن کلیه روش های تولید برق در مقایسه با کشورهای آمریکای شمالی [۲]

کشور	CO <sub>2</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (gr/kWh)	SO <sub>2</sub> (gr/kWh)
ایران	۶۴۰	۲/۴	۲/۷۵
آمریکا	۵۸۰	۱/۰۴	۲/۳۸
کانادا	۲۲۰	۰/۴۵	۱/۰۸
مکزیک	۵۰۰	۱/۲۶	۷/۸۳



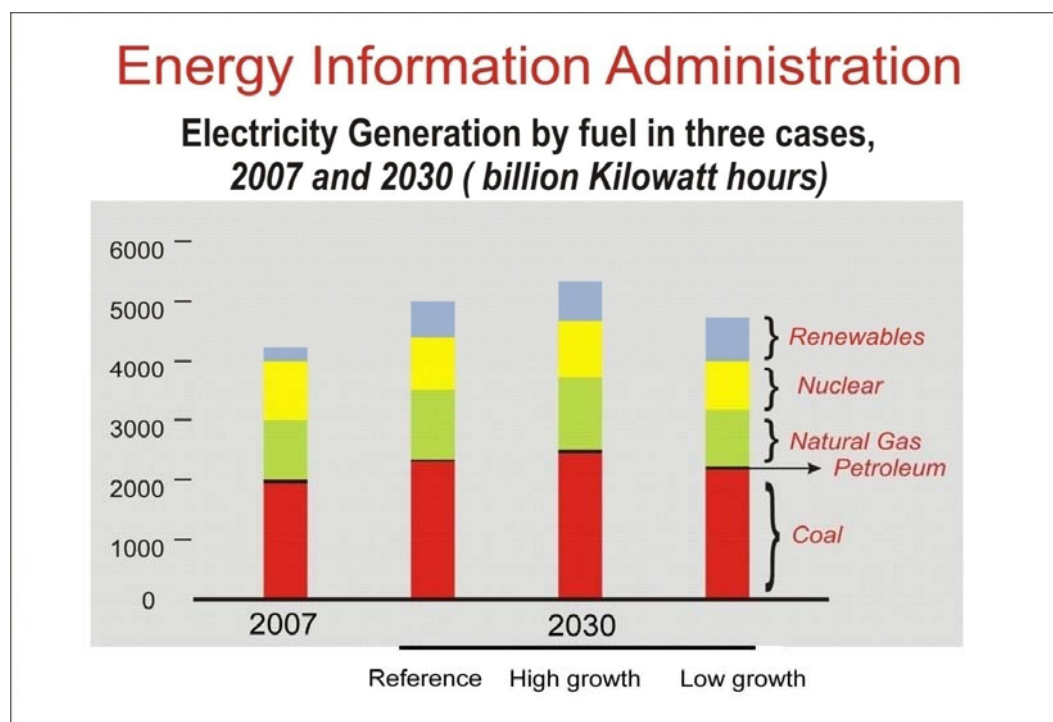
شکل ۳: فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق با در نظر گرفتن کلیه روش های تولید برق در مقایسه با کشورهای آمریکای شمالی [۱]

Canadian Electrical Generating Capacity (MW) by Fuel and Scenario

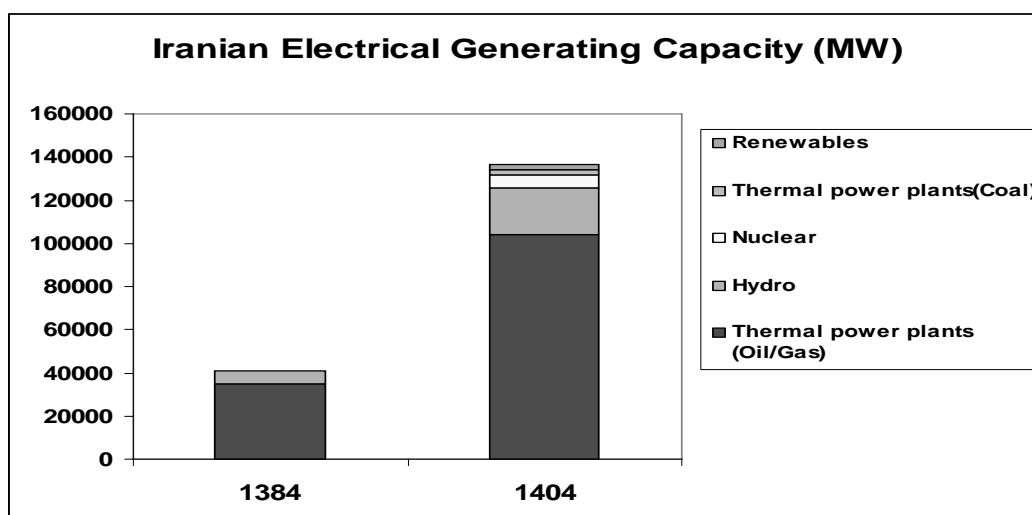


Source: National Energy Board (2007) Canada's Energy Future: Reference Case and Scenarios to 2030

شکل ۴: ظرفیت نصب شده نیروگاهی در سال ۲۰۰۵ در کانادا و پیش بینی وضع تولید برق آن کشور در سال ۲۰۳۰ و افزایش سهم انرژی های تجدید پذیر و برق آبی در تولید برق [۶]



شکل ۵: تولید برق در سال ۲۰۰۷ در آمریکا و پیش بینی تولید آن در سال ۲۰۳۰ [۷]



شکل ۶: ظرفیت نصب شده نیروگاهی در سال ۱۳۸۴ در ایران و پیش بینی وضع تولید برق در سال ۱۴۰۴ [۳]

## نتیجه گیری

میانگین فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی کشور (با در نظر گرفتن سهم تولید نیروگاه های برق آبی و توربین بادی) برای گاز  $CO_2$ ،  $640 \text{ gr/kWh}$ ، گاز  $SO_2$ ،  $2/75 \text{ gr/kWh}$  و گاز  $NOx$ ،  $2/4 \text{ gr/kWh}$  محاسبه و برآورد شده است.

در صورت استفاده بیشتر از انرژی های تجدید پذیر، انرژی برق آبی و انرژی هسته ای و نیز افزایش راندمان نیروگاه ها، استفاده از سیستم های پایش مداوم و سیستم های کاهش آلاینده های خروجی از دودکش نیروگاه ها، فاکتورهای انتشار به شدت کاهش می یابد. برای نمونه در کانادا که عمده ظرفیت تولید برق آن از انرژی برق آبی (۶۱٪) و انرژی هسته ای (۱۲٪) است، فاکتور انتشار گاز  $CO_2$ ،  $220 \text{ gr/kWh}$ ، گاز  $SO_2$ ،  $1/08 \text{ gr/kWh}$  و گاز  $NOx$ ،  $0/45 \text{ gr/kWh}$  است.

با افزایش راندمان فاکتور انتشار گاز  $CO_2$  کاهش می یابد. در مورد آلاینده  $NOx$  علاوه بر راندمان، بود و نبود سیستم های متداول کاهش این آلاینده مانند سیستم های کاتالیستی، مشعل های پیش اختلاط نظیر مشعل LNB در نیروگاه های بخاری و مشعل DLN در نیروگاه های توربین گازی و سیکل ترکیبی در تعیین میزان فاکتور انتشار این آلاینده مشارکت دارند.

تجهیز نیروگاه ها به سیستم های کاهش آلاینده بسیار موثرتر از نقش افزایش راندمان آنهاست.  $26/7$  درصد از ظرفیت نصب شده نیروگاه های سیکل ترکیبی و  $71/4$  درصد از ظرفیت نصب شده نیروگاه های توربین گازی کشور مجهز به مشعل DLN در حالت گاز سوز است. هیچیک از نیروگاه های بخاری کشور در هنگام مصرف سوخت گاز دارای سیستم کاهش آلاینده  $NOx$  نیست. در حالت استفاده از سوخت مایع فقط  $3/7$  درصد از کل ظرفیت نیروگاهی کشور مجهز به سیستم کاهش آلاینده  $NOx$  است. در حالت کلی، در هنگام استفاده از سوخت مایع تیپ های نیروگاهی با راندمان تولید انرژی الکتریکی بیشتر، دارای کمترین فاکتور انتشار این آلاینده است. به جز نیروگاه های بخار، که از سیستم GRFan در هنگام بهره برداری با سوخت سنگین (مازوت) استفاده می کنند، این مورد موجب کاهش فاکتور انتشار آلاینده  $NOx$  در نیروگاه های بخار در مقابل نیروگاه های سیکل ترکیبی در هنگام مصرف سوخت مایع خواهد شد.  $18/5$  درصد از ظرفیت نیروگاه های بخار کشور فاقد GRFan است.

فاکتور انتشار آلاینده  $SO_2$  در نیروگاه های بخار با توجه به این که مازوت مصرفی در این نیروگاه ها به طور متوسط حاوی  $2/5$  درصد وزنی گوگرد است، بسیار بیشتر از فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های توربین گازی و سیکل ترکیبی

است. گازوئیل مصرفی در این نیروگاه ها بین ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی است. هیچیک از نیروگاه های کشور مجهز به سیستم کاهش این آلاینده نیست.

متوسط فاکتور انتشار این آلاینده در نیروگاه های بخار  $15/27 \text{ gr/kWh}$  است. پراکندگی این آلاینده در اتمسفر با توجه به وضعیت هواشناسی و کلاس پایداری هوا و توپوگرافی منطقه دارای الگوهای مختلفی است. در فصل زمستان با توجه به این که ارتفاع اختلاط بسیار کمتر از فصول دیگر سال است، رقیق سازی این آلاینده در اتمسفر به خوبی صورت نمی گیرد، از این رو مناطق شهری و روستایی اطراف نیروگاه و خطوط انتقال و توزیع و سایر تجهیزات نیروگاهی از آن متاثر می گردد.

سهم انرژی های نو و انرژی هسته ای در تولید برق کشورهای آمریکا و کانادا در حال افزایش است. به دین ترتیب، فاکتور انتشار ملی این کشورها در حوزه تولید انرژی الکتریکی در سال های آینده به دلیل پاک بودن انرژی های نو، کاهش می یابد. صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی و بهبود بهره وری انرژی، موجب کاهش فاکتور انتشار گازهای خروجی از دودکش نیروگاه ها خواهد شد. درصد بسیار زیاد مصرف گاز در نیروگاه های کشور موجب کاهش فاکتور انتشار کل در نیروگاه های کشور علیرغم عدم استفاده از سیستم های کاهش آلاینده ها و پایین بودن راندمان نیروگاه های کشور نسبت به نیروگاه های کشورهای آمریکای شمالی شده است.

در ایران توسعه ظرفیت نیروگاه های برق آبی، هسته ای و انرژی های تجدیدپذیر همزمان با کاربرد سیستم های کاهش آلاینده  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_x$  خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی موجب کاهش فاکتور انتشار ملی در حوزه تولید انرژی الکتریکی خواهد شد. در صورت حفظ وضع موجود نیروگاه های کشور تا سال ۱۴۰۴ و عدم نصب سیستم های کاهش آلاینده و یا بهره برداری نامناسب از آن، فاکتور انتشار ملی در بخش تولید انرژی الکتریکی با توجه به افزایش سهم تولید نیروگاه های سوخت فسیلی، افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، با توسعه نیروگاه های زغال سنگ سوز تا سال ۱۴۰۴ علاوه بر آلاینده های ذکر شده فاکتور انتشار جیوه (Hg) نیز باید کنترل و مهار شود. صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در ایران موجب کاهش تقاضا و در نتیجه کاهش تولید و سرانجام کاهش فاکتور انتشار آلاینده های گازی در کشور خواهد شد.

## منابع

[۱] آمار تفصیلی صنعت برق کشور در سال ۱۳۸۶، شرکت توانیر

- [۲] پروژه تدوین اطلس آلودگی نیروگاه های کشور، مجری، گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو، کار فرما دفتر امور تحقیقات برق شرکت توانیر، ۱۳۸۵-۱۳۸۷.
- [۳] سند چشم انداز بیست ساله انرژی ایران، کمیسیون تخصصی شورای عالی انرژی کشور، شهریور ۱۳۸۶.
- [۴] شناسایی بازار  $CO_2$ ،  $NO_x$ ،  $SO_x$  و عملکرد آنها، گروه محیط زیست پژوهشگاه نیرو، سال ۱۳۸۴.
- [5] J. Miller North American Power Plant Air Emissions, Paul, 2004, Commission for Environmental Cooperation of North America Montréal, Québec.
- [6] National Energy Board. 2007, Canada's Energy Future, <http://www.neb.gc.ca>.
- [7] U.S. Department of Energy. Annual Energy Outlook 2009 with Projection to 2030. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index/html>