

## مدل‌سازی انتشار گازهای $SO_2$ و $NO_x$ خروجی از دودکش نیروگاه گازی توس مشهد

محمد اسماعیل زاده<sup>۱</sup>، ادریس بذرافشان<sup>۲</sup>، مهناز نصر آبادی<sup>۳</sup>

پذیرش: ۹۱/۱۱/۰۹

دریافت: ۹۱/۰۸/۰۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** نیروگاه گازی توس به عنوان یکی از منابع انتشار گازهای آلاینده در شمال غربی مشهد قرار دارد. این نیروگاه در مجاورت چندین منبع خطی، نقطه‌ای و سطحی دیگر قرار گرفته است و به این جهت تعیین سهم دقیق انتشار گازهای آلاینده این نیروگاه امکان پذیر نیست. بنابراین در این مطالعه از مدل‌سازی برای تخمین میزان پراکنش آلاینده‌های خروجی از این نیروگاه استفاده گردید.

**روش بررسی:** مدل‌سازی پراکنش اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) خروجی از این نیروگاه با توربین V94.2 دارای مشعل‌های تیپ DLN، به وسیله نرم افزار Screen3، با استفاده از اطلاعات غلظت آلاینده‌های خروجی، نشر جرمی و مشخصات دودکش واحدها، اطلاعات هواشناسی و نوع سوخت مصرفی انجام پذیرفت.

**یافته‌ها:** حداکثر غلظت  $NO_x$  در فاصله حدود ۳۰ Km از نیروگاه  $1/08 \mu g/m^3$  بوده و حداکثر غلظت  $SO_2$  در فاصله حدود ۳۰ Km از نیروگاه  $3/69 \mu g/m^3$  تعیین مقدار گردید. نتایج حاصل از مدل‌سازی بیان‌گر انتشار آلاینده‌ها در غالب موارد در راستای شمال غرب به جنوب شرق است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به غلظت مورد اندازه‌گیری آلاینده‌های  $NO_x$  و  $SO_2$  ناشی از نیروگاه، غلظت این آلاینده‌ها در مقایسه با استانداردهای هوای پاک سازمان حفاظت محیط زیست بسیار کمتر است.

**واژگان کلیدی:** مدل‌سازی، نرم افزار Screen3، نیروگاه گازی، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، سیستان و بلوچستان، گروه محیط زیست، زاهدان

۲- (نویسنده مسئول): دکترای بهداشت محیط، دانشیار مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان

ed\_bazrafshan@yahoo.com

۳- دکترای محیط زیست، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، سیستان و بلوچستان، گروه محیط زیست، زاهدان

## مقدمه

به طور معمول انسان روزانه حدود ۱۰۰۰۰ L هوا استنشاق می‌کند که این میزان هوا در تماس نزدیک با سطح ریه‌ها در مساحتی معادل ۱۰۰ m<sup>2</sup> قرار دارد. بدین ترتیب مجاری تنفسی انسان در تماس نزدیک با حجم زیادی از هوای آزاد و اجزای موجود در آن قرار دارد. از طرفی شهرنشینی و صنعتی شدن سریع جوامع انسانی همراه با افزایش پیوسته خروجی‌های وسایط نقلیه و واحدهای صنعتی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته افت شدید کیفیت هوای تنفسی را به دنبال داشته است. بر اساس برآوردهای سازمان بهداشت جهانی سالانه بیش از ۳۰۰ میلیون نفر جان خود را به دلیل اثرات زیان آور هوای آزاد از دست می‌دهند (۱) که از این میان حدود یک میلیون مرگ و میر مربوط به سرطان ریه است (۲). همچنین مطالعات متعددی بیانگر افزایش میزان ریسک مرگ و میر به دنبال ابتلا به نارسایی‌های تنفسی و قلبی عروقی در نتیجه مواجهه حتی کوتاه مدت با آلاینده‌های هوا است (۳ و ۴). در این میان آلاینده‌های هوا نظیر ذرات معلق، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ازن و منواکسید کربن مسئول بسیاری از مرگ و میرهای پیش از موعد و نیز اثرات حاد و مزمن متعدد بر انسان در محیط‌های شهری است (۵).

در حال حاضر به دلیل رشد سریع شهرنشینی و صنعتی شدن آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی در بسیاری از شهرهای بزرگ و صنعتی کشور تبدیل شده است. از این رو کنترل آلاینده‌های هوا بمنظور فراهم نمودن محیط زیستی بهتر و سالم‌تر جهت تولید بیشتر امری کاملاً ضروری محسوب می‌شود.

امروزه نیروگاه‌های حرارتی با مصرف مقادیر زیاد و متنوع انواع سوخت‌های فسیلی بعنوان یکی از منابع ثابت و مهم مولد آلودگی نقش قابل ملاحظه‌ای را در ایجاد هوای نامطلوب در محیط‌های شهری بر عهده دارند و بنابراین بررسی‌های کمی و کیفی خروجی دودکش این واحدها می‌تواند راه‌کاری جهت کنترل نشر آلاینده‌ها از این منابع باشد.

نیروگاه گازی توس مشهد دارای شش واحد ۱۵۹/۲ MW V94.2 Version5 تولید برق با استفاده از توربین‌های گازی است. نیروگاه دارای ظرفیت کل واحدها ۹۵۵/۲ MW است.

قابلیت احتراق دو سوخت اصلی گاز و گازوییل به عنوان منبع تولید انرژی الکتریکی بوده و در صورت تامین گاز از جانب شرکت ملی گاز ایران، معمولاً از گاز به عنوان سوخت استفاده می‌شود. در فصول سرد سال که معمولاً مصرف گاز در شبکه سراسری افزایش یافته و شبکه دچار افت فشار می‌گردد تامین گاز نیروگاه متوقف شده و از سوخت گازوییل به عنوان جایگزین استفاده می‌شود که این امر سبب آلودگی بیشتر محیط زیست می‌شود.

سال‌هاست که کاربرد فرمول‌ها و معادلات ریاضی در بحث آلودگی هوا رایج شده است و امروزه مدل‌سازی آلودگی هوا، ابزاری اساسی و قدرتمند در مطالعات آلودگی هوا خصوصاً در پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوا، انتشار آلاینده‌ها و غلظت آنها تحت شرایط مختلف و در مکان‌های دلخواه شده است (۶). از جمله مدل‌های رایج مورد استفاده جهت شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها مدل شبیه‌سازی Screen3 است که در سال ۱۹۹۵ به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) منتشر شده است. مدل Screen3 به منظور فراهم آوردن روشی ساده برای تخمین غلظت آلودگی بر اساس روش‌های Screening طراحی شده است. این مدل یک مدل تک منبع گوسینی است که برای محاسبه آسان و نمایش حداکثر غلظت آلاینده در سطوح زمین توسعه داده شده است و برای یک منبع نقطه‌ای، سطحی و حجمی و برای انتشارات کوتاه مدت، به کار می‌رود. از محدودیت‌های این مدل این است که Screen3 نمی‌تواند به طور مجزا اثرات حداکثر چندگانه را محاسبه نماید مگر در روشی که منابع جداگانه و به طور یک منبع واحد در نظر گرفته شود و همچنین زمانی که نقاط مورد نظر در مدل‌سازی از ارتفاع دودکش بالاتر باشد و گزینه Complex Terrain در نرم‌افزار انتخاب شود برآورد غلظت ۲۴ h است و در سایر موارد برآورد غلظت حداکثر یک ساعته است.

مطالعات مختلفی برای شبیه‌سازی اثرات آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌ها و سایر منابع ثابت در سطح بین‌المللی به انجام رسیده است (۷ و ۸). در داخل کشور نیز تحقیقات و مطالعاتی در زمینه اثرات آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌ها و شبیه‌سازی پخش دود آنها به انجام رسیده است. در مطالعه‌ای که توسط Karbasi و

غلظت آلودگی است. Screen3 می‌تواند کلیه محاسبات منبع واحد و محاسبات کوتاه مدت شامل تخمین حداکثر غلظت در سطح زمین و فاصله تا حداکثر، منظور کردن اثرات انحراف جریان ساختمان‌ها به حداکثر غلظت برای نواحی نزدیک و دور، تخمین غلظت در ناحیه خلاء گردشی و تخمین غلظت به علت وارونگی و تجمع در خط ساحلی، تعیین افزایش ستون دود برای رهاسازی از شعله را بنماید. این مدل می‌تواند حداکثر غلظت را در هر تعداد نقطه تعریف شده توسط کاربر در سطح صاف یا در ارتفاع شامل فاصله تا 100 Km کیلومتری را محاسبه نماید. اساس کار این نرم افزار بر پایه توزیع نرمال یا مدل گوسی طراحی شده است. حداقل ورودی های لازم برای اجرای برنامه Screen3 در مدل نقطه ای عبارتند از:

- مقدار انتشار آلودگی مورد نظر (g/s)

- ارتفاع دودکش (m)

- قطر دهانه دودکش (m)

- سرعت گاز خروجی از دودکش (m/s) یا نرخ جریان ( $m^3/s$ )

- دمای گاز خروجی (°K)

- دمای محیط (°K)

- ارتفاع گیرنده از سطح زمین (m)

- شهری یا روستایی بودن منطقه Urban (شهری)، Rural (روستایی) (۱۴)

در این پژوهش ابتدا با انجام مطالعات میدانی و سپس جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی منطقه، میزان نشر جرمی آلاینده‌های  $NO_x$  و  $SO_2$  خروجی دودکش‌های نیروگاه، مشخصات دودکش‌های نیروگاه و استفاده از نرم افزار Screen3، غلظت  $NO_x$  و  $SO_2$  منتشره از ۶ دودکش موجود در نیروگاه تا شعاع 50 Km آن (با توجه به باد غالب منطقه) به دست آمد و سپس به ارایه پیشنهادات برای رفع یا کاهش آلودگی ناشی از آلاینده‌های  $NO_x$  و  $SO_2$  پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر در مطالعه حاضر ۶ آگزوز نیروگاه به یک منبع معادل‌سازی شد ضمن آن که مدل‌سازی در زیر ارتفاع دودکش صورت پذیرفت.

جدول ۱: مشخصات عمومی نیروگاه گازی توس مشهد

نوع نیروگاه	تعداد واحد	ظرفیت واحدها	سازنده نیروگاه	سازنده ژنراتور	سازنده توربین	تیپ و مدل توربین	تیپ برنرها
توربین گازی	۶	۱۵۹/۲	مپنا	Siemens	Siemens	V94.2 V5	DLN

همکاران انجام گرفت میزان پراکنش اکسیدهای ازت و گوگرد چهار نیروگاه کشور (نیروگاه بخاری رامین اهواز، نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی قزوین، نیروگاه گازی ری، نیروگاه دیزلی لوشان) توسط نرم افزار Screen3 مدل‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت که از این نیروگاه‌ها دو نیروگاه شهید رجایی قزوین و نیروگاه ری آلاینده‌هایی بیش از حد استاندارد تولید می‌نمودند (۹). در مطالعه ای دیگر شبیه‌سازی انتشار گاز دی اکسید گوگرد از دودکش نیروگاه حرارتی شهید رجایی قزوین در فصل زمستان توسط نرم افزار Screen3 انجام گرفت که نتایج آن نشان داد که در هیچ موردی از شرایط جوی غلظت آلاینده‌های نیروگاه بالاتر از حد مجاز نبوده است (۱۰). در تحقیق مشابه دیگری که توسط Samadi و همکاران انجام گرفت، مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های شهرهای اصفهان و تبریز صورت گرفت و نتایج آن بیان‌گر پایین تر بودن غلظت متوسط آلاینده‌ها در محدوده مطالعاتی از حد استاندارد بود (۱۱).

با توجه به مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی گازهای  $SO_2$  و  $NO_x$  و همچنین گسترش مناطق صنعتی، مسکونی و کشاورزی در اطراف نیروگاه، شبیه‌سازی پراکنش این گازها به منظور تخمین غلظت آلودگی اطراف نیروگاه ضروری است. مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات نیروگاه بر آلودگی هوای منطقه و برآورد حداکثر غلظت‌های محتمل آلودگی در محیط اطراف نیروگاه طراحی و انجام پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای شبیه‌سازی انتشار گازهای  $SO_2$  و  $NO_x$  از مدل شبیه‌سازی Screen3 که در سال ۱۹۹۵ به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) منتشر شده استفاده شده است. مدل Screen3 به منظور فراهم آوردن روشی ساده برای تخمین

جدول ۲: مشخصات وضعیت بهره‌برداری، دود خروجی و میزان نشر جرمی آلاینده‌های NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub> نیروگاه گازی توس مشهد

نوع سوخت		مشخصات پارامترهای مورد مطالعه
گاز	گازوییل	
بار پایه - مد پرمیکس	بار پایه - مد پرمیکس	بار واحدها و وضعیت بهره برداری
۴۶۱/۹	۱۱۸/۷	مقدار NO <sub>x</sub> اندازه گیری شده توسط دستگاه Testo (مجموع ۶ دودکش) (ppm)
۷۴۵/۲۵	۰	مقدار SO <sub>2</sub> اندازه گیری شده توسط دستگاه Testo (مجموع ۶ دودکش) (ppm)
۷۰/۰۲	۱۸/۳	نشر جرمی NO <sub>x</sub> (g/sec)
۲۴۰/۰۴	۰	نشر جرمی SO <sub>2</sub> (g/sec)
۲۴	۲۴	سرعت گاز خروجی از دودکش (m/s)
۸۴۹	۸۳۵	دمای خروجی (°K)
۲۵	۲۵	طول دودکش (m)
۶/۴	۶/۴	قطر دودکش (m)
۱۵/۶۸	۱۵/۶۸	قطر معادل دودکش‌ها (m)

مشخصات دود خروجی و میزان نشر جرمی منبع انتشار آلاینده‌های NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub>

مشخصات منبع انتشار آلاینده‌های NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub> که جهت مدل‌سازی مورد نیازست در جدول ۲ ارائه شده است. میزان انتشار آلاینده‌ها با توجه به سوخت مصرفی و وضعیت بهره‌برداری متفاوت است. این نتایج از اندازه‌گیری گازهای حاصل از احتراق در زمان بهره‌برداری از واحدها در بار پایه با مد پرمیکس (پیش اختلاط) در هر دو نوع سوخت گاز و گازوییل به صورت جداگانه حاصل شده‌اند.

جدول ۴: کلاس‌های پایداری محتمل منطقه در فصل زمستان

کلاس پایداری ممکن	سرعت‌های باد غالب (m/s)
ناپایدار، کمی ناپایدار، خشی، پایدار	۲
کمی ناپایدار، خشی، پایدار	۴
خشی	۶

منطقه مورد مطالعه و مشخصات عمومی نیروگاه

محدوده نیروگاه گازی توس زمینی حدود ۷۰ هکتار است، موقعیت نیروگاه در ۱۹ Km شمال غربی مشهد در محور جاده مشهد- قوچان در طول جغرافیایی ۳۶/۴۵۰۱۸۱<sup>۰</sup> و عرض جغرافیایی ۵۹/۴۱۶۴۲۲۸<sup>۰</sup> و ارتفاع ۱۰۵۰ m از سطح دریای آزاد قرار دارد. نیروگاه حرارتی توس در مجاورت ضلع شرقی نیروگاه گازی توس و بزرگراه مشهد- قوچان در مجاورت ضلع شمالی نیروگاه و همچنین شهرک صنعتی توس در نزدیکی ضلع شرقی و جنوبی نیروگاه قرار دارند. مشخصات عمومی نیروگاه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج بررسی اطلاعات اقلیمی پنج ساله ایستگاه سینوپتیک گل‌مکان در فصل زمستان مورد استفاده در نرم افزار Screen3

۲۹۶/۳۷	میانگین دما در فصل زمستان (°K)
۶، ۴، ۲	سرعت‌های محتمل باد غالب (m/s)
شمال غربی	جهت باد غالب
ابری، نیمه ابری، آفتابی	پوشش آسمان

جدول ۵: شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش نیروگاه (سوخت مصرفی گازوییل)

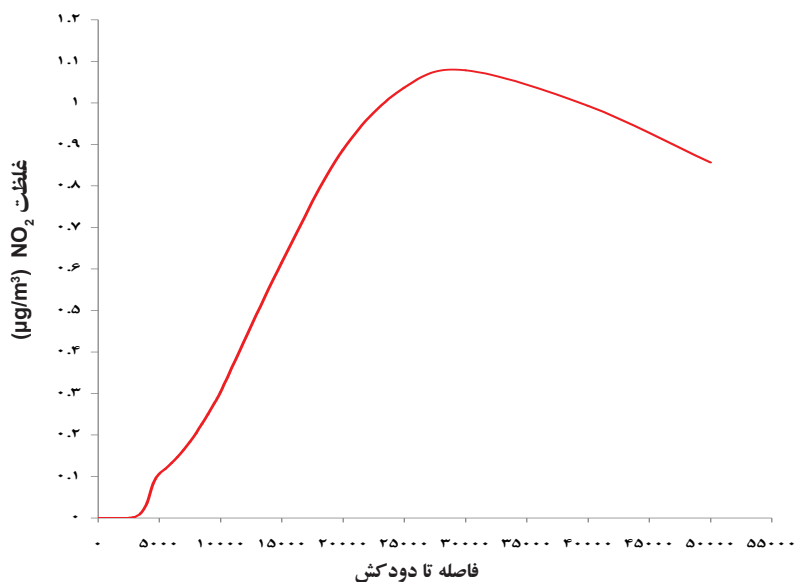
ردیف	نوع آلاینده (سوخت مصرفی گازوییل)	سرعت باد غالب (m/s)	وضعیت آسمان	موقعیت زمانی	کلاس پایداری	حداکثر غلظت آلودگی ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	فاصله وقوع حداکثر غلظت آلودگی (m)
۱	NO <sub>x</sub>	۲	نسبتاً صاف	روز	۲ (ناپایدار)	۱/۰۳	۲۱۴۸۵
۲	NO <sub>x</sub>	۲	کمی ابری	روز	۳ (کمی ناپایدار)	۰/۵۶	۶۴۰۰۰
۳	NO <sub>x</sub>	۲	ابری	روز یا شب	۴ (ختی)	۰/۰۲۹	۴۶۰۹
۴	NO <sub>x</sub>	۲	کمی ابری	شب	۶ (پایدار)	۰/۶۸	۳۰۰۰
۵	NO <sub>x</sub>	۴	نسبتاً صاف	روز	۳ (کمی ناپایدار)	۱/۰۸	۳۰۰۳۲
۶	NO <sub>x</sub>	۴	نیمه ابری یا ابری	روز یا شب	۴ (ختی)	۰/۵۵	۴۶۰۵
۷	NO <sub>x</sub>	۴	صاف یا کمی ابری	شب	۶ (پایدار)	۰/۷	۳۰۰۰۰
۸	NO <sub>x</sub>	۶ یا بیشتر	تمام حالات وضعیت آسمان	تمام حالات روز و شب	۴ (ختی)	۰/۸۴	۷۴۱۰۰
۹	NO <sub>x</sub>		کلیه شرایط هواشناسی (بدترین شرایط جوی)			۴/۲۴	۲۲۴۷
۱۰	SO <sub>2</sub>	۲	نسبتاً صاف	روز	۲ (ناپایدار)	۳/۵۳	۲۱۴۸۵
۱۱	SO <sub>2</sub>	۲	کمی ابری	روز	۳ (کمی ناپایدار)	۱/۹۳	۶۴۰۰۰
۱۲	SO <sub>2</sub>	۲	ابری	روز یا شب	۴ (ختی)	۰/۱	۴۶۰۹
۱۳	SO <sub>2</sub>	۲	کمی ابری	شب	۶ (پایدار)	۲/۳۴	۳۰۰۰
۱۴	SO <sub>2</sub>	۴	نسبتاً صاف	روز	۳ (کمی ناپایدار)	۳/۶۹	۳۰۰۳۲
۱۵	SO <sub>2</sub>	۴	نیمه ابری یا ابری	روز یا شب	۴ (ختی)	۰/۱۹	۴۶۰۹
۱۶	SO <sub>2</sub>	۴	صاف یا کمی ابری	شب	۶ (پایدار)	۲/۴۰	۲۹۹۹۹
۱۷	SO <sub>2</sub>	۶ یا بیشتر	تمام حالات وضعیت آسمان	تمام حالات روز و شب	۴ (ختی)	۰/۲۹	۷۴۱۰۰
۱۸	SO <sub>2</sub>		کلیه شرایط هواشناسی (بدترین شرایط جوی)			۱۴/۵۲	۲۲۴۷

جدول ۶: شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش نیروگاه (سوخت مصرفی گاز طبیعی)

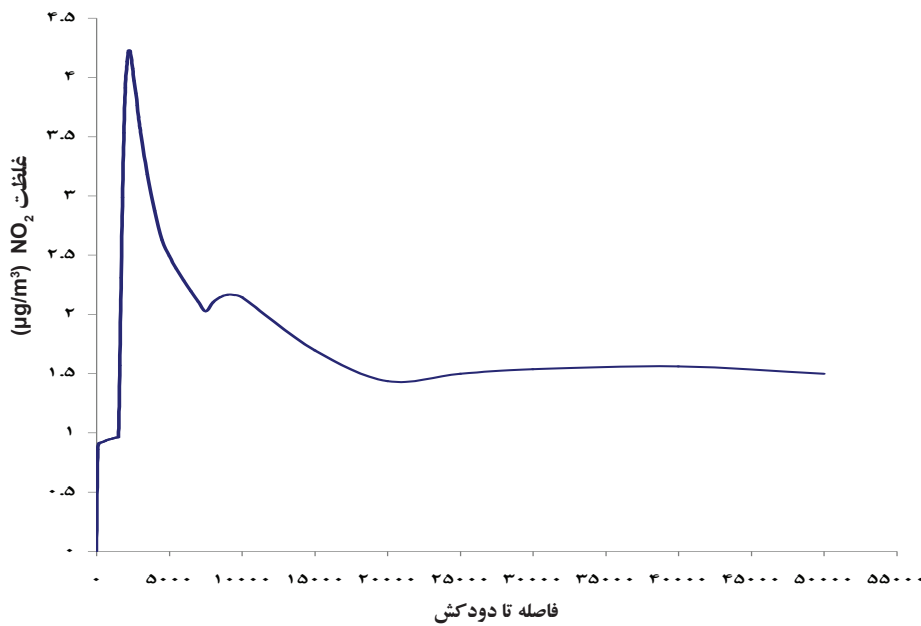
فاصله وقوع حداکثر غلظت آلودگی (m)	حداکثر غلظت آلودگی (µg/m <sup>3</sup> )	کلاس پایداری	موقعیت زمانی	وضعیت آسمان	سرعت باد غالب (m/s)	نوع آلاینده سوخت مصرفی گاز طبیعی	ردیف
۲۱۵۹۱	۰/۲۷	۲ (ناپایدار)	روز	نسبتاً صاف	۲	NO <sub>x</sub>	۱
۶۴۰۰۰	۰/۱۵	۳ (کمی ناپایدار)	روز	کمی ابری	۲	NO <sub>x</sub>	۲
۴۶۲۵	۰/۰۷۶	۴ (خستگی)	روز یا شب	ابری	۲	NO <sub>x</sub>	۳
۳۰۰۰	۰/۱۸	۶ (پایدار)	شب	کمی ابری	۲	NO <sub>x</sub>	۴
۳۰۲۰۰	۰/۲۸	۳ (کمی ناپایدار)	روز	نسبتاً صاف	۴	NO <sub>x</sub>	۵
۴۶۲۵	۰/۱۴	۴ (خستگی)	روز یا شب	نیمه ابری یا ابری	۴	NO <sub>x</sub>	۶
۲۹۹۹۹	۰/۱۸	۶ (پایدار)	شب	صاف یا کمی ابری	۴	NO <sub>x</sub>	۷
۷۴۱۰۰	۰/۲۲	۴ (خستگی)	تمام حالات روز و شب	تمام حالات وضعیت آسمان	۶ یا بیشتر	NO <sub>x</sub>	۸
۲۲۵۳	۱/۱		کلیه شرایط هواشناسی (بدترین شرایط جوی)			NO <sub>x</sub>	۹

نیروگاه (ایستگاه هواشناسی گلمکان) انجام گرفت که خلاصه اطلاعات به دست آمده در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که از نتایج جداول ۳ و ۴ پیداست هنگامی که سرعت

اطلاعات هواشناسی محل استقرار نیروگاه گازی توس مشهد تجزیه و تحلیل پنج ساله اقلیمی (۱۳۹۰-۱۳۸۵) با استفاده از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به محل



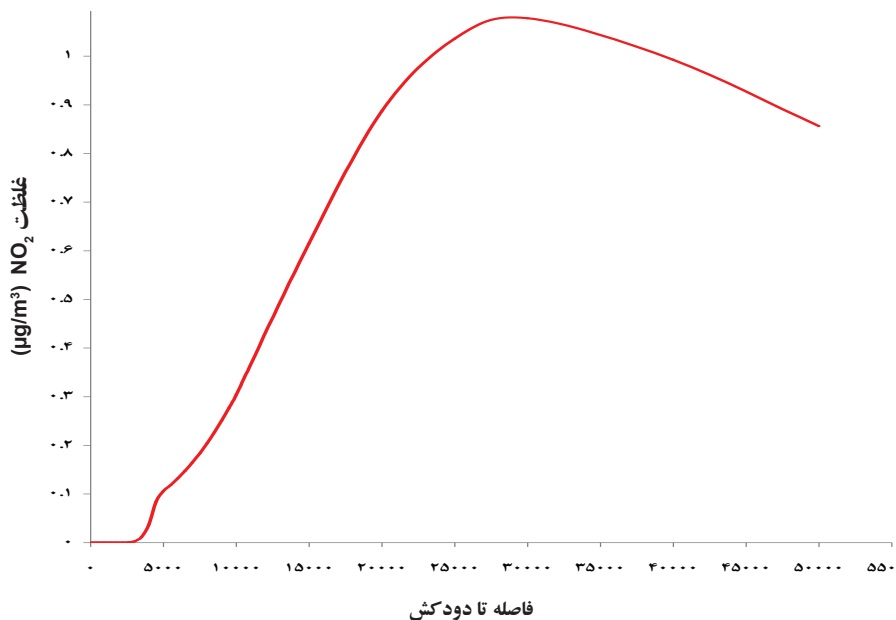
شکل ۱: غلظت NO<sub>x</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان در شرایط جوی کمی ناپایدار (سرعت باد ۴ m/s)، سوخت مصرفی نیروگاه گازوییل



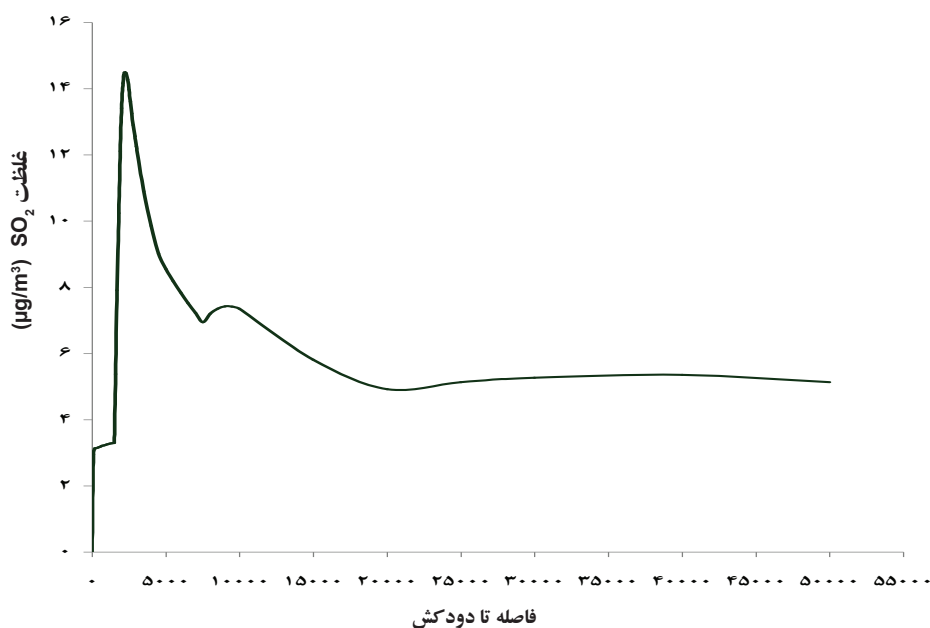
شکل ۲: غلظت NO<sub>x</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان، کلیه شرایط هواشناسی، سوخت مصرفی نیروگاه گازوییل

پیش خواهد رفت. در فصل زمستان در منطقه در سرعت های باد حدود ۲ m/s هرچه پوشش ابر در آسمان بیشتر گردد شرایط پایدارتر خواهد گردید. در صورتی که پوشش ابر از ۵۰٪ آسمان بیشتر باشد شرایط جوی خنثی و همچنین با افزایش سرعت

باد غالب ۲ m/s باشد کلاس پایداری جوی بسته به پوشش ابر در آسمان و سایر شرایط جوی از ناپایدار تا پایدار متغیر است. هرچه سرعت باد افزایش یابد در فصل زمستان که شدت تشعشع خورشید ضعیف است شرایط جوی به سمت خنثی



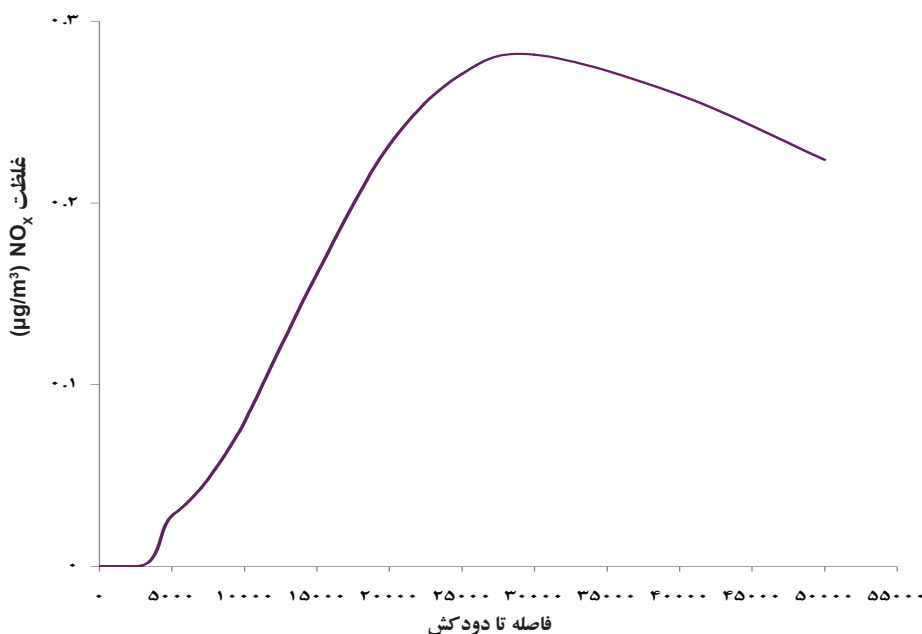
شکل ۳: غلظت SO<sub>2</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان در شرایط جوی کمی ناپایدار سرعت باد، ۴ m/s (سوخت مصرفی نیروگاه گازوییل)



شکل ۴: غلظت SO<sub>2</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان، کلیه شرایط هواشناسی، سوخت مصرفی نیروگاه گازوییل

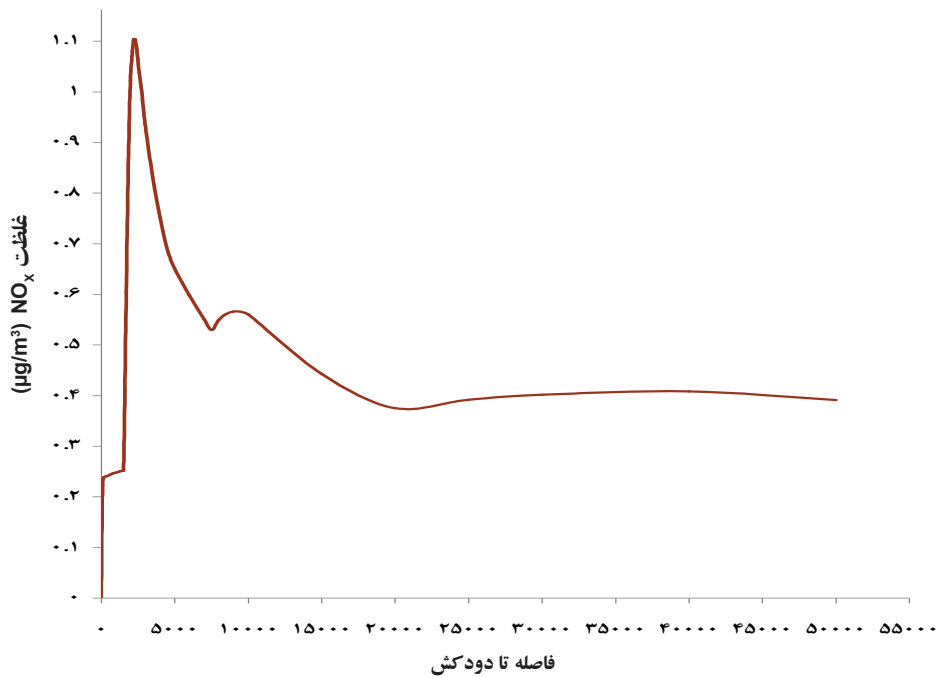
سرعت های باد ۶ m/s و بزرگتر از آن است (۱۲). جهت مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های مذکور کلیه اطلاعات مرحله قبل شامل اطلاعات منبع انتشار، اطلاعات هواشناسی به عنوان ورودی به نرم افزار Screen3 وارد شد. این مدل توانایی برآورد غلظت آلاینده‌ها، حداکثر غلظت و فاصله نقطه

باد و رسیدن به حد ۶ m/s شرایط خنثی خواهد بود. بنابراین در منطقه شرایط ناپایدار به مفهوم سرعت‌های باد ۲-۵ m/s و آسمان صاف یا نسبتاً صاف است. شرایط پایدار معمولاً در شب‌ها و در حالت آسمان کمی تا نیمه ابری در سرعت‌های باد ۲-۵ m/s و شرایط خنثی مربوط به روزها و شب‌های ابری و یا



شکل ۵: غلظت NO<sub>x</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان در شرایط جوی کمی ناپایدار (سرعت باد، ۴ m/s) (سوخت مصرفی نیروگاه گازوییل)

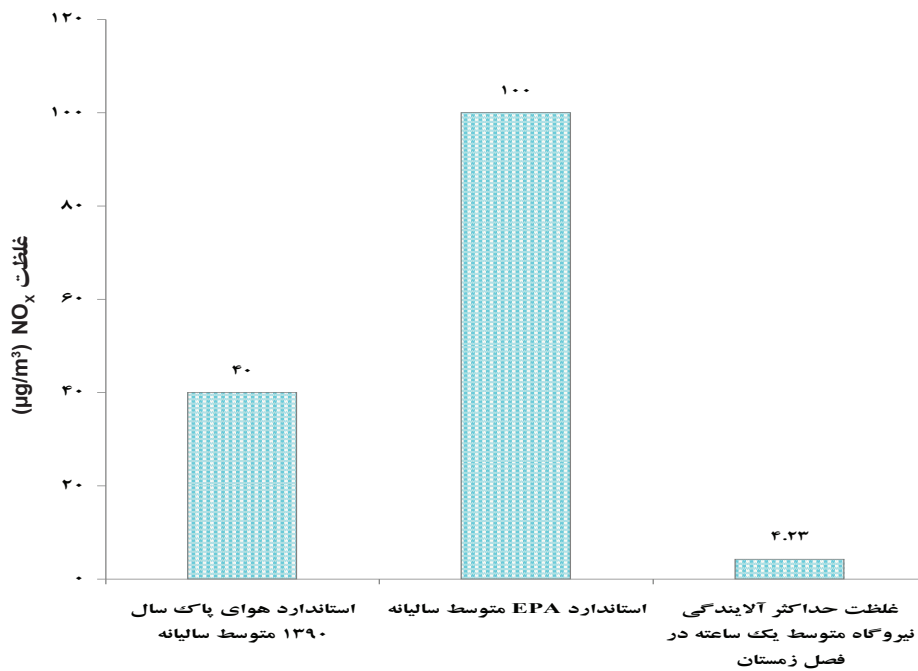




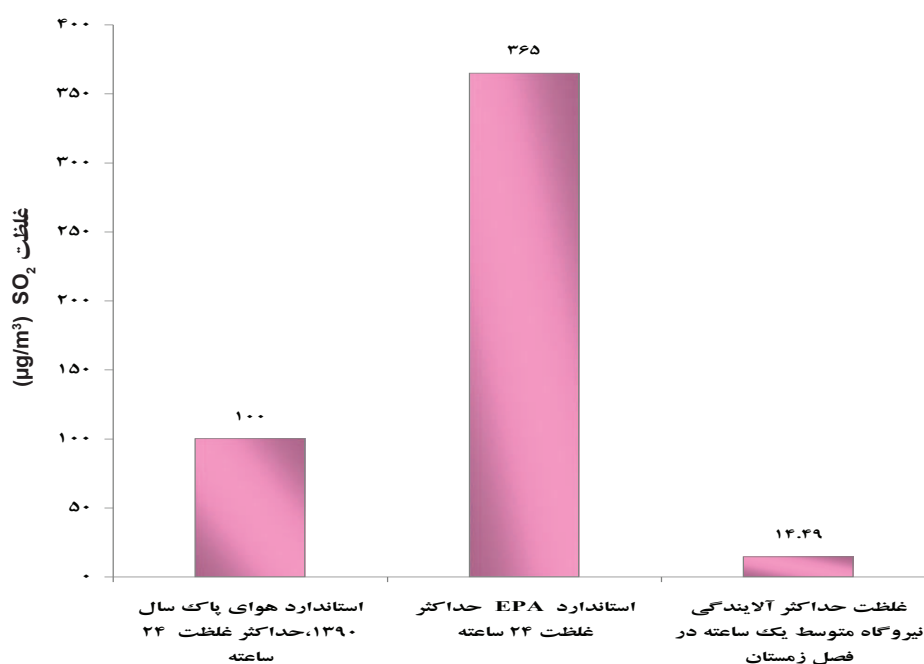
شکل ۶: غلظت NO<sub>x</sub> در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه گازی توس در فصل زمستان، کلیه شرایط هواشناسی، سوخت مصرفی نیروگاه گاز طبیعی

محاسبات مدل براساس مدل انتشار گوسی از منابع پیوسته و شرایط یکنواخت مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اطلاعات اقلیمی منطقه و با مراجعه به جداول استاندارد کلاس‌های پایداری

وقوع حداکثر غلظت از منبع انتشار آلودگی در پایین دست جهت باد را برای منابع نقطه‌ای، سطحی، حجمی و مشعل‌ها را دارد (۱۳).



شکل ۷: مقایسه غلظت NO<sub>x</sub> با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران و EPA



شکل ۸: مقایسه غلظت SO<sub>2</sub> با استاندارد ایران و EPA

اکسید گوگرد ناشی از انتشار از دودکش نیروگاه از استاندارد ۲۴ h یا یکساله تجاوز نمی‌کند. از طرفی مقایسه غلظت‌های خروجی دودکش‌های نیروگاه در مقایسه با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست و استاندارد EPA در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است که بیانگر پائین‌تر بودن غلظت‌های خروجی نیروگاه نسبت به مقادیر استاندارد است.

### بحث

با توجه به مصرف سوخت گازوییل در طول زمستان در اکثر نیروگاه‌های حرارتی کشور و اهمیت بررسی اثرات این فرایند بر آلودگی هوا در مناطق اطراف، انتشار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد از طریق دودکش نیروگاه گازی توس مورد شبیه‌سازی با مدل Screen 3 قرار گرفت. نتایج خروجی مدل (شکل‌های ۱-۶) نشان داد که با توجه به شرایط جوی غالب در منطقه میانگین غلظت‌های یک ساعته اکسیدهای نیتروژن حداکثر  $1/08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فاصله حدود  $30 \text{ Km}$  جنوب شرقی نیروگاه و میانگین غلظت‌های یک ساعته دی‌اکسید گوگرد حداکثر  $3/69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فاصله حدود  $30 \text{ Km}$  جنوب شرقی

جوی، در سرعت‌های باد غالب  $2, 4, 6 \text{ m/s}$  و فصل زمستان در منطقه، کلاس‌های پایداری جوی ممکن به دست آمد (جدول ۴) و شبیه‌سازی برای این بادها و کلاس‌های پایداری انجام گرفت.

### یافته‌ها

با توجه به نتایج به دست آمده شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش نیروگاه مطابق جداول ۵ و ۶ قابل طبقه‌بندی است (نتایج مدل‌سازی در ارتباط با هر یک از آلاینده‌ها در ۸ شرایط جوی مختلف و همچنین در بدترین شرایط جوی ممکن به دست آمده است. از طرفی فاصله وقوع حداکثری آلاینده‌گی در هر یک از شرایط جوی مشخص شده است). باید توجه داشت که نتایج به دست آمده از مدل، غلظت‌های یک ساعته بوده و با توجه به تغییرات حتی اندک جهت یا سرعت باد در طول  $24 \text{ h}$ ، حداکثر غلظت آلودگی و موقعیت آن تغییر خواهد کرد که این منجر به کوچکتر شدن میانگین غلظت  $24 \text{ h}$  در هر فاصله از دودکش در پایین دست جهت باد خواهد گردید. بر این اساس در هیچ حالت جوی در روز یا شب میانگین غلظت آلودگی اکسیدهای نیتروژن و دی

حداقل است انتشار میزان دی اکسید گوگرد در حد قابل قبول و بسیار پایین تر از سایر نیروگاه ها است. در مشعل های معمول که در اکثر نیروگاه های کشور به کار رفته است بر اساس سیستم نفوذی (Diffusion) کنترل می شوند. بدین ترتیب که سوخت و هوا جداگانه به محفظه احتراق تزریق شده و در آنجا همزمان اختلاط و احتراق صورت می گیرد. در این صورت علاوه بر بالا بودن پیک دمایی شعله، زمان اقامت نیز بالا است که هر دو عوامل اصلی افزایش تولید  $\text{NO}_x$  هستند. در حالی که محفظه های احتراق نیروگاه گازی توس مشهد از نوع DLN دو سوخته (برای هر دو سوخت گاز و گازوییل) است. در این مشعل ها مخلوط غیر است و کیلومتری از هوا و سوخت تشکیل می شود تا دمای شعله پایین باشد، همچنین به دلیل اختلاط هوا و سوخت پیش از ورود به محفظه احتراق زمان اقامت نیز کاهش می یابد. در مشعل های DLN نسبت هوا و سوخت در یک محدوده باریکی در حد اشتعال نگه داشته می شود و محفظه احتراق برای نسبت هوا و سوخت در بار نامی واحد طراحی شده است، از این رو در صورت تغییر شرایط بار (کاهش)، مقدار سوخت کاهش می یابد که به منظور جلوگیری از ناپایداری احتراق و انتشار منوکسیدهای کربن، سازندگان این مشعل ها سویچ کردن وضعیت احتراق به حالت نفوذی (Diffusion) را پیشنهاد می کنند، این تغییر وضعیت موجب تولید  $\text{NO}_x$  بیشتری می شود. بنابراین با توجه به این که به طور میانگین حدود ۲۰٪ مدت بهره برداری سالیانه، واحدهای نیروگاه گازی توس با بار حداقل در مدار هستند، استفاده توأم از سیستم کاتالیزور انتخابی (Selective Catalytic Reduction) همراه سیستم DLN موجود جهت کاهش  $\text{NO}_x$  در زمانی که واحدها با مد سیستم نفوذی (Diffusion) در مدارند، پیشنهاد می شود. در این مکانیسم، آمونیاک به گاز خروجی دودکش تزریق می شود و در حضور کاتالیزور با اکسیدهای نیتروژن واکنش داده و آب و نیتروژن حاصل می شود. این تحقیق می تواند یک منبع علمی در زمینه میزان انتشار  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_2$  خروجی دودکش های نیروگاه گازی توس که دارای مشعل های DNL است به منظور مدیریت صحیح زیست محیطی در راستای استاندارد ISO 14001 باشد.

نیروگاه است و همچنین در بدترین شرایط جوی که احتمال رخ دادن آن در منطقه کم هست، میانگین غلظت های یک ساعته اکسیدهای نیتروژن حداکثر  $4/23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فاصله حدود ۲۲۵۰ m جنوب شرقی نیروگاه و میانگین غلظت های یک ساعته دی اکسید گوگرد حداکثر  $14/49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فاصله حدود ۲۲۵۰ m جنوب شرقی نیروگاه است که هیچ یک از این مقادیر از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست تجاوز نمی کند. علی رغم اینکه استاندارد هوای آزاد برای دی اکسید گوگرد در میانگین های زمانی کمتر از ۲۴ h و برای اکسیدهای نیتروژن در میانگین های کمتر از سالیانه در کشور تدوین نشده است اما بر اساس اصول تدوین استانداردها، استاندارد یک ساعته قطعاً عددی بزرگتر از استاندارد ۲۴ h یا سالیانه خواهد بود. در هر حال بر اساس نتایج به دست آمده در هیچ حالتی از شرایط جوی و در طول شبانه روز در زمستان غلظت گاز دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن در مناطق پایین دست دودکش از حد استاندارد هوای آزاد تجاوز نخواهد کرد (شکل ۷ و ۸). استاندارد سال ۱۳۹۰ سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای دی اکسید گوگرد به صورت حداکثر غلظت  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3, 24 \text{ h}$  و استاندارد EPA برای این گاز  $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. همچنین استاندارد سال ۱۳۹۰ سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای دی اکسید نیتروژن به صورت متوسط سالیانه  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و استاندارد EPA برای این گاز  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. در مطالعه مشابهی که بر روی نیروگاه سیکل ترکیبی سمنان انجام شد نتایج مدل سازی نشان داد که غلظت حداکثری اکسیدهای ازت در فاصله ۲۲۵۸ m نیروگاه معادل  $24/25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  حاصل شده است (۱۴). همچنین در مطالعه دیگری که در آن مدل سازی انتشار گاز دی اکسید گوگرد از نیروگاه شهید رجایی قزوین انجام پذیرفت نتایج نشان داد که حداکثر انتشار دی اکسید گوگرد تا  $520 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می رسد (۱۰). نتایج به دست آمده از این تحقیق و مقایسه آن با تحقیقات مشابهی که بر روی سایر نیروگاه های کشور انجام شده است نشان می دهد مقدار غلظت پراکندگی  $\text{NO}_x$  بسیار پایین تر از سایر نیروگاه ها است که علت این امر نوع مشعل های استفاده شده در سیستم محفظه های احتراق نیروگاه گازی توس است و همچنین با توجه به استفاده از سوخت فسیلی گازوییل به عنوان سوخت پشتیبان که مقدار گوگرد آن

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان "ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه گازی توس مشهد در فاز بهره برداری با تاکید بر آلاینده های هوا" بوده که در سال ۱۳۹۰ مورد تصویب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد عاوم و تحقیقات استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. بدینوسیله از کلیه دوستانی که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

## منابع

1. Salvi S. Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2007;8:275–80.
2. World Health Organization (WHO). The world health report 2002: reducing risks, promoting healthy life. Geneva: World Health Organization; 2002.
3. Schwartz J. What are people dying of on high air pollution days? *Environmental Research*. 1994;64:26–35.
4. Zmirou D, Schwartz J, Saez M, Zanobetti A, Wojtyniak B, Touloumi G, et al. Time-series analysis of air pollution and cause specific mortality. *Epidemiology*. 1998;9:495–503.
5. Patankar AM, Trivedi PL. Monetary burden of health impacts of air pollution in Mumbai, India: Implications for public health policy. *Public Health*. 2011;125:157–64.
6. Abbaspour M. Air Pollution Modeling. Tehran: Sanati Sharif Publication; 2011 (in Persian).
7. Martin MJ, Singh DE, Mourino JC, Rivera FF, Doallo R, Bruguera JD. High performance air pollution modeling for a power plant environment. *Parallel Computing*. 2003;29:1763–90.
8. Ohba R, Kouchi A, Hara T, Vieillard V, Nedelka D. Validation of heavy and light gas dispersion models for safety analysis of LNG tank. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004;17:325–37.
9. Karbasi A, Atabi F, Eslami Alishah N. Survey the rate of emission of NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> of 4 power plant in Iran. *Science and Technology of Environment Journal*. 2006;10(2):23–32.
10. Saeedi M, Simulation of sulfur dioxide emission from stack of Shahid Rajaei power plant of Ghazvin in winter season. *Iran Energy Journal*. 2005;9(23):34–43.
11. Samadi R, Karbasi A, Rahimi N. Modeling of air pollutants emission in power plants of Isfahan and Tabriz. *Proceeding of Third National Conference of Energy in Iran*; 2001; Iran (in Persian).
12. Turner DB. Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling, 2nd ed. New York: Lewis Publisher; 1994.
13. United States Environmental Protection Agency (USEPA). SCREEN3 Model: user's guide. USA: United States Environmental Protection Agency; 1995. Report No.: EPA-454/B-950004.
14. Mohammadi H, Ashraf zadeh MR, Naji N, Sheikhzadeh B. Modeling of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> emission from natural gas combustion in Semnan power plant. *Second International Symposium of Environmental Engineering*; 2009: Iran (in Persian).

# **Dispersion Modeling of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> Emissions from Tous Gas Power Plant, Mashhad**

Mohammad Esmaeilzadeh<sup>1</sup>, \*Edris Bazrafshan<sup>2</sup>, Mahnaz Nasrabadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

<sup>2</sup>Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

Received; 30 October 2012 Accepted; 28 January 2013

## **ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Tous gas power plant as an emission source of gas pollutants is located in the northwest of Mashhad City. This power plant is located in the neighborhood of various (linear, point and area) sources of pollution including Tous thermal power plant, Tous industrial town and motor vehicles; hence, it is not possible to determine precisely and accurately the share of these gases emission contribution at this power plant using conventional instruments. Therefore, we used modeling in order to estimate the dispersion of the pollutants emitted from this power plant.

**Materials and Methods:** we used Screen 3 software using data of exhaust fume concentration, mass emission, chimney features of each unit, meteorology data, and fuel types consumed in order to model dispersion of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> emitted from Tous gas power plant having V94.2 turbine equipped with DLN torches.

**Results:** Maximum concentration of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> at the distance about 30 km from the power plant was 1.08 and 3.69 µg/L respectively. The results of dispersion modeling of pollutants indicated that in most cases emission of air pollutants towards southeast.

**Conclusion:** The NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> concentration measured revealed that the concentration of these pollutants is lower than the standards of Clean Air Act.

**Keywords:** Modeling, Screen 3 software, Gas power plant, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

---

\*Corresponding Author: [ed\\_bazrafshan@yahoo.com](mailto:ed_bazrafshan@yahoo.com)  
Tel: +98 541 2421258 Fax: +98 541 2425375