شبیه‌سازی انتشار گاز دی اکسید گوگرد از دودکش نیروگاه حرارتی شهید رجایی قزوین در فصل زمستان

محسن سعیدی
گروه آب و محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

با توجه به مصرف سوخت نفت کوره در طول زمستان در اکثر نیروگاه‌های حرارتی کشور و اهمیت بررسی اثرات این فرایند بر آلودگی هوا در مناطق اطراف، انتشار دی اکسید گوگرد از طریق دودکش نیروگاه شهید رجایی که در ۲۵ کیلومتری قزوین واقع است مورد شبیه‌سازی با مدل SCREEN3 قرار گرفت. نتایج نشان داد انتشار دود در غالب موارد به سمت جنوب شرقی بوده و حداکثر غلظت‌های دی اکسید گوگرد در طول روز در فواصل ۵ تا ۱۲ کیلومتری پایین دست دودکش نیروگاه و در سایر موارد در فواصل دورتر از ۳۰ کیلومتر به وقوع خواهد پیوست. همچنین مشخص شد که در هیچ حالت جوی در روز یا شب میانگین غلظت۳ و ۲٤ ساعته آلودگی دی اکسید گوگرد ناشی از انتشار از دودکش نیروگاه در محیط اطراف از استاندارد تجاوز نخواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، دی اکسید گوگرد، نیروگاه، مدل‌سازی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

مقدمه

نیروگاه حرارتی شهید رجایی دارای چهار واحد ۲۵۰ مگاواتی تولید برق با استفاده از توربین‌های بخار و احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد. موقعیت نیروگاه در کیلومتر ۲۵ بزرگراه قزوین- تهران و در جنوب بزرگراه می‌باشد. مناطق جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی و غرب نیروگاه پوشیده از زمین‌های کشاورزی و در فاصله بین نیروگاه و شهر قزوین در امتداد بزرگراه در جهت شمال غربی نیروگاه، مناطق مسکونی پراکنده از جمله شهر محمدیه قرار گرفته است. نیروگاه دارای قابلیت احتراق دو سوخت اصلی گاز و نفت کوره به عنوان منبع تولید انرژی الکتریکی بوده و در صورت تأمین گاز از جانب شرکت ملی گاز ایران، معمولاً از گاز به عنوان سوخت استفاده می‌شود. در فصول سرد سال که معمولا مصرف گاز در شبکه سراسری افزایش یافته و شبکه دچار افت فشار می‌گردد تأمین گاز نیروگاه متوقف شده و از سوخت نفت کوره به عنوان جایگزین استفاده می‌شود. نفت کوره دارای درصد بالایی از گوگرد بوده که در اثر احتراق در کوره عمدتاً تبدیل به دی اکسید گوگرد خواهد شد. دی اکسید گوگرد ازجمله گازهای آلاینده هوا است که دارای اثرات مختلفی بر انسان و محیط زیست می‌باشد. از مهمترین اثرات نامطلوب این گاز بر انسان و محیط زیست می‌توان به ایجاد حساسیت و خارش در چشم‌ها و سیستم تنفسی، صدمه به ریه ها، اسیدی شدن آبها و خاک منطقه، مشارکت در ایجاد باران اسیدی و ایجاد و تشدید بروز خوردگی اتمسفری ابنیه و سازه‌ها اشاره کرد[۱]. استاندارد ملی غلظت این گاز در هوای آزاد از طرف سازمان حفاظت محیط زیست کشور میانگین سالیانه ۸۰ ug/m3، میانگین بیست و چهار ساعته ug/m3 ۳۶۵ و میانگین ۳ ساعته ug/m3 ۱۳۰۰ اعلام شده است[۲]. با در نظر داشتن شرایط مطرح شده و حساسیت مناطق مسکونی و کشاورزی اطراف نیروگاه، مطالعات برآورد اثرات آلودگی هوا در مناطق اطراف دارای اهمیت خواهد بود. با توجه به مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی گاز دی اکسید گوگرد و انتشار آن از طریق احتراق نفت در کوره های نیروگاه در فصل زمستان، شبیه‌سازی پراکندگی و پخش این گاز از دودکش نیروگاه به محیط اطراف و ایجاد غلظت‌های دی اکسید گوگرد ناشی از آن به منظور مقایسه با استانداردهای کشور و تعیین اثر احتمالی بر آلودگی هوای محیط اطراف در این تحقیق انجام شده است. مطالعات مختلفی برای شبیه‌سازی اثرات آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌ها و سایر منابع ثابت در سطح بین‌المللی به انجام رسیده است [۳ و ٤]. در داخل کشور نیز تحقیقات و مطالعاتی در زمینه اثرات آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌ها و شبیه‌سازی پخش دود آنها به انجام رسیده است [٥، ٦ و٧]. هدف اساسی این مطالعات تعیین اثرات نیروگاه بر آلودگی هوای منطقه و برآورد حد اکثر غلظت‌های محتمل آلودگی در محیط اطراف و تعیین فاصله وقوع غلظت‌های بالاتر از استاندارد تا نیروگاه می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه و روش کار

همانگونه که اشاره شد نیروگاه حرارتی شهید رجایی در کیلومتر ۲۵ بزرگره قزوین- تهران و در جنوب بزرگراه می‌باشد. مناطق جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی و غرب و شمال غرب نیروگاه پوشیده از زمین‌های کشاورزی و در فاصله بین نیروگاه و شهر قزوین در امتداد بزرگراه در جهت شمال غربی نیروگاه، مناطق مسکونی پراکنده از جمله شهر محمدیه قرار گرفته است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

در فصل زمستان که سوخت نفت کوره در نیروگاه محترق می‌شود میزان مصرف سوخت برابر با ٦٥ تن در هر ساعت برای هر واحد و معادل ٢٦٠ تن در ساعت برای مجموع چهار واحد نیروگاه خواهد بود. این سوخت حاوی حدود ٣٪ وزنی گوگرد می‌باشد[٨]. بر این اساس و با فرض معقول احتراق کامل سوخت در کوره با توجه به معادله استوکیومتری احتراق گوگرد (معادله ١) مقدار کل دی اکسید گوگرد منتشره از چهار دودکش نیروگاه در شرایط بهره‌برداری با بار کامل برابر با ١٥/٦ تن در ساعت و معادل ٤٣٣٣/٣ گرم در ثانیه محاسبه می‌گردد.

$$S + O2 \longrightarrow SO2 \qquad (١)$$

هر یک از واحد های نیروگاه دارای یک دودکش مستقل و در مجموع دود نیروگاه از طریق چهار دودکش که در یک سازه و مماس با یکدیگر واقع شده‌اند به محیط تخلیه می‌شود. ارتفاع دودکش‌ها در حدود ٢٢٠ متر و قطر دهانه خروجی هر یک تقریبا ٤/٢ متر می‌باشد. با توجه به اینکه دودکش‌ها به یکدیگر چسبیده‌اند خیزش دود خروجی ناشی از سرعت و حرارت دود به صورت یک جبهه در آمده و چهار دوکش قابل معادل سازی با یک دودکش بر اساس سطح مقطع مساوی (٥٥/٥ متر مربع) و قطر ٨/٤ متر خواهند بود. درجه حرارت و سرعت دود خروجی بر اساس اطلاعات اخذ شده از نیروگاه به ترتیب معادل ١٥٠-١٧٠°C و ١١-١٢ m/s می‌باشند.

شرایط اقلیمی و هواشناسی مورد نیاز منطقه برای شبیه‌سازی انتشار دود (میانگین دما، سرعت و جهت بادهای غالب و روزهای ابری و آفتابی) در فصل زمستان بر اساس میانگین ده ساله سازمان هواشناسی کشور بررسی و تهیه گردید[٩].

برای شبیه‌سازی انتشار گاز دی اکسید گوگرد از مدل شبیه‌سازی SCREEN 3 که در سال ١٩٩٥ به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا منتشر شده است استفاده گردید. این مدل توانایی برآورد غلظت آلاینده ها، حداکثر غلظت و فاصله نقطه وقوع حداکثر غلظت از منبع انتشار آلودگی در پایین دست جهت باد را برای منابع نقطه‌ای، سطحی، حجمی و مشعلها را دارا می‌باشد [١٠]. محاسبات مدل بر اساس مدل انتشار گوسی[1] از منابع پیوسته و شرایط یکنواخت قرار گرفته است. با توجه به اطلاعات اقلیمی منطقه و با مراجعه به جداول استاندارد کلاس‌های پایداری جوی [١١]، در سرعت‌های باد غالب فصل زمستان در منطقه، کلاس‌های پایداری جوی ممکن بدست آمد(جدول ٢) و شبیه‌سازی برای این بادها و کلاس‌های پایداری انجام گرفت. داده‌های ورودی مدل بر اساس راهنمای استفاده مدل برای منابع انتشار نقطه‌ای به ترتیب زیر بوده است:

- نرخ انتشار آلودگی: ٤٣٣٣/٣ گرم در ثانیه(g/s)
- ارتفاع دودکش: ٢٢٠ متر(m)
- قطر دهانه خروجی دودکش: ٨/٤ متر(m)
- سرعت دود خروجی: ١١ متر بر ثانیه(m/s)
- دمای دود خروجی: ٤٣٣°K

1 . Gaussian Plume Model

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

- میانگین دمای هوای محیط: ^{o}K ۲۷۵
- منطقه غیر شهری
- عدم وجود ارتفاعات بلند تر از ارتفاع دودکش
- کلاس‌های پایداری جوی: ۲، ۳، ٤ و ٥ (ناپایدار،کمی ناپایدار، خنثی، پایدار)
- سرعت باد: ۲، ٤ و ٦ متر بر ثانیه(m/s)

نـتایج خروجـی مدل، میانگینهای یک ساعته غلظت آلاینده در فواصل انتخابی مختلف در پایین دست جهت باد از منبع مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج و بحث

همانگونـه کـه قـبلاً اشـاره شـد تجـزیه و تحلـیل ده سـاله اقلیمی(۲۰۰۰ – ۱۹۹۰) با استفاده از داده‌های ایسـتگاه سـینوپتیک قزویـن انجـام گرفت که خلاصه اطلاعات بدست آمده برای استفاده در این تحقیق در جـدول ۱ ارائـه شـده است. همچنین سرعت‌های باد غالب و کلاس‌های پایداری جوی قابل وقوع در منطقه مـورد مطالعـه بـر اساس روش مقابله سرعت‌های باد با میزان شدت انرژی خورشید[۱۱]در منطقه بدست آمد که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۱ـ نتایج بررسی اطلاعات اقلیمی ده ساله ایستگاه سینوپتیک قزوین در فصل زمستان مورد استفاده در مدل

میانگین دما (^{o}k)	۲۷۵
سرعت‌های محتمل باد غالب (m/s)	٦ ،٤ ،۲
جهات باد غالب (^{o})	۱۳۵(از شمال غرب)
پوشش آسمان	ابری، نیمه ابری، آفتابی

جدول ۲ـ کلاس‌های پایداری محتمل در منطقه در فصل زمستان

سرعت باد غالب (m/s)	کلاس پایداری ممکن
۲	ناپایدار،کمی ناپایدار، خنثی، پایدار
٤	کمی ناپایدار، خنثی، پایدار
٦	خنثی

همانگونـه کـه از نـتایج جـداول ۱ و ۲ پیداسـت هنگامی که سرعت باد غالب ۲ متر بر ثانیه باشد کلاس پایداری جوی بسته به پوشش ابر در آسمان و سایر شرایط جوی از ناپایدار تا پایدار متغیر است. هر چه سـرعت باد افزایش یابد در فصل زمستان که شدت تشعشع خورشید ضعیف است شرایط جوی به سمت خنثـی پـیش خواهـد رفـت. در فصـل زمسـتان در مـنطقه در سـرعت‌های باد حدود ۲ متر بر ثانیه هر چه پوشـش ابـر در آسـمان بیشـتر گـردد شـرایط پایدارتـر خواهد گردید. در صورتی که پوشش ابر از ٥۰٪ آسـمان بیشـتر باشـد شرایط جوی خنثی و همچنین با افزایش سرعت باد و رسیدن به حد ٦ متر بر ثانیه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

شـرایط خنثی خواهد بود. بنا براین در منطقه شرایط ناپایدار به مفهوم سرعت‌های باد ۲ تا ۵ متر بر ثانیه و آسـمان صـاف یا نسبتا صاف می‌باشد. شرایط پایدار معمولاً در شب‌ها و در حالت آسمان کمی تا نیمه ابـری در سـرعت‌هـای بـاد ۲ تـا ۵ مـتر بـر ثانـیه و شـرایط خنثـی مربوط به روزها و شبهای ابری و یا سـرعت‌هـای بـاد ٦ متر بر ثانیه و بزرگتر از آن می‌گردد. غلظت‌های دی اکسید گوگرد ناشی از انتشار از دودکـش نـیروگاه در پایین دست جهت باد(خروجی های مدل) در شکلهای ۱ تا ۸ نمایش داده شده است. حرکـت مسـیر دود و وقـوع غلظـت‌هـای پیش‌بینی شده در مواقع باد غالب به سمت جنوب شرقی نیروگاه خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش نیروگاه به ترتیب زیر قابل طبقه بندی می‌باشد:

- بـاد غالـب ۲ مـتر بـر ثانـیه، روز، آسـمان نسـبتا صاف: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۷ کیلومـتری دودکـش و تقریـبا معـادل ug/m3 ۵۲۰ و افـزایش غلظـت آلودگـی در فواصـل ۵ تا ۱۰ کیلومتری به وقوع خواهد پیوست(شکل ۱).
- بـاد غالـب ۲ مـتر بـر ثانـیه،روز، آسـمان کمـی ابـری: حـد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۱۷ کیلومـتری دودکـش و تقریـبا معـادل ug/m3 ۳۲۰ و افـزایش غلظـت آلودگـی در فواصل ۱۲ تا ۱۸ کیلومتری به وقوع خواهد پیوست(شکل ۲).
- بـاد غالـب ۲ مـتر بـر ثانـیه، روز یا شب، آسمان ابری: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۳۳ کیلومتری دودکش و تقریبا معادل ug/m3 ١٤ به وقوع خواهد پیوست(شکل ۳).
- بـاد غالـب ۲ مـتر بـر ثانـیه، شب: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۳۳ کیلومتری دودکش و تقریبا معادل ug/m3 ٣٤ به وقوع خواهد پیوست(شکل ٤).
- بـاد غالـب ٤ مـتر بـر ثانـیه، روز، آسمان نسبتا صاف: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۱۷ کیلومـتری دودکـش و تقریـبا معـادل ug/m3 ٤۰۰ و افـزایش غلظـت آلودگـی در فواصـل ۷ تا ۱۲ کیلومتری به وقوع خواهد پیوست(شکل ۵).
- بـاد غالـب ٤ مـتر بر ثانیه، روز یا شب آسمان نیمه ابری یا ابری: حداکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۳۳ کیلومتری دودکش و تقریبا معادل ug/m3 ۵۷ به وقوع خواهد پیوست(شکل ٦).
- بـاد غالب ٤ متر بر ثانیه، شب ، آسمان صاف یا کمی ابری: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۳۳ کیلومتری دودکش و تقریبا معادل ug/m3 ۳۵ به وقوع خواهد پیوست(شکل ۷).
- بـاد غالـب ٦ مـتر بـر ثانیه یا بیشتر ، در تمتم حالات روز و شب: حد اکثر غلظت آلودگی در فاصله حدود ۳۳ کیلومتری دودکش و تقریبا معادل ug/m3 ٨٦ به وقوع خواهد پیوست(شکل ۸).

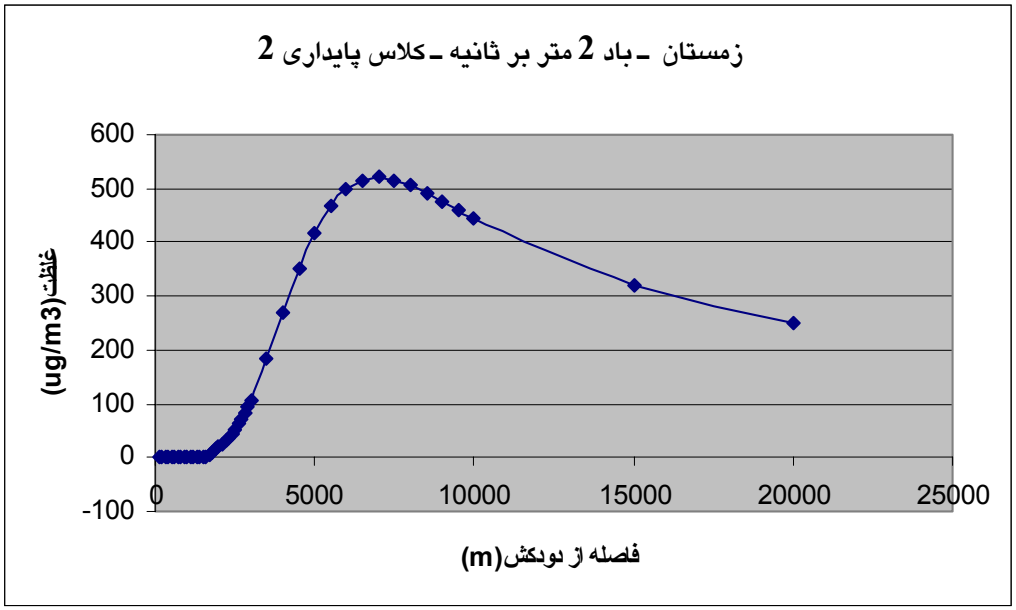
بـاید توجـه داشـت کـه نـتایج بدست آمده از مدل ، غلظت‌های یک ساعته بوده و با توجه به تغییرات حتی انـدک جهت یا سرعت باد در طول ٢٤ ساعت ، حد اکثر غلظت آلودگی و موقعیت آن تغییر خواهد کرد که ایـن مـنجر بـه کوچکـتر شدن میانگین غلظت ٢٤ ساعته در هر فاصله از دودکش در پایین دست جهت باد خواهـد گـردید. بـر ایـن اسـاس بـا توجـه بـه اینکه تـنها در دو حالـت جوی در طول روز احتمال تجاوز غلظـت‌هـای یـک سـاعته از مقدار ٣٦۰ میکروگرم در متر مکعب وجود دارد به نظر نمی‌رسد در هیچ حالت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

جـوی در روز یـا شـب میانگیـن غلظـت آلودگـی دی اکسید گوگرد ناشی از انتشار از دودکش نیروگاه از استاندارد ۲٤ ساعته یا یکساله تجاوز نماید.

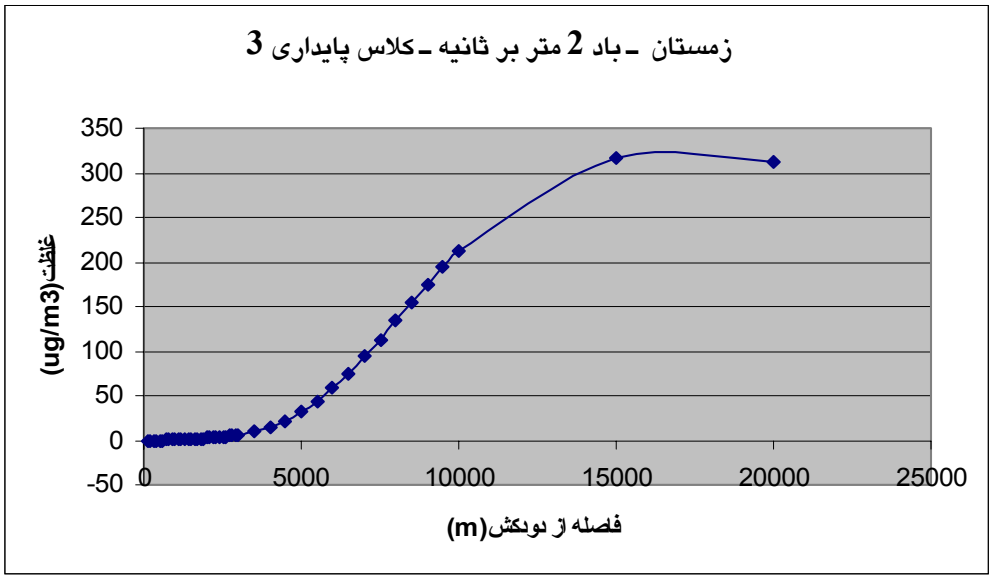
جمع بندی

بـا توجـه بـه مصرف سوخت نفت کوره در طول زمستان در اکثر نیروگاه‌های حرارتی کشور و اهمیت بررسـی اثـرات ایـن فرایـند بـر آلودگـی هوا در مناطق اطراف، انتشار دی اکسید گوگرد از طریق دودکش نـیروگاه شـهید رجایی در ۲۵ کیلومتری قزوین مورد شبیه‌سازی با مدل SCREEN3 قرار گرفت. به این مـنظور داده‌های مربوط به شرایط و میزان مصرف سوخت و ویژگیهای دود خروجی دودکش و همچنین داده‌هـای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قزوین به کار گرفته شد. نتایج خروجی مدل نشان داد که در هیچ حالتـی از روز و شـب و شـرایط مخـتلف جـوی(بـه جـز شـرایط احتمالی وارونگی هوا که در این تحقیق بررسـی نشـده اسـت) میانگین غلظت‌های یک ساعته از حد اکثر ۵۲۰ ug/m3 تجاوز نمی‌کند. علیرغم اینکه اسـتاندارد هـوای آزاد بـرای دی اکسـید گوگـرد در میانگین‌های زمانی کمتر از ۳ ساعته در کشور تدوین نشده است اما بر اساس اصول تدوین استانداردها، استاندارد یک ساعته قطعاً عددی بزرگتر از استاندارد ۳ سـاعته(۱۳۰۰ug/m3) خواهـد بـود. در هر حال بر اساس نتایج بدست آمده در هیچ حالتی از شرایط جـوی و در طـول شـبانه روز (به جز شرایط احتمالی وارونگی هوا که در این تحقیق بررسی نشده است) در زمستان غلظت گاز دی اکسید گوگرد در مناطق پایین دست دودکش از حد استاندارد هوای آزاد تجاوز نخواهد کرد.

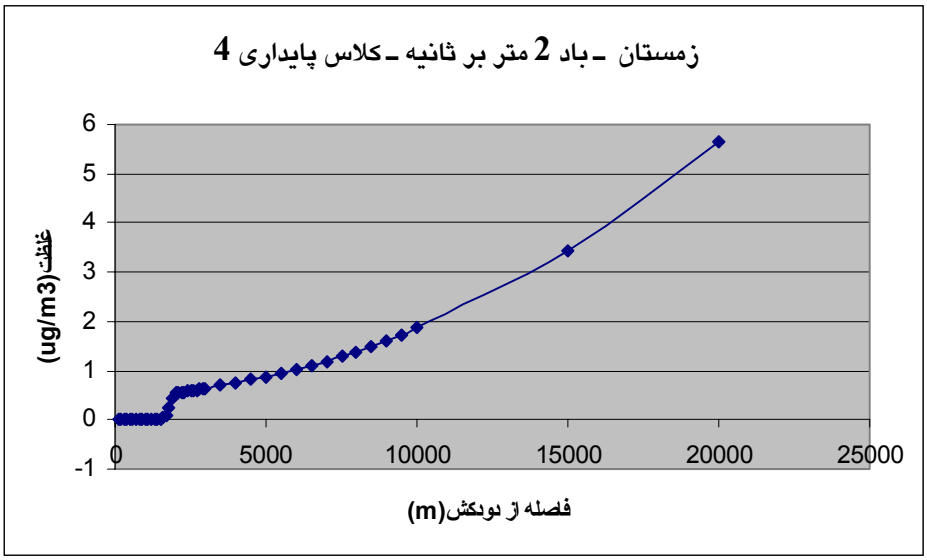


شکل ۱ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی ناپایدار(سرعت باد: 2 m/s)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

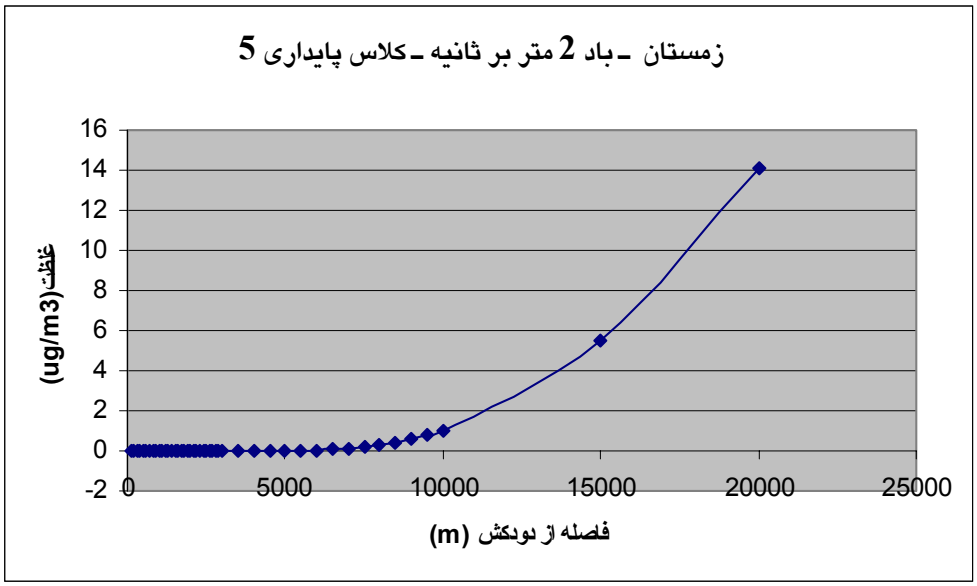


شکل۲ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی کمی ناپایدار(سرعت باد: ۲ m/s)

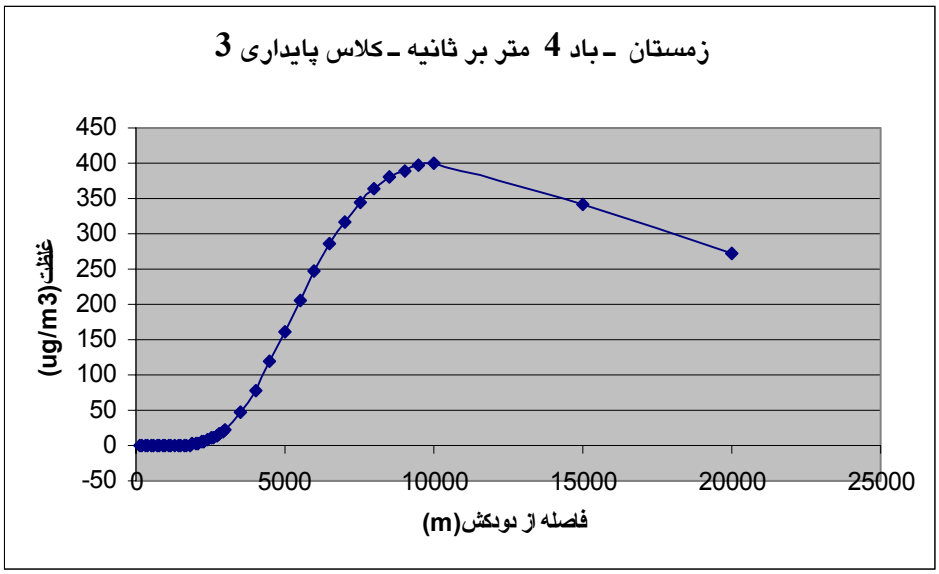


شکل۳ ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی خنثی(سرعت باد: ۲ m/s)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

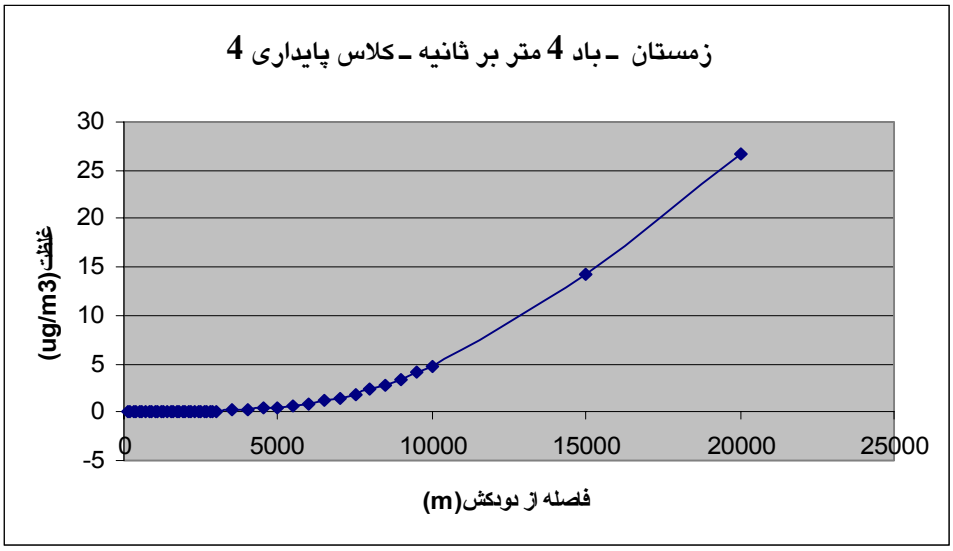


شکل۴ ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی پایدار(سرعت باد: ۲ m/s)

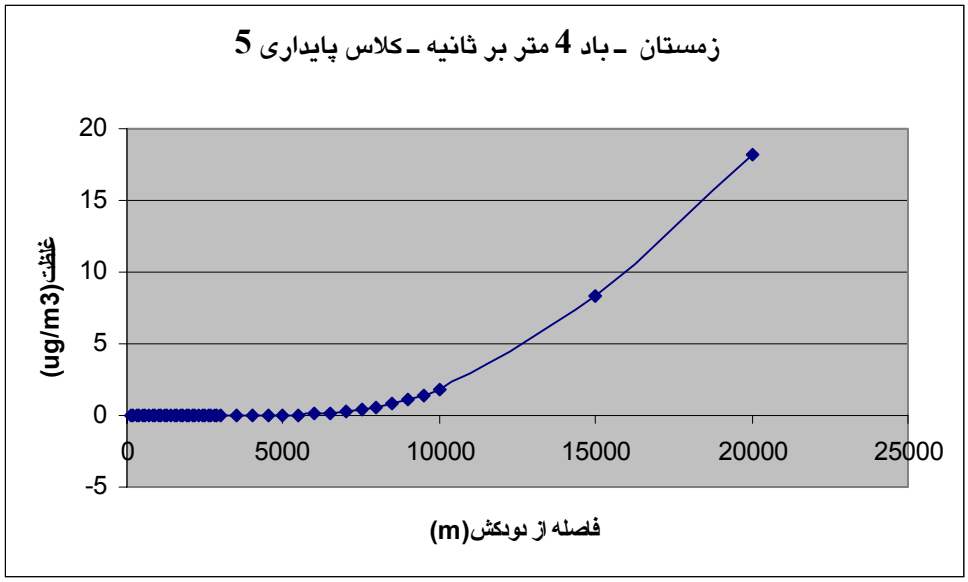


شکل۵ ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی کمی ناپایدار(سرعت باد: ۴ m/s)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

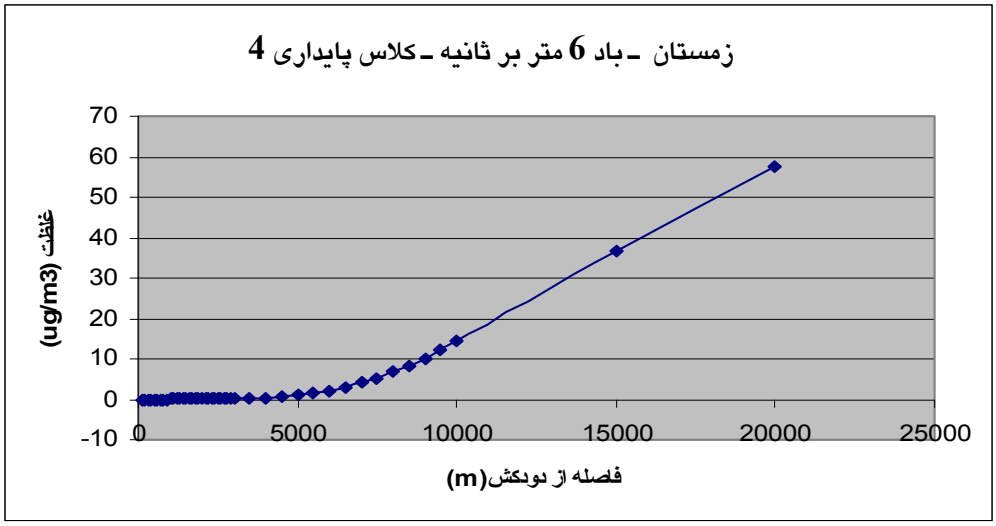


شکل۶ ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی خنثی(سرعت باد: ۴ m/s)



شکل۷ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی پایدار(سرعت باد: ۴ m/s)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]



شکل۸ ـ غلظت دی اکسید گوگرد در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه شهید رجایی در فصل زمستان در شرایط جوی خنثی(سرعت باد: m/s ۶)

منابع

1- Davis, M. L., and Cornwell, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw-Hill, 1991.

۲- سازمان حفاظت محیط زیست، معاونت محیط زیست انسانی،ضوابط و استانداردهای زیست محیطی، ۱۳۷۸.

3- Martin, M. J., Singh, D. E., Mourino, J. C., Rivera, F. F., , Doallo, R., and Bruguera , J. D.," High Performance Air Pollution Modeling for a Power Plant Environment", Parallel Computing, Vol. 29, pp. 1763-1790, Elsevier, 2003.

4- Ohba, R., Kouchi, A., Hara , T., Vieillard, V., and Nedelka, D., "Validation of heavy and Light Gas Dispersion Models for Safety Analysis of LNG Tank", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 17, pp. 325-337, Elsevier,2004.

۵- معاونت انرژی وزارت نیرو، طرح ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های حرارتی اصفهان و تبریز، ۱۳۷۸.

٦- سعیدی، م.، پراکنش گاز دی اکسید گوگرد ناشی از نیروگاه شهید منتظری اصفهان، دفتر فنی تولید؛ شرکت توانیر، ۱۳۷٤.

۷- سعیدی، م.، ارتفاع بهینه دودکش نیروگاهها از دیدگاه زیست محیطی: نیروگاه اسلام آباد اصفهان، دفتر فنی تولید؛ شرکت توانیر، ۱۳۷۵.

۸- شرکت توانیر، آنالیز سوخت نیروگاه‌های کشور، ۱۳۷۳.

۹- سازمان هواشناسی کشور، سالنامه های هواشناسی (۲۰۰۰-۱۹۹۰).

10- U.S.EPA, SCREEN3 Model User's Guide, EPA-454/B-950004, 1995.

11- Turner, D.B., "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling", 1994.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]