

مدلسازی آلودگی پراکنش آلاینده های NO_x و SO_2 با استفاده از مدل AERMOD (مطالعه موردی نیروگاه شهید سلیمی نکا)

حسین قربانی^۱، احمدفرهاد طالبی^{۱*}

^۱ - پردیس علوم و فناوریهای نوین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: aftalebi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

نیروگاه های حرارتی یکی از منابع اصلی انتشار آلاینده ها هستند. در پژوهش حاضر وضعیت تولید و انتشار آلاینده های گازی نیروگاه حرارتی شهید سلیمی شهرستان نکا مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از مدل AERMOD جهت تخمین غلظت های آلاینده ها با میانگین زمانی ۱ ساعته، ۲۴ ساعته و فصلی استفاده شد. مدلسازی فصلی آلودگی هوا در بازه زمانی سال ۱۳۹۵ تا انتهای تابستان سال ۱۳۹۸ برای دو آلاینده اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد انجام شد. براساس اندازه گیری های صورت گرفته، CO_2 بیشترین سهم انتشار را نسبت به سایر آلاینده ها به خود اختصاص داد. براساس خروجی های مدل، بیشینه غلظت تخمین زده شده آلاینده SO_2 در میانگین زمانی ۱ ساعته، در تمام فصول سال های مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز استاندارد بود. در میانگین زمانی ۲۴ ساعته نیز بیشترین غلظت تخمین زده شده در زمستان ۱۳۹۵ مشاهده شد. نتایج بیشینه غلظت های تخمین زده شده آلاینده NO_x بیانگر آن بود که در برخی فصول به ویژه در پاییز ۱۳۹۵، تجمع این آلاینده گازی بالاتر از حدود استانداردهای ملی و بین المللی قرار گرفته است. تجمع این آلاینده ها عمدتاً در ضلع جنوبی نیروگاه و در دامنه ارتفاعات جنوب شرقی و جنوب نیروگاه و در مجاورت شهرهای بهشهر و نکا قرار داشت. با توجه به فعالیت مراکز جمعیتی در این نواحی، اعمال روش های مدیریتی و افزایش کیفیت سوخت نیروگاه شهید سلیمی ضروری به نظر می رسد.

کلمات کلیدی

"نیروگاه های حرارتی"، "مدلسازی آلودگی هوا"، "AERMOD"، "اکسید نیتروژن"، "دی اکسید گوگرد"

۱- مقدمه

سال ۲۰۲۲ به این امر شدت بخشیده است. فعالیت های صنعتی متنوع در ارتباط با سوخت های فسیلی، باعث انتشار میزان بسیار زیادی از آلاینده ها می شوند، که اثرات سوء بسیار و پیامدهای مختلفی را برای محیط زیست ایجاد می کنند. با توجه به بررسی ها، نیروگاه های تولید برق بزرگترین عامل انتشار آلاینده های هوا در سطح جوامع می باشند و می توانند در صورت عدم نظارت، اثرات بسیار مزمونی از لحاظ انتشار آلودگی ایجاد نمایند (Liu et al., 2007). در ایران با توجه به سهم ویژه نیروگاه های حرارتی تولید برق بر مبنای مصرف سوخت های فسیلی در سال ۱۳۹۶ در حدود ۷۰ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی، ۳/۷ میلیارد لیتر نفت کوره و ۴/۸ میلیارد لیتر نفت-گاز در نیروگاه های صنعت برق کشور مصرف شده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶). در فرایندهای احتراق سوخت های فسیلی، گوگرد موجود در سوخت ها به عنوان اکسید گوگرد (SO_x) وارد اتمسفر می شود. همچنین سایر آلاینده های گازی از نیروگاه ها شامل اکسید نیتروژن (NO_x)، ذرات معلق، کربن دی اکسید (CO_2)، کربن مونو اکسید (CO) و دود است. گوگرد، یکی از ناخالصی های موجود در زغال سنگ، نفت خام و محصولات آن از جمله مازوت و گازوئیل می باشد، که عامل اصلی مشکلات آلودگی هواست (Liu et al., 2007). دی اکسید گوگرد (SO_2) گازی بدون رنگ و خفه کننده و دارای مقداری بو می باشد، و هنگامی که با آب ترکیب شود، اسید ایجاد می کند. این گاز به کمک کاتالیست های فلزی اکسید شده و یون سولفات تبدیل می شود. میزان SO_2 در حال حاضر در هوای محیط در ایالات متحده برای میانگین سالانه براساس استانداردهای ملی کیفیت هوای محیط (NAAQS) ۷۰ گرم بر متر مکعب (۳۶۵ گرم بر مترمکعب برای

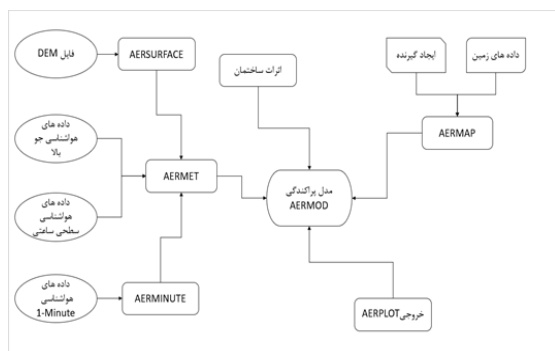
از اوایل قرن ۱۴ میلادی، و همزمان با جایگزینی چوب با زغال سنگ به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی، تعادل زیست محیطی اتمسفر کره زمین دچار تغییر و تحول فرایند شده (Zannetti, 2013). هم اکنون محیط زیست، در ابعاد بین المللی و منطقه ای با خطرات جدی روبه رو است. گرمایش زمین، فرسایش تنوع زیستی، کاهش منابع طبیعی و پراکندگی انواع آلودگی ها، از جمله مخاطرات بسیاری از کشورها می باشند (افروز، ۱۳۹۷). براساس آمار سازمان جهانی بهداشت (WHO) آلودگی هوا سالانه باعث مرگ حدود هفت میلیون انسان در سراسر جهان می شود. همچنین از هر ۱۰ نفر، ۹ نفر هوایی را تنفس می کنند که فراتر از میزان استاندارد به همراه خود آلودگی دارد. بنابر تعریف سازمان جهانی بهداشت، آلودگی هوا، آلودگی محیط داخلی یا خارجی توسط هر ماده شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی است که خصوصیات طبیعی جو را تغییر می دهد (World Health Organization, 2021). آخرین پژوهش ها درباره سطح جهانی بیماری ها، حاکی از آن است که قرار گرفتن در مقابل آلودگی هوای ناسالم به عنوان یکی از پنج خطر اصلی بهداشتی در سراسر جهان شناخته می شود (Russell et al., 2014). در پاسخ به شیب افزایشی مصرف انرژی در جوامع مختلف، مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی متداول (به عنوان مثال، زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی) در دستور کار بسیاری از کشورها قرار گرفته است و این پدیده در آمارهای ارائه شده تا ابتدای سال ۲۰۱۹ کاملاً مشهود است (World Energy outlook, 2020). تحولات سیاسی و جنگها نیز در

نشست و سایر عوامل مربوط به آلاینده‌ها از ابزار عددی مانند مدل‌سازی آلودگی هوا بهره می‌برند (Daly and Zannetti, 2007). مدل AERMOD یک مدل پراکندگی حالت پایدار پیشرفته جهت کاربردهای نظارتی، مدل‌سازی پراکندگی برد کوتاه (تا ۵۰ کیلومتر) از انواع منابع آلاینده (به عنوان مثال منابع نقطه‌ای، محیطی و حجمی) با استفاده از خصوصیات قرار داده شده در تنظیمات مدل می‌باشد که شامل مجموعه‌های مختلف مانند ضرایب پراکندگی شهری یا روستایی و همچنین مشخصات زمین ساده و پیچیده می‌باشد. یکی از ویژگی‌های این مدل تخمین غلظت آلاینده‌ها در گیرنده‌های تعیین شده در بازه‌های زمانی متفاوت از یک‌ساعته تا دوازده‌ماهه با استفاده از داده‌های هواشناسی پیش‌پردازش شده ساعتی می‌باشد (Zou et al., 2010). محرری و همکاران به ارزیابی پراکنش آلاینده‌های PM10 و CO ناشی از انتشار چهار نیروگاه در شهر مشهد با استفاده از مدل پراکندگی آلودگی هوا AERMOD پرداختند، نتایج نشان‌دهنده غلظت قابل توجه آلاینده‌ها در مناطق مسکونی بوده است (Moharreri et al., 2020). دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان در پژوهشی به مدل‌سازی سه آلاینده NO_x، SO₂ و CO ناشی از انتشار دودکش‌های نیروگاه سیکل ترکیبی گناوه توسط مدل AERMOD پرداخت که در نتیجه منطقه چهار روستایی بیش‌تر نسبت به سایر مناطق تحت اثر آلودگی قرار داشت (ایرانی، ۱۳۹۹). در طی پژوهشی در دانشکده محیط زیست دانشگاه یزد، نحوه پراکندگی آلاینده PM10 انتشار یافته از دودکش‌های یک کارخانه کاشی و سرامیک در شهرستان اردکان توسط AERMOD مورد بررسی قرار گرفت نتایج حاکی از آن بود که بیشینه‌های غلظت PM10 در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای دو استاندارد و در بازه زمانی سالانه برای استاندارد WHO بالاتر از حد مجاز است (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهش‌های خارج از کشور نیز طی مطالعه در سال ۲۰۲۱، از مدل پراکندگی هوا AERMOD، برای تخمین سطح مگنر هوای محیط در نزدیکی پالایشگاه فرومگنز در آمریکای شمالی برای سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۳ استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده غلظت بیش از حد تعیین شده از سوی EPA برای جمعیت این منطقه بوده است (Stolfi et al., 2021). سریراتانا و همکاران، به بررسی پراکنش SO₂ انتشار یافته از دودکش نیروگاه حرارتی با سوخت زغال سنگ با استفاده از مدل پراکندگی هوا AERMOD پرداختند با توجه به نتایج، حداکثر غلظت مدل‌سازی شده ساعتی و روزانه SO₂ در سطح زمین از استاندارد کیفیت هوای تایلد کمتر گزارش شد (Srirattana and Piaowan, 2020). نیروگاه‌هایی که زغال سنگ و مازوت را به همراه پالایشگاه‌ها می‌سوزانند مسئول دو سوم انتشار SO₂ تولید شده از منابع مرتبط با انسان هستند. بزرگترین کانون‌های انتشار SO₂ در روسیه، آفریقای جنوبی، ایران، عربستان سعودی، هند، مکزیک، امارات متحده عربی، ترکیه و صربستان یافت می‌شود و میزان تولید SO₂ در سال ۲۰۱۸ برای کشور ما حدود ۱۸۲۰ کیلو تن در سال است (Dahiya and Myllyvirta, 2019). براساس ترازنامه انرژی کشوری، نیروگاه‌های حرارتی تولید برق با توجه به مصرف بیش از حد مجاز نفت کوره نقش عمده‌ای در تولید این آلاینده خواهند داشت (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶). اهمیت مدل‌سازی آلودگی هوا در جهت تعیین غلظت‌های

حداکثر ۲۴ ساعته) می‌باشد (Yang and Omaye, 2009). افراد زیادی اکثراً در کشورهای در حال توسعه در محیط‌هایی با سطح بالای SO₂ زندگی می‌کنند. معمولاً اپیدمیولوژیست‌ها، ارزیابی اثرات مزمن بر سلامتی را با در نظر گرفتن سری‌های زمانی مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها، و اثرات حاد را در اثر قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی با تحقیقات مقطعی و به صورت جمعی بررسی می‌کنند (Luechinger, 2014). پیامدهای SO₂ برای سلامتی انسان‌ها در بازه زمانی کوتاه‌مدت تأثیر بر سیستم تنفسی انسان است که باعث تنگی نفس خواهد شد. از جمله گروه حساس به این اثرات SO₂ افراد مبتلا به آسم، به خصوص کودکان هستند (United States Environmental Protection Agency, 2021). دو جز اساسی هوا N₂ و O₂ در چندین واکنش اکسیداسیون طی واکنش احتراق، فرآورده‌هایی شامل نیتروز اکسید (N₂O)، اکسید نیتریک (NO)، دی اکسید نیتروژن (NO₂)، دی نیتروژن تری اکسید متقارن و نامتقارن (N₂O₃)، دی نیتروژن تتراکسید (N₂O₄) و دی نیتروژن پنتا اکسید (N₂O₅) تولید می‌کنند (Yang and Omaye, 2009). در دود خروجی یک واحد نیروگاهی بنابر پارامترهای عملکردی نظیر نسبت سوخت به هوا، دمای هوای ورودی و زاویه چرخش هوای احتراق در محفظه احتراق، گاز خروجی حاوی میزان زیادی اکسید نیتریک نسبت به سایر مشتقات حضور دارد (Habib et al., 2008). براساس گزارش آژانس حفاظت محیط زیست در سال ۲۰۱۹، NO_x انتشار یافته از خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی حدود ۸۸٪ میلیون تن بوده است (United States Environmental Protection Agency, 2020). واکنش بین N و O₂ در جو منجر به تشکیل NO می‌شود که گازی بی‌رنگ و غیرقابل اشتعال است. NO₂ همچنین در واکنش با آب محلولی حاوی ترکیبی از اسیدهای نیتروژن و نیتریک را تولید می‌کند (به ترتیب HNO₂ و HNO₃). NO_x تولیدی در اتمسفر می‌تواند ناشی از انتشارات انسانی از منابع ساکن شامل تولید برق از سوخت‌های فسیلی و منابع متحرک (وسایل نقلیه موتوری و مبدل‌های کاتالیزوری اکثر اتومبیل‌ها) و انتشارات طبیعی مانند پوسیدگی مواد آلی، آتش‌سوزی‌های طبیعی جنگل‌ها به عنوان محصولات جانبی فرایندهای ذکر شده باشد. تأثیرگذارترین شکل NO_x بر سلامتی انسان‌ها NO₂ است (Yang and Omaye, 2009). این نوع آلاینده با اثرگذاری NO₂ بر سیستم ایمنی سلولی و هومورال باعث اختلال در سیستم ایمنی بدن خواهد شد (McGranahan and Murray, 2012). رفتار آلاینده‌ها پس از انتشار در اتمسفر در شاخه‌ای از علوم هواشناسی، به نام هواشناسی آلودگی هوا بررسی می‌شود. در این حوزه دانشمندان در حوزه هواشناسی سعی بر تجزیه و تحلیل و همچنین نظارت بر آلودگی هوا در لایه مرزی جوامع و بررسی اثرات آلاینده‌ها توسط تکنیک‌ها و مدل‌های توسعه یافته دارند (Lyons and Scott, 1990). مدل‌سازی اتمسفر در جهت تصمیم‌گیری در مورد راهکارهای مؤثر و کارآمد برای پیشبرد استانداردهای ملی کیفیت هوای محیط و بهبود کیفیت هوای روی سطح زمین توسط پژوهشگران کیفیت هوا صورت می‌گیرد (United States Environmental Protection Agency, 2021). امروزه محققان برای توصیف رابطه متناظر بین انتشار، هواشناسی، غلظت،

• معرفی مدل پیش بینی انتشار آلاینده‌های گازی

مدل AERMOD، به پیش بینی نحوه انتشار آلاینده‌ها در اتمسفر بصورت افقی و هم عمودی می‌پردازد. برای اینکار توزیع غلظت به روش گوسی در لایه مرزی جوی (PBL)^۹ توسط مدل ردیابی می‌شود تا در امتداد باد وارد لایه اختلاط^{۱۰} شود (Cimorelli et al., 2005). AERMOD از سه بخش اصلی تشکیل شده است: AERMOD (مدل پراکندگی AERMIC)، AERMAP (پیش پردازنده هواشناسی)، تصویری از ساختار تحلیلی این مدل در شکل شماره ۲ به نمایش درآمده است.



شکل ۲- مراحل انجام مدل سازی در مدل پراکندگی AERMOD.

• کنترل کیفی آنالیز

ایستگاه هواشناسی دشت ناز جهت دریافت داده‌های سطحی مورد نیاز انتخاب شد. خصوصیات ایستگاه هواشناسی در جدول شماره ۱ ارائه شده است. مشاهدات سطحی ساعتی از سرویس (NCEI)^{۱۱} در پایگاه (NOAA)^{۱۲} در قالب gz از آغاز سال ۲۰۱۶ تا پایان سال ۲۰۱۹ به صورت جامع دریافت شد. این اطلاعات با فرمت NCDC TD-3505 به مدل پردازنده وارد شد. داده‌های جمع آوری شده در سه مرحله توسط پیش پردازنده AERMET مورد پردازش قرار گرفتند. در مرحله اول داده‌های هواشناسی از پوشه ذخیره شده برون آوری شد و ارزیابی کیفی داده‌ها صورت پذیرفت، سپس در مرحله دوم تمام داده‌های موجود برای دوره‌های ۲۴ ساعته به صورت یک فایل واحد ادغام شد و در نهایت در مرحله سوم پیش پردازنده، داده‌های هواشناسی را ترکیب و پارامترهای لایه مرزی لازم برای استفاده در AERMOD را تعیین می‌کند. در نهایت AERMET دو فایل خروجی هواشناسی برای ورود به AERMOD را سازماندهی می‌کند: فایل اول، پارامترهای لایه مرزی را در بر می‌گیرد (شار حرارتی سطحی، سرعت اصطکاک سطحی، عمق اختلاط، گرادبان دمای بالقوه عمودی، طول مونین-ابوخوف، ارتفاع مرجع باد و دما و سایر پارامترها). فایل دوم، شامل نیم‌رخ از پارامترهای مورد نیاز مدل می‌باشد (باد، دما، انحراف معیار مولفه‌های باد).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی دشت ناز.

آلاینده‌های تولیدی توسط صنایع نیروگاهی و کنترل آلودگی و تنظیم مقررات کیفیت هوا امری ضروری می‌باشد (United States Environmental Protection Agency, 2021). با توجه به سرانه مصرف گاز طبیعی و مازوت در نیروگاه‌های کشور براساس آمارهای جهانی و ترازنامه انرژی و متعاقب آن تولید آلاینده‌هایی که آسیب‌های قابل توجهی به محیط زیست انسانی، حیوانی و گیاهی خواهند زد، در این پژوهش سعی بر این است تا آنالیز زیست محیطی نیروگاه شهید سلیمی نکاء براساس دو نوع سوخت مصرفی آن و بررسی پراکنش دو آلاینده NOx و SO2 در منطقه مورد مطالعه و ارائه راهکار در جهت کاهش غلظت آلودگی در منطقه انجام گیرد.

۲- روش انجام تحقیق

در پژوهش حاضر پیش بینی الگوی پراکندگی آلاینده‌های گازی نیروگاه شهید سلیمی شهرستان نکاء حین مصرف دو نوع سوخت گاز طبیعی و مازوت با استفاده از مدل AERMOD انجام شده است.

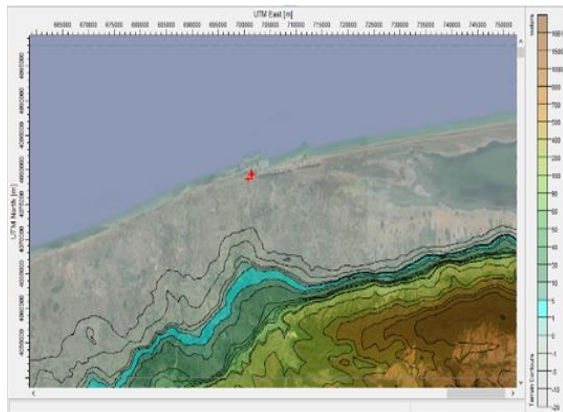
• محدوده مورد مطالعه

نیروگاه شهید سلیمی با قدرت اسمی ۲۲۱۴ مگاوات می‌باشد که سهم قابل ملاحظه‌ای در توان نیروگاهی کشور ایفا می‌کند. این نیروگاه در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان نکاء در نوار ساحلی دریای خزر قرار دارد و از دو بخش مستقل بخار و سیکل ترکیبی تشکیل شده است که شامل چهار واحد بخار که هر یک با قدرت نامی ۴۴۰ مگاوات، و دو واحد گازی با قدرت نامی ۱۳۷/۶ مگاوات به همراه دو بویلر بازیاب از نوع درام‌دار در واحد بخار با قدرت نامی ۱۶۰ مگاوات ساختار واحد سیکل-ترکیبی را تشکیل می‌دهند. همچنین در این نیروگاه دو واحد توربین انبساطی با قدرت نامی هر کدام ۴/۹ مگاوات فعالیت دارد. نیروگاه برق شهید سلیمی از دو نوع سوخت گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی و همچنین سوخت جایگزین مازوت، استفاده می‌کند (نیروگاه شهید سلیمی نکاء، ۱۴۰۰). مرکز نیروگاه به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته شد. منطقه مدل‌سازی از نقطه مرجع به فاصله ۲۰ کیلومتر به سمت شمال (دریای خزر)، ۵۰ کیلومتر به سمت شرق (شبه جزیره میانکاله و نوار ساحلی)، ۴۰ کیلومتر به سمت غرب (سواحل شهر جویبار) و نهایتاً ۳۰ کیلومتر به سمت جنوب (شامل شهرهای بهشهر، نکاء و بخشی از ارتفاعات دارای پوشش جنگلی منطقه)، امتداد یافته است. تصویر هوایی از نیروگاه و منطقه مورد مطالعه توسط ابزار گوگل ارث در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- تصویر هوایی از نیروگاه شهید سلیمی و منطقه مدل‌سازی

ارزیابی می‌شود. در بخش گیرنده، ۱۲۲۹ گیرنده برای منطقه طراحی لحاظ شد که شامل بخش مرزی نیروگاه، برگرفته از ۱۰ گیرنده، و همچنین با تعریف شبکه حصاری در پنج ردیف با فواصل ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر در هر ردیف به ترتیب، که در نهایت شامل ۲۲۰ گیرنده می‌باشد. همچنین ۱۱۹۹ گیرنده با فاصله‌های ۲۰۰۰ در ۲۰۰۰ متر به صورت گسسته و منظم در منطقه طراحی گسترش یافته-اند. ارتفاع گیرنده‌ها نیز ۱/۵ متر از سطح زمین لحاظ شد تا تأثیرات غلظت آلاینده‌ها بر روی انسان‌ها و علاوه بر آن درختان، پوشش گیاهی و همچنین گونه‌های جانوری لحاظ شده باشد. مدل ارتفاع رقومی زمینی از درگاه WEBGIS با فرمت AERMAP ارتفاعات سطح زمین برای گیرنده‌ها و همچنین برای منابع نقطه‌ای به صورت دقیق جایگذاری شد. فایل مدل رقومی ارتفاع زمین (DEM) در شکل شماره ۳ به تصویر درآمده است.



شکل ۳. نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه در نرم افزار AERMOD

داده‌های مربوط به منابع انتشار

در پژوهش حاضر داده‌های آلاینده‌های انتشار یافته از دودکش‌های خروجی نیروگاه، از سازمان حفاظت محیط زیست استان مازندران گردآوری شده است. داده‌های گردآوری شده شامل سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ به صورت فصلی و مربوط به دو آلاینده NO_x و SO_2 می‌باشد. غلظت‌های گازهای خروجی از دودکش بر مبنای غلظت حجمی (ppm) بوده است. جهت محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها می‌بایست غلظت حجمی (ppm) را به غلظت جرمی (mg/m^3) تبدیل کرد. سپس با ضرب غلظت جرمی در دبی حجمی گاز خروجی (m^3/s)، و تقسیم آن بر ۱۰۰۰، میزان انتشار بر حسب (gr/s) بدست آمد. در جدول شماره ۳ مشخصات فیزیکی دودکش‌های واحد بخار و سیکل ترکیبی مورد به همراه مختصات طول و عرض جغرافیایی مورد نمایش قرار داده شده است.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
دشت ناز	سینوپتیک اصلی	OINZ	۵۳/۱۹	۳۶/۶۳	۱۱

تعیین همچنین پیش پردازنده AERMET نیازمند سه پارامتر سطحی برای مشخص کردن ویژگی‌های سطح می‌باشد که شامل ضریب آلبو و نسبت بوان و طول زبری سطح می‌باشد (U.S. Environmental Protection Agency, 2021). این مقادیر با توجه به خصوصیات سطحی منطقه مورد مطالعه از جمله تنوع کاربری زمین و پوشش گیاهی برآورد می‌شود. در پژوهش حاضر مشخصه‌های سطحی به صورت فصلی معرفی شده‌اند. در جدول شماره ۲ زیر مقادیر این پارامترها را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲. پارامترهای سطحی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه به

صورت تغییرات فصلی

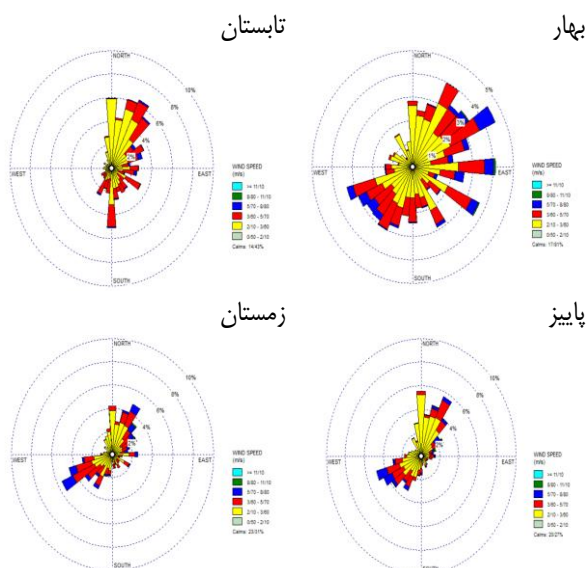
فصل	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری و پوشش گیاهی	زبری سطح (متر)	نسبت بوان (بی بعد)	ضریب آلبو (بی بعد)
بهار تابستان	۰	۲۷۰		۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۱۲
پاییز زمستان	۲۴۰	۹۰	دریا	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۱
بهار تابستان	۲۴۰	۳۶۰		۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۱۴
پاییز زمستان	۹۰	۳۷۰	چمنزار	۰/۰۵	۰/۳	۰/۲
بهار تابستان	۲۴۰	۳۷۰		۰/۱	۰/۴	۰/۱۸
پاییز زمستان	۹۰	۳۷۰	زمینهای زراعی	۰/۱	۰/۵	۰/۲
بهار تابستان	۲۴۰	۳۶۰		۰/۰۰۱	۰/۵	۰/۶
پاییز زمستان	۹۰	۳۶۰		۰/۰۰۱	۰/۵	۰/۶

با توجه به قابلیت‌های پیش پردازنده AERMET، از آنجاییکه که اطلاعات جو بالا در دسترس نبود، با در نظر گرفتن داده‌های هواشناسی سطحی، محاسبات پارامترهای لایه مرزی انجام گرفت. این مهم براساس معادلات تجربی و نیمه تجربی صورت گرفته و از قابلیت تخمین داده‌های جو بالا در مدل استفاده شده است (Lake AERMAP. Environmental Software, 2015). یکی دیگر از پیش پردازنده‌های مدل AERMOD است که جهت بررسی داده‌های زمین در مسیر منابع و گیرنده‌های طراحی شده در سطح و همچنین ترسیم مدل ارتفاع رقومی زمین کاربرد دارد (U.S. Environmental Protection Agency, 2018). چنین اطلاعاتی در مطالعه حاضر شامل شش منبع نقطه‌ای برای نیروگاه تعریف شده است که شامل ۴ منبع از واحدهای بخار و دو منبع از واحد سیکل ترکیبی است. اثرات ساختمان نیز برای انتشار گازهای دودکش لحاظ شد که شامل ساختمان‌های اطراف منابع نقطه‌ای هستند. تأثیر این ساختمان‌ها بر پخش و پراکنش آلاینده‌ها، توسط AERMAP

غلظت بیشینه آلودگی نمایش داده می‌شود. میانگین زمانی غلظت آلاینده‌ها به صورت منحنی‌های هم تراز بر روی نرم افزار گوگل ارث ذیلاً ارائه شده است. در مطالعه هر فصل، اطلاعات مربوط به سالی که بیشترین میزان آلودگی در میانگین زمانی ۱ ساعته را اخذ کرده بود، مورد نمایش قرار گرفته است. همچنین الگوی گلباد به صورت میانگین فصلی و تنها در سال ۱۳۹۵ مورد تفسیر قرار گرفته و در مورد وجه اشتراک آن با سایر سال‌ها بحث شده است. در انتها بیشینه غلظت‌های تخمین زده شده با استانداردهای کیفیت هوای پاک در ایران که توسط سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۹۵ منتشر شد و همچنین حدود استاندارد اعلام شده از سوی سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۲۱، مقایسه شده است. استاندارد هوای پاک ایران برای آلاینده اکسید نیتروژن در بازه زمانی ۱ ساعته ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است و همچنین برای آلاینده دی اکسید گوگرد در بازه زمانی ۱ ساعته و ۲۴ ساعته به ترتیب ۱۹۶ و ۳۹۵ میکروگرم بر مترمکعب می باشد. براساس اعلام سازمان جهانی بهداشت، استاندارد تعیین شده برای آلاینده اکسید نیتروژن در بازه زمانی ۱ ساعته و ۲۴ ساعته به ترتیب ۲۰۰ و ۲۵ میکروگرم بر مترمکعب می باشد و همینطور استانداردهای در نظر گرفته شده برای دی اکسید گوگرد در بازه زمانی ۲۴ ساعته مقدار ۴۰ میکروگرم بر مترمکعب تعیین شده است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵؛ WHO, 2021).

الگوی گلباد منطقه

در این بخش مطابق شکل شماره ۴، الگوی گلبادی سال ۱۳۹۵ را به صورت فصلی مورد نمایش قرار داده شده است. مطابق این شکل که از تحلیل داده‌های هواشناسی منطقه به کمک نرم افزار (WRPLOT view) بوده است می‌توان چنین نتیجه گرفت که غالب الگوی وزش باد در دو جهت مخالف شمال شرق - جنوب غرب وزیده شده است. چنین الگویی اثر قابل توجهی بر پخش آلاینده‌ها در مناطق متراکم جمعیتی و صنعتی می‌گذارد.



شکل ۴. گلبادهای منطقه مورد مطالعه به صورت فصلی در سال ۱۳۹۵

جدول ۳. مشخصات خروجی های واحد بخار و سیکل ترکیبی.

خروجی ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع دودکش (m)	قطر داخلی (cm)
واحد ۱ بخار	۳۶/۸۳۸۵۰۵	۵۳/۲۵۸۰۲۴	۱۳۴	۳۰۰
واحد ۲ بخار	۳۶/۸۳۸۵۷۷	۵۳/۲۵۸۵۴۲	۱۳۴	۳۰۰
واحد ۳ بخار	۳۶/۸۳۸۶۶۶	۵۳/۲۵۹۰۷۲	۱۳۴	۳۰۰
واحد ۴ بخار	۳۶/۸۳۸۷۱۹	۵۳/۲۵۹۶۰۰	۱۳۴	۳۰۰
بویلر ۱ سیکل ترکیبی	۳۶/۸۳۳۳۲۰	۵۳/۲۵۱۵۹۰	۳۲	۳۰۰
بویلر ۲ سیکل ترکیبی	۳۶/۸۳۳۲۷۶	۵۳/۲۵۱۶۲۸	۳۲	۳۰۰

مشخصات آلاینده‌های گازی دودکش (SO_2 , NO_x , CO_2) به همراه دما خروجی، برای واحدهای بخار و سیکل ترکیبی به طور فصلی در سال‌های مورد مطالعه جمع آوری شد. در جدول شماره ۴ نمونه‌ای از این اطلاعات برای تابستان سال ۱۳۹۶ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات گازهای خروجی در یکی از فصول مورد مطالعه (تابستان ۱۳۹۶).

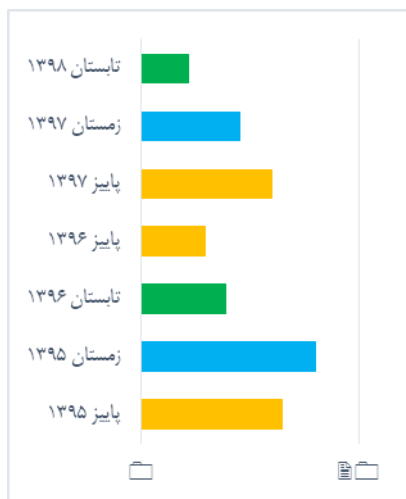
فصل	دودکش	نوع سوخت مصرفی	دمای خروجی (C)	نرخ انتشار CO_2 (gr/s)	نرخ انتشار NO_x (gr/s)	نرخ انتشار SO_2 (gr/s)
تابستان ۱۳۹۶	واحد ۱ بخار	گاز طبیعی	۱۴۲	۵۷۸۲/۶۸۶	۴۸/۷۰	۰
	واحد ۲ بخار	مازوت	۱۴۴	۵۸۶۷/۴۴۸	۱۸/۰۶	۱۲۲/۵۷
	واحد ۳ بخار	گاز طبیعی	۱۴۰	۸۷۳۶/۱۰۵	۵۰/۹۷	۰
	واحد ۴ بخار	مازوت	۱۵۳	۸۷۲۸/۲	۱۹/۳۴	۱۳۴/۶۴
	بویلر ۱ واحد ۱	گاز طبیعی	۱۲۷	۳۴۱۸/۳۳۸	۳۰/۱۰	۲/۴۴
	بویلر ۲ واحد ۲	گاز طبیعی	۱۳۰	۳۲۵۰/۳۸	۲۶/۷۹	۰

در این پژوهش به تفاوت مصرف مازوت و گاز طبیعی و اثرگذاری آن در تولید و پراکنش آلاینده‌های گازی پرداخته می‌شود.

۳- نتایج

در پژوهش حاضر شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌های گازی در سه میانگین زمانی (ساعته، ۲۴ ساعته و فصلی) انجام شد. برای هر بازه زمانی، مقدار بیشینه آلاینده‌های مورد مطالعه، در نقاط گیرنده فرضی به عنوان

سال، پاییز سال ۱۳۹۵ میزان آلودگی فراتری را در مقایسه با سال‌های دیگر داشته است. در فصل زمستان نیز، زمستان سال ۱۳۹۵ دارای مقدار بیشینه آلودگی بالاتری نسبت به میزان تخمین زده شده در سال ۱۳۹۷ می باشد. فصول تابستان و پاییز دو فصلی هستند که بیشینه انتشار و غلظت آلاینده NO_x در آن‌ها دیده شده است که بیش از دوبرابر در مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی بوده است. در بخش بعدی، میزان انتشار آلاینده SO_2 به صورت فصلی و در بازه‌های زمانی معین بررسی شدند. این نتایج در فصل بهار، به علت عدم مصرف مازوت در واحدهای بخار، با مقادیر ناچیز به ثبت رسیده و از گزارش آن صرف‌نظر شده است (شکل ۶).



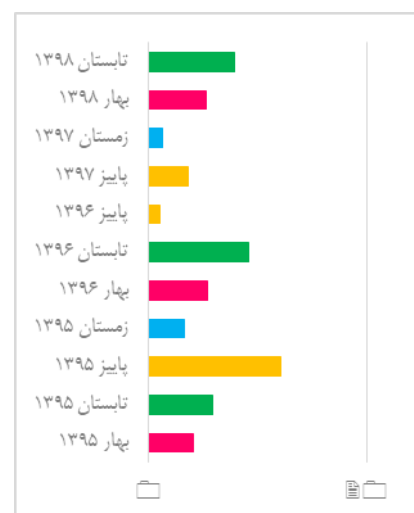
شکل ۶. میزان بیشینه تعیین شده آلاینده SO_2 در میانگین فصلی برحسب میکروگرم بر مترمکعب.

براساس نمودارهای شکل شماره ۶، در فصل زمستان، بیشینه آلودگی در زمستان سال ۱۳۹۵ به طور قابل توجهی بیشتر از سال ۱۳۹۷ تخمین زده شده است. انتشار و انباشت آلاینده SO_2 در فصل زمستان سال‌های مورد مطالعه به مراتب بالاتر از سایر فصول بوده است. این رویه در میانگین‌های کوتاه مدت و بلند مدت در شکل ۶ قابل مشاهده است. همچنین بیشینه غلظت تخمین‌زده شده این آلاینده به خصوص در زمستان سال ۱۳۹۵ در مقایسه با حد مجاز استاندارد تعیین شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست بسیار فراتر رفته است. در ادامه خروجی‌های شبیه‌سازی صورت گرفته برای انتشار دو آلاینده NO_x و SO_2 در شکل‌های شماره ۷ و ۸ به تصویر درآمده است. انتخاب سال مورد گزارش بر مبنای فصلی است که بیشینه میزان آلودگی را داشته است. مطابق با شکل شماره ۷ شبیه‌سازی انتشار آلاینده NO_x در فصل بهار سال ۱۳۹۶، مقدار بیشینه $۲۷۸/۰۷$ ، $۲۹/۳۷$ و $۵/۳۵$ میکروگرم بر مترمکعب در بازه‌های زمانی ۱ ساعته، ۲۴ ساعته و فصلی نشان می‌دهد. مقایسه این اعداد با میزان حد مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی بیانگر در معرض خطر بودن مناطق جمعیتی که تحت اثر غلظت بالای آلودگی قرار گرفته‌اند، خواهند شد. خروجی مدل برای آلاینده NO_x در تابستان سال ۱۳۹۸ مقدار بیشینه غلظت $۴۹۱/۲۵$ میکروگرم بر مترمکعب در بازه زمانی یک ساعته می‌باشد که بالاتر از حد استاندارد تعیین شده برای هوای پاک می‌باشد. تمرکز آلودگی با غلظت‌های بالا در دامنه ارتفاعات جنوب شرقی و جنوب منطقه مورد

الگوی وزش باد در خلال سال‌های مورد مطالعه دارای اشتراکات فصلی در گلباد منطقه بودند. به نوبه در فصل بهار غالب وزش باد در منطقه مورد مطالعه، به سمت شرق و شمال شرق وزیده است. وزش باد به سمت شرق منطقه باعث انتشار آلاینده‌های تولیدی در کناره ساحلی و شبه جزیره میانکاله می‌شود. همچنین بادهای شمال شرقی به تخلیه آلودگی بر روی دریا منجر شده است. در فصل تابستان غالب وزش باد در منطقه، به سمت بخش جنوب بوده است. در این محدوده زمین‌های زراعی، مناطق مسکونی شهری و روستایی و ارتفاعات منطقه واقع شده‌اند. همچنین بادهای شمالی نیز در فصل تابستان در الگوی گلبادی مشاهده شده‌اند. بررسی گلباد در فصل پاییز، حاکی از آن بود که غالب وزش باد به سمت جنوب غربی بوده است. تراکم زمین‌های زراعی، مناطق مسکونی شهری و روستایی در این محدوده قابل توجه است. باد شمال شرقی به سمت دریای خزر نیز به ثبت رسیده است. گلباد منطقه در فصل زمستان مشابه با الگوی پاییز مشاهده و ثبت شد. با در نظر گرفتن گلبادهای سال‌های مورد مطالعه، می‌توان پیش‌بینی کرد که پخش و پراکنش آلاینده‌های گازی نیروگاه برق شهید سلیمی به مناطق جمعیتی و کشاورزی منطقه می‌تواند آسیب وارد نماید. به این بحث مفصلاً در بخش‌های ذیل پرداخته شده است.

شبیه‌سازی پخش و پراکنش آلاینده‌های SO_2 و NO_x در AEMOD

در این بخش نتایج خروجی از مدل به صورت فصلی طی سال‌های مورد مطالعه ارائه شده است. ابتدا بیشینه غلظت آلاینده‌های NO_x و SO_2 تخمین زده شده توسط مدل برای میانگین‌های زمانی ۱ ساعته، ۲۴ ساعته و فصلی محاسبه شد. بر این اساس، در شکل شماره ۵ نتایج بیشینه غلظت تخمین زده شده برای آلاینده NO_x در فصول سال‌های مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۵. میزان بیشینه تعیین شده آلاینده NO_x در میانگین فصلی برحسب میکروگرم بر مترمکعب.

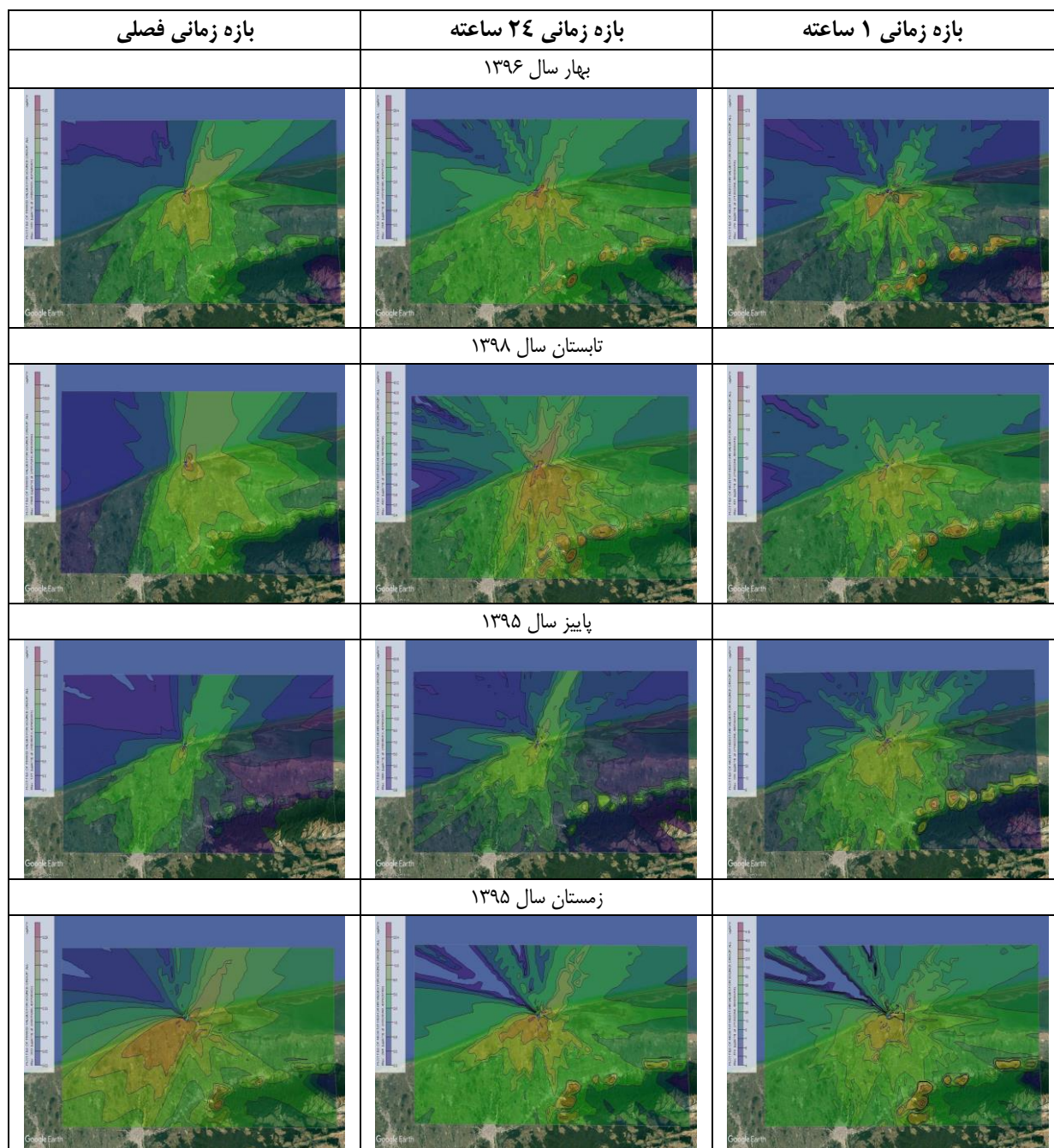
با توجه به نمودار میزان انتشار میانگین در شکل شماره ۵، در فصول تابستان، تابستان سال ۱۳۹۸ میزان بیشینه غلظت بالاتری نسبت به سایر سال‌ها داشته است. در بازه زمانی سرد

توجه به پراکنش آلاینده SO_2 در شکل شماره ۶ گستره آلودگی شامل مناطق روستایی در ضلع جنوبی نیروگاه از شرق به غرب و همچنین شامل زمین‌های زراعی که بخش قابل توجهی از این مناطق را تشکیل داده است، می باشد. در میانگین زمانی ۲۴ ساعته نیز میزان بیشینه تخمین زده شده $140/16$ میکروگرم بر مترمکعب می باشد که بالاتر از حد استاندارد سازمان جهانی بهداشت قرار گرفته است. براساس جهت پخش و پراکنش آلودگی در بازه سرد سال آلودگی با توجه به میزان انتشار بالای SO_2 و استفاده بیشتر از سوخت مازوت نسبت به گاز طبیعی در واحدهای بخار گستره وسیعی از منطقه از جمله زمین‌های زراعی بسیار و همچنین روستاها در نزدیکی نیروگاه و البته به علت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه به سمت قسمت جنوبی ارتفاعات منطقه در بخش جنوب و جنوب شرقی منطقه مشرف به شهرهای نکاء و بهشهر بوده است. در مورد انطباق مدل شبیه‌سازی شده با الگوی گلباد منطقه، می‌توان به صورت کلی چنین فرض کرد که در بازه زمانی این مطالعه، پخش و پراکنش آلاینده SO_2 تحت تأثیر الگوی باد منطقه قرار داشته و توپوگرافی زمین و جهت وزش باد در جابجایی این آلاینده در فصول مختلف سال نقش مهمی را بازی کرده است.

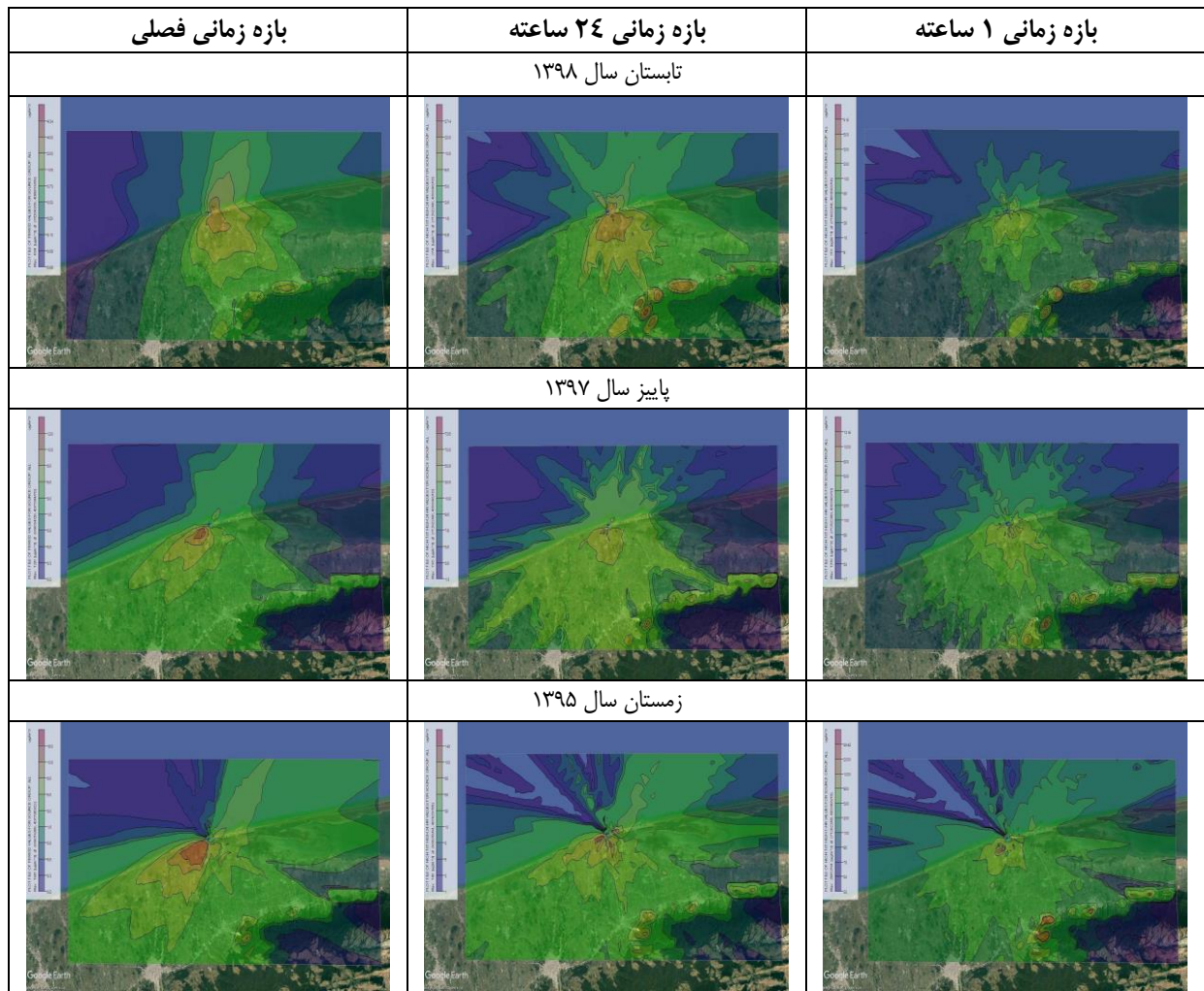
بررسی میزان انتشار CO_2

دی اکسید کربن در صنایع حرارتی و نیروگاهی، بر مبنای شرایط عملکردی و احتراق براساس سوخت مصرفی تولید و انتشار می‌یابد. اساس تولید CO_2 احتراق سوخت دارای کربن می باشد که شرایط احتراق کامل باعث تولید بیشتر این گاز خواهد شد. سوخت‌های فسیلی با توجه به میزان کربن موجود در ترکیب شیمیایی خود در شرایط سوختن مقدار متفاوتی از این گاز را تولید می کنند. جدول شماره ۵ میزان انتشار دی اکسید کربن را در اندازه‌گیری انجام شده برحسب گرم بر ثانیه نمایش داده شده است. به طور کلی با توجه به اعداد جدول شماره ۵ در فصل‌های تابستان و پاییز شاهد انتشار میزان بیشتر CO_2 نسبت به دو فصل دیگر هستیم. میزان بیشینه انتشار در فصل پاییز 1397 با مقدار 38092 گرم بر ثانیه بوده است. میزان انتشار CO_2 در فصل بهار سال‌های مورد مطالعه حاکی از آن است که بهار سال 1395 بیشترین میزان انتشار را نسبت به سالهای دیگر داشته است البته در مدار بودن تمام واحدهای بخار و هم چنین فعالیت دو واحد گازی در بخش سیکل ترکیبی عامل انتشار بالاتر نسبت به سایر سال‌ها بوده است. در فصل تابستان با توجه به اینکه در تعدادی از واحدهای بخار در تابستان 1396 و تابستان 1398 مازوت مصرف شده است میزان انتشار CO_2 بالاتر از تابستان سال 1395 می باشد. در بازه زمانی سرد سال با توجه به مصرف مازوت در واحدهای بخار در فصل پاییز و همچنین فعالیت بویلرهای گازی نیروگاه انتشار این گاز در هر سه سال مورد مطالعه روندی افزایشی نسبت به فصول دیگر داشته است. در زمستان نیز به علت عدم در مدار بودن واحدهای گازی و عدم فعالیت برخی از واحدهای بخار در اندازه‌گیری‌های صورت گرفته کاهش انتشار نسبت به فصل پاییز مشهود است.

مطالعه مشرف به شهرهای بهشهر و نکاء قرار گرفته است و در انطباق با الگوی گلباد منطقه و تحت تأثیر مشخصات سطحی زمین می‌باشد. همچنین مقدار $40/23$ میکروگرم بر مترمکعب بیشینه غلظت تخمین زده شده در این فصل می باشد که از حد استاندارد WHO فراتر رفته است. پیش‌بینی مدل از حضور و انباشت آلاینده NO_x در فصل پاییز سال 1395 بیانگر انتشار شمال شرق به جنوب غرب آلودگی می‌باشد. این الگو در انطباق با گلباد فصلی منطقه خصوصاً در بازه زمانی بلندمدت به چشم می‌خورد. عدد $556/31$ میکروگرم بر مترمکعب نیز به عنوان میزان بیشینه غلظت در میانگین زمانی ۱ ساعته به ثبت رسیده است که بیشترین مقدار را نسبت به سایر غلظت‌های تعیین شده برای آلاینده NO_x داشته است و نشان دهنده میزان بالای آلودگی نسبت به سایر فصل‌ها می باشد. الگوی پراکنش آلاینده NO_x در فصل زمستان سال 1395 ، مطابق با الگوی گلباد منطقه است. زمین‌های جنوبی نیروگاه از بیشترین غلظت و انباشت این آلاینده متأثر هستند. به نحویکه در مناطق روستایی نظیر نوذرآباد و دنگ‌سرک در شهرستان نکاء و همچنین یکه‌توت و زاغمرز در شهرستان بهشهر حضور غلظت بالای آلودگی مشهود است. حضور کوتاه‌مدت آلاینده NO_x به میزان $416/31$ میکروگرم بر مترمکعب از حد مجاز استاندارد ملی بالاتر بوده است. همچنین در این فصل مناطق گسترده‌تری تحت تأثیر این آلاینده در مقایسه با سایر فصول قرار گرفته‌اند. در شکل شماره ۸ نیز خروجی‌های مربوط به آلاینده SO_2 برای فصولی که واحدهای بخار از مازوت به عنوان سوخت مصرفی استفاده کرده‌اند، به تصویر کشیده شده است. براساس شکل شماره ۸ مطابق با خروجی مدل در تابستان سال 1398 ، پخش و پراکنش آلودگی از شمال شرق تا جنوب منطقه مورد مطالعه به خصوص در بازه زمانی بلند مدت مشهود است که البته با توجه به گلباد در نظر گرفته شده برای این فصل، نحوه انتشار آلاینده SO_2 در منطقه قابل پیش‌بینی بوده است. در بازه زمانی ۱ ساعته میزان بیشینه تخمین زده شده $514/68$ میکروگرم بر مترمکعب بوده است که در مقایسه با حد استاندارد ملی برای این آلاینده (200 میکروگرم بر متر مکعب) فاصله زیادی دارد. همچنین در بازه زمانی ۲۴ ساعته مقدار $27/37$ میکروگرم بر مترمکعب پیش بینی شد که قابل قبول از نظر استاندارد سازمان جهانی (40 میکروگرم بر متر مکعب) بهداشتی می باشد. با توجه به خروجی‌ها کاهش میزان بالای آلودگی از بازه زمانی کوتاه‌مدت تا بلندمدت قابل مشاهده است. با توجه به منحنی‌های غلظت شبیه سازی شده برای بازه زمانی سرد سال، در پاییز سال 1395 میزان بیشینه غلظت تعیین شده در میانگین زمانی ۱ ساعته $1315/52$ میکروگرم بر مترمکعب بوده است، که به طور قابل توجهی در مقایسه با حد استاندارد ملی تعیین شده فراتر رفته است و بر گستره وسیعی از منطقه تأثیر گذاشته است. در میانگین زمانی ۲۴ ساعته نیز مقدار تخمین زده شده بیشینه $73/46$ که بالاتر از حد استاندارد WHO می‌باشد. با گذشت زمان و پراکندگی بیشتر آلاینده‌ها در بازه‌های زمانی بلند مدت خروجی مدل، نشانگر پراکنش بیشتر آلودگی به سمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بوده است. در زمستان سال 1395 بیشینه غلظت تعیین شده توسط مدل، $2041/78$ میکروگرم بر مترمکعب بوده است، که بالاترین میزان آلودگی را نسبت به سایر فصول داشته است و به صورت چشمگیری از حد استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست فراتر رفته است، با



شکل ۷. نتایج حاصل از شبیه سازی NOx در مدل AERMOD در فصل های دارای بیشینه آلودگی.



شکل ۸. نتایج حاصل از شبیه سازی SO₂ در مدل AERMOD در فصل های دارای بیشینه آلودگی.

جدول ۵. ارائه میزان انتشار CO₂ در تمام فصل های مورد بررسی در سال های متوالی (gr/s)

تابستان	بهار	زمستان	پاییز	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	تابستان	بهار
۱۳۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۶	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۵	۱۳۹۵	۱۳۹۵
۳۷۶۸۱/۹	۱۷۹۲۸/۸	۲۶۴۰۳/۲	۳۸۰۹۲	۳۳۲۵۰/۳	۳۵۷۸۳/۱	۱۲۹۳۰/۸	۱۵۲۲۱/۲	۱۸۹۶۹/۵	۲۱۲۵۳/۶	۲۰۷۹۲/۹

۴- نتیجه گیری

بررسی اثر باد و توپوگرافی زمین در پخش و پراکنش آلاینده ها

تنوع در شرایط زمین و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه با اثرگذاری بر بادهای سطحی زمین تأثیر قابل توجهی در پخش و پراکنش آلاینده ها دارد. ارتفاعات زمین نظیر کوهها، تپهها و ناهمواری های می توانند باعث تشکیل نیروی اصطکاک سطحی زمین باشند و این نیرو بر جابجایی هوا و وزش باد مؤثر است. لایه اصطکاک لایه ای از باد می باشد که از اصطکاک سطح زمین تأثیر می پذیرد. عوامل مختلفی بر ضخامت متغیر این لایه مؤثر می باشند نظیر سرعت باد، دما و ناهمواری های سطح زمین. ضخامت لایه اصطکاک با افزایش ارتفاع

کاهش می یابد و تقریباً اثر خود را در ارتفاع حدود یک کیلومتری از سطح زمین و ۱۵۰ متری از سطح دریا، از دست می دهد (پورالشریعه و حائری، ۱۳۹۸). در مجموع با توجه به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و الگوی گلباد معرفی شده در بخش نتایج، می توان چنین نتیجه گرفت که در پراکنش آلودگی در سطح دریا، به دلایل فوق-الذکر، نگرانی های زیست محیطی کمتری وجود دارد. این مناطق خارج از محدوده سرزمینی بوده و تراکم جمعیتی خاصی ندارد. از سوی دیگر، دریا خود به عنوان یک منبع برای جذب و ترسیب آلاینده های اتمسفری، نقش فعالی در پالایش آن نوع آلاینده ها بازی می کند (Waldichuk, 2017). در بررسی پخش و پراکنش آلاینده ها در گستره خشکی، بسیاری از خروجی ها به خصوص در

زمانی ۱ ساعته میزان بیشینه تخمین زده شده تنها در تابستان ۱۳۹۸، ۲۹۱/۲۵ میکروگرم بر مترمکعب فراتر از حدود استانداردها بوده و میانگین زمانی ۲۴ ساعته در تمام سال‌های مورد مطالعه بالاتر از حد تعیین شده از سوی WHO با میزان ۲۵ میکروگرم بر مترمکعب قرار گرفته است. در فصل پاییز الگوی مصرف واحدها نشان دهنده افزایش سهم مازوت به عنوان سوخت مصرفی نسبت به گاز طبیعی بوده است و با توجه به اندازه گیری‌ها در سه سال مورد مطالعه غالب واحدها در این فصل از سوخت مازوت استفاده کرده اند به طوری که در پاییز سال ۱۳۹۵ دو واحد از سه واحد بخار فعال سوخت مصرفی شان مازوت بوده و در اوج بار قرار داشته‌اند، همچنین در پاییز سال ۱۳۹۶ با توجه به اندازه گیری‌های صورت گرفته، سوخت مصرفی هر چهار واحد بخار مازوت بوده است و تمام واحدها در بار ۵۰ درصد (نیمه بار) قرار داشته اند. در نهایت مصرف ۳ واحد فعال بخار در پاییز سال ۱۳۹۷ نیز از سوخت مازوت و با راندمان ۵۰ درصد برق تولیدی، انتشار دی اکسید گوگرد در این فصول را به طرز قابل توجهی افزایش داده است. با توجه به خروجی-های مدل در این فصل در میانگین زمانی ۱ ساعته بیشینه غلظت تخمین زده شده در تمام سال‌های مورد مطالعه (در مجموع با میانگین ۹۱۳/۵۸ میکروگرم بر مترمکعب) فراتر از میزان استانداردهای ملی تعیین شده بوده اند همچنین در بازه زمانی ۲۴ ساعته در تمام سال‌ها بجز پاییز ۱۳۹۶ در مجموع با میانگین ۱/۸۳ برابر بالاتر از حد استاندارد تعیین شده از سوی سازمان جهانی بهداشت (۴۰ میکروگرم بر مترمکعب) قرار گرفته است. با توجه به بیشینه غلظت‌های تعیین شده برای آلاینده NO_x نیز در میانگین زمانی ۱ ساعته تنها در سال ۱۳۹۵ فراتر از حدود استاندارد تعیین شده بوده است و در میانگین زمانی ۲۴ ساعته نیز در همین سال میزان بیشینه غلظت بالاتر از استاندارد سازمان جهانی بهداشت قرار داشته است. در بررسی‌های انجام شده در فصل زمستان، در سال ۱۳۹۷ تمام واحدهای بخار که با راندمان تولید ۵۰ درصد بار (نیمه بار) و همچنین در سال ۱۳۹۵ به جز یک واحد از سه واحد در حال فعالیت، از سوخت مازوت استفاده کرده‌اند و در اوج بار قرار داشته‌اند. این وضعیت موجب انتشار با گستردگی زیاد آلاینده SO_2 می‌شود. خروجی نتایج مدل حاکی از آن بود که در میانگین زمانی ۱ ساعته بیشینه غلظت تخمین زده شده بسیار بالاتر از استاندارد تعیین شده به ویژه برای زمستان سال ۱۳۹۵ بوده است و همچنین در میانگین زمانی ۲۴ ساعته غلظت SO_2 در دوسال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۱۴۰/۱۶ و ۷۹/۷۱ بوده اند که از میزان استاندارد WHO (۴۰ میکروگرم بر مترمکعب) تجاوز کرده اند. در مجموع می‌توان به این نتیجه رسید که حتی مصرف سوخت مازوت تنها در یک واحد و برحسب میزان سوخت و مقدار کیلووات‌ساعت برق تولیدی، آثار عمیقی بر کیفیت هوای محیطی و تجاوز از استانداردهای تعیین شده را در پی خواهد داشت. این نتایج در همراستایی با مشاهدات قبلی در مورد آثار زیان بار سوخت مازوت و سایر برش‌های نفتی سنگین در واحدهای حرارتی تولید برق می‌باشد (رحیمیان، ۱۳۹۶؛ Shaikh et al., 2018; Yasin and Al-Awadhi, 2011). همچنین در تمام اندازه‌گیری‌های صورت گرفته سوخت مصرفی دو واحد گازی تنها گاز طبیعی بوده است که در بازه زمانی سرد سال-های مورد مطالعه به علت افت فشار گاز به خصوص در فصل

میانگین‌های زمانی ۱ ساعته، الگوی تجمع آلودگی به صورت دوایری هم مرکز در نزدیکی بخش‌های جنوبی نیروگاه مطالعه مشرف به مناطق شهری و روستایی و در دامنه ارتفاعات منطقه بوده است. زمین‌های مرتفع مانند کوه‌ها و تپه‌ها می‌توانند یکی از عوامل تشدیدکننده تجمع آلودگی باشند. این شرایط خصوصاً با موقعیتی که جهت پخش و پراکنش آلاینده‌ها به سوی دامنه‌های آن‌ها باشد، تشدید می‌شود. این عوارض سطحی زمین همانند مانعی برای پراکنش آلاینده هستند (Zhang et al., 2019). همچنین عامل دیگر تجمع آلودگی در بخش جنوب شرقی منطقه، اختلاف ارتفاع این ناحیه است؛ به نحویکه مناطق جنوب شرقی نسبت به جنوب غربی منطقه مورد بررسی ارتفاع کمتری دارند. با توجه به تمایلی که برای پخش و تجمع آلاینده‌ها در مناطقی با ارتفاع کم‌تر وجود دارد، انباشت آلودگی در نواحی جنوب شرقی نیروگاه بالاتر می‌باشد. البته مسافت کمتر ارتفاعات جنوب شرقی با نیروگاه نسبت به فاصله بیشتر این عوارض در سمت جنوب غربی در تشدید این وضعیت می‌تواند اثرگذار باشد.

بررسی نتایج به صورت جامع به تفکیک فصل‌ها

در کنار خصوصیات زمین و توپوگرافی منطقه، سایر عوامل مانند خصوصیات هواشناسی می‌تواند در پخش و ماندگاری آلودگی مؤثر می‌باشد. فصول مختلف با الگوی گلباد متنوع، توان متغییر خروجی نیروگاه، و نوع سوخت تحویلی در فصول مختلف، تولید و انتشار آلاینده‌های گازی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی نتایج فصل بهار حاکی از آن است که، با توجه به مصرف تمامی واحدهای بخار از گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی، آلاینده غالب انتشار یافته NO_x بوده و آلاینده SO_2 در خروجی‌های دودکش بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. در فصل بهار در میانگین زمانی ۱ ساعته شاخص آلودگی برای NO_x در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ فراتر از حدود استاندارد تعیین شده از سازمان حفاظت محیط زیست و WHO بوده است. همچنین در میانگین زمانی ۲۴ ساعته، میزان میانگین بیشینه غلظت تعیین شده برای این آلاینده در سال‌های مورد بررسی، حدود ۹ میکروگرم بر متر مکعب از میزان استاندارد سازمان جهانی بهداشت (۲۵ میکروگرم بر مترمکعب) فراتر رفته است. در مطالعه‌ای در سال ۱۴۰۱، میزان انتشار آلاینده‌های CO ، SO_2 و NO_2 در ایستگاه‌های مورد سنجش در شهر اراک در حد مجاز گزارش شد (Badamfirooz et al., 2022). همچنین مطالعه مشابهی در مناطق شهری و جمعیتی اصفهان انجام شد و پراکنش آلاینده گازی منوکسید کربن بالاتر از سطح استاندارد به ثبت رسید (Shamsaie et al., 2021). در فصل تابستان با بررسی مصرف سوخت واحدها مشاهده شد که در سال ۱۳۹۶ دو واحد بخار و در سال ۱۳۹۸ نیز در یک واحد بخار از سوخت مازوت استفاده شده است. خروجی‌های مدل برای آلاینده SO_2 نشان دهنده آن است با مصرف مازوت به عنوان سوخت، انتشار آلاینده SO_2 به طور معنی‌داری افزایش یافته است. به عنوان مثال در میانگین زمانی ۱ ساعته در سال‌هایی که مازوت به عنوان سوخت مصرف شده است، میزان بیشینه پیش بینی شده از حد تعیین شده توسط سازمان‌های ملی در سال‌های مذکور به ترتیب ۱/۵۷ و ۲/۶۲ برابر بیشتر بوده است. همچنین برای آلاینده NO_x در میانگین

زمستان سال های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ فعال نبوده است اما در فصول گرم سال فعال و در تولید آلاینده NO_x و انتشار CO_2 نقش داشته اند.

نتیجه گیری کلی و ارائه پیشنهاد

با بررسی مطالعه انجام شده می توان دریافت که غلظت های بالای آلودگی فراتر از استانداردها در در دامنه های جنوبی ارتفاعات واقع در جنوب شرقی و جنوب منطقه مورد مطالعه مشرف به شهرهای بهشهر و نکا واقع شده است. آلودگی ایجاد شده می تواند برای انسان هایی که در این شهرها و مناطق زندگی می کنند مخاطره آمیز باشد و تأثیر جبران ناپذیری بر سلامتی آن ها بگذارد همچنین تجمع آلودگی در دامنه ارتفاعات می تواند برای پوشش جنگلی، درختان و گیاهان با وقوع باران اسیدی به بافت های آن ها آسیب برساند، و با استمرار آن با گذشت زمان بر رشد آن ها اثرات منفی می گذارد. بخش دیگری که در آن نیز غلظت بیشینه آلودگی مشاهده شده است منطقه های اطراف نزدیک به نیروگاه در قسمت جنوبی از شرق تا غرب، که شامل زمین هایی با کاربری کشاورزی و روستایی است می باشند که بسیار از انباشت آلودگی تأثیر می پذیرند و حتی باعث ایجاد مشکل در زنجیره تامین غذا با اثر گذاری بر محصولات کشاورزی این مناطق خواهد شد (Lal, 2016 ; Bhushan, 2018).

بر اساس شواهد در شرایط خاص از جمله افت فشار گاز به ویژه در فصول سرد سال، مصرف سوخت غالب در واحدهای بخار، سوخت مازوت می باشد. برحسب نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، می توان دریافت که تولید آلاینده های با غلظت های بیشینه در منطقه مورد مطالعه زمانی که مصرف سوخت مازوت بر گاز طبیعی پیشی می گیرد، رخ می دهد. نظیر چنین مشاهداتی در مطالعات صورت گرفته در معدود نیروگاه های حرارتی با دو نوع سوخت مصرفی به قبلاً گزارش شده است (Shaikh et al., 2018). همچنین با توجه به برخی گزارشات دیگر، مصرف انواع سوخت های مایع در واحدهای بخار نیروگاه های برق می تواند منجر به افزایش انتشار دی-اکسید گوگرد شود (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ نظری و همکاران، ۱۳۸۸). از این میان مصرف سوخت مازوت در واحدهای بخار بنا به دلایلی نظیر ناخالصی های موجود در آن و همچنین دارا بودن عناصر سنگین و گوگرد، آلودگی های زیست محیطی را به صورت قابل توجهی افزایش می دهد و اثرات زیان بارتری خواهد داشت (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین می بایست مدیریتی راسخ و اصولی در کاهش مصرف مازوت صورت گیرد، تا از اثرات سوء انتشار آلاینده های ناشی از سوخت مازوت در منطقه محافظت شود. در جهت رسیدن به این هدف می بایست دو راهکار را بررسی کرد، راهکار اول کاهش مصرف سوخت مازوت با مدیریتی مناسب و دیگری پالایش مازوت مورد استفاده در واحدهای بخار و در نهایت بهره برداری از سوخت مازوت با درصد گوگرد بسیار پایین می باشد. دی اکسید کربن نقش مهمی در جذب اشعه های مادون قرمز بازتابیده از سطح زمین دارد که بر تعادل دمای زیست کره و جلوگیری از یخ زدگی آن تأثیرگذار است، همچنین غلظت بیش از حد این گاز در محیط اثرات سوء

سلامتی نیز می تواند به همراه داشته باشد. میزان غلظت فراتر از ۴٪ دی اکسید کربن در محیط می تواند برای سلامتی انسان ها خطرناک و مضر باشد (طاهرخانی، ۱۳۹۰). مصرف سوخت های فسیلی در واحدهای بخار به خصوص نفت کوره تبعات بسیاری هم از لحاظ زیست محیطی و هم از لحاظ تأثیر گذاری منفی بر سیستم فرایندی و عملیاتی در نتیجه خوردگی تجهیزات واحدها، هزینه های تعمیر و نگهداری بیشتر، و همچنین کاهش راندمان را به همراه خواهد داشت. سه حالت بر تولید دی اکسید کربن در واحدهای نیروگاهی تأثیرگذار است که شامل نوع و میزان فراوانی کربن در سوخت مصرفی، راندمان واحدهای تولید برق و همچنین نسبت هوا به سوخت هنگام احتراق می باشد. میزان انتشار دی اکسید کربن بر اساس نوع سوخت مصرفی متغیر می باشد و با توجه به فراتر بودن نسبت کربن به هیدروژن در سوخت مازوت در مقایسه با گاز طبیعی میزان انتشار نیز در هنگام مصرف آن افزایش می یابد (بنده ای و همکاران، ۱۳۹۳). همانطور که در جدول ۵ ارائه شد، پاییز سال ۱۳۹۷ بیش ترین میزان انتشار CO_2 را داشته است که در نمونه برداری های انجام شده در این فصل، سه واحد فعال اندازه گیری شده سوخت مصرفی شان مازوت بوده است که شامل واحدهای دو، سه و چهار می باشد، و در بار ۵۰ درصد (نیمه بار) قرار داشته اند، همچنین دو واحد فعال گازی در واحد سیکل ترکیبی در میزان بیشینه تولید این آلاینده نقش داشته اند، البته واحدهای سیکل ترکیبی دارای بالاترین راندمان انرژی الکتریکی و کمترین میزان انتشار CO_2 می باشند (نظری و همکاران، ۱۳۸۸). امروزه نانو امولسیون مازوت می تواند جایگزین مناسبی برای مازوت مورد استفاده نیروگاه ها به عنوان سوخت قرار گیرد، البته ترکیب این روش با سایر راهکارها مانند سیستم گوگرد زدایی مرطوب گاز دودکش^{۱۵} می تواند نتایج بسیار کارآمدتری داشته باشد. در سوخت نانو امولسیون مازوت محتوای آب استفاده شده برای سنتز آن برابر با ۱۰٪ است. عملکرد نانو امولسیون باعث اتمیزه کردن ذرات سوخت هنگام احتراق می گردد که باعث افزایش سطح قابل احتراق خواهد شد. این مهم ابتدا با تبخیر شدن ذرات آب درون سوخت امولسیون شده در اثر حرارت در مولد بخار اتفاق می افتد و سپس با ایجاد میکروانفجارهایی سبب ذره ذره شدن ناگهانی قطرات سوخت می شود و در نتیجه سطح فعال بالاتری از ذرات سوخت حاصل که نقش بسزایی در سوختن سوخت با بازدهی بالا و احتراق کامل دارند، خواهد شد. این امر باعث کاهش دمای شعله آدیاباتیک و اکسیداسیون بیشتر آلاینده های موجود در گازهای خروجی خواهد شد که به طرز قابل توجهی باعث کاهش آلاینده NO_x و همچنین SO_x خواهد شد. بنابراین اتخاذ ترکیبی از راهکارهای ارائه شده می تواند درصد بالایی از این دو آلاینده را از گاز خروجی دودکش حذف کند، و باعث کاهش بار زیست محیطی در مناطق تحت اثر آلاینده ها گردد (Kouravand and Kermani, 2018).

منابع

- افروز، ص، (۱۳۹۷). محیط زیست و سازمان سبز، چاپ اول، نشر عطران.
- امینی، ف؛ شفیق زاده، م؛ صابر فتاحی، ل، (۱۳۹۸). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۶، معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی.
- ایرانی، ف، (۱۳۹۹). مدلسازی پراکنش آلاینده های هوای نیروگاه سیکل ترکیبی گناوه با استفاده از مدل AERMOD (پایان نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان، دانشکده منابع طبیعی.
- بنده ای، م؛ نجف زاده، ک؛ بیاتی، غ ر، (۱۳۹۳). بررسی و تحلیل مصرف سالانه سوخت مازوت و اثرات آن بر پارامترهای نیروگاههای بخار کشور (انتشار آلاینده ها، راندمان، ضریب بهره برداری و ظرفیت تولید برق)، هفتمین کنفرانس نیروگاههای برق کشور، سازمان بهره وری انرژی ایران، بندرعباس، ایران.
- پژوهشکده محیط زیست-مرکز تحقیقات آلودگی هوا، (۱۳۹۵). استانداردهای هوای پاک ایران، <https://ier.tums.ac.ir>.
- پورالشریعه، ع؛ حائری، ف، (۱۳۹۸). دانش فنی تخصصی (رشته نوابری) (چاپ دوم)، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران.
- رحیمیان، م، (۱۳۹۶). مدلسازی پراکنش آلاینده های هوا و تخمین مقدار آلودگی با استفاده از مدل ترکیبی WRF/CALPUFF (مطالعه وردی: نیروگاه شهید منتظری) (پایان نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه شهید بهشتی.
- زارعی، ح؛ میرزایی، ر؛ طلایی، م، (۱۳۹۹). بررسی و مقایسه غلظت آلاینده های خروجی نیروگاه تولید برق در مقاطع زمانی استفاده از سوخت گاز و مازوت، مطالعات علوم محیط زیست، ۵(۴)، ص ۳۱۵۹-۳۱۵۵.
- شجایی برجویی، س؛ عظیم زاده، ح؛ کوچک زاده، م؛ مصلح آرای، ا؛ سودایی زاده، ح، (۱۳۹۸). مدلسازی نحوه پراکنش و ارزیابی خطر سلامت مواجهه با PM10 انتشار یافته از دودکش های یکی از صنایع کاشی و سرامیک شهرستان اردکان با استفاده از مدل AERMOD، دوماننامه طب جنوب، ۲۲(۵)، ص ۳۳۳-۳۱۷.
- طاهرخانی، ع، (۱۳۹۰). اثرات گاز دی اکسیدکربن بر سلامتی، شرکت ملی گاز، شرکت گاز استان تهران، تهران، ایران.
- نظری، س؛ سهرابی کاشانی، ا؛ داوری، س؛ دلاور مقدم، ز، (۱۳۸۸). تعیین فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از نیروگاه های سوخت فسیلی کشور و مقایسه آن با کشورهای آمریکای شمالی، نشریه انرژی ایران، ۱۲(۲)، ۳۶-۲۵.
- نیروگاه شهید سلیمی نکا، معرفی نیروگاه. <http://npgm.ir/about>.
- Badamfirooz, J., Rahmati, A.R., Daneshpajooh, N., Mousazadeh, R. and Mirzaei, R., (2022). Investigating the impact of existing and under construction industries on the air quality of Arak City using ADMS model. *Environmental Sciences*. 20(1): 21-40.
- Bhushan, a. (2018). Impact of air pollution on vegetable crops. *Open Access Journal of Science*, 2(6), 367-368.
- Cimorelli, A.J., Perry, S.G., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R.J., Wilson, R.B., Lee, R.F., Peters, W.D., Brode, R.W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications part I: general model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied meteorological and Climatology*, 44(5), 682-693.
- Dahiya, S., & Myllyvirta, L. (2019). Global SO2 emission hotspot database, Ranking the world's worst sources of SO2 pollution. Greenpeace Environment Trust.
- Dally, A., & Zannetti, P. (2007). Air Pollution Modeling- An Overview. In Zannetti, P. AL-Ajimi, D. AL-Rashed, S(Eds.), *Ambient Air Pollution* (pp. 15-28). The EnvironComp Institute, Fremont, CA(USA).
- Habib, M.A., Elshafei, M., Dajani, M. Influence of combustion parameters on NOx production in an industrial boiler. *Computers & Fluids*, 37, 12-23.
- Kouravand, S., & Kermani A.M. (2018). Clean power production by simultaneous reduction of Nox and Sox contaminants using Mazut Nano-Emulsion and wet flue gas desulfurization. *Journal of Cleaner Production*. 201. 229-235.
- Lake Environmental Software, (2015). AERMET ViewTM Version 8.9.0.
- Lal, n. (2016). Effects of Acid Rain on Plant Growth and Development. *e-Journal of Science & Technology*, 11(5), 85-108.
- Liu, L., Cheng, S.Y., Li, J.B., Huang, Y.F. (2007), Mitigating Environmental Pollution and Impacts from Fossil Fuels: The Role of Alternative Fuels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(12), 1069-1080.
- Luechinger, S. (2014). Air pollution and infant mortality: a natural experiment from power plant desulfurization. *Journal of Health Economics*, 37, 219-231.

- Lyons, T.J., & Scott, W.D. (1990). Principles of air pollution meteorology. Bellhaven Press, London, UK.
- McGranahan, G., & Murray, F. (2012). Air pollution and health in rapidly developing countries. Earthscan Publications Ltd.
- Moharreri, M.A., Arkian, F., Lari, K., Salehi, G.R. (2020). PM10 and CO dispersion modeling of emissions from four thermal power plant in Mashhad, Iran. Scientia Iranica, 27(5), 2433-2442.
- Russell, A., Holmes, H., Friberg, M. (2014). Use of air quality modeling results in health effects research. In D. Steyn., & R. Mathur(Eds.), Air Pollution Modeling and its Application XXIII (pp. 1-7). Springer Proceedings in Complexity.
- Shaikh, K., Imran, U., Shaikh, Sultan. (2018), Health risk assessment for emissions from Jamshoro Thermal Power Station using AERMOD dispersion model. Industrial Pollution Control, 34(2), 2142-2151.
- Shamsaie, S., Ahmadi Nadoushan, M., & Jalalian, A. (2021). Spatiotemporal modeling of CO pollutant in city of Isfahan using MODIS imagery and ANFIS and RF algorithms. Environmental Sciences.
- Srirattana, S., & Piaowan, K. (2020). SO2 Dispersion modeling emitted from Hongsa Coal-Fired Power Plant transboundary to Nan Province, Thailand. Geographia Technica, 15(1), 102-111.
- Stolfi, A., Fulk, F., Reponen, T. (2021). AERMOD modeling of ambient manganese for residents living near a ferromanganese refinery in Marietta, OH, USA. Environmental Monitoring and Assessment, 193(7), 1-16.
- United States Environmental Protection Agency, (2021). Air quality models, <https://www.epa.gov/scram/air-quality-models>.
- United States Environmental Protection Agency, (2020). EPAs 2019 Power Plant Emissions Data Demonstrate Significant Progress, <https://www.epa.gov/newsreleases/epas-2019-power-plant-emissions-data-demonstrate-significant-progress>.
- United States Environmental Protection Agency, (2021). Sulfur Dioxide (SO2) Pollution, <https://www.epa.gov/SO2-pollution/sulfur-dioxide-basics>.
- United States Environmental Protection Agency, (2018). User's Guid for the AERMOD Terrian Preprocessor (AERMAP).
- United States Environmental Protection Agency, (2021). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET).
- Waldichuk, M. (2017). Air-Sea Exchange of Pollutants. In G. Kullenberg (Ed.), Pollutant transfer and transport in the sea (pp. 42). CRC Press.
- World Energy outlook, (2020). Executive summary, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/executive-summary>.
- World Health Organization, (2021). Air quality and health. <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>.
- World Health Organization, (2021). WHO Air Quality Guidelines, https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?Language=en_US.
- Yang, W., & Omay, ST. (2009). Air pollutants, oxidative stress and human health. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 674(1-2), 45-54.
- Yassin, M. F., & Al-Awadhi, M. M. Impact of Sulfur Dioxide Emissions of Power Stations on Ambient Air Quality. Environmental Engineering Science, 28(7), 469-475.
- Zannetti, P. (2013). Air pollution modeling: theories, computational methods and available software. Springer Science & Business Media.
- Zhang, L., Guo, X., Zhao, T., Gong, S., Xu, X., Li, Y., Luo, L., Gui, K., Wang, H., Zheng, Y., Yin, X. (2019). A modeling study of the terrain effects on haze pollution in the Sichuan Basin. Atmospheric Environment, 196, 77-85.
- Zou, B., Zhan, F.B., Wilson, J.G., Zeng, Yongnian. (2010). Performance of Aermod at different time scales. Simulation Modelling Practice and Theory, 18(5), 612-623.

Dispersion modeling of NO_x and SO₂ pollutions using AERMOD model (Case study of Shahid Salimi power plant, Neka)

Hossein Ghorbani¹, Ahmad Farhad Talebi^{1*}

1- Faculty of New Sciences and Technologies, Semnan University, Semnan, Iran.

* Email Address: aftalebi@semnan.ac.ir

Introduction

Nowadays, non-stop population growth as well as development of industrial activities has led to increasing the consumption of energy resources. Further energy production has caused air pollution problems in many countries. Reduced air quality has a significant effect on human health and welfare. Due to the increasing energy consumption in different communities, the pressure on excessive consumption of conventional fossil fuels (e.g. coal, fuel oil and natural gas) has considerably increased. The variety of industrial activities related to fossil fuels will emit large amounts of gaseous, liquid and solid waste pollutants, which have many adverse effects and various consequences for the environment. The behavior of gaseous pollutants once they are emitted into the atmosphere is investigated in the topic of air pollution meteorology. In this topic, scientists are trying to analyze and monitor the air pollution in the atmospheric boundary layer of communities and study the effects of pollutants using computational approaches and machine learning algorithms. Atmospheric modeling is used by air quality managers to make decisions on effective and efficient ways to implement the National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Such monitoring and prediction approaches might lead to improve air quality. AERMOD model is a state-of-the-art dispersion model for regulatory applications, modeling short range (up to 50 km) dispersion from a variety of polluting sources (e.g. point, area, and volume sources) using a number of model configurations which include different sets of urban or rural dispersion coefficients as well as simple and complex topography. Air pollution modeling is too important in monitoring of the concentrations of pollutants produced by the power plant. It also could be useful to control pollution and meet the air quality regulations. This study aims to assess the environmental impact of Shahid Salimi thermal power plant, located in the north of Iran, Neka. The effect of two types of fuel consumption on emission and distribution of NO_x and SO₂ pollutants has been studied. Finally, suggestions to reduce the pollution emission have been presented.

Methodology

Shahid Salimi power plant is a complex with high electricity power generation with a nominal capacity of 2214 MW. Shahid Salimi power plant is located in 25 km north of Neka city on the Caspian coast and consists of two independent parts, including 4 steam units and a combined cycle unit. Each of the four steam units has a nominal power of 440 MW. The combined cycle section consists of two gas units with a nominal capacity of 137.6 MW which are combined with two heat recovery steam generators with a 160 MW nominal capacity. The power plant also has two Turbo Expanders, each with a nominal power of 4.9 MW. The power plant always consumes two types of fuel, natural gas as the main fuel and also alternative fuel, which is Fuel oil. In this study, the dispersion pattern of gaseous pollutants of Shahid Salimi power plant has been simulated by AERMOD model while consuming two types of fuel, natural gas and fuel oil. Pollutant emission data have been received seasonally from Mazandaran Environmental Protection Organization for several consecutive years from March 20, 2016 to September 22, 2019. The pollutants studied are nitrogen oxides and sulfur dioxide. Also, at the end, the amount of carbon dioxide emissions in the discussed seasons is presented. The center of the power plant was considered as a reference point. Modeling area composed of the reference point at the center, a distance of 20 km to the north side (Caspian Sea), 50 km to the east side (Miankaleh Peninsula and coastal strip), 40 km to the west side (coasts located in the city of Joybar) and finally 30 km to the south of the region (including the cities of Behshahr, Neka and part of the heights with forest cover) have been monitored by 1229 receptors in the study area. Dasht e Naz meteorological station has been used to receive the required surface meteorological data through the service (NCEI) in the database (NOAA) from the beginning of 2016 to the end of 2019 comprehensively. To determine the topography of the study area, the digital elevation model was entered from the WEBGIS site in GTOPO30 / SRTM30 format.

Discussion of Results

The concentration of pollutants were simulated in 3 time averages, which includes 1 hour, 24 hours and seasonal period. During the spring, the prevailing wind in the studied area has been blown to the east and northeast. Als the wind direction in the area was widely to the south in the summer. According to windroses, during the cold period of the year (autumn and winter), the prevailing wind has been blown toward the southwest. Based on the windroses of the studied years, it is predictable that the distribution of gaseous pollutants can be hazardous for the population centers and agricultural activities in the region. The results of dispersion modeling of gaseous pollutions are classified seasonally; The results are presented based on the estimation of the maximum amount of pollution for the studied years for NO_x and SO₂ pollutants, respectively. CO₂ emissions are also provided for all seasons in the reviewed years. According to the emission calculations based on the measurements, CO₂ has the largest share of emissions compared to other pollutants. Based on the model plot for SO₂ pollutant in the 1 hour averaging time, The maximum concentrations estimated in all seasons in the studied years when the steam units used fuel oil, especially in the winter of 2016, were relatively high, So that the average of these values was 5 times higher than the standard, And in the 24 hours averaging time, only in the autumn of 2017 and summer of 2019, the estimated maximum pollution were lower than the limits set by the WHO. The results of the maximum concentrations of NO_x pollutants showed that in some seasons, especially in the fall of 2016, it was 356 micrograms per cubic meter above national and international standards (200 micrograms per cubic meter), And in the 24 hours averaging time, in the time periods that included autumn of 2017 and 2018 and winter of 2019 were lower than standard limit, And in other seasons of the reviewed years, the average value of the estimated maximum amounts was 12 micrograms per cubic meter higher than the WHO standard (25 micrograms per cubic meter).

Conclusions

According to the outputs, high concentrations of pollution that are beyond the standards are located in the south slopes of the southeast and south heights of the studied area, near the Behshahr and Neka cities. Accumulated pollution can be dangerous for people living in these areas and have irreversible effects on their health. Accumulated pollution can be dangerous for people who live in these areas and have irreversible effects on their health. Also, the accumulation of pollution in the highlands with the occurrence of acid rain can damage the tissues of forest cover, trees and plants and it will have a negative impact on their growth. Another area where the maximum concentration of pollution has been observed is the area near to the power plant, which is located in the southern part from east to west, and includes agricultural and rural lands, which are highly affected by the accumulation of pollution, and it will even cause problems in food supply by affecting the agricultural products of these areas. According to the results, producing pollution with maximum concentrations in the study area occurs when fuel oil consumption exceeds natural gas. Fuel oil consumption in the steam units due to sulfur dioxide emissions will have much more harmful effects on the environment. Therefore, proper management must be done to reduce its consumption, to protect the adverse effects on humans who live in the region, the ecosystem of the Miankaleh Peninsula, forest cover, as well as agricultural lands in the region. To achieve this target, two solutions must be considered, first, reducing the consumption of fuel oil with proper management, and second, refining and using fuel oil with very low sulfur content in the steam units. Also, using Mazut Nano-Emulsion as a fuel to reduce pollution will be effective.

Keywords

Thermal power plants; Air pollution modeling; AERMOD; Sulfur dioxide; Nitrogen oxides