

مدل سازی و ارزیابی سهم انتشار آلاینده های NO_x و CO خروجی از دودکش یک کارخانه تولید ایزوگام

روی منطقه اطراف (مطالعه ی موردی: شهر دلیجان)

فائزه برهانی^{۱*}، فاطمه زاهد^۱، علیرضا نورپور^۲

*۱- دانشجوی دکترا، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: fborhani78@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۴

چکیده

واحدهای تولید ایزوگام به عنوان یکی از منابع مهم آلاینده هوا محسوب می شوند. شهرستان دلیجان به عنوان پایتخت ایزوگام ایران شناخته می شود، به طوری که آلودگی هوای این شهرستان در حال حاضر ناشی از منابع مذکور به نظر می رسد. ابتدا پژوهش جامعی از وضعیت آلودگی این منابع و نحوه انتشار این آلاینده ها روی مناطق اطراف به عمل می آید. برای این منظور، ابتدا پارامترهای جریان خروجی از دودکش های یکی از واحدها، به وسیله دستگاه آنالایزر گاز KIMO، مدل KIGAS300، اندازه گیری شده است، سپس با استفاده از متغیرهای جوی دما، رطوبت، جهت و سرعت باد با مقیاس روزانه سال ۲۰۱۵ ایستگاه هواشناسی دلیجان و خصوصیات منبع انتشار آلاینده از جمله ارتفاع دودکش، سرعت و دمای گاز خروجی، نرخ انتشار آلاینده و ... پخش و پراکنش آن ها به کمک نرم افزار AERMOD مدل سازی شده است. این مدل برای برآورد غلظت انتشارات از منابع نزدیک (کمتر از ۵۰ کیلومتر) طراحی شده است. به منظور تعیین سهم کارخانه ایزوگام مورد مطالعه از کل منابع آلاینده، ابتدا نمونه برداری در فصل پاییز از ۴ منبع نقطه ای که خروجی دودکش های یک کارخانه پخت ایزوگام می باشند برای دو آلاینده منوکسید کربن و اکسیدهای ازت بعمل آمد پس از اعمال مقادیر اندازه گیری شده خروجی دودکش ها در مدل AERMOD و مدلسازی انتشار آلاینده های خروجی دودکش ها در منطقه اطراف، میزان نشر حاصل از مدلسازی در چهار نقطه معینی از محوطه اطراف کارخانه (چهار گوشه کارخانه) مشخص گردید. مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی پراکنش آلودگی با مقادیر اندازه گیری شده در همان نقاط نشان داد غلظت آلاینده ها ناشی از غلظت آلاینده منوکسید کربن به مقدار ۰/۱۹۳۴۸ میکروگرم بر مترمکعب و ناشی از آلاینده اکسید ازت ۰/۱۴۰۰۳ میکروگرم بر مترمکعب، در متوسط زمانی یک ساعته می باشد. با مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی انتشار و اندازه گیری میدانی میزان آلاینده منوکسید کربن و اکسیدهای ازت در هوای محیطی چهار نقطه مشخص می شود سهم آلاینده منوکسید کربن و اکسیدهای ازت ناشی از یک واحد تولید ایزوگام در هوای شهر به ترتیب برابر ۰/۲۶ و ۰/۱۴ درصد می باشد.

کلمات کلیدی

"کارخانه ایزوگام"، "پراکنش"، "انتشار آلاینده"، "مدل AERMOD"

Modeling and evaluating the contribution of NO_x and CO pollutants emitted in the insulation Bituminous units (Isogam) exhaust flue gas on the around area (Case study: Delijan City)

Faezeh Borhani^{1,*}, Fatemeh Zahed^{1,*}, Alireza Noorpoor²

1*. PHD student, Department of Environment, college of engineering, University of Tehran, Teharn, Iran

2. Associate professor, Department of Environment, college of engineering, University of Tehran, Teharn, Iran

*Email Address: fborhani78@ut.ac.ir

Abstract

Isogam Bituminous production units are considered as an significant source of air pollution. Delijan city is known as the capital of Iran Isogam Bituminous, so air pollution in the city recently seems to be arising from the sources. At first, comprehensive study of the pollution and emissions sources on the surrounding area comes into action. For this purpose, the chimney outlet parameters of one unit are measured by gas analyzer KIMO, KIGAZ300. Then, using climate variables like temperature, humidity, wind speed or direction with the daily Delijan 2015 weather station and emission source characteristics including the chimney height, speed and exhaust gas temperature, the rate of emission, etc., its distribution is modeled by AERMOD software. The model is designed to estimate the discharge rate from adjacent sources (less than 50 km). In order to determine and evaluate the unit's share of total emissions in the sample-studied materials in summer the 4-polluting source of all the chimneys were measured. Results of air pollution dispersion modeling shows that the highest concentration of Carbon monoxide and nitrogen oxide are 0.19348 and 0.14003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on hourly average and occurred in the eastern part of the North. Evaluating the results of modeling and measuring carbon monoxide emissions in several points of the city, CO and NO_x percent (as environmental pollutants) are determined 0.26 and 0.14 respectively in urban air.

Keywords

"Isogam Bituminous unit", "air pollutants emissions", "Dispersion", "AERMOD model"

AERMOD به کمک مدل WRF محاسبه گردید. این مطالعه با فرض مسطح بودن زمین و در محدوده ای با وسعت 25×25 کیلومتر مربع و با فاصله ی شبکه مدل سازی ۱ کیلومتر انجام گرفت (Tancrede, et al. 1992) در سال ۲۰۱۴، Rahul و همکاران، به بررسی بهبود پراکندگی آلاینده ی اکسید نیتروژن با استفاده از مدل AERMOD در ناحیه ی صنعتی منطقه گرمسیری پرداختند (Rahul, et al. 2014). از دیگر مطالعات انجام گرفته می توان به مطالعه ای که توسط پری و همکاران که در سال ۲۰۰۵ صورت گرفته است، اشاره داشت. آن ها به بررسی کاربردهای مدل AERMOD به عنوان یک مدل پراکندگی برای منابع صنعتی پرداختند؛ نتایج بررسی هایشان نشان داد که در مقایسه با دیگر مدل های آزمون شده در این زمینه، مدل AERMOD مدل بالاتر و برتری می باشد (Perry, et al. 2005). هکل و لی متر جهت مدل سازی غلظت عنصر جیوه در مناطق مسکونی از مدل AERMOD استفاده کردند، آن ها دریافتند که مشخصه های هواشناسی، ارتفاع دودکش و توپوگرافی منطقه تأثیرات زیادی بر توزیع آلودگی هوا دارد، نتایج تحقیق آن ها نشان داد که بین غلظت عنصر جیوه و ارتفاع دودکش رابطه ی معکوس وجود دارد و نیز جوامع مسکونی که در زمین های مرتفع نزدیک به منابع صنعتی قرار گرفتند نسبت به مناطق مسطح دو تا سه برابر بیش تر در معرض آلودگی هوا قرار می گیرند (Heckel and LeMasters 2011). زو و همکاران، در سال ۲۰۱۰، با مطالعه ی موردی بر روی آلاینده ی دی اکسید گوگرد ناشی از منابع نقطه ای و منابع متحرک جاده ای دو شهر دالاس و ایس کانتی، کارایی مدل پراکنشی AERMOD در مقیاس های زمانی مختلف را مورد سنجش قرار دادند (Zou 2010). Truong و همکارانش، سال ۲۰۱۶ در پژوهشی به ارزیابی ریسک انتشار بنزن در منطقه ی شهری با استفاده از مدل جوی AERMOD پرداختند (Truong, et al. 2016). ژانگ و دستیارانش، با مطالعه ی موردی بر روی شهر هانگ ژوا در جنوب چین سه آلاینده ی SO_2 ، NO_x و PM_{10} ناشی از سوخت های فسیلی و فرآیندهای تولیدی صنایع را با مدل AERMOD مدل سازی کردند و یافته های حاصل تحقیق آن ها با اطلاعات جمع آوری شده در ۷ ایستگاه پایش مقایسه شد (Zhang 2008). فانگر و همکاران، در سال ۲۰۰۹، ضراب انتشار آلاینده های ذرات معلق با قطر کمتر از $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) و PM_{10} حاصل از برداشت بادام در ایالت کالیفرنیا، با دو مدل ISCST3 و AERMOD را تعیین و با مقادیر پایش شده مقایسه کردند (Faulkner 2009). سینگیاتوس و همکاران، میزان غلظت دی اکسید نیتروژن خروجی از دودکش چهار کارخانه سیمان کشور تایلند را به مدت هفت روز متناوب در ۱۲ ایستگاه دریافت کننده، اندازه گیری کردند. سپس با استفاده از مدل AERMOD انتشار دی اکسید نیتروژن از کارخانه سیمان را در فصل خشک و مرطوب شبیه سازی نمودند و نتایج حاصل از اندازه گیری را با نتایج حاصل از شبیه سازی در ایستگاه های دریافت کننده مقایسه کردند (Seangkiatiyuth, et al. 2011). Podrez. سال ۲۰۱۵، در تحقیقی، با استفاده از مدل AERMOD، استانداردهای یک ساعته دی اکسید نیتروژن را که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا برآورد شده بود را به روزرسانی کرد (Podrez 2015). Amit و همکاران و محیط دلاوری با به کارگیری مدل AERMOD پخش آلودگی ناشی از ذره معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون را در پون هند بررسی کردند (Amit, et al. 2007). از

آلودگی هوا پدیده ای جهانی است که امروزه به عنوان یک معضل بزرگ در زندگی بشر ریشه دوانیده است. طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی، هر ساله ۵۰۰۰۰۰ نفر در اثر استنشاق آلاینده های جوی جان خود را از دست می دهند. با یک دیدگاه واقع بینانه مشخص می گردد که با دانش امروز بشر، نمی توان انتظار داشت که هیچ گونه آلاینده ای از صنایع و کارخانه ها وارد هوا نشود اما می توان با مطالعات دقیق تر در صنایع و کارخانجات مراقب بود که غلظت آلاینده های ناشی از این صنایع در محیط اطراف، از میزان استاندارد های تعریف شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست فراتر نرود. شهرستان دلیجان را می توان پایتخت ایزوگام ایران نامید. در این شهرستان بیش از ۱۲۰ واحد تولید قیر و ایزوگام وجود دارد و علاوه بر تأمین مصرف داخلی، بخشی از تولیدات آن ها به کشورهای اطراف صادر می شود. از بحث اقتصادی این صنعت اگر بگذریم، در چند سال گذشته وضعیت هوای دلیجان دستخوش تغییراتی شده و میزان آلودگی آن افزایش یافته است به نحوی که از دلیجان به عنوان چهارمین شهر آلوده استان مرکزی یاد می شود. مدل سازی پراکنش گازها به طور گسترده در مطالعات زیست محیطی در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعات با استفاده از داده های هواشناسی، چگونگی انتشار و توزیع آلاینده ها از منبع در محیط اطراف منابع انتشار مدل سازی می گردد که با استفاده از نتایج این مدل سازی ها، راه های کاهش این اثرات مورد بررسی قرار گرفته و فناوری های لازم برای کاهش میزان آلاینده ها و چگونگی ساخت بخش های مختلف واحدهای صنعتی تعیین می گردد. بررسی ارزیابی و مدل سازی چگونگی پراکنش آلاینده ها جهت مدیریت بهینه آلودگی های حاصل از آن ها صورت می گیرد. مدل های آلودگی هوا ابزار توانمندی برای بررسی انتشار و غلظت آلاینده ها هستند (امیری ۱۳۹۴). نرم افزار AERMOD، یکی از نرم افزارهای مورد تأیید آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا است، که در دسته ی مدل های ارجح و توصیه شده ی این سازمان قرار دارد. مدل سازی پخش آلاینده های هوا فرآیندی است که اثر یک یا چند منبع تولید کننده آلاینده هوا بر محیط را پیش بینی می نماید. الگوریتم های به کار رفته در این مدل ها بر پایه فیزیک فرآیند های اتمسفری و داده های تجربی تولید شده است. AERMOD یک مدل پراکنشی حالت دائمی است و برای تعیین غلظت آلاینده های مختلف در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشارات سطحی و در ارتفاع، از منابع نقطه ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی استفاده می شود. این مدل نحوه ی پخش و پراکنش آلاینده ها را از منبع تا دریافت کننده شبیه سازی می کند. به طور کلی مدل های گوسی، محدود به جریان های عبوری از سطوح ساده اند، اما AERMOD روش ساده ای جهت تقریب زدن جریان های عبوری از پستی و بلندی به کار می برد. در سال ۲۰۰۴، پس از ۱۴ سال بررسی، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا مدل AERMOD را به عنوان مدل برگزیده خود معرفی کرد. از پیشینه کاربرد در این زمینه می توان به کار جکسون در سال ۲۰۰۶ که غلظت آلاینده سیانید هیدروژن که بر اثر فرآیند جداسازی طلا از سنگ معدن آن، در معدن طلا در شهر کلرادو با دو مدل ISCST3 و AERMOD مشخص و با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه های پایش مقایسه کرد، اشاره نمود (Jackson 2006). همچنین، در مطالعه ای دیگر در سال ۲۰۰۷، آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در شهر پون کشور هندوستان مدل سازی شد که در آن، پارامترهای هواشناسی مورد نیاز

برگزیده EPA یعنی AERMOD مدل سازی و ارزیابی شده است. همچنین به منظور بررسی سهم واحدهای تولیدی در آلودگی شهر مقادیر آلاینده منوکسیدکربن در نقاطی از شهر اندازه گیری شده است.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

دلیجان یکی از شهرهای استان مرکزی و مرکز شهرستان دلیجان است که در جنوب شرقی استان قرار گرفته است. شهر دلیجان به عنوان مرکز این شهرستان در ارتفاع ۱۵۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهرستان از شمال به استان قم و از جنوب به استان اصفهان و از شرق به شهرستان کاشان و از غرب به شهرستان محلات همسایه بوده و مساحت آن ۲۱۷۰ کیلومتر مربع می باشد که در حد ۴/۷٪ از مساحت استان را به خود اختصاص داده است. شهرستان دلیجان در قلمرو آب و هوایی نیمه خشک قرار دارد و مرکز آن یعنی شهر دلیجان دارای زمستان های سرد و تابستان های نسبتاً گرم است. دلیجان یکی از کمتر بارش ترین شهرهای استان مرکزی به حساب می آید. اقلیم شهر دلیجان براساس روش دو مارتن خشک و روش آمبرژه خشک و سرد می باشد. پارامترهای اقلیمی شهر دلیجان به طور متوسط در جدول ۲و۱ آمده است، این اطلاعات از اداره کل هواشناسی استان مرکزی به دست آمده است.

مطالعات انجام شده در ایران می توان به کار روحی و همکارانش، در سال ۲۰۱۳، اشاره کرد، آن ها با استفاده از نرم افزار AERMOD، سیستم پایش آلودگی هوا در میدان نفتی پارس جنوبی را مدل سازی کردند (Rouhi, et al. 2013). نورپور و کاظمی، در سال ۱۳۹۳، به کمک نرم افزار AERMOD، پخش و پراکنش آلاینده های هوای خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام را مدل سازی کردند (نورپور و کاظمی شهریاری ۱۳۹۳). ندوشن و همکاران، در ماه می سال ۲۰۱۶، در پژوهشی به شناسایی آلاینده های هوا در صنعت فولاد با استفاده از مدل AERMOD پرداختند، این مطالعه با توجه به این که انتشار ذرات حاوی فلزات سنگین است که می تواند سلامت انسان را به خطر اندازد، انجام شد (Nadoushan, et al. 2016). در سال ۲۰۱۵، میزان انتشار اکسیدهای ازت خروجی از دودکش های پالایشگاه گازی اندازه گیری و سپس نحوه ی پراکنش این آلاینده با استفاده از مدل در AERMOD، مدل سازی شد (جعفری گل و همکاران ۱۳۹۵). سال ۲۰۱۵ پژوهشی با موضوع سهم بندی انتشار آلاینده های خروجی شرکت سیمان تهران و پالایشگاه تهران روی شهرهای اطراف انجام شد و گزارش این پژوهش جهت بررسی سهم انتشار منابع مختلف روی شهرهای اطراف مورد استفاده مناطق تأثیر پذیرنده قرار گرفت (نورپور و همکاران ۱۳۹۴). در این پژوهش انتشار آلاینده های خروجی از دودکش یکی از واحدهای تولید ایزوگام شهرستان دلیجان با به کارگیری مدل



شکل ۱. موقعیت مکانی کارخانه ی ایزوگام مورد مطالعه

جدول ۱. مقادیر متغیرهای جوی ایستگاه هواشناسی دلیجان در فصل پاییز ۱۳۹۵

مقادیر	متغیر
۴/۳۸ m/s	سرعت باد
N-SE	جهت باد
۶/۲۸ °C	دما
٪۲۱	رطوبت نسبی
۱۶۹/۶ mm	متوسط بارش
۱۲/۸ °C	نقطه شبنم

جدول ۲. بیشینه و کمینه متغیرهای جوی ایستگاه هواشناسی دلیجان در فصل پاییز ۱۳۹۵

متغیر	واحد	حداقل مطلق	حداکثر مطلق	میانگین حداقل	میانگین حداکثر	میانگین
دما	درجه سانتی گراد	۱۲/۸	۳۶/۲	۲۱/۰	۳۶/۲	۲۸/۶
رطوبت نسبی	درصد	۵	۵۸	۱۲	۳۰	۲۱
نقطه شبنم	درجه سانتی گراد	-۶/۲	۲۷/۸	۳/۴	۲۲/۲	۱۲/۸

• اندازه گیری گازهای خروجی دودکش

در این تحقیق، دستگاه آنالایزر گاز KIMO، مدل KIGAS300 با قابلیت آنالیز گازهای NO_x ، NO_2 ، NO ، H_2S ، CO ، CO_2 ، SO_x جهت اندازه گیری گازهای خروجی دودکش مورد استفاده قرار می گیرد. این محصول ساخت کمپانی KIMO فرانسه می باشد. این دستگاه برای اندازه گیری گاز خروجی از دودکش ها بسیار مناسب است و کاربرد فراوانی در صنعت اندازه گیری گازها را دارا می باشد. آنالایزر گاز دودکش، دکتور گاز دودکش، KIMO KIGAZ 300 قابلیت محاسبه کربن دی اکسید، راندمان احتراق، درصد هوای اضافی، اتلاف حرارتی و مکش دودکش، قابلیت اندازه گیری فشار و سرعت گاز توسط pitot tube و محاسبه فلوی گازهای خروجی، دارای سیستم gas dilution جهت بالا بردن رنج گاز منوکسید کربن تا ۴۰ برابر دارای واحد آماده سازی گاز جهت تقطیر گاز خروجی و جذب قابلیت پرنیت توسط پرنیت مادن قرمز و اتصال به کامپیوتر جهت پردازش اطلاعات ذخیره

شده را دارد. از ویژگی های دیگر این دستگاه می توان به قابلیت آنالیز و تست چندین گاز، اتصال و ساپورت چند پراپ دکت گاز، دقت و سرعت عمل بسیار حرفه ای، همراه با پوشش محافظ مغناطیسی، خود کالیبره بودن، دارای ۳ سنسور فشار و قابلیت تعویض کاوشگر گاز دودکش اشاره نمود، نوع سوخت مورد استفاده در کارخانه مورد مطالعه، گاز طبیعی می باشد. از دستگاه AERQUAL جهت اندازه گیری مقادیر گازهای محیطی داخل شهر استفاده شده است. این دستگاه علاوه بر این که گازهای محیطی را با سنسورهای ازن، منوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن و هیدروژن سولفید اندازه گیری می کند، امکاناتی نظیر اندازه گیری دما، فشار و رطوبت را نیز در اختیار قرار می دهد، در جدول ۴ میانگین این غلظت ها را در هوای موجود در شهر آورده شده است. مقایسه این مقادیر با نتایج انتشار حاصل از مدل سازی میزان سهم کارخانه مورد مطالعه در آلودگی شهر را نشان می دهد.

جدول ۳. مشخصات فنی دستگاه آنالایزر گاز احتراق مدل KIMO- KIGAZ 300

T_g	SO_2	NO_x	NO_2	NO	CO	O_2	محدوده اندازه گیری دستگاه آنالایزر
$^{\circ}C$	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	%	
۵۰۰	۵۰۰۰-۰	۵۱۵۵-۰	۱۰۰۰-۰	۵۰۰۰-۰	۸۰۰۰-۰	۲۱-۰	

جدول ۴. میانگین غلظت آلاینده های منوکسید کربن و دی اکسید نیتروژن در محیط اطراف کارخانه مورد مطالعه برحسب ppm

دوره بررسی	منوکسید کربن	دی اکسید نیتروژن
مهر و آبان	۰/۱۱±۰/۰۴	۰/۱۴±۰/۰۴

جدول ۵. نتایج اندازه گیری گازهای خروجی دودکش ها برحسب ppm

NO_x	NO_2	NO	CO	Q	شناسه دودکش	شماره ایستگاه های سنجش
ppm	ppm	ppm	ppm	m^3/h		
۳۱	۱	۳۰	۳۳	۸۳۹/۳۲	خروجی دودکش مشعل بنزا ۲ واحد سالن تولید	۱
۴	۰	۴	۸	۸۶۴/۷۵	خروجی دودکش مشعل بنزا ۳ واحد سالن تولید	۲
۲۴	۱	۲۳	۹۷	۷۸۸/۴۵	خروجی دودکش مشعل بویلر روغن واحد بویلر روغن	۳
۲۲	۱	۲۱	۲۱	۳۰۳۷/۹۵	خروجی دودکش مشعل زباله سوز واحد زباله سوز	۴

پس از استاندارد کردن مقادیر دما و درجه ی حرارت، غلظت های حجمی گازهای مورد نظر از طریق رابطه ی زیر به غلظت جرمی تبدیل شدند:
رابطه (۲) غلظت جرمی:

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} = \text{ppm} \times Mw / 24.5$$

میزان دبی حجمی از طریق رابطه ی (۳) به میزان نشر جرمی گازهای مورد نظر تبدیل می گردد (colls 2002).

$$E = Q \times C$$

رابطه (۳):

E: میزان انتشار بر حسب گرم بر ثانیه

C: غلظت جرمی آلاینده بر حسب گرم بر متر مکعب

Q: دبی حجمی بر حسب مترمکعب بر ثانیه

غلظت های حجمی اندازه گیری شده به وسیله دستگاه با استفاده از رابطه ی ۲ به غلظت جرمی و دبی حجمی طبق رابطه ی ۳ به نشر جرمی گازهای خروجی برای وارد شدن به مدل AERMOD تبدیل می شوند (Wark, et al. 1998). به منظور استاندارد سازی مقادیر دما و فشار اندازه گیری شده توسط دستگاه، از قانون گازهای ایده آل استفاده شد (جدول ۶ و ۷).
رابطه (۱) گازهای ایده آل:

$$22.4 \text{ (Tactual / Tstd)} \times \text{(Pstd / Pactual)}$$

Tstd, Tactual: دمای در شرایط واقعی و استاندارد بر حسب درجه ی کلونین
Pstd, Pactual: فشار در شرایط واقعی و استاندارد بر حسب میلی بار

جدول ۶. مقادیر غلظت جرمی حاصل از تبدیل آلاینده های خروجی

NO _x	NO _y	NO	CO	شناسه دودکش	شماره ایستگاه های سنجش
mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³		
۳۸/۶۶	۱/۸۸	۳۶/۷۸	۳۷/۷۶	خروجی دودکش مشعل بنزا ۲ واحد سالن تولید	۱
۴/۹۰	۰	۴/۹۰	۹/۱۵	خروجی دودکش مشعل بنزا ۳ واحد سالن تولید	۲
۳۰/۰۸	۱/۸۸	۲۸/۲۰	۱۱۱/۰۱	خروجی دودکش مشعل بویلر روغن واحد بویلر روغن	۳
۲۷/۶۳	۱/۸۸	۲۵/۷۵	۲۴/۰۳	خروجی دودکش مشعل زباله سوز واحد زباله سوز	۴

جدول ۷. مقادیر میزان نشر جرمی گازهای خروجی دودکش بر حسب mg/s

NO _x	NO _y	NO	CO	Q	شناسه دودکش	شماره ایستگاه های سنجش
mg/s	mg/s	mg/s	mg/s	m ³ /s		
۹/۰۱۸	۰/۴۳۸	۸/۵۸۰	۸/۸۰۸	۰/۲۳۳	خروجی دودکش مشعل بنزا ۲ واحد سالن تولید	۱
۳/۳۷۷	۰	۱/۱۷۸	۲/۱۹۹	۰/۲۴۰	خروجی دودکش مشعل بنزا ۳ واحد سالن تولید	۲
۶/۵۸۷	۰/۴۱۱	۶/۱۷۶	۲۴/۳۱۳	۰/۲۱۹	خروجی دودکش مشعل بویلر روغن واحد بویلر روغن	۳
۲۳/۳۱۶	۱/۵۸۶	۲۱/۷۳۰	۲۰/۲۸۱	۰/۸۴۳	خروجی دودکش مشعل زباله سوز واحد زباله سوز	۴

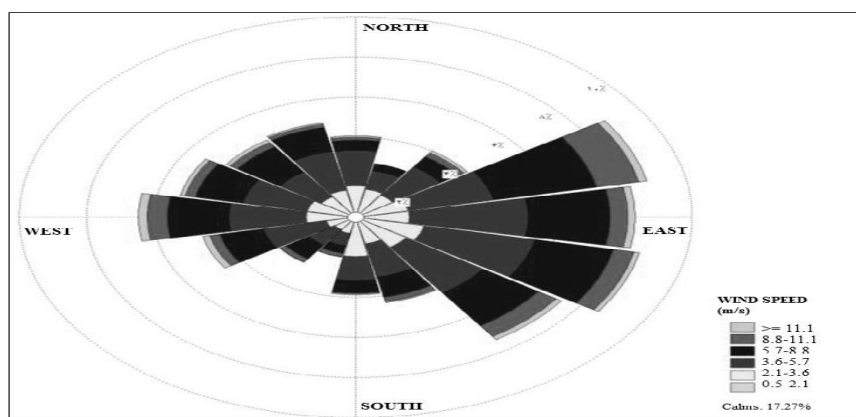
است، دما و گاز خروجی از منبع و قطر داخلی در محل خروجی نیز در جدول ۹ و موقعیت مکانی کارخانه در جدول ۱۰ نمایش داده شده است.

• تحلیل گلباد

گلباد نموداری است که سرعت، جهت و تواتر بادهای یک مکان معین را با استفاده از یک دستگاه مختصات مرکزی نشان می دهد، این دیاگرام (گلباد) کاربردها فراوانی دارد از جمله، امکان سنجی (مکان یابی، چگالی و توان باد، ایستائی باد و ...) برای استفاده از انرژی باد، عدم استقرار صنایع آلاینده در جهت باد غالب منطقه و تفسیر یک گلباد بدون نقشه برجستگی (توپوگرافی) دشوار است اثرات محلی باعث تغییرات مهمی در جریانات هوا می شوند. با استفاده از گراف گلباد شهرستان دلیجان به این نتیجه می رسیم که از تعداد بادهای دیدبانی شده پاییز سال ۹۵ در ایستگاه هواشناسی دلیجان (۱۲ ساعته)، حدود ۱۷ درصد بادها آرام و بقیه دارای جهت های متفاوت هستند. باد غالب شهرستان دلیجان شمال شرقی، و متوسط سرعت باد در تابستان ۱۵/۸ کیلومتر بر ساعت بوده است. بیشینه باد نیز دارای جهت شرقی با سرعت ۶۸/۴ کیلومتر بر ساعت بوده است.

۳- روش تحلیل داده ها

در این پژوهش اطلاعات اولیه با اندازه گیری و نمونه برداری گازهای خروجی از دودکش کارخانه ایزوگام مورد مطالعه و داده های جوی ایستگاه هواشناسی دلیجان از طریق آمار سازمان هواشناسی کشور به دست آمده است. با توجه به کاربری، منطقه اطراف به دو بخش مجزا تقسیم شده، یکی شهری (قطاع ۱) و دیگری خشک (قطاع ۲) که در فصل پاییز ضرایب مربوطه در جدول ۸ تعریف شده است. غلظت آلاینده های خروجی از دودکش به وسیله دستگاه آنالایزر نامبرده، مورد اندازه گیری قرار گرفت. به منظور انجام محاسبات خود در برنامه AERMET به سه پارامتر سطحی از منطقه مورد مطالعه یعنی نسبت بوان، ضریب آلودگی و طول زبری سطح احتیاج داریم، این کارخانه را در منطقه سطحی و زمین های اطراف آن را خشک در نظر گرفتیم. پس از اجرای برنامه AERMET، و تهیه فایل های هواشناسی، داده های پروژه جهت پردازش نهایی در مدل AERMOD، وارد می شوند و نحوه پراکنش آلاینده های مونوکسید کربن و دی اکسید نیتروژن برای دوره ی زمانی یک ساعته، سه ساعته، هشت ساعته و ۲۴ ساعته، با استفاده از این نرم افزار مدل سازی می گردند. اطلاعات نرخ انتشار آلاینده که با توجه به روابط ریاضی محاسبه شده



نمودار ۱. نمودار گلباد ایستگاه هواشناسی دلیجان در فصل پاییز ۱۳۹۵

جدول ۸. پارامترهای سطحی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه با تغییرات سالانه

شماره قطاع	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	ضریب آلبدو (بی بعد)	نسبت بوان (بی بعد)	زبری سطح (متر)
۱	۰	۲۷۰	۰/۲۸	۶	۰/۳
۲	۲۷۰	۳۶۰	۰/۱۶	۴	۱

جدول ۹. مشخصات دودکش های کارخانه ی ایزوگام مورد مطالعه ورودی به مدل AERMOD

شماره ایستگاه های سنجش	شناسه دودکش	قطر دودکش (متر)	ارتفاع دودکش (متر)	دمای گاز خروجی (کلوین)	سرعت گاز خروجی (متر بر ثانیه)
۱	خروجی دودکش مشعل بنزا ۲ واحد سالن تولید	۰/۳	۵	۵۵۸	۳/۳
۲	خروجی دودکش مشعل بنزا ۳ واحد سالن تولید	۰/۳	۵	۵۸۲	۳/۴
۳	خروجی دودکش مشعل بویلر روغن واحد بویلر روغن	۰/۳	۵	۵۹۵	۳/۱
۴	خروجی دودکش مشعل زباله سوز واحد زباله سوز	۰/۵	۵	۵۷۷	۴/۳

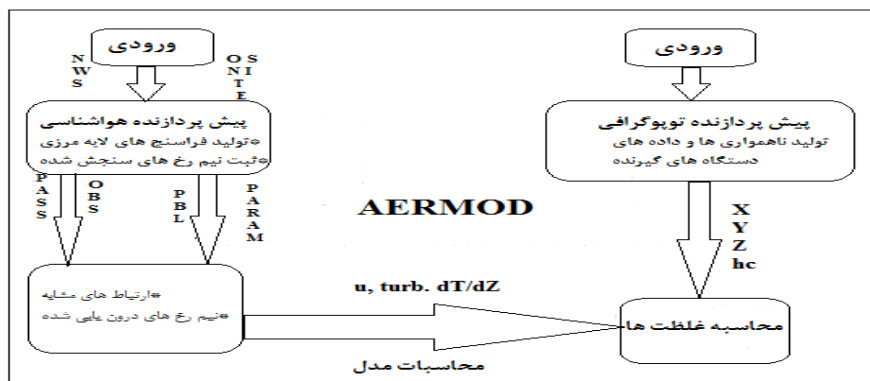
جدول ۱۰. موقعیت قرار گیری کارخانه ایزوگام مورد مطالعه در مختصات UTM

Decimal Degrees							
عرض جغرافیایی		۳۳/۹۶۰۸۳	طول جغرافیایی		۵۰/۷۴۸۸۸		
درجه، دقیقه، ثانیه عرض جغرافیایی							
N/+	Hemisphere	۳۹	ثانیه	۵۷	دقیقه	۳۳	درجه
طول جغرافیایی							
E/+	Hemisphere	۵۶	ثانیه	۴۴	دقیقه	۵۰	درجه
استاندارد UTM							
۳۷۵۷۸۴۱/۷	شمالی	۴۷۶۷۹۹/۸	شرقی	N	Hemisphere	۳۹	ناحیه

پردازنده AERMET داده های هواشناسی را پردازش کرده و پارامترهای لایه مرزی جو را به منظور استفاده در مدل تخمین می زند و پیش پردازنده AERMAP اطلاعات توپوگرافی منطقه را تجزیه و تحلیل می کند و در نهایت مدل با استفاده از نتایج این پیش پردازنده و اطلاعات تکمیلی در مورد منابع انتشار وشبکه پذیرنده محاسبات خود را انجام داده و نتایج نهایی را ارائه می دهد. از دیگر نیازمندی های مدل AERMOD فایل ورودی، شامل اطلاعات منابع انتشار آلاینده، موقعیت پذیرنده ها، مشخصات فایل های هواشناسی و نحوه دریافت خروجی از مدل است.

• مدل AERMOD

AERMOD از متداول ترین و قدرتمندترین مدل های سری گوسین محسوب می شود (Cohan, et al. 2011). این مدل برای برآورد غلظت انتشارات از منابع نزدیک (کمتر از ۵۰ کیلومتر) طراحی شده است و می تواند برای پیش بینی غلظت آلاینده های متفاوت منابع نقطه ای، خطی و سطحی مورد استفاده قرار گیرد. این مدل برای منابع بزرگ یا برای منابع ساکن و ثابت نیز استفاده می شود (Orloff, et al. 2006). این مدل علاوه بر پردازشگر اصلی AERMOD از یک پیش پردازنده هواشناسی به نام AERMET و یک پیش پردازنده زمین شناسی به نام AERMAP تشکیل شده است. پیش



شکل ۲. ساختار کلی مدل AERMOD

۴- نتایج

۸ ساعته در جدول ۱۴ برای آلاینده منوکسید کربن، (به علت صفر بودن غلظت این آلاینده در مقیاس زمانی ۲۴ ساعته، این گزینه در جدول نیامده است) و در جدول ۱۸ بیشترین غلظت رخ داده، در هر یک از مقیاس های زمانی گفته شده برای آلاینده اکسید ازت و در شکل ۲ و ۳ نحوه پراکنش آلاینده های منتشره از منابع که با استفاده از نرم افزار GIS رسم شده است، آورده شده است. پذیرنده ها به صورت شبکه ۲۰ × ۲۰ کیلومتر مربع با فاصله ی شبکه ای ۵۰۰ متر (۴۰ خط شبکه) در هر یک از دو جهت X و Y تعریف شده اند، پس از اجرای مدل به این نتایج زیر می‌رسیم.

در این بررسی، از داده های جوی سال ۱۳۹۵ ایستگاه هواشناسی دلجان که دارای نزدیکترین فاصله از کارخانه ی ایزوگام مورد مطالعه شهرستان دلجان می باشد، استفاده شده است. این اطلاعات از طریق آمار سازمان هواشناسی کشور به دست آمده است. داده ها با مقیاس زمانی سه ساعته عناصر جوی؛ سرعت و جهت باد، دمای هوا و دمای نقطه ی شبنم، رطوبت نسبی و بارش تهیه شده است. اطلاعات ۴ دودکش این کارخانه در فصل پاییز مشخص شده است. بیش ترین غلظت رخ داده در هر یک از مقیاس های زمانی ۱ ساعته، ۳ ساعته،

جدول ۱۱. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۱ ساعته برای آلاینده منوکسید کربن

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۱۹۳۴۸	۴	۱۱	۷	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۱۸۰۴۵	۷	۱۱	۷	۹۵	۱۰۰
۳	۰/۰۷۹۱۴	۴	۱۵	۸	۹۰	۹۵
۴	۰/۰۷۰۵۴	۶	۱۷	۸	۹۰	۹۵
۵	۰/۰۶۹۶۹	۹	۱۱	۸	۹۵	۹۵

جدول ۱۲. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۳ ساعته برای آلاینده منوکسید کربن

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۰۶۴۴۹	۶	۹	۸	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۰۶۰۱۵	۹	۱۱	۸	۹۵	۱۰۰
۳	۰/۰۲۶۳۸	۶	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۴	۰/۰۲۳۵۱	۹	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۵	۰/۰۲۳۲۳	۶	۱۱	۸	۹۵	۹۵

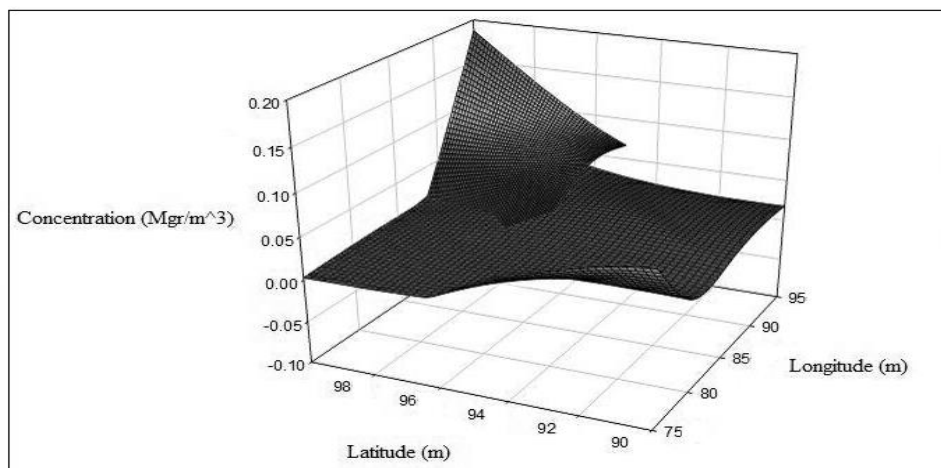
جدول ۱۳. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۸ ساعته برای آلاینده منوکسید کربن

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۰۷۴۷۹	۸	۱۶	۸	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۰۲۹۹۴	۸	۱۶	۸	۹۰	۹۵
۳	۰/۰۲۶۸۸	۹	۱۴	۸	۹۵	۹۵
۴	۰/۰۱۹۶۵	۸	۱۶	۸	۹۰	۱۰۰
۵	۰/۰۱۸۳۵	۹	۱۵	۷	۸۵	۹۵

جدول ۱۴. غلظت های بیشینه به تفکیک متوسط زمانی برای آلاینده منوکسید کربن

متوسط زمانی	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱ ساعته	۰/۱۹۳۴۸	۴	۱۱	۷	۹۵	۱۰۰
۳ ساعته	۰/۰۶۴۴۹	۶	۹	۸	۹۵	۱۰۰
۸ ساعته	۰/۰۷۴۷۹	۸	۱۶	۸	۹۵	۱۰۰

در جدول ۱۴، بیشترین غلظت در هر یک از متوسط های زمانی، ۱ ساعته، ۳ ساعته و ۸ ساعته به همراه زمان و مکان رخداد آن ها در بین تمامی پذیرنده ها .



شکل ۳. نحوه انتشار ساعتی آلاینده مونوکسید کربن

جدول ۱۵. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۱ ساعته برای آلاینده اکسید ازت

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۱۴۰۰۳	۴	۱۱	۷	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۱۳۰۶۱	۷	۱۱	۸	۹۵	۱۰۰
۳	۰/۰۵۷۶۲	۴	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۴	۰/۰۵۱۳۴	۷	۵	۸	۹۰	۹۵
۵	۰/۰۵۰۱۷	۴	۵	۸	۹۵	۹۵

جدول ۱۶. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۳ ساعته برای آلاینده اکسید ازت

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۰۴۶۶۸	۶	۵	۸	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۰۴۳۵۴	۹	۱۱	۸	۹۵	۱۰۰
۳	۰/۰۱۹۲۱	۶	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۴	۰/۰۱۷۱۱	۶	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۵	۰/۰۱۶۷۲	۵	۱۱	۸	۹۵	۹۵

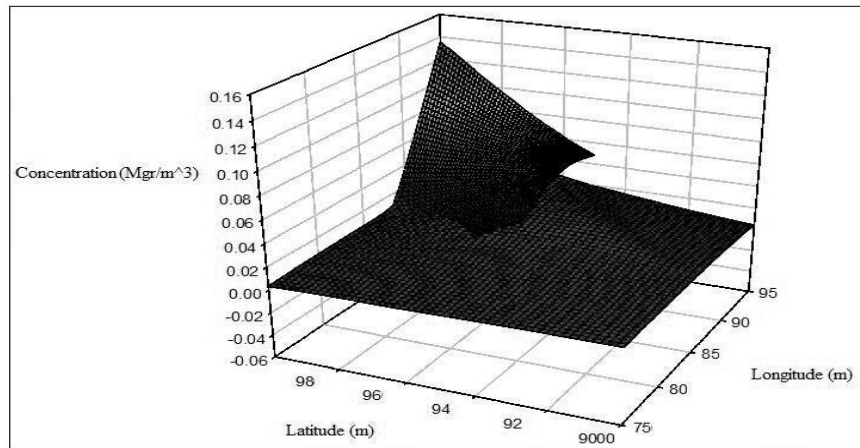
جدول ۱۷. غلظت های بیشینه متوسط زمانی ۸ ساعته برای آلاینده اکسید ازت

ردیف	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱	۰/۰۵۴۱۳	۸	۱۶	۸	۹۵	۱۰۰
۲	۰/۰۲۱۷۹	۷	۱۱	۸	۹۰	۹۵
۳	۰/۰۱۹۳۵	۷	۱۱	۸	۹۵	۹۵
۴	۰/۰۱۴۲۲	۱۴	۱۳	۸	۹۰	۱۰۰
۵	۰/۰۱۳۳۶	۱۴	۱۱	۷	۸۵	۹۵

جدول ۱۸. غلظت های بیشینه به تفکیک متوسط زمانی برای آلاینده اکسید ازت

متوسط زمانی	میزان غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ساعت	روز	ماه	مختصات X	مختصات Y
۱ ساعته	۰/۱۴۰۰۳	۴	۱۱	۷	۹۵	۱۰۰
۳ ساعته	۰/۰۴۶۶۸	۶	۵	۸	۹۵	۱۰۰
۸ ساعته	۰/۰۵۴۱۳	۸	۱۶	۸	۹۵	۱۰۰

در جدول ۱۸، بیشترین غلظت رخ داده در هر یک از متوسط های زمانی، ۱ ساعته، ۳ ساعته و ۸ ساعته به همراه زمان و مکان رخداد آن ها در بین تمامی پذیرنده ها برای آلاینده اکسید ازت ارزیابی شده است.



شکل ۴. نحوه انتشار ساعتی آلاینده اکسید ازت

مونواکسید به مقدار $0/19348$ میکروگرم بر مترمکعب و ناشی از آلاینده اکسید ازت $0/14003$ میکروگرم بر مترمکعب، در متوسط زمانی یک ساعته در فاصله ی ۹۵ متری در راستای شرقی و ۱۰۰ متری در راستای شمالی رخ داده است. برای ارزیابی سهم کارخانه مورد مطالعه روی آلودگی شهر دلیجان، مقدار آلاینده منوکسید کربن و اکسید ازت در نقاط مختلفی از شهر اندازه گیری و با نتایج مدل سازی مقایسه گردید. مقایسه مقادیر نشان می دهد به طور متوسط یک واحد تولید ایزوگام حدود $0/4$ درصد از میزان آلاینده موجود در شهر را به خود اختصاص می دهد. از این رو با فرض میزان آلاینده مشابه این واحدها، در صورتی که همزمان 120 واحد تولیدی ایزوگام در این منطقه فعالیت کنند مجموعاً حدود 32 درصد از سهم آلاینده منوکسید کربن و 18 درصد از سهم آلاینده اکسید ازت شهر دلیجان ناشی از صنایع ایزوگام می باشد. این میزان بدترین حالت ممکن می باشد که کلیه واحدها همزمان فعالیت می کنند و در این تحقیق غلظت آلاینده های مورد مطالعه، با استاندارد هوای پاک ایران در سال های 1388 ، 1389 ، 1390 و استاندارد EPA برای هوای پاک مقایسه شده است. این استانداردها برای بعضی آلاینده ها و برای مقیاس های زمانی خاصی ارائه شده است. نتایج مقایسه نشان می دهد، غلظت بیشینه نسبتاً پایین تر از حد مجاز استانداردهای مطرح شده می باشد.

پس از مدل سازی انتشار آلاینده ها و نشان دادن نحوه و جهت پراکنش آن ها، جهت آگاهی از وضعیت افراد در معرض این آلاینده ها میزان غلظت محیطی این آلاینده ها با استاندارد هوای پاک و EPA مقایسه شده است. مقایسه غلظت های محیطی بیشینه منوکسید کربن (جدول ۱۴) با استاندارد هوای پاک ایران در سال 1390 و استاندارد هوای پاک EPA (که برای این آلاینده با هم برابر هستند)، برای متوسط زمانی یک ساعته (1692 ppm) در مقایسه با استاندارد (35 ppm) و متوسط زمانی هشت ساعته (654 ppm) در مقایسه با استاندارد (9 ppm)، نشان می دهد که غلظت این ماده در بازه های زمانی ذکر شده پایین تر از حد مجاز است. مقایسه غلظت های محیطی بیشینه اکسیدازت (جدول ۱۸) با استاندارد EPA برای متوسط زمانی یک ساعته (746 ppm) در مقایسه با استاندارد (1 ppm) نشان می دهد که غلظت این ماده در بازه زمانی مذکور پایین تر از حد مجاز است.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، ابتدا آلاینده های تولیدی توسط کارخانه ایزوگام مورد مطالعه نمونه برداری و اندازه گیری شد. سپس با استفاده از مدل AERMOD، آلاینده های اکسید ازت و منوکسید کربن برای متوسط های زمانی 1 ، 3 ، 8 و 24 ساعته در محدوده ی 20×20 کیلومتر مربعی مدل سازی شد. مطابق نتایج ارائه شده، بیشترین غلظت آلاینده ها ناشی از غلظت آلاینده کربن

منابع

- امیری، ا. 1394 . مدلسازی آلاینده های هوای ناشی از ایستگاه تقویت فشار گاز دوراهان و جاده های اطراف با استفاده از مدل AERMOD. پایان نامه ی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- جعفری گل، ف.، عتابی، ف.، مومنی، م. 1395 . بررسی انتشار NO_x با استفاده از مدل AERMOD و CALPUFF در یک پالایشگاه گازی، مجله مهندسی بهداشت محیط، سال ۳، شماره ۳، صص $193-205$.
- نورپور، ع و همکاران. 1394 . مدل سازی و ارزیابی سهم انتشار آلاینده های خروجی از دودکش کارخانه سیمان تهران و پالایشگاه تهران روی شهرهای قرچک و ورامین، گزارش طرح پژوهشی.
- نورپور، ع.، کاظمی شهرابی، ن. 1393 . مدل سازی پراکنش آلاینده های هوای خروجی از دودکش کارخانه ی سیمان ایلام، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، سال ۱۱، شماره ۴۴، شماره ۱، صص $107-116$.

- Amit, P., Kesarkar, M., Dalvi, A and Kaginalkar, A. 2007. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for Pollutant Dispersion Modeling, A Case Study for PM10 Dispersion Over Pune. *Journal of Atmospheric Environment*, 41 (9): pp. 1976-1988.
- Cohan, A., Wu, J., Dabdub, D., 2011. High-resolution pollutant transport in the San Pedro Bay of California. *Atmospheric Pollution Research 2*: pp. 237-246.
- colls, J. 2002. *Air pollution*, Second Edition, Spon press, London, pp. 250-462.
- Faulkner, W. B. 2009. Particulate matter emission factors for Almond Harvest as a function of Harvester Speed. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59: pp. 943-949.
- Heckel, P.F and LeMasters, G.K. 2011. The use of AERMOD air pollution dispersion models to estimate residential ambient concentrations of elemental mercury. *Water, Air & Soil Pollution*, 219(1-4): pp. 377-388.
- Jackson, M.M. 2006. Organic Liquid Storage Tanks Volatile Organic Compounds (VOCs) Emissions Dispersion and Risk Assessment in Developing Countries: The case of Dar-Es-Salaam City, Tanzania. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 116: pp. 363-382.
- Nadoushan, N. A. M., Mansouri, N and Nezhadkurki, F. 2016. Assessment of AERMOD model's sensitivity to terrain features for identifying air pollutants receptor points in steel industry. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3S):pp. 1399-1413.
- Orloff, K.G., Kaplan, B and Kowalski, P.2006. Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field: Measured vs. modeled concentrations. *Journal of Atmospheric Environment*, 40: pp. 3022-3029.
- Perry, S.G., Cimorelli, A.J., Paine, R.J., Brode, R.W., Weil, J.C., Venkatram, A., Wilson, R.B., Lee, R.F and Peters, W.D. 2005. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5): pp. 694-708.
- Podrez, M. 2015. An update to the ambient ratio method for 1-h NO2 air quality standards dispersion modeling. *Journal Atmospheric Environment*, 103: pp. 163-170.
- Rahul, B., Satyanarayana, A.N.V and Rama Krishna, T.V.B.P.S. 2014. Assessment of Dispersion of Oxide of Nitrogen using AERMOD over a Tropical Industrial Region. *International Journal of Computer Applications*, 90(11): pp. 43-50.
- Rouhi, M., Moradi, H and Ghorbani, M. 2013. Application of the AERMOD modeling system for air pollution dispersion in the South Pars oilfield. *First International Symposium on Urban Development: Koya as a Case Study*. pp.339-346.
- Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K and Lothongkum, A.W. 2011. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO2 emissions from a cement complex. *Journal of Environmental Sciences*, 23(6): pp. 931-940.
- Tancrede, M., Yanagisawa, Y.Y and Wilson, R. 1992. Volatilization of volatile organic compounds from showers: Analytical method and quantitative assessment. *Journal of Atmospheric environment*, 26(6): pp. 1103-1111.
- Truong, S., Lee, M., Kim, G., Kim, D., Park, G.H., Choi, S.D and Cho, G.H. 2016. Accidental benzene release risk assessment in an urban area using an atmospheric dispersion model. *Journal Atmospheric Environment*, 144: pp.146-159.
- Wark, K., Warner, CF and Davis, W,T. 1998. *Air Pollution: Its Origin and Control*. 3rd ed. New York: Addison-Wesley.
- Zhang, Q. 2008. GIS-based emission inventories of urban scale: A case study of Hangzhou,China. *Journal of Atmospheric Environment*, 42: pp. 5150-5165.
- Zou, B. 2010. Performance of AERMOD at different time scales. *Journal of Simulation Modeling Practice and Theory*, 18: pp. 612-623.