مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، شماره۴۱، زمستان ۱۴۰۱، صص ۱۱۸-۱۰۲

شبیه‌سازی پراکنش آلاینده دی‌اکسید گوگرد در پایانه مسافربری بیهقی تهران

مریم کریمی

دانشجوی دکتری مدیریت محیط‌زیست، گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

فرزام بابایی سمیرمی

گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

هومن بهمن‌پور

گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران **(نویسنده مسئول)**
hooman.bahmanpour@yahoo.com

محمدرضا تابش

گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علی محمدی

گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت:۱۴۰۱/۴/۱۶ پذیرش:۱۴۰۱/۹/۲۹

چکیده

هدف از این تحقیق سنجش و اندازه‌گیری آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سایت پایانه بیهقی تهران و شبیه‌سازی پراکنش این آلاینده تحت شرایط گوناگون است. این تحقیق از نوع کاربردی است. آلاینده مورد نظر از طریق دستگاه پرتابل و مطابق با دستورالعمل‌های NIOSH سنجش شد. سیاهه انتشار آلاینده تحت دو سناریو مورد نظر تهیه و به منظور شبیه‌سازی از نرم‌افزار Austal view, version ۷ استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که در هر دو سناریو و در مدت ۱ ساعت و تا شعاع ۱ کیلومتری آلاینده دی‌اکسید گوگرد بالاتر از حد استاندارد نمی‌باشد. البته نکته حایز اهمیت آن است که سرعت انتشار این آلاینده پایین بوده و در مدت ۱ ساعت نتوانسته است که به محدوده ۱ کیلومتری برسد. ولیکن پراکنش سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد نشان می‌دهد که در هر دو سناریو میزان آلاینده در ابتدا بسیار زیاد است (فاصله ۳۰۰ متری)، سپس در ادامه و با افزایش فاصله از مبدا غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. زون آلودگی بیشتر به سمت شرق و جنوب شرقی گسترش می‌یابد. البته در سناریو دوم میزان آلودگی بسیار کمتر از سناریو اول است.

واژه گان کلیدی: آلودگی هوا، شبیه‌سازی انتشار، دی‌اکسید گوگرد، پایانه بیهقی.

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عواملی است که کیفیت زندگی انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و اثرات سوئی بر سلامت انسان می‌گذارد. این اثرات باعث تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در بدن می‌گردند که در نهایت به بیماری شدید و حتی مرگ منتهی می‌شود (آمسانو[۱] و همکاران، ۲۰۱۶). آلاینده‌های هوا که تعداد آنها به بیش از ۱۸۰ نوع می‌رسد، ممکن است طبیعی یا ساخته دست بشر بوده و به اشکال مختلف مانند ذرات جامد، قطرات مایع و یا گاز وجود داشته باشند (غیاث‌الدین، ۱۳۹۴). دو گروه عمده آلاینده‌ها عبارتند از آلاینده‌های اولیه و ثانویه. آلاینده‌های اولیه آنهایی هستند که مستقیماً نشات گرفته از منابع آلودگی هستند. نظیر مونوکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها و ذرات معلق (دوده، گرد و غبار و مه دود). در سال ۲۰۱۳ آلودگی هوا و ذرات معلق به عنوان ترکیبات سرطان‌زای درجه ۱ برای انسان طبقه‌بندی شده‌اند (بهمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). آلودگی هوا چهارمین عامل خطر برای مرگ منتسب در دنیا و همچنین هفتمین عامل خطر در ایران می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده توسط سازمان بهداشت جهانی، هر سال در اثر آلودگی هوا بیش از چهار میلیون نفر دچار مرگ زودرس می‌شوند (سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۱۸). به عنوان مثال؛ در اتریش، سوئیس و فرانسه ۶ درصد از کل مرگ و میر بزرگسالان بالای ۳۰ سال به آلودگی هوا نسبت داده شده است (اوریلی[۲] و همکاران، ۲۰۱۵). بطور کلی آلودگی هوا به قشر حساس جامعه یعنی سالمندان و کودکان بیشتر آسیب می‌رساند و حتی ممکن است اثرات آن در آینده نیز در زندگی آنان مشاهده گردد (ویدودو[۳] و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس گزارش بانک جهانی، خطراتی که آلودگی هوا بر سلامت می‌تواند داشته باشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین میزان است (WB, ۲۰۱۵). کلان شهر تهران با توجه به شرایط توپوگرافی و اقلیم آن و همچنین تردد نزدیک به ۵ میلیون وسیله نقلیه و استقرار تعداد زیادی واحدهای صنعتی بزرگ و کوچک، یکی از هشت شهر بزرگ کشور است که آلودگی هوا در آن به یکی از مشکلات بزرگ فراروی مردم و مسئولین این شهر تبدیل شده است. خسارات سالانه آلودگی هوا در ایران تا سال ۲۰۱۶ میلادی حدود ۱۶ میلیارد دلار برآورد شده است (بهمن‌پور،۱۳۹۶). شهر تهران در سال ۱۳۹۵، دارای ۸۰ روز ناسالم برای گروههای حساس جامعه و ۹ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه بوده است (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۶). بیشترین عامل مرتبط با تشدید بیماری‌های سیستم قلبی، عروقی و ریوی، افزایش آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق و منواکسید کربن است، به طوریکه آلودگی هوا در تهران به طور متوسط موجب کاهش ۵ سال از عمر تهرانی‌ها شده است (اصیلیان، ۱۳۹۰). بنابر این پژوهش‌ها روزانه بالغ بر یک‌هزار و ۱۹۲ تن مواد آلاینده در هوای تهران منتشر می‌شود. بیشترین این آلاینده‌ها مربوط به اکسیدهای گوگرد با انتشار ۶۹۵ تن در هر روز است که بعد از آن به ترتیب اکسیدهای نیتروژن، منواکسید کربن و هیدروکربن‌های سوخته نشده، عمده آلاینده‌های هوای تهران محسوب می‌شوند (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۶؛ بهرامی، ۱۳۹۵). ویژگی‌های طبیعی شهر

---

[۱]-Amesano
[۲]- O’Reilly
[۳]- Widodo

تهران نیز اثر بسیار زیادی در آلودگی آن دارند. وارونگی دمایی نیز از ویژگی‌های فصل سرد سال می‌باشد که به همراه استقرار آنتی‌سیکلون‌ها هوای ناپایدار ایجاد می‌کند و شرایط پایدار هم یکی از عوامل میزان بالای غلظت آلاینده‌ها در تهران است (فتح‌تبار فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۰).

از جمله مهمترین اثرات آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) می‌توان به مواردی همچون سوزاندن مجاری و مخاط‌های بینی و دستگاه تنفسی اشاره داشت. بیماران آسمی ۱۰ مرتبه بیشتر از افراد غیرآسمی به این آلاینده حساس‌ترند، به ویژه در هنگام ورزش. تقریباً به ازای هر mg/m^3 ۱۰ افزایش غلظت میزان خطر ۰/۴ درصد افزایش می‌یابد. یعنی میزان خطر قلبی و عروقی ۰/۸ درصد و ۰/۶۴ درصد خطر سکته قلبی همچنین میزان خطر انسداد مزمن ریوی ۰/۴۶ درصد افزایش می‌یابد (غیاث‌الدین، ۱۳۹۴؛ بهمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹؛ محقق و حاجیان، ۱۳۹۲).

یکی از شاخص‌های اصلی توسعه پهری پایدار، توجه به کیفیت هوای شهر است (دهقانی تفتی و برومند، ۱۴۰۰). در تعیین نقش و سهم منابع آلاینده، بسیار مهم است که به نوع آلاینده و شرایط تولید آلاینده مورد نظر توجه شود. مثلاً خودروی دیزلی سنگین و نیمه‌سنگین در مقایسه با خودروهای سواری در تولید اکسیدهای گوگرد (SOx) نقش و سهم مهمی دارند. خودروهای دیزلی سنگین و نیمه‌سنگین در شهر تهران بر اساس مطالعات انجام گرفته، مسئولیت تولید آلاینده‌های اکسیدهای گوگرد (SOx)، اکسیدهای ازت (NOx) و ذرات معلق (PM) را عهده‌دار هستند و این نقش از اکسیدهای گوگرد تا ذرات معلق بزرگ و بزرگ‌تر می‌شوند (سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهر تهران، ۱۳۹۶). با توجه به مطالعات صورت گرفته، بیشترین درصد سهمی در تولید اکسیدهای گوگرد به ترتیب با ۳۹٪، ۳۴٪ و ۱۹٪ متعلق به مینی‌بوس‌ها، کامیون‌ها و اتوبوس‌ها بوده است (بهمن‌پور، ۱۳۹۶).

در بررسی صورت گرفته در سال ۱۳۸۴ توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، در خصوص سهم انتشار بخش‌های مختلف حمل و نقل کلانشهر تهران در تولید آلاینده‌های مختلف، سهم اتوبوس‌رانی در انتشار آلاینده‌های ذرات معلق، SO_2، NO_2 و CO به ترتیب ۱۱/۰۲درصد، ۴/۱۲ درصد، ۱۳ درصد و ۰/۷۱ درصد بوده است که در مجموع در رده پنجم منابع آلاینده از ۸ منبع قرار گرفت (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۶). مطالعات صورت گرفته در مورد میزان انتشار آلاینده‌های هوا در پایانه‌های شهر تهران بیانگر آن است که بیشترین میزان اکسیدهای گوگرد در فصل پاییز و کمترین میزان آن در فصل زمستان شناسایی شده است. بر این اساس، می‌توان چنین فرض نمود که در مورد پایانه بیهقی، میزان آلاینده‌های هوا در ششماهه دوم سال نسبت به ششماهه اول سال، بیشتر و بالاتر است.

از آنجا که بنابر اطلاعات اخذ شده از سوی سازمان‌ها و کارشناسان مرجع، کیفیت هوای شهر تهران چندان مطلوب نبوده و در برخی از مواقع سال در شرایط بسیار خطرناک و بحرانی قرار می‌گیرد، این نکته اساسی مطرح است که در پایانه‌های مسافربری که از انواع وسایل نقلیه عمومی برخوردارند، چه میزان آلاینده هوا از نوع دی‌اکسید گوگرد تولید می‌شود؟

بنابراین؛ هدف از انجام این تحقیق، شبیه‌سازی انتشار و پخش آلاینده‌های هوا (اختصاصاً دی‌اکسید گوگرد) در پایانه مسافربری بیهقی تهران تحت سناریوهای مختلف می‌باشد. بدین منظور انتشار آلاینده در دو حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. یکی در وضعیت فعلی و دیگری با رعایت ملاحظات محیط‌زیستی و استفاده از راهکارهای مدیریتی و مهندسی برای کاهش آلاینده دی‌اکسید گوگرد ناشی از فعالیت خودروها در پایانه.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی، پایانه بیهقی در تهران می‌باشد که در سال ۱۳۷۰ و در وسعتی معادل با ۱۳/۵ هکتار احداث گردیده است. دلیل انتخاب این پایانه، قرارگیری آن در بافت مرکزی شهر تهران و نیز تعدد مسافرت‌های برون‌شهری و درون‌شهری متصل به آن می‌باشد. ترمینال بیهقی دارای امکانات متنوع و متعددی است که برخی از آنها مستقیماً سبب تولید و انتشار آلاینده‌های هوا می‌گردند. این تحقیق به لحاظ زمان اجرای طرح، از نوع مقطعی و به لحاظ خروجی‌ها، از نوع کاربردی می‌باشد. روش گردآوری اطلاعات در این تحقیق عمدتاً از نوع برداشت میدانی (سنجش و اندازه‌گیری آلاینده) است. در گام نخست؛ سناریوهای مورد نظر طراحی شدند. ۲ سناریو برای این تحقیق متصور شد:

- سناریو اول: بررسی مدل انتشار آلاینده تحت شرایط فعلی؛
- سناریو دوم: بررسی مدل انتشار آلاینده تحت شرایط مدیریتی و بکارگیری راهکارهای کاهش انتشار.

سپس، داده‌های پایه برای محاسبات و مدلسازی انتشار آلاینده هوا در سایت پایانه وارد نرم‌افزار گردید (جدول ۱).

جدول (۱). خلاصه اطلاعات پایه و آب و هوایی به منظور مدلسازی انتشار آلاینده‌ها

(منبع: بهمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۹؛ USEPA, ۲۰۰۴)

ردیف	پارامتر	نتیجه
۱	دمای گاز خروجی از اگزوز اتومبیل	۹۷۰-۷۸۰ درجه سانتیگراد
۲	سرعت گاز خروجی از اگزوز اتومبیل	۵۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت
۳	عرض جغرافیایی	۶۸/۳۵ درجه عرض شمالی
۴	ارتفاع از سطح دریا	۱۵۵۴ متر
۵	متوسط فشار بارومتریک	۹۳/۲۵ اینچ جیوه
۶	میانگین بارش ۱۰ ساله	۲۳۰ میلیمتر
۷	میانگین سالیانه رطوبت نسبی	۵۰ درصد و میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۶۴ و ۳۹ درصد می‌باشد.
۸	باد غالب در منطقه	بر مبنای سه نوبت دیدبانی (صبح، ظهر و عصر) محاسبه گردیده است، در جهت غربی (۲۷۰ درجه) بوده و متوسط آن ۳/۲ متر بر ثانیه می‌باشد.

در گام بعد، نیاز به تعیین کیفیت هوای سایت بود. تجهیزات لازم برای نمونه‌برداری عبارت بودند از پمپ نمونه‌برداری با دبی تا ۵ لیتر در دقیقه، ایمپینجر، روتامتر و لوله‌های گازیاب (Detector tube) که به مکان‌های نمونه‌برداری منتقل و قبل از انتقال، در آزمایشگاه کالیبراسیون انجام و صحت عملکرد آنها مورد تایید قرار گرفت. در نمونه‌برداری از دی‌اکسید گوگرد، از متد شماره NIOSH ۴۸۰۰ و از روش West و Gaeke و با استفاده از ایمپینجر، پمپ نمونه‌بردار و محلول جاذب تتراکلرو مرکورات سدیم ۰/۱ مولار با دبی ۱/۵ لیتر در دقیقه استفاده گردید و سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت این آلاینده تعیین گردید (NIOSH, ۲۰۱۴). در نقاط انتخاب شده، نمونه‌برداری به صورت ماهی یک مرتبه در طول سال و سه روز در ماه و ۳ بار در روز انجام گرفت که عمل نمونه‌برداری در زمان‌های مختلف روز یعنی صبح، ظهر و غروب با توجه به افزایش و کاهش تردد وسایط نقلیه انجام گرفت. داده‌های حاصل با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت (WHO, ۲۰۱۸) و آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (EPA, ۲۰۰۴) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای انجام کار، ۳ نقطه (ایستگاه تاکسی‌ها، ون‌ها و اتوبوس‌های درون شهری، سکوهای اتوبوس‌های برون شهری، و پارکینگ خودروها) به عنوان نقاط کنترل در نظر گرفته شد (شکل ۱).

شکل (۱). موقعیت سایت مطالعاتی و ایستگاههای اندازه‌گیری و سنجش آلاینده‌ها

(ترسیم توسط نگارندگان)

باید توجه داشت که اتوبوس‌های مسافربری درون شهری به دو نوع دیزلی و گازسوز تقسیم می‌شوند، در حالی که اتوبوس‌های مسافربری برون شهری صرفاً دیزلی هستند. به منظور محاسبه انتشار آلایندگی ناشی از فعالیت اتوبوس‌ها در پایانه‌های اتوبوس‌رانی ابتدا لازم است تا سیاهه انتشار هر یک و مدت زمان توقف اتوبوس‌ها در هر پایانه و

در ۲۴ ساعت شبانه‌روز بررسی و محاسبه شود که برای این منظور از نرم‌افزار مدیریت ناوگان اتوبوسرانی متعلق به شهرداری تهران که از تاریخ ۱۰ بهمن ۱۳۹۲ راه‌اندازی شده، استفاده گردید. در ادامه، با استفاده از ضرایب انتشار مناسب مقدار آلاینده‌های منتشر شده به دست آمده است. فرمول زیر برای همین منظور استفاده شده است (غیاث‌الدین، ۱۳۹۴):

$$Ei = \left(xEF_{i,Diesel} + yEF_{i,Gas}\right) \times A$$

E_i = سیاهه انتشار آلاینده i (کیلوگرم)

x = نسبت اتوبوس‌های دیزلی به کل اتوبوس‌های پایانه

y = نسبت اتوبوس‌های گازسوز به کل اتوبوس‌های پایانه

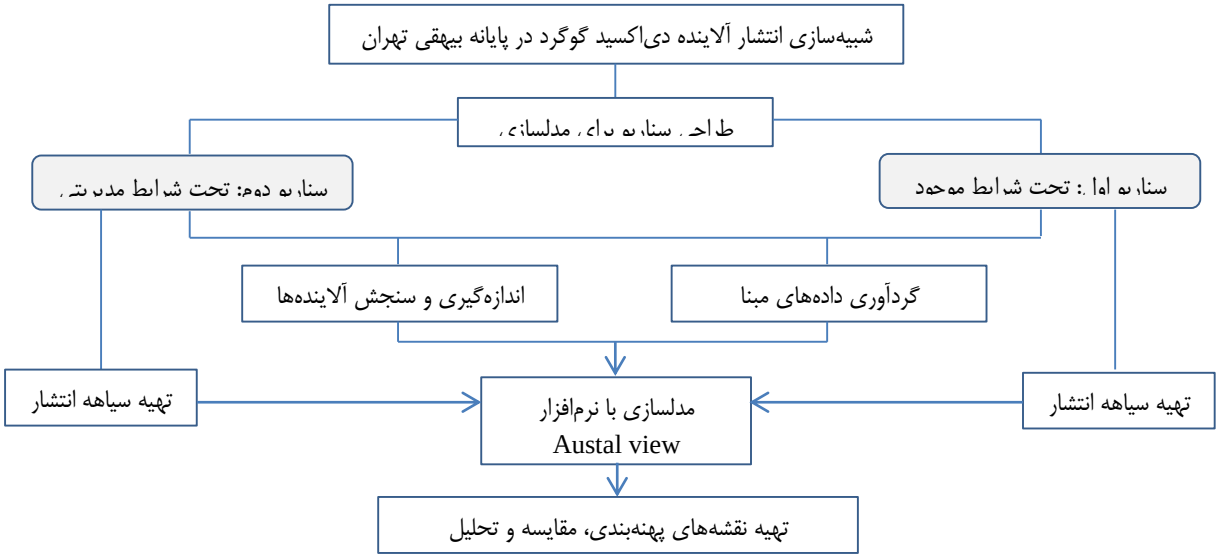
$EF_{i,Diesel}$ = ضریب انتشار آلاینده i برای اتوبوس دیزلی (کیلوگرم بر ساعت)

$EF_{i,Gas}$ = ضریب انتشار آلاینده i برای اتوبوس گازسوز (کیلوگرم بر ساعت)

A = مدت زمان توقف کل اتوبوس‌ها در پایانه (ساعت)

بر این اساس، مدت زمان توقف اتوبوس‌ها در پایانه بیهقی به طور میانگین برابر با ۱۶۰ ساعت بوده است. خاطر نشان می‌گردد که از ساعت ۹ تا ۱۴ بعد از ظهر اوج زمان توقف اتوبوس‌ها است. به منظور شبیه‌سازی پراکندگی آلاینده هوا در سایت پایانه، از نرم‌افزار Austal View, Version ۷ استفاده گردید که در اصل رابط گرافیکی ۲۰۰۰ Austal است که برنامه مدل‌سازی پراکندگی هوایی مورد استفاده در آژانس محیط‌زیست کشور آلمان است و دارای سیستم لاگرانژی ردیابی ذرات در پراکندگی هوایی است (ودال[۱] و همکاران، ۲۰۰۳؛ بونو[۲] و همکاران،۲۰۱۰). پیش‌بینی غلظت آلاینده، در ارتفاع ۵ متری که در اصل برابر با ارتفاع تنفسی انسان می‌باشد، شبیه‌سازی گردید. محدوده مدلسازی، دایره‌ای به شعاع ۱ کیلومتر از مرکز سایت پایانه در نظر گرفته شد. فرآیند تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱- Vedal
۲- Bono



شکل (۲). فرآیند تحقیق (ترسیم توسط نگارندگان)

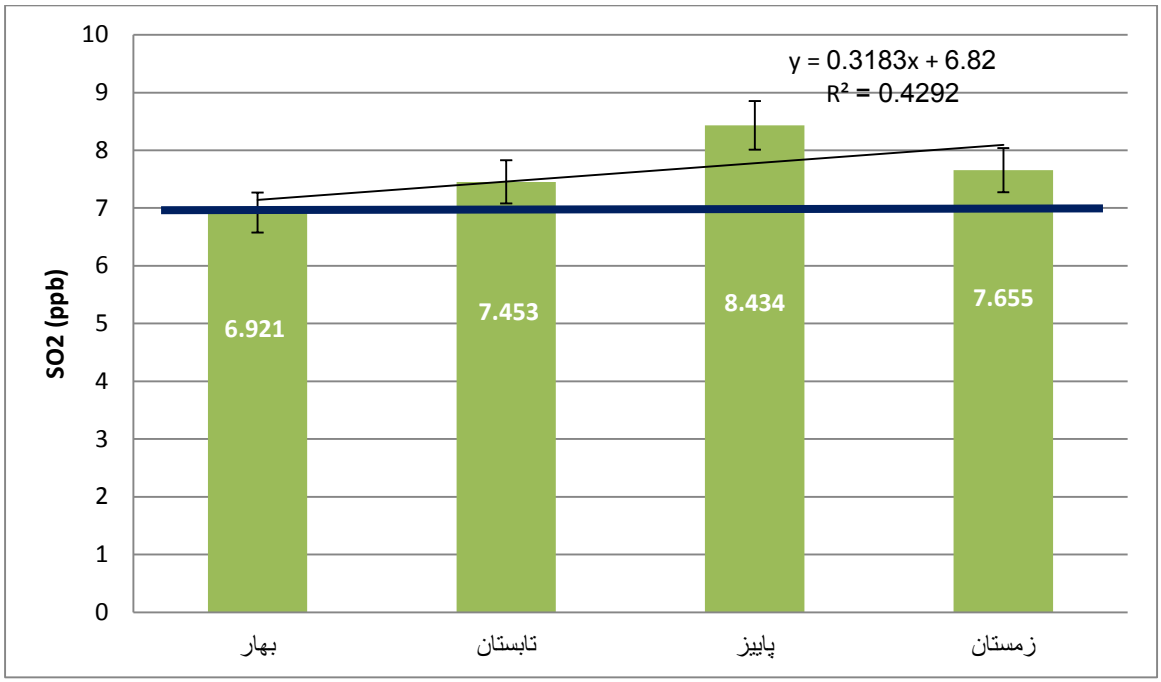
نتایج

به منظور تعیین وضعیت موجود کیفیت هوا در پایانه بیهقی تهران اقدام به اندازه‌گیری آلاینده دی‌اکسید گوگرد در فصول جداگانه شد که نتایج سنجش در جدول ۲ ارایه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در فصول پاییز و زمستان، بالاتر از ششماهه ابتدایی سال بوده است. همچنین، در شکل ۳ غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید گوگرد نشان داده شده است.

جدول (۲). نتایج حاصل از سنجش میزان غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات معلق در هوای آزاد پایانه بیهقی

فصل / آلاینده	SO_2 (ppb)
تابستان	۷/۴۵۳
پاییز	۸/۴۳۴
زمستان	۷/۶۵۵
بهار	۶/۹۲۱
میانگین سالانه	۷/۶۱۵

(منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل (۳). مقایسه غلظت فصلی آلاینده دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در پایانه بیهقی در سال ۱۴۰۰

(خط آبی رنگ معرف استاندارد سالانه این آلاینده ($\mu g/m^3$ ۷) براساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران است)

(منبع: یافته‌های تحقیق)

در ادامه، سیاهه انتشار آلاینده که توسط هر یک از انواع وسایل نقلیه عمومی در پایانه بیهقی تولید می‌شود، محاسبه گردید (جدول ۳).

جدول (۳). سیاهه انتشار پایانه بیهقی در بازه‌های زمانی (کیلوگرم)

دوره زمانی	آلاینده	میزان انتشار آلاینده توسط ۱ عدد اتوبوس		میزان انتشار توسط یک تاکسی	میزان انتشار توسط یک ون
		دیزل	گازسوز		
روزانه	SOx	۰/۰۱۴۷	۰	۰/۰۰۴۹	۲/۲۷
سالانه	SOx	۵/۳۹	۰/۰۰۵	۱/۷۹	۸۳۱/۸۵

(منبع: یافته‌های تحقیق براساس سامانه شهرداری تهران)

براساس داده‌های رسمی از سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهر تهران (۱۳۹۹)، در پایانه بیهقی تعداد وسایل نقلیه عمومی که در سایت مشغول به فعالیت و تردد می‌باشند، به شرح جدول ۴ است:

جدول (۴). تعداد وسایل نقلیه عمومی فعال در پایانه بیهقی

تعداد اتوبوس‌های برون شهری فعال در سایت (در ۲۴ ساعت)	تعداد اتوبوس‌های درون شهری فعال در سایت (در ۲۴ ساعت)	تعداد ونها و مینی‌بوس‌های فعال در سایت (در ۲۴ ساعت)	تعداد سواری‌های کرایه (مسافرکش) در سطح سایت (در ۲۴ ساعت)
۳۰۰ عدد	۱۰۰ عدد	۴۰ عدد	۱۰۰ عدد

بنابراین؛ با توجه به میزان انتشار آلاینده‌های هوا توسط هر نوع از وسایل نقلیه، خروجی نهایی (مجموع) را بدین ترتیب می‌توان محاسبه نمود:

$$A+B+C+D=X$$

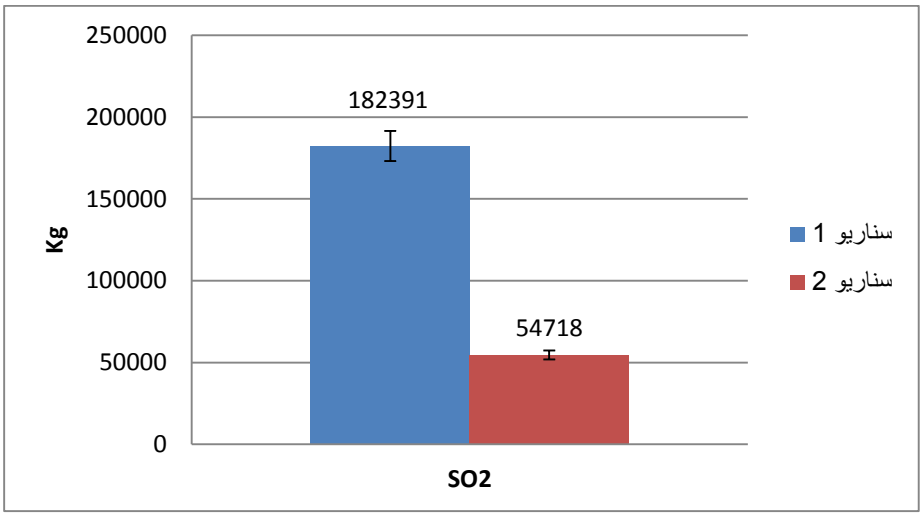
A = میزان آلاینده تولیدی در ۱ سال × تعداد اتوبوس دیزلی در سایت

B = میزان آلاینده تولیدی در ۱ سال × تعداد اتوبوس گازسوز در سایت

C = میزان آلاینده تولیدی در ۱ سال × تعداد ونها و مینی‌بوس‌ها در سایت

D = میزان آلاینده تولیدی در ۱ سال × تعداد تاکسی‌ها در سایت

با توجه به داده‌های مبنا و محاسبات آماری مربوط به سیاهه انتشار آلاینده‌ها، اقدام به شبیه‌سازی تحت سناریوهای تحقیق گردید. از آنجا که در مطالعات پیشین میزان کاهش انتشار آلاینده‌ها با بکارگیری راهکارهای مدیریتی ۷۰درصد برآورد شده بود، بنابراین برای سناریو دوم، اعداد نهایی با ضریب محاسبه شدند (شکل ۴).



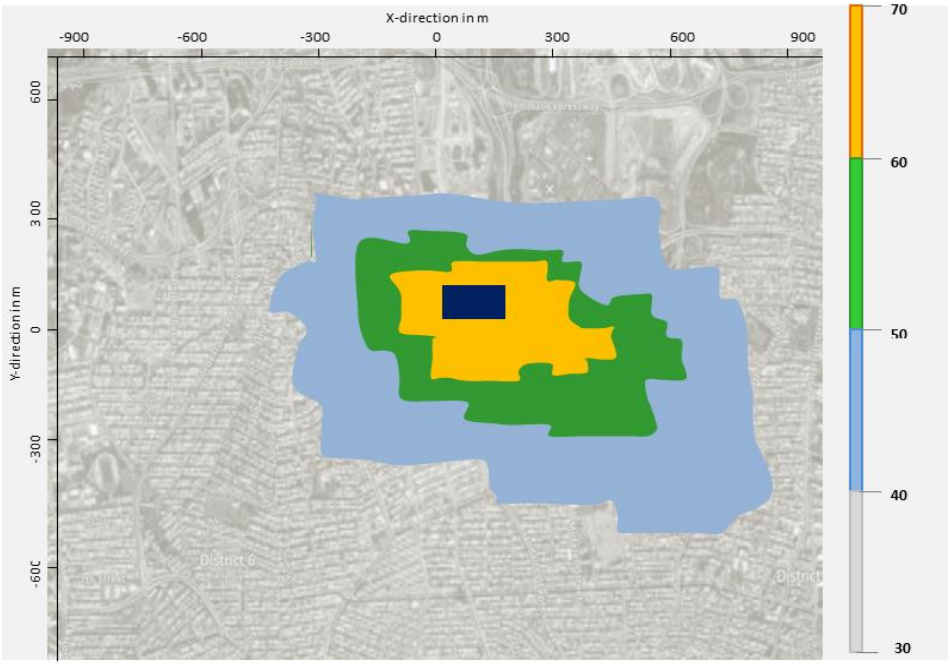
شکل (۴). مجموع میزان آلاینده دی‌اکسید گوگرد منتشره در طول یک‌سال توسط وسایل نقلیه عمومی در پایانه بیهقی تحت سناریوهای دوگانه (منبع: یافته‌های تحقیق)

- **نتایج مدلسازی تحت سناریو اول:**

پراکنش سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد در شکل ۵ و جدول ۵ ارایه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، میزان آلاینده در ابتدا بسیار زیاد است (فاصله ۳۰۰ متری)، سپس در ادامه و با افزایش فاصله از مبدا غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. زون آلودگی بیشتر به سمت شرق و جنوب شرقی گسترش می‌یابد.

جدول (۵). دامنه و میزان نفوذ آلاینده دی‌اکسید گوگرد در محوطه پیرامونی پایانه بیهقی در شبیه‌سازی یک ساعته براساس سناریو اول (منبع: یافته‌های تحقیق)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰
غلظت آلاینده (ppb)	۵۰- ۳۰	۴۰-۷۰	۶۰-۷۰	۳۰-۴۰	۳۰-۵۰	۴۰-۷۰	۳۰-۴۰	۳۰-۵۰	۵۰-۷۰	۳۰-۴۰	۳۰-۵۰	۴۰-۷۰



شکل (۵). پراکنش آلاینده SO_2 ناشی از احتراق سوخت خودروها در شبیه‌سازی ۱ ساعته (سناریو اول)

(منبع: یافته‌های تحقیق)

- **نتایج مدلسازی تحت سناریو دوم:**

به منظور بهره‌مندی بیشتر از فعالیت‌های پایانه بیهقی و نیز تلاش در جهت استقرار سیستم حمل و نقل پاک، گزینه دوم با تاکید بر بکارگیری اصول مدیریت سبز و توسعه پایدار تنظیم و پیشنهاد می‌گردد. در اصل، این گزینه بر رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر اگزوز و کاهش مدت زمان توقف (ضریب ۷۰٪) تاکید دارد. بر همین اساس و با طرح پیش‌فرض‌هایی برای این گزینه، اقدام به شبیه‌سازی فرآیند توسعه (مشابه با گزینه اول که پیشتر ارایه شد) می‌گردد. خاطر نشان می‌گردد، براساس تحقیقات صورت گرفته و شرایط شبیه‌سازی شده (در مقیاس کوچک در پایانه جدید شرق تهران، ۱۳۹۷)، با اعمال اصلاحات و اقدامات مدیریتی فوق‌الذکر، امکان کاهش میزان تولید آلاینده‌ها به میزان ۷۰ درصد میسر می‌باشد. بر این اساس، میزان انتشار آلاینده مورد مطالعه ناشی از فعالیت و تردد انواع اتومبیل‌ها در سایت پایانه بیهقی و مقایسه میان گزینه‌های اول و دوم که بیانگر حالت عادی (بدون ملاحظات محیط زیستی و در وضعیت فعلی) و حالت پیشرفته (با رعایت ملاحظات محیط زیستی) در جدول ۶ نشان داده شده است.

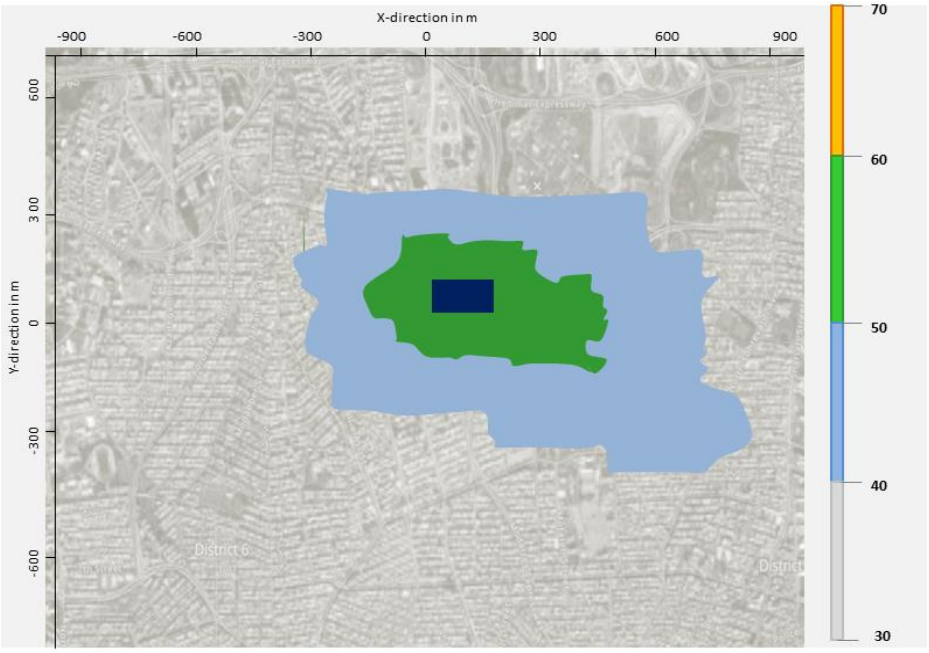
جدول (۶). بررسی و مقایسه گزینه‌های مطرح شده برای پایانه بیهقی (منبع: یافته‌های تحقیق)

گزینه‌ها	توضیحات	وضعیت انتشار آلاینده‌ها
گزینه اول	حالت عادی و شرایط فعلی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی	اکسیدهای گوگرد = ۱۸۲۳۹۱ کیلوگرم
گزینه دوم	حالت پیشرفته با رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر اگزوز و کاهش مدت زمان توقف (ضریب ۷۰٪)	اکسیدهای گوگرد = ۵۴۷۱۸ کیلوگرم

پراکنش سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد در شکل ۶ و جدول ۷ ارایه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، میزان آلاینده در ابتدا نسبتاً زیاد است (ولی بسیار کمتر از سناریو اول)، سپس در ادامه و با افزایش فاصله از مبدا غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. زون آلودگی بیشتر به سمت شرق و جنوب شرقی گسترش می‌یابد.

جدول (۷). دامنه و میزان نفوذ آلاینده دی‌اکسید گوگرد در محوطه پیرامونی پایانه بیهقی در شبیه‌سازی یک ساعته براساس سناریو دوم (منبع: یافته‌های تحقیق)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰
غلظت آلاینده (ppb)	۵۰-۳۰	۴۰-۶۰	۵۰-۶۰	۳۰-۴۰	۳۰-۵۰	۴۰-۶۰	۳۰-۴۰		۳۰-۵۰	۳۰-۴۰		۴۰-۶۰



شکل (۶). پراکنش آلاینده SO_2 ناشی از احتراق سوخت خودروها در شبیه‌سازی ۱ ساعته (سناریو دوم)

(منبع: یافته‌های تحقیق)

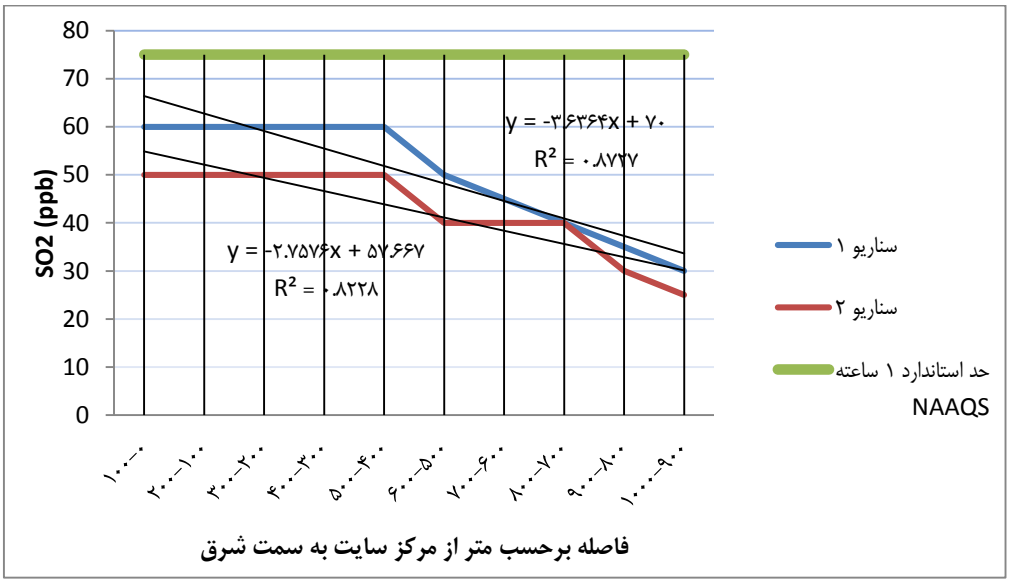
بحث

باید توجه داشت که ضریب انتشار مربوط به آلاینده SOx به کیفیت سوخت استفاده شده در اتوبوس‌ها بستگی دارد. زیرا محتوای گوگرد سوخت به طور کامل پس از اکسیداسیون به صورت SO_2 یا SO_4 از اگزوز خارج می‌شود. در مورد سایر آلاینده‌ها این تاثیر کمتر بوده و نقش فناوری موتور و تکنولوژی‌های استفاده شده برای کنترل آلودگی‌ها مانند فیلترهای دوده و کاتالیست‌ها قابل توجه است.

از آنجا که در استانداردهای ملی هوای پاک و سازمان جهانی بهداشت، حد مجاز ساعتی برای این آلاینده ارایه نشده است، به ناچار از استاندارد (NAAQS) استفاده می‌شود. بر اساس این استاندارد حد مجاز آلاینده دی‌اکسید گوگرد برای

۱ ساعت معادل ۷۵ ppb است. بر این مبنا و براساس نتایج شبیه‌سازی در سناریو اول (شرایط فعلی) می‌توان چنین عنوان نمود که تا شعاع ۱ کیلومتری آلاینده دی‌اکسید گوگرد بالاتر از حد استاندارد نمی‌باشد. البته نکته حایز اهمیت آن است که سرعت انتشار این آلاینده پایین بوده و در مدت ۱ ساعت نتوانسته است که به محدوده ۱ کیلومتری برسد. همچنین براساس سناریو دوم نیز، تا شعاع ۱ کیلومتری آلاینده دی‌اکسید گوگرد بالاتر از حد استاندارد نمی‌باشد. در نتیجه، شرایط مشابه سناریو اول است، ولی با غلظت کمتر.

پراکنش سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد نشان می‌دهد که در هر دو سناریو میزان آلاینده در ابتدا بسیار زیاد است (فاصله ۳۰۰ متری)، سپس در ادامه و با افزایش فاصله از مبدا غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. زون آلودگی بیشتر به سمت شرق و جنوب شرقی گسترش می‌یابد. البته در سناریو دوم میزان آلودگی بسیار کمتر از سناریو اول است.



شکل (۷). مقایسه غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد براساس فاصله از سایت (ضلع شرقی)

(منبع: یافته‌های تحقیق)

همانطور که مشاهده می‌گردد، تحت سناریو ۱ (نمودار آبی) غلظت آلاینده در فواصل معین بیشتر از حالت سناریو ۲ (نمودار قرمز) می‌باشد. هر چند که هر دو سناریو از حد استاندارد مجاز ۱ ساعته برای دی‌اکسید گوگرد براساس NAAQS (۷۵ ppb) کمتر می‌باشند.

از آنجا که تاکنون هیچ گونه تحقیق مشابهی در ایران در این زمینه و در سایت مطالعاتی، صورت نگرفته است؛ لذا امکان مقایسه نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات وجود ندارد.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که پایانه‌های مسافربری به عنوان یکی از کانون‌های تولید و انتشار آلاینده‌های هوا در شهرها محسوب می‌گردند. بنابراین، با بکارگیری راهکارهای مدیریتی و مهندسی و رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل: عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر اگزوز و کاهش مدت زمان توقف این امکان وجود دارد که از تولید و انتشار بخش زیادی از آلاینده‌ها اجتناب شود (تا ۷۰ درصد). همین مساله به ارتقای کیفیت هوا در سایت مورد نظر و محوطه پیرامونی کمک شایانی خواهد نمود. بدیهی است با بکارگیری سایر راهکارهای اثربخش نظیر بهسوزی بهتر خودرو و نیز استفاده از سوخت با استاندارد سطح بالاتر درصد کاهش آلاینده‌های هوا بیشتر خواهد بود.

منابع

۱. اصیلیان، حسن. (۱۳۹۰). آلودگی هوا، انتشارات سبحان، چاپ سوم، ۱۵۲ ص.

۲. بهرامی، عبدالرحمن. (۱۳۹۵). روش‌های مهندسی کنترل آلودگی هوا، تهران، فن‌آوران، ۳۰۳ ص.

۳. بهمن‌پور، هومن. نقیبی، هادی.، عبدی، حسن. (۱۳۹۹). ریسک محیط زیستی آلاینده منواکسید کربن در فضاهای ورزشی و تفرجی روباز شهر تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۵ (۲)، ۱۶۵-۱۵۵ صص.

۴. بهمن‌پور، هومن. (۱۳۹۶). محتوای آموزش محیط زیست ویژه اعضای شوراهای اسلامی شهر و روستا، دفتر آموزش و مشارکت‌های مردمی سازمان حفاظت محیط زیست. تهران، ۲۶۵ ص.

۵. دهقانی تفتی، عباس.، برومند، ریحانه. (۱۴۰۰). امکان‌سنجی کاربست استراتژی‌های بازآفرینی شهری پایدار در بافتهای فرسوده و ناکارامد کلانشهرها، مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد مشهد، دوره ۱۸، شماره ۳۹، ۸۶-۶۹ صص.

۶. سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهر تهران. (۱۳۹۶). https://terminals.tehran.ir

۷. سجادیان، مهیار.، سجادیان، ناهید. (۱۳۹۰). سامانه مکان مبنای مدیریت کیفیت هوای ناشی از ترافیک مبتنی بر شاخص آلودگی. فصلنامه راهور. ۸ (۱۵) : ۷۵ – ۹۲

۸. شرکت کنترل کیفیت هوا. (۱۳۹۶). گزارش کیفیت هوای تهران ۱۳۹۵، شهرداری تهران، مرکز چاپ نشر شهر، ۲۶۵ ص.

۹. غیاث‌الدین، منصور. (۱۳۹۴). آلودگی هوا و روشهای کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۰ ص.

۱۰. فتح‌تبار فیروزجایی، سمیه.، آل‌شیخ، علی‌اصغر.، رنگزن، کاظم.، چینی‌پرداز، رحیم. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک‌های GIS. مطالعه موردی (شهر تهران)، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

۱۱. محقق، شهرام.، حاجیان، مریم. (۱۳۹۲). ورزش و آلودگی هوا، مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران، دوره ۳۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲: ۲۴۹-۲۳۷

۱۲. Arnesano, M., Revel, G.M., Seri, F.A. (۲۰۱٦). Tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces, Automation in Construction ٦٨ (۲۰۱٦) ۲۲۳–۲۳٤ pp.

۱۳. Bono, R., Raffaella, D., Marco, P., Valeria, R., Renato. R. (۲۰۱۰). Benzene and formaldehyde in air of two winter Olympic venues of “Torino ۲۰۰٦, journal homepage.

۱٤. NIOSH. (۲۰۱٤). National Institute for Occupational Safety and Health.

۱٥. O’Reilly, N., Berger, I.E., Hernandez, T., Parent, M., Se´guin, B. (۲۰۱٥). Urban sports capes: An environmental deterministic perspective on the management of youth sport participation, Sport Management Review, ۲۰۱٥, ۱۸, ۲۹۱–۳۰۷ pp.

۱٦. USEPA. (۲۰۰٤). An examination of EPA risk assessment principles and practices. EPA/۱۰۰/B-۰٤/۰۰۱. Washington (DC): OSA, USEPA; ۲۰۰٤.

۱۷. Vedal, S., Brauer, M., White, R., Petkau, J. (۲۰۰۳). Air pollution and daily mortality in a city with low levels of pollution. Environ Health Perspect ۲۰۰۳; ۱۱۱:٤٥-٥۱.

۱۸. WB. (۲۰۱٥). Air pollution cost in global, World Bank Reports.

۱۹. WHO. ۲۰۱۸. World Health Organization. Effects of air pollution on children's health and development: a review of the evidence. No. EUR/۰٥/٥۰٤٦۰۲۷. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, ۲۰۱۸.

۲۰. WHO. (۲۰۱۷). Air quality and health, www.who.int. Retrieved ۲۰۱۱-۱۱-۲٦.

۲۱. Widodo, B., Lupyantob, R., Sulistionoc, D., Harjitod, A., Hamidin, J., Hapsaria, E., Yasin, M., Ellinda, C. (۲۰۱۵). Analysis of environmental carrying capacity for the development of sustainable settlement in Yogyakarta urban area, Available online at www.sciencedirect.com,۲۰۱۵, Procedia Environmental Sciences ۲۸, ۵۱۹ – ۵۲۷ pp.

مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، شماره۴۱، زمستان ۱۴۰۱، صص ۱۱۸-۱۰۲

Simulation of SO_2 pollutant distribution in passenger terminal of Beyhaghi in Tehran

Abstract:
The purpose of this research is to measure and measure the sulfur dioxide pollutant at Beyhaqi terminal site in Tehran and to simulate the distribution of this pollutant under various conditions. This research is of applied type. The desired pollutant was measured through a portable device according to NIOSH guidelines. The pollutant release list was prepared under the two scenarios and Austal view, version ۷ software was used for simulation. The results showed that in both scenarios, within ۱ hour and up to a radius of ۱ km, the sulfur dioxide pollutant is not higher than the standard. Of course, the important point is that the emission speed of this pollutant was low and it could not reach the range of ۱ km within ۱ hour. However, the annual distribution of sulfur dioxide pollutant shows that in both scenarios, the amount of pollutant is very high at the beginning (distance of ۳۰۰ meters), then the pollutant concentration decreases as the distance from the source increases. The contamination zone extends further to the east and southeast. Of course, in the second scenario, the amount of pollution is much lower than the first scenario.

Key words: air pollution, emission simulation, sulfur dioxide, Bayhaghi terminal.