

## ارزیابی ریسک آلاینده‌های هوای منتشره در پایانه مسافری بیهقی با روش مدل سازی

مجید شفیعی پور مطلق<sup>۱</sup>، علیرضا پرداختی<sup>۲</sup>، مریم معجری<sup>۳\*</sup>

shafiepourm@yahoo.com

۱. استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

arparda@yahoo.com

۲. استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۶/۲۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۷

### چکیده

گسترش شهرها و نیاز به وسایل حمل و نقل عمومی موجب شکل‌گیری پایانه‌های مسافری شده است که به علت تجمع و تردد تعداد زیادی از خودروها پتانسیل آلودگی هوای ناشی از انتشار آلاینده‌های هوا در پایانه‌های مسافری برای مسافران، رانندگان و کارکنان پایانه وجود دارد. در این پژوهش به بررسی آلودگی هوای ناشی از انتشار آلاینده‌های هوای  $\text{NO}_2$ ،  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{CO}$  و  $\text{SO}_2$  در پایانه بیهقی در کلان‌شهر تهران با روش مدل‌سازی ریاضی با مدل‌های IVE و BREEZE AERMOD پرداخته شده است. ابتدا با جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه مربوط به خودروها، تردد و زمان حضور در پایانه‌ها، انتشار آلاینده‌های هوای  $\text{CO}$ ،  $\text{NO}_2$ ،  $\text{SO}_2$  و  $\text{PM}_{10}$  از طریق مدل IVE استخراج شد. تخمین غلظت آلاینده‌های هوا با استفاده از میزان انتشار آلاینده‌های به‌دست‌آمده از مدل IVE، با مدل‌سازی از طریق BREEZE AERMOD انجام شده است. ارزیابی ریسک استنشاق آلاینده‌های هوا بر اساس نتایج خروجی مدل بالا با استفاده از روش ارائه‌شده از سوی RAIS صورت گرفته است. اندیس مخاطره تأثیر غیرسرطانی استنشاق آلاینده‌های هوا در پایانه مسافری بیهقی رانندگان ۳/۷۳۷، کارکنان محوطه ۴/۸۳۸ و کارکنان اداری ۳/۷۱۷ است که بیش از حد آستانه بوده است و این افراد در معرض مخاطرات ناشی از آلاینده‌ها به خصوص منو اکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن‌اند. مسافران با اندیس مخاطره ۰/۲۰۲ در خطر کمی قرار دارند. با ارزیابی ریسک سرطانی مشاهده شد خطر ابتلای ۵ نفر از کل افراد طی عمر خود در پایانه به انواع بیماری‌های سرطانی افزایش می‌یابد.

### کلیدواژه

ارزیابی ریسک، آلودگی هوا، پایانه مسافری، مدل IVE، مدل AERMOD.

### ۱. سرآغاز

منابع آلودگی هوا را دارند. لذا افرادی چون رانندگان، کارکنان پایانه و مسافران در مدت زمان گوناگون در معرض آلاینده‌های هوا قرار می‌گیرند و بررسی اثر آلودگی هوا در پایانه‌های مسافری روی این افراد امری ضروری و مهم است.

آلاینده‌های هوا در زمینه حمل و نقل به‌منزله محیط‌زیست خرد به شمار می‌روند و پیچیده‌تر از شرایط محیطی از ایستگاه‌های مشخص پایش‌اند (Adams et al.,

سیستم حمل و نقل عمومی راه‌حل مناسبی در ساماندهی حمل و نقل در سطح شهر است. این سیستم با کاهش میزان تقاضا برای اتومبیل شخصی و حتی تاکسی‌ها زمینه صرفه‌جویی‌های اقتصادی را فراهم می‌کند (کهرزادی و همکاران، ۱۳۹۱). پایانه‌های اتوبوسرانی نقش بسزایی در ساماندهی حمل و نقل شهری و بین‌شهری ایفا می‌کنند (فرجی‌ملائی و همکاران، ۱۳۹۱)، اما پتانسیل تبدیل شدن به

میزان انتشار آلاینده‌هایی از جمله  $\text{CO}$ ،  $\text{NO}_x$ ، Benzene و  $\text{PM}_{10}$  به‌منزله نمونه در خیابان آزادی با استفاده از اطلاعات حجم ترافیک، قبل و بعد از اجرای خطوط تندرو مقایسه شده‌اند.

یکی از مدل‌هایی که قابلیت برآورد انتشار آلاینده‌های هوا را دارد IVE<sup>۱</sup> است که برای تخمین میزان انتشار خودروها در تمامی کشورها استفاده می‌شود. مدل IVE با استفاده از سطح تکنولوژی خودروهای محلی و توزیع آن‌ها، فاکتورهای رانندگی بر اساس توان خودروها، زمان استارت سرد و پارامترهای هواشناسی به تخمین مشخصی از انتشار می‌پردازد (Shafie-Pour et al., 2013). این مدل بر اساس سناریوهای متفاوت، انواع تکنولوژی، نوع سوخت، تعمیر و نگهداری، الگوهای رانندگی و اثر روش‌های متفاوت کنترل آلودگی طراحی شده است.

پس از برآورد آلاینده‌های منتشره با مدل بالا برای تخمین غلظت آلاینده‌های محیطی مدل‌های پخش و پراکنش آلاینده‌های هوا همچون AERMOD به کار گرفته می‌شود. مدل BREEZE AERMOD قابلیت برآورد غلظت انتشار با واردکردن منبع انتشار، ساختمان، گیرنده یا داده‌های زمین را دارد. قابلیت گرافیکی به این نرم‌افزار امکان می‌دهد داده‌های خروجی را به صورت سریع و قابل اعتماد ارائه دهد. از پارامترهای ورودی این مدل انتشار آلاینده‌ها، محل قرارگیری منابع، پارامترهای هواشناسی و وضعیت جغرافیایی است.

مطالعات انجام‌شده در زمینه بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا نشان می‌دهند که بیش از ۲ میلیون مرگ زودرس در هر سال وابسته به تأثیر آلودگی هوا در محیط باز و بسته است. بیش از نیمی از این مرگ و میر و بیماری‌ها به جمعیت کشورهای در حال توسعه متحمل شده است (World health report, 2002). ارزیابی ریسک سلامتی انسان فرایندی است که به تخمین ریسک اندام مورد نظر، سیستم یا جمعیت می‌پردازد. این روند شامل شناسایی عدم قطعیت‌های وابسته، مواجهه عوامل

(2001). در نتیجه بررسی چگونگی انتشار آلاینده‌ها، پخش و پراکنش آن‌ها در اثر عوامل فیزیکی گوناگون و در نهایت ارزیابی ریسک آن متفاوت است. با مدل‌سازی ریاضی می‌توان به ارزیابی وضعیت این پایانه‌ها و تخمین آلاینده‌های منتشره از خودروها پرداخت و غلظت این آلاینده‌ها را به دست آورد. با جایگزینی مدل‌سازی با روش‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری می‌توان با سرعت بیشتر و هزینه کمتر به بررسی وضعیت موجود پرداخت و وضعیت آینده را پیش‌بینی کرد (عباس‌پور، ۱۳۹۰). در این پژوهش به ارزیابی ریسک مواجهه افراد حاضر در پایانه از جمله رانندگان، کارکنان محوطه و قسمت اداری و مسافران با آلاینده‌های هوای  $\text{CO}$ ،  $\text{NO}_2$ ،  $\text{SO}_2$  و  $\text{PM}_{10}$  در زمان حضور در پایانه بر پایه مدل‌سازی پرداخته می‌شود.

از جمله پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه پایانه‌های مسافری پایان‌نامه «بررسی آلودگی هوای ناشی از پایانه‌های مسافربری در بافت شهری اطراف آن» است. در این پایان‌نامه به روش نمونه‌برداری مستقیم میزان غلظت آلاینده‌ها در اطراف پایانه تعیین و با استفاده از مدل‌سازی میزان پخش آلودگی پیش‌بینی شده است و در نهایت نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند (شریفی، ۱۳۸۷). در آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده پروژه‌هایی در این زمینه با استفاده از مدل‌های ریاضی انجام شده است. از جمله این تحقیقات «انتشار از خودروهای مسافری، خودرو باری سبک و خودرو باری سنگین با کارکرد درجا» است که با استفاده از ضرایب انتشار، میزان انتشار آلاینده‌های هوا در حالی که خودروها با موتور روشن متوقف‌اند تخمین زده شده است (EPA, 2008). از مطالعات انجام‌شده در زمینه خطوط اتوبوس‌رانی مقاله‌ای با عنوان «بررسی اثر احداث خطوط ویژه اتوبوس‌رانی (BRT) بر میزان انتشار آلاینده‌ها» است که در این تحقیق به بررسی تأثیر زیست‌محیطی خطوط ویژه اتوبوس‌رانی با استفاده از نرم‌افزار OSPM که ابزار مدل‌سازی آلودگی هواست، پرداخته شده است (نجف و الهی، ۱۳۹۱). برای این منظور

کلان‌شهر تهران واقع شده است. این پایانه با مساحت حدود ۱۳ هکتار شامل اتوبوس‌های مسافری شهری و بین‌شهری، تاکسیرانی، پارکینگ و پیک‌بادپاست. حدود ۲ هکتار از پایانه به محل توقف و سوار و پیاده‌کردن اتوبوس‌های شهری و بین‌شهری تعلق دارد. قسمت‌های اتوبوس‌رانی پایانه بیهقی شامل سه بخش خطوط اتوبوس‌های شهری، خطوط اتوبوس‌های بین‌شهری و پارکینگ اتوبوس‌های بین‌شهری است که در شکل ۱ به ترتیب با شماره ۱، ۲ و ۳ مشخص شده‌اند. نمای کلی مراحل ارزیابی ریسک در این پژوهش با روش مدل‌سازی ریاضی مطابق شکل ۲ است.

مشخص بعدی، در نظر گرفتن خصوصیات اصلی عوامل نگران‌کننده علاوه بر خصوصیات سیستم مورد نظر است (IPCS, 2004). مراحل انجام فرایند ارزیابی ریسک از طریق فرموله‌کردن مسئله، شناسایی خطر، توصیف خصوصیات خطر، ارزیابی مقدار تماس توصیف خصوصیات ریسک صورت می‌گیرد (IPCS, 2009) که با استفاده از اطلاعات و محاسبات در این پژوهش امکان‌پذیر است.

## ۲. مواد و روش بررسی

پایانه و پارک‌سوار بیهقی در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۳۳۸ متر از سطح دریا در شمال‌شرق



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای پایانه اتوبوس‌رانی بیهقی



شکل ۲. نمای کلی مراحل ارزیابی ریسک به روش مدل‌سازی

AERMOD است. برای مدل‌سازی منابع پایانه به صورت یک سطح که آلاینده‌های هوا به طور یکنواخت در آن پخش می‌شوند در نظر گرفته شده‌اند. در این روش مختصات و انتشار سه منبع سطحی (شامل خطوط اتوبوس‌های شهری، خطوط اتوبوس‌های بین‌شهری و پارکینگ اتوبوس‌های بین‌شهری) در پایانه نیاز است.

برای تخمین دقیق‌تری از غلظت آلاینده‌های هوا تعیین غلظت‌های زمینه مورد نیاز است. غلظت آلاینده‌های هوا در دوره زمانی مورد نظر بدون در نظرگیری اثر پایانه وضعیت آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در نزدیکی پایانه بررسی شد. در نهایت با توجه به موقعیت قرارگیری پایانه و جهت باد غالب در تهران اطلاعات آلودگی هوای ایستگاه ژئوفیزیک واقع در غرب پایانه استفاده شد. با توجه به اینکه ایستگاه پایش آنالین و غلظت آلاینده‌ها در هر ساعت موجود است، از روش میانگین‌گیری داده‌ها در یک سال استفاده شده است. سپس، غلظت زمینه تعیین و در مدل‌سازی لحاظ شده است. در محدوده قرارگیری پایانه، نقاط مورد نیاز برای تعیین داده‌های خروجی و نحوه آنالیز تعیین شده است. ارتفاع در نظر گرفته شده برای تخمین غلظت آلاینده‌ها ۲ متر از سطح زمین است که میانگین ارتفاع استنشاق آلاینده‌ها برای مسافران، رانندگان و افراد در محوطه پایانه است. سپس، پارامترهای مورد نیاز خروجی تعیین و دوره زمانی آن مشخص شد. پس از تکمیل تمامی داده‌های ورودی، با اجراکردن مدل غلظت آلاینده‌های هوای مشخص شده برآورد شده است.

اطلاعات اولیه با مراجعه به پایانه و استفاده از اطلاعات ثبت‌شده، آمارگیری از طریق مشاهده و استفاده از پرسش‌نامه‌ها در ساعات مختلف، جمع‌آوری شده است. این اطلاعات شامل نوع خودروها، تعداد خودروها، نوع سوخت، زمان توقف در پایانه، زمان سرویس‌دهی و سال تولید خودرو یا کیلومتر کارکرد است و با استفاده از این اطلاعات ورودی‌های مدل IVE تهیه شد. ابتدا داده‌های ورودی مدل از جمله نوع خودرو، سوخت مصرفی، روش کنترل آلاینده‌های هوا و کیلومتر کارکرد برای هر دسته از اتوبوس‌ها وارد و درصد وزنی آن‌ها (تعداد خودروهای مشابه به کل خودروها) تعیین می‌شود. پس از واردکردن داده‌های مربوط به خودروها در مدل، داده‌های مربوط به زمان، اطلاعات جغرافیایی، اطلاعات هواشناسی، نوع سوخت تهیه شد. پس از واردکردن کلیه داده‌های ورودی مدل IVE به آنالیز داده‌ها و تخمین انتشار آلاینده‌های هوا پرداخته و اطلاعات انتشار آلاینده‌های مورد نظر استخراج شد. در نهایت انتشار آلاینده‌های  $CO$ ،  $NO_2$ ،  $SO_2$  و  $PM_{10}$  در دوره یک ساعته در پایانه اتوبوس‌رانی که برآیندی از تمامی خودروهاست به دست آمد.

مدل AERMOD با استفاده از طول مونین ابوخوف و تعیین پایداری و ناپایداری جو به محاسبه غلظت آلاینده‌های هوا می‌پردازد (Hall et al., 2000). ورودی مدل با توجه به تردد خودروها در پایانه و تعداد آن‌ها در ساعات مختلف از روز برآورد میزان متوسط انتشار آلاینده‌های هوا با واحد گرم در ساعت برای آلاینده‌های  $CO$ ،  $NO_2$ ،  $PM_{10}$  و  $SO_2$  تعیین شد. میزان انتشار به دست آمده مطابق جدول ۱ ورودی‌های مدل BREEZE

جدول ۱. نرخ انتشار آلاینده‌های هوا از خودروها

NO <sub>x</sub> (g/hr)	PM <sub>10</sub> (g/hr)	CO (g/hr)	SO <sub>x</sub> (g/hr)	آلاینده
۱۳۹/۶۳	۲۰/۳۱	۳۱/۸۴	۰/۱	میزان انتشار

(۱)

$$CDI_{inhale-NC} (\mu g/m^3) = \frac{C_{air} (\mu g/m^3) \times EF(\text{day/yr}) \times ED(\text{yr}) \times ET(\text{hr/day}) \times (\text{day}/24\text{hr})}{AT \left( \frac{365\text{day}}{\text{yr}} \times ED \right)}$$

(۲)

$$CDI_{inhale-C} (\mu g/m^3) = \frac{C_{air} (\mu g/m^3) \times EF(\text{days/yr}) \times ED(\text{yr}) \times ET(\text{hr/day}) \times (\text{day}/24\text{hr})}{AT \left( \frac{365\text{day}}{\text{yr}} \times LT \right)}$$

در معادلات بالا  $CDI_{inhale-NC}$  میزان دریافت روزانه ترکیبات غیرسرطانی و  $CDI_{inhale-C}$  میزان دریافت روزانه ترکیبات سرطانی است. همچنین،  $C_{air}$  غلظت آلاینده در هوا،  $EF$  فرکانس تماس،  $ED$  دوره تماس،  $ET$  زمان تماس،  $AT$  زمان متوسط تماس و  $LT$  عمر فرد است. برای محاسبه  $CDI$  ابتدا جمعیتی که در معرض آلاینده‌های منتشره در پایانه قرار داشتند دسته‌بندی شدند. تعداد متوسط این افراد در سال در پایانه بیهقی به شرح زیر است: رانندگان: رانندگان اتوبوس‌های شهری، بین شهری و کمک‌رانندگان و رانندگان تاکسی، ۱۰۰۰ نفر؛ کارکنان محوطه: نگهبانان، انتظامات، نیروهای خدماتی و نظافتی، ۸۰ نفر؛

کارکنان اداری: کارمندان اداری پایانه، تعاونی‌ها و غرفه‌های تجاری، ۵۰۰ نفر؛ مسافران: مسافران خطوط اتوبوس‌های شهری و بین شهری، ۲۲۳۰۰ نفر.

برای تخمین ریسک لازم است غلظت مرجع استنشاق<sup>۵</sup> یا  $RFC$  برای هر کدام از آلاینده‌ها به دست آید. پارامتر  $RFC$  مربوط به مواجهه با آلاینده‌ها از طریق تنفس است و بر اساس مطالعات از پیش صورت گرفته مقادیر معینی است و در  $EPA$  تأثیر غیرسرطانی با محاسبه نرخ، فهرست خطر و  $RFC$  تنفسی خاص آلاینده صورت می‌گیرد (  $EPA$ , 2002). با مراجعه به پایگاه اینترنتی  $RAIS$  برآورد  $RFC$  برای آلاینده‌ها به صورت آنلاین ممکن است. با استفاده از این منبع غلظت مرجع آلاینده  $CO$  برابر  $23\text{mg}/\text{m}^3$ ،  $NO_2$

برای تخمین دقیق تری از غلظت آلاینده‌های هوا تعیین غلظت‌های زمینه مورد نیاز است. غلظت آلاینده‌های هوا در دوره زمانی مورد نظر بدون در نظرگیری اثر پایانه وضعیت آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در نزدیکی پایانه بررسی شد. در نهایت با توجه به موقعیت قرارگیری پایانه و جهت باد غالب در تهران اطلاعات آلودگی هوای ایستگاه ژئوفیزیک واقع در غرب پایانه استفاده شد. با توجه به اینکه ایستگاه پایش آنلاین و غلظت آلاینده‌ها در هر ساعت موجود است، از روش میانگین‌گیری داده‌ها در یک سال استفاده شده است. سپس، غلظت زمینه تعیین و در مدل‌سازی لحاظ شده است. در محدوده قرارگیری پایانه، نقاط مورد نیاز برای تعیین داده‌های خروجی و نحوه آنالیز تعیین شده است. ارتفاع در نظر گرفته شده برای تخمین غلظت آلاینده‌ها ۲ متر از سطح زمین است که میانگین ارتفاع استنشاق آلاینده‌ها برای مسافران، رانندگان و افراد در محوطه پایانه است. سپس، پارامترهای مورد نیاز خروجی تعیین و دوره زمانی آن مشخص شد. پس از تکمیل تمامی داده‌های ورودی، با اجراکردن مدل غلظت آلاینده‌های هوای مشخص شده برآورد شده است.

دو دسته از افراد به طور مستقیم در معرض آلاینده‌های هوا در این پایانه قرار دارند. یک گروه شامل رانندگان و کارمندان پایانه است که به مدت طولانی و در تمام دوره کاری خود با این غلظت از آلاینده‌های هوا در تماس‌اند و دسته دیگر شامل مسافرانی است که در معرض آلودگی متفاوتی از تماس با آلاینده‌های هوا در این پایانه قرار دارند. ارزیابی تماس با آلاینده‌ها برآورد (کمی یا کیفی) از اندازه، فرکانس، مدت زمان و مسیر قرارگرفتن در معرض آلاینده است. در این پژوهش ارزیابی ریسک از روش ارائه شده از سوی  $RAIS$ <sup>۶</sup> که از زیرمجموعه‌های  $EPA$ <sup>۳</sup> است استفاده شده است. برای ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی، ابتدا پارامتر  $CDI$ <sup>۴</sup> مطابق معادلات ۱ و ۲ محاسبه شد.

آلاینده‌های  $\text{NO}_2$ ،  $\text{CO}$  و  $\text{SO}_2$  در زمینه ریسک سرطان حاصل از آن‌ها به صورت قاطع نتایجی ارائه نشده است. تنها فاکتور شیب سرطان موجود برای آلاینده‌های مورد مطالعه در این پژوهش  $\text{PM}_{10}$  است که محاسبه شده است. پس از محاسبه ریسک سرطانی برای بررسی جمعیتی که در مخاطره بیماری‌های سرطانی ناشی از آلاینده یا ماده شیمیایی‌اند، ریسک سرطانی ضرب در تعداد جمعیت در تماس با آن ماده می‌شود. با ارزیابی ریسک غیرسرطانی و سرطانی آلاینده‌ها، ارزیابی کمی از خطرهای احتمالی حاصل از استنشاق آلاینده‌ها و جمعیتی که تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند به دست آمده است.

### ۳. نتایج

در این پژوهش میزان انتشار آلاینده‌های هوا در مدل IVE و غلظت آلاینده‌های حاصل از مدل BREEZE AERMOD برای ارزیابی ریسک استفاده شده‌اند. نتایج نسبت مخاطره استنشاق  $\text{HQ}_{\text{inhalation}}$  آلاینده‌های هوا در پایانه مسافری بیهقی برای گروه‌های مختلف مطابق جدول ۲ است.

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج شامل محاسبه مقادیر  $\text{CDI}$ ،  $\text{HI}$  و ریسک سرطان است. نسبت مخاطره استنشاق آلاینده  $\text{CO}$  برآورد شده در این پژوهش نشان می‌دهد بیشترین نسبت مخاطره برای کارکنان محوطه برابر  $2/81$  و بیش از حد آستانه بوده است. در صورتی که میزان  $\text{HQ}$  از عدد یک که حد آستانه است فرا رود امکان بروز آسیب‌رسانی به سلامتی وجود خواهد داشت. همچنین،  $\text{HQ}$  برای کارکنان اداری برابر  $2/16$  و رانندگان اتوبوس برابر  $1/32$  بیش از حد آستانه است. در نتیجه این افراد نیز در معرض خطرهای ناشی از آلاینده  $\text{CO}$  قرار دارند. مسافران با نسبت مخاطره  $0/117$  که کمتر از حد آستانه است در خطر کمی از عوارض غیرسرطانی  $\text{CO}$  قرار دارند.

برابر  $47\text{mg}/\text{m}^3$ ،  $\text{SO}_2$  برابر  $262\text{mg}/\text{m}^3$  و  $\text{PM}_{10}$  برابر  $5\text{g}/\text{m}^3$  است.

سپس، محاسبه ضریب غیرسرطانی و ریسک سرطانی صورت گرفته است که داده ورودی برای محاسبه ریسک است. در نهایت ریسک غیرسرطانی و سرطانی تماس با آلاینده‌ها از طریق تنفس برای گروه‌های مختلف با استفاده از غلظت‌های به دست آمده از مدل BREEZE AERMOD محاسبه شد. غلظت‌های استفاده شده به منظور ارزیابی ریسک، برای رانندگان غلظت حداکثر و سایر افراد غلظت متوسط است. با وارد کردن داده‌های ورودی در RAIS ریسک سرطانی و غیرسرطانی برای گروه‌ها متفاوت به تفکیک نوع آلاینده محاسبه شد.

برای ارزیابی تأثیر غیرسرطانی شاخص اندیس مخاطره  $\text{HI}^{\text{e}}$  و نسبت مخاطره  $\text{HQ}^{\text{v}}$  بررسی شده است. ارزیابی ریسک از طریق شاخص  $\text{HQ}_{\text{oral}}$  برای بلع،  $\text{HQ}_{\text{dermal}}$  برای تماس با پوست و  $\text{HQ}_{\text{inhalation}}$  برای تنفس تمامی مواد شیمیایی از جمله آلاینده‌های هوا محاسبه می‌شود که در اینجا  $\text{HQ}$  تنها برای تنفس محاسبه شده است. معادله ۳ نحوه محاسبه  $\text{HI}$  را نشان می‌دهد. در صورتی که این مقدار بیش از ۱ باشد خطرهای غیرسرطانی ناشی از آن آلاینده بروز خواهد کرد. برای محاسبه ریسک سرطانی از معادله ۴ استفاده می‌شود.

(۳)

$$\text{HI}_{\text{Total}} = \text{HQ}_{\text{oral}} + \text{HQ}_{\text{dermal}} + \text{HQ}_{\text{Inhalation}}$$

(۴)

$$\text{Risk} = (\text{CDI}_{\text{ingest}} \cdot \text{CSF}_{\text{oral}}) + (\text{CDI}_{\text{inhalation}} \cdot \text{URF}_{\text{inhalation}}) + (\text{CDI}_{\text{dermal}} \cdot \text{CSF}_{\text{oral}})$$

پارامتر  $\text{CSF}$  فاکتور شیب سرطانی<sup>۸</sup> است که برای محاسبه ریسک سرطانی یک آلاینده با پتانسیل ایجاد سرطان استفاده می‌شود. این فاکتور افزایش احتمال ابتلا به سرطان برای افراد را در تمام طول عمر نشان می‌دهد. محاسبه آن از طریق مطالعات و آزمایش‌ها انجام می‌شود تا به منزله مرجع به کار رود. در حال حاضر برای

جدول ۲. ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی آلاینده‌های هوا در پایانه بیهقی

ریسک سرطانی	HQ تنفس	CDI سرطانی	CDI غیر سرطانی	غلظت ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RFC ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	ترکیب شیمیایی	
-	۱/۳۲	۲۹۴	۰/۶۸۵	۲۵۰۰	۰/۰۲۳	CO	رانندگان
-	۲/۳۷۶	۶۹/۲	۰/۱۶۱	۹۲۳	۰/۰۴۷	NO <sub>2</sub>	
-	۰/۰۳۶۹	۹/۳۹	۰/۰۲۱۹	۸۰	۰/۲۶۲	SO <sub>2</sub>	
۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۰۴۱۱	۲۰	۰/۰۴۶۶	۱۷۰	۵	PM <sub>10</sub>	
-	۲/۸۱	۲۷۷	۰/۶۴۷	۲۳۶۰	۰/۰۲۳	CO	کارکنان محوطه
-	۱/۹۴	۳۹/۱	۰/۰۹۱۲	۳۳۳	۰/۰۴۷	NO <sub>2</sub>	
-	۰/۰۸۳۷	۹/۳۹	۰/۰۲۱۹	۸۰	۰/۲۶۲	SO <sub>2</sub>	
۰/۰۰۲۸۲	۰/۰۰۴۳۸	۹/۳۹	۰/۰۲۱۹	۸۰	۵	PM <sub>10</sub>	
-	۲/۱۶	۲۱۲	۰/۴۹۶	۲۳۶۰	۰/۰۲۳	CO	کارکنان اداری
-	۱/۴۹	۳۰	۰/۰۶۹۹	۳۳۳	۰/۰۴۷	NO <sub>2</sub>	
-	۰/۰۶۴۱	۷/۲	۰/۰۱۶۸	۸۰	۰/۲۶۲	SO <sub>2</sub>	
۰/۰۰۲۱۶	۰/۰۰۳۳۶	۷/۲	۰/۰۱۶۸	۸۰	۵	PM <sub>10</sub>	
-	۰/۱۱۷	۳/۸۵	۰/۰۲۶۹	۲۳۶۰	۰/۰۲۳	CO	مسافران
-	۰/۰۸۰۹	۰/۵۴۳	۰/۰۰۳۸	۳۳۳	۰/۰۴۷	NO <sub>2</sub>	
-	۰/۰۰۳۴۹	۰/۱۳	۰/۰۰۰۹۱۳	۸۰	۰/۲۶۲	SO <sub>2</sub>	
۰/۰۰۰۰۳۹۱	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۱۳	۰/۰۰۰۹۱۳	۸۰	۵	PM <sub>10</sub>	

نسبت مخاطره استنشاق آلاینده PM<sub>10</sub> محاسبه شده برای تمامی افراد تحت بررسی کمتر از ۱ است. در نتیجه خطر ناشی از مواجهه با آلاینده PM<sub>10</sub> در پایانه زیاد نیست و بروز آثار غیرسرطانی برای این آلاینده در پایانه برای افراد بسیار کم است.

اندیس مخاطره تمامی آلاینده‌های هوای برآورد شده برای رانندگان برابر ۳/۷۳۷، برای کارکنان محوطه برابر ۴/۸۳۸، کارکنان اداری ۳/۷۱۸ و مسافران برابر ۰/۲۰۲ است. اندیس مخاطره محاسبه شده برای کارکنان محوطه نشان می‌دهد این افراد در خطر جدی ابتلا به بیماری‌ها و عوارض ناشی از آلاینده‌های هوا قرار دارند. این افراد در شیف‌کاری خود در محوطه باز و در معرض مستقیم آلاینده‌های منتشره از آگروز خودروها قرار دارند. همچنین،

محاسبه ریسک استنشاق آلاینده NO<sub>2</sub> نشان می‌دهد رانندگان اتوبوس با HQ برابر ۲/۳۶۷۰ به نسبت سایرین در بیشترین خطر استنشاق آلاینده NO<sub>2</sub> قرار دارند و نسبت مخاطره بیش از حد آستانه است. خطر این آلاینده برای کارکنان محوطه با HQ برابر ۱/۹۴ و کارکنان اداری با HQ برابر ۱/۴۹ نیز بیش از حد آستانه است. به طور کلی این سه گروه از افراد در معرض خطرهای ناشی از استنشاق NO<sub>2</sub> قرار دارند.

نسبت مخاطره استنشاق آلاینده SO<sub>2</sub> برای رانندگان برابر ۰/۰۳۶۹، کارکنان محوطه ۰/۰۸۳۷، کارکنان اداری ۰/۰۶۴۱ و مسافران ۰/۰۰۳۵ است. با توجه به اینکه تمامی مقادیر کمتر از ۱ است این افراد در معرض مخاطرات غیرسرطانی آلاینده دی اکسید گوگرد قرار ندارند.

۴/۸۳۸، کارکنان اداری ۳/۷۱۸ و مسافران برابر ۰/۲۰۲ است. اندیس مخاطره استنشاق کارکنان محوطه، کارکنان اداری و رانندگان بیش از حد آستانه است و این افراد در خطر جدی ابتلا به بیماری‌ها و عوارض غیرسرطانی ناشی از آلاینده‌های هوا قرار دارند. اما خطر استنشاق آلاینده‌های هوا برای مسافران در این پایانه اندک است. برای کارکنان پایانه آلاینده‌های منو اکسید کربن با سهم ۵۸ درصد و دی اکسید نیتروژن با سهم ۴۰ درصد بیشترین نقش را در ایجاد مخاطرات به عهده دارند. همچنین، برای رانندگان آلاینده دی اکسید نیتروژن با سهم ۶۴ درصد و منو اکسید کربن با ۳۵ درصد از اندیس مخاطره، بیشترین نقش را در ایجاد عوارض غیرسرطانی به عهده دارند. سهم سایر آلاینده‌های دی اکسید گوگرد و ذرات معلق تنها ۱ تا ۲ درصد از اندیس ریسک است.

ارزیابی ریسک سرطانی با استفاده از شیب سرطان که تنها برای آلاینده ذرات معلق موجود است انجام شده است. پس از تخمین ریسک سرطانی، این مقدار در تعداد افرادی که در معرض آلاینده‌ها قرار دارند ضرب شد. بیشترین ریسک سرطانی به دست آمده برای رانندگان بوده است و به طور کلی برای ۵ نفر از افراد در پایانه افزایش احتمال ابتلا به سرطان وجود دارد.

### یادداشت‌ها

1. International Vehicle Model
2. The Risk Assessment Information System, <http://rais.ornl.gov>
3. Environmental Protection Agency
4. Chronic Daily Intake
5. Inhalation Reference Concentration
6. Integrated Risk Information System
7. Hazard Index
8. Hazard Quotient
9. Cancer Slope Factor

کارکنان بخش‌های اداری و رانندگان نیز مستعد ابتلا به آثار غیرسرطانی این آلاینده‌ها هستند. رانندگان در زمان حضور در پایانه وضعیت مشابه کارکنان محوطه را دارند، اما فرکانس تماس متفاوت است. کارکنان اداری با اینکه در ساختمان‌های محدوده پایانه در ساعات اداری حضور دارند، در معرض غیرمستقیم آلاینده‌های ناشی از خودروهای پایانه در محیط بسته‌اند. همچنین، اندیس خطر نشان می‌دهد خطر استنشاق آلاینده‌های هوا برای مسافران در این پایانه اندک است.

برای کارکنان پایانه اعم از بخش‌های اداری و محوطه، آلاینده‌های منو اکسید کربن با سهم ۵۸ درصد و دی اکسید نیتروژن با سهم ۴۰ درصد بیشترین نقش را در ایجاد مخاطرات دارند. همچنین، برای رانندگان آلاینده دی اکسید نیتروژن با سهم ۶۴ درصد و منو اکسید کربن با ۳۵ درصد از اندیس مخاطره، بیشترین نقش در ایجاد عوارض غیرسرطانی را به عهده دارند.

ارزیابی ریسک سرطانی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون با تخمین ریسک سرطانی، در تعداد افرادی که در معرض آلاینده‌ها قرار دارند صورت گرفته است. بیشترین ریسک سرطانی به دست آمده برای رانندگان برابر ۰/۰۰۲۶۴ است. در نتیجه خطر ابتلای ۳ نفر از رانندگان در طول عمر خود به انواع بیماری‌های سرطانی افزایش می‌یابد. همچنین، افزایش احتمال ابتلا به انواع سرطان برای یک نفر از کارکنان پایانه و یک نفر از مسافران به علت حضور در پایانه وجود دارد. به طور کلی برای ۵ نفر از افراد در پایانه افزایش احتمال ابتلا به سرطان وجود دارد.

در پایانه اتوبوس‌رانی بیهقی با استفاده از نتایج مدل‌سازی آلودگی هوا، اندیس مخاطره استنشاق آلاینده‌ها برای رانندگان برابر ۳/۷۳۷، برای کارکنان محوطه برابر

### منابع

شریفی، م. ۱۳۸۷. بررسی آلودگی هوای ناشی از پایانه‌های مسافری در بافت شهری اطراف آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.



عباس‌پور، م. ۱۳۹۰. مدل‌سازی آلودگی هوا، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

غیاث‌الدین، م. ۱۳۷۳. آلودگی هوا، انتشارات دانشگاه تهران.

فرجی‌ملاثی، ا.، عظیمی، آ.، پوراحمد، ا. ۱۳۹۱. ابعاد پایداری حمل و نقل عمومی شهری با تأکید بر BRT، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.

کهرزادی، ا.، انصاری، ا.، رحیمی، ع.، حسن‌زاده، م. ۱۳۹۱. اتوبوس‌های تندرو (BRT) و نقش آن در توسعه پایدار حمل و نقل شهری، اولین همایش ملی بررسی راهکارهای ارتقای مباحث مدیریت، حسابداری و مهندسی صنایع در سازمان‌ها.

نجف، پ.، الهی، ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر احداث خطوط ویژه اتوبوسرانی (BRT) بر میزان انتشار آلاینده‌ها، دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.

Adams, H.S, Nieuwenhuijsen, M.J, N Colville, R. 2001. Determinants of fine particle (PM2.5) personal exposure levels in transport microenvironments, Atmospheric Environment.

EPA 2002. A Review Of Reference Dose and Reference Concentration Progress, U.S. EPA. EPA/630/P-02/002A.

EPA 2008. Office of Transportation and Air Quality, Idling Vehicle Emissions for Passenger Cars, Light-Duty Trucks, and Heavy-Duty Trucks, EPA420-F-08-025.

Hall, D.J., Spanton, A.M, Dunkerley, F., Bennett, M., Griffiths, R.F. 2000. An Inter-comparison of the AERMOD, ADMS and ISC Dispersion Models for Regulatory Applications, R&D Technical Report P362. ISBN 1 85705 340 0.

IPCS 2004. IPCS risk assessment terminology, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

IPCS 2009. Principles for modelling dose-response for the risk assessment of chemicals, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.

Shafie-Pour, M., Tavakoli, A. 2013. On-Road Vehicle Emissions Forecast Using IVE Simulation Model, International Journal of Environmental research, 7(2):367-376. ISSN: 1735-6865.

World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life Geneva.