

## Modeling of PM<sub>10</sub> Pollution Range of Meybod-Ardakan and Ardakan-Nain Highways and Health Risk Assessment of Surrounding Residents Using IVE and AERMOD Models

Shojaee Barjoe S\*<sup>1</sup>, Azimzadeh H.R.<sup>1</sup>, Talebi Varagoon V<sup>2</sup>, Abbasi M.J.<sup>3</sup>, Sodaiezhadeh H<sup>1</sup>

1. Department of Environmental, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

2. Department of Nature Engineering, School of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Yazd, Iran

3. Department of Forestry, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

\*Corresponding author. Tel: +989138368436, Fax: +983518210312, E-mail: said.shojaee71@gmail.com

Received: Aug 18, 2019

Accepted: Aug 18, 2020

### ABSTRACT

**Background & objectives:** Air pollution is considered as an ultrastructural element in urban transportation systems as an important indicator of human health. Therefore, the purpose of this study was to investigate the PM<sub>10</sub> pollution range of two main highways of Ardakan city and determine the contribution of these highways to the health risk of their residents due to exposure to these pollutants by modeling method.

**Methods:** This descriptive-analytical, cross-sectional study was conducted on two highways of Meybod Ardakan and Ardakan Nain. IVE and AERMOD models were used for estimation of emission rate of PM<sub>10</sub> in four seasons of the year, and also dispersion and exposure rates to PM<sub>10</sub>. The information required to run the models was collected by observational statistics, information from the police research center and the meteorological research center of Yazd province. By identifying six PM<sub>10</sub> exposure groups in the pollution range of these two highways, the health risk assessment was performed using the proposed USEPA relationships.

**Results:** In four seasons of the year, the mean and maximum concentration of PM<sub>10</sub> of Meybod Ardakan highway were predicted more than Ardakan Nain highway.

Although the minimum 24-hour and annual concentrations of PM<sub>10</sub> dispersion in Ardakan Nain Highway were less than that of Meybod Ardakan, the pollution limit of this highway was predicted more. Among the six groups exposed to PM<sub>10</sub> in all time intervals, the highest exposure belonged to Ardakan Naein road police and the least to residents of Shahid Paydar Park. Cancer and non-cancerous risk exposure to PM<sub>10</sub> was estimated in acceptable range in all age groups and categories.

**Conclusion:** With the modeling method used, the contribution of the two investigated highways in predicting the health risk of surrounding residents was within the acceptable range.

**Keywords:** Risk Assessment; AERMOD; IVE; PM<sub>10</sub>; Highway

# مدلسازی محدوده آلاینده $PM_{10}$ انتشاریافته از بزرگراه‌های میبد اردکان و اردکان نائین و ارزیابی ریسک سلامت ساکنین اطراف آن‌ها به کمک مدل‌های AERMOD و IVE

سعید شجاعی برجوئی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا عظیم زاده<sup>۱</sup>، وحید طالبی و راعون<sup>۲</sup>، محمد جواد عباسی سریزدی<sup>۳</sup>،  
حمید سودائی زاده<sup>۱</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
۲. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران  
۳. گروه مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۳۸۳۶۸۴۳۶ فکس: ۰۳۵۱۸۲۱۰۳۱۲ ایمیل: said.shojaee71@gmail.com

## چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی هوا به عنوان یک عنصر فراساختاری در سیستم حمل و نقل شهری به عنوان یک شاخص مهم در سلامت زندگی انسان‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی محدوده آلاینده  $PM_{10}$  انتشار یافته از دو بزرگراه اصلی شهرستان اردکان و تعیین سهم این بزرگراه‌ها در ایجاد ریسک سلامت ساکنین اطراف آنان در اثر مواجهه با این آلاینده به روش مدلسازی است.

**روش کار:** این پژوهش به صورت توصیفی، تحلیلی و مقطعی برای دو بزرگراه میبد اردکان و اردکان نائین صورت گرفت. برای تخمین نرخ انتشار در چهار فصل سال، پراکندگی و مواجهه ۲۴ ساعته و سالانه با  $PM_{10}$  از دو مدل IVE و AERMOD استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل‌ها با آماربرداری از طریق مشاهده، اطلاعات مرکز تحقیقات نیروی انتظامی و مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد جمع‌آوری گردید. با تعیین شش گروه مواجهه با  $PM_{10}$  در محدوده آلاینده‌گی این دو بزرگراه، ارزیابی ریسک سلامت با استفاده از روابط پیشنهادی USEPA انجام شد.

**یافته‌ها:** در چهار فصل سال، میانگین و حداکثر غلظت محیطی  $PM_{10}$  از بزرگراه میبد اردکان بیشتر از بزرگراه اردکان نائین پیش‌بینی شد. هرچند حداقل غلظت‌های ۲۴ ساعته و سالانه پراکندگی  $PM_{10}$  بزرگراه اردکان نائین کمتر از میبد اردکان بود اما محدوده آلاینده‌گی این بزرگراه بیشتر پیش‌بینی شد. در بین شش گروه مواجهه با  $PM_{10}$  در کلیه بازده‌های زمانی، بیشترین مواجهه مربوط به پلیس راه اردکان نائین و کمترین مربوط به ساکنین پارک شهید پایدار بود. ریسک سرطانی و غیرسرطانی مواجهه با  $PM_{10}$  در کلیه گروه‌ها و رده‌های سنی قابل قبول تخمین زده شد.

**نتیجه‌گیری:** با روش مدلسازی مورد استفاده، سهم دو بزرگراه مورد بررسی در ایجاد ریسک سلامتی ساکنین اطراف در محدوده قابل قبول پیش‌بینی شد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی ریسک، AERMOD، IVE،  $PM_{10}$ ، بزرگراه

پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۸

دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۷

## مقدمه

در سلامت زندگی انسان‌ها در نظر گرفته می‌شود (۱). حمل و نقل همانند دیگر نیازهای بشر جزء لاینفک

آلودگی هوا به عنوان یک عنصر فراساختاری در سیستم حمل و نقل شهری به عنوان یک شاخص مهم

زندگی امروزی است که باعث مصرف انواع سوخت‌های فسیلی شده و دارای پیامدهایی چون تغییر در تعادل طبیعی محیط زیست و کاهش منابع سوخت می‌شود (۲). فقط در قرن حاضر است که چنین شمار انبوهی از اتومبیل‌ها در دسترس انسان می‌باشد و به دنبال آن توسعه بی‌رویه جاده‌های شهری سبب افزایش حجم ترافیک و عوارض زیست محیطی می‌شود. همچنین آمارهای سازمان ملل نشان می‌دهد که ۷۶ درصد آلودگی‌های هوای جهان متعلق به تردد وسایل حمل و نقل می‌باشد (۳). تردد خودروها در بزرگراه یکی از منابع اصلی تولید  $PM_{10}$  در مناطق شهری است. مطالعات پاتولوژیکی بی شماری به اثبات رسانیده‌اند  $PM_{10}$  به علت توانایی نفوذ به داخل آلول‌های ریوی رابطه مستقیمی با اثرات نامطلوب بهداشتی شامل آسم و بیماری‌های قلبی عروقی، عقب ماندگی ذهنی کودکان، اختلالات تنفسی، حملات حاد قلبی، عوارض عصبی و بینایی، کم خونی، افزایش مرگ و میر ناشی از سکنه‌های قلبی و مغزی، جبهش‌های ژنی و سقط جنین و مرگ و میر دارد (۴، ۵، ۶ و ۷). بر اساس سند مربوط به معیارهای کیفی هوا برای ذرات معلق در سال ۱۹۹۶، ذکر گردیده که خطر نسبی برای مرگ و میرهای غیرتصادفی با ازدیاد  $PM_{10}$  به اندازه  $50 \mu g/m^3$  طی ۲۴ ساعت، از  $1/0.15$  تا  $1/0.85$  (یعنی  $1/5$  تا  $8/5$  درصد) مرگ و میر افزایش خواهد داد (۸). ارزیابی ریسک سلامت فرآیندی است که به تخمین ریسک اندام مورد نظر، سیستم یا جمعیت می‌پردازد. این روند شامل شناسایی عدم قطعیت‌های وابسته، مواجهه عوامل مشخص بعدی، در نظر گرفتن خصوصیات اصلی عوامل نگران کننده علاوه بر خصوصیات سیستم مورد نظر است. طبق بررسی‌های انجام شده، روش‌های متعددی جهت برآورد میزان مواجهه افراد با عوامل خطر محیطی به عنوان یکی از مراحل کلیدی ارزیابی ریسک سلامت وجود دارد که شامل استفاده از پرسشنامه، داده‌های فعالیت- زمان، پایش محیطی،

پایش فردی، پایش بیولوژیکی، مدلسازی مواجهه است (۸). نمونه ای از مطالعاتی که با پایش مستقیم از آلاینده‌ها، اقدام به ارزیابی ریسک سلامت نموده اند؛ می‌توان به مطالعه محمد (۲۰۱۷) در رابطه با تخمین ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی مواجهه با  $PM_{10}$  در بخش‌های مختلف شهر ماکاه عربستان سعودی و مطالعه ددو و همکاران با هدف ارزیابی ریسک سلامت مواجهه کودکان و بزرگسالان با  $PM_{10}$  و بنزن در سه شهر ایتالیا اشاره نمود (۹، ۱۰). گاهی اندازه‌گیری مواجهه برای هر فردی در جمعیت مورد نظر به دلایل اقتصادی، فنی و لجستیکی، عملی و امکان‌پذیر نیست. در این گونه موارد یک مدل می‌تواند برای توصیف کمی اینکه چگونه تماس بین افراد و عامل خطرناک رخ می‌دهد مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از مدل در واقع یک توصیف ریاضی است که معرف اجزای اصلی در فرآیندهای مواجهه به صورتی ساده شده است (۱۱). کاربرد مدل، ایجاد قابلیت پیش‌بینی مواجهه انسانی و دیگر انواع مواجهات در غیاب داده‌های پایشی کامل یا دیگر داده‌ها است. از مزایای مدل این است که ارزیاب را قادر می‌سازد تا با داده‌های خیلی کم، دوز و مواجهه را تخمین بزند. اخیراً برخی روش‌ها و رویکردهای نوین در بخش ارزیابی مواجهه توسعه پیدا کرده‌اند که می‌توانند اطلاعات دقیق‌تری از میزان مواجهه افراد در اختیار محقق قرار دهند (۱۲). در این راستا، مدل‌های ضرایب انتشار و پراکندگی توسعه یافته‌اند که به کمک آن‌ها می‌توان پراکندگی و میزان مواجهه غیرمستقیم با آلاینده‌ها را مدلسازی نمود. مدل AERMOD یکی از مدل‌های پیشرفته گوسین است که برای مدلسازی پخش آلاینده‌های هوا از انواع منابع نقطه‌ای (دودکش صنایع)، خطی (جاده‌ها و بزرگراه‌ها) و انواع مختلف منابع سطحی و برای فواصل کمتر از ۵۰ کیلومتر از منابع انتشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم افزار نخستین بار در سال ۱۹۹۱ توسط انجمن هواشناسی آمریکا با همکاری آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا

تهیه شد (۱۳). مدل AERMOD با توجه به فرضیات و الگوریتم‌های ویژه خود، برای اهداف مختلف محیط زیستی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این مدل در مطالعه کلهر و همکاران برای ارزیابی مدل AERMOD در تخمین غلظت محیطی  $PM_{10}$  انتشاریافته از دودکش‌های صنایع فولاد (منابع نقطه‌ای) منعکس شده است (۱۴). مختار و همکاران با استفاده از مدل AERMOD ریسک‌های سرطانی مواجهه کوتاه‌مدت و بلندمدت با کروم و آرسنیک ناشی انتشارات نیروگاه زغال سنگ مالزی پیش‌بینی نمودند (۱۵). یکی از مدل‌های که قابلیت برآورد نرخ انتشار آلاینده‌های هوا را دارد، مدل بین‌المللی انتشارات وسایل نقلیه<sup>۱</sup> بوده 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 خودروهای محلی و توزیع آن‌ها، فاکتورهای رانندگی بر اساس توان خودروها و پارامترهای هواشناسی به تخمین نرخ انتشار آلاینده می‌پردازد. این مدل بر اساس سناریوهای متفاوت، انواع تکنولوژی، نوع سوخت، تعمیر و نگهداری، الگوهای رانندگی و اثر روش‌های متفاوت کنترل آلودگی طراحی شده است (۱۶). مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک سلامت ساکنین اطراف بزرگراه‌های میبد اردکان و اردکان نائین در اثر مواجهه با  $PM_{10}$  انتشاریافته بزرگراه‌ها از طریق اطلاعات و محاسبات مدل‌های IVE و AERMOD انجام شده است. در ادامه به بررسی پراکندگی و محدوده آلاینده‌گی هریک از بزرگراه‌ها خواهیم پرداخت. بدون شک نتایج

<sup>1</sup> International Vehicle Emissions- IVE

این پژوهش از یک دیدگاه می‌تواند رویکرد نوین استفاده از مدل‌های ضرایب انتشار و پراکندگی در مطالعات ارزیابی ریسک سلامت انسان ارائه دهد و از دیدگاه دیگر سهم این دو بزرگراه در ایجاد ریسک‌های سلامت ساکنین اطراف آن‌ها آشکار خواهد شد.

### روش کار

این مطالعه توصیفی، تحلیلی و مقطعی در سال ۱۳۹۷ در مقیاس محلی در شهرستان اردکان انجام شد. متغیر اول مورد مطالعه در این پژوهش شامل دو بزرگراه میبد اردکان و اردکان نائین (که باعث انتشار  $PM_{10}$  در نواحی اطراف می‌شوند) و متغیر دوم جمعیتی از افراد ساکن در نواحی مختلف منطقه مورد بررسی است که مواجهه مستقیم با  $PM_{10}$  انتشاریافته از بزرگراه‌ها دارند. وسعت محدوده انتخابی برای مدلسازی تقریباً برابر با ۲۴ کیلومتر مربع و موقعیت بزرگراه‌های مورد بررسی شامل  $30^{\circ} 32'$  تا  $32^{\circ} 44'$  عرض شمالی و  $53^{\circ} 23'$  تا  $57^{\circ} 04'$  طول شرقی در ارتفاع میانگین ۱۰۵۰ متر از سطح دریا است. این بزرگراه‌ها از یک سو به گذرگاه حلقوی میبد اردکان و از سوی دیگر به محورهای بزرگراه‌های میبد، اشکذر و یزد اتصال می‌یابند. منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی دارای کاربری‌های نظیر شهرسازی، شهرک صنعتی، زمین کشاورزی و بیابانی است. آب و هوا منطقه مورد مطالعه گرم و خشک بوده و جهت باد غالب منطقه از سمت شمال به سمت جنوب است. این منطقه با متوسط بارش سالیانه کمتر از ۶۰ میلیمتر، از کمترین پوشش گیاهی برخوردار می‌باشد (شکل ۱).



با توجه به استقرار صنایع در کنار بزرگراه‌های میبد- اردکان و اردکان- نائین و سپیم بودن هریک از این منابع آلاینده در انتشار  $PM_{10}$ ، بنابراین تعیین سهم بزرگراه‌های مورد بررسی در افزایش غلظت محیطی  $PM_{10}$  منطقه و پیش‌بینی میزان خطرات آن‌ها بر سلامت ساکنین ضروری است (۱۷). برای ارزیابی ریسک سلامت جمعیت تحت تاثیر، ابتدا از مدل IVE برای تخمین نرخ انتشار  $PM_{10}$  از بزرگراه‌ها در چهار فصل سال استفاده شد. بدین منظور ابتدا اطلاعات اولیه (که شامل تعداد خودروهای عبوری در هر ساعت، نوع خودروها و سرعت متوسط آن‌ها در بزرگراه بود) برای تخمین نرخ انتشار  $PM_{10}$  در بزرگراه‌های مورد بررسی، با آماربرداری از طریق مشاهده و استفاده از اطلاعات مرکز تحقیقات نیروی انتظامی به دست آمد. همچنین داده‌های ورودی

Minimum RPM Index=0/9 (ξ)

در روابط فوق پارامترهای: V بیانگر سرعت متوسط، a شتاب متوسط و grade شیب بزرگراه، ES تنش موتور، Preaverage Power بیانگر متوسط توان موتور در هر لحظه و RPM Index شاخص دور موتور است. برای تعیین درصد زمانی که خودرو در هر یک از شرایط کاری قرار دارند به عبارتی توزیع

VSP BIN ها از دو پارامتر تنش موتور و VSP استفاده شد. در تقسیم بندی تنش خودروها، BINهای صفر تا ۱۹ بیانگر تنش خودرو در حالت کم، ۲۰ تا ۳۹ بیانگر تنش متوسط خودرو، ۴۰ تا ۵۹ بیانگر تنش زیاد خودرو در بزرگراه می باشد.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی منطقه، پارامترهای کیفیت سوخت و سایر اطلاعات ورودی مدل IVE

۲۵/۲۵	بهار	میانگین دما	اطلاعات هواشناسی
۳۰/۷۵	تابستان		
۱۳/۸۴	پاییز		
۱۲/۴۶	زمستان		
۳۱/۸۲	بهار	میانگین رطوبت نسبی (%)	
۱۱/۹۵	تابستان		
۲۴/۶۵	پاییز		
۲۶/۸۱	زمستان		
۳/۳۶	بهار	میانگین سرعت باد (m/s)	
۳/۰۳	تابستان		
۱/۹۲	پاییز		
۲/۵۴	زمستان		
۲۱۸	بهار	میانگین جهت باد (درجه)	
۱۹۷	تابستان		
۲۰۷	پاییز		
۱۹۷	زمستان		
۳	بهار	میانگین ابرناکی	
۲	تابستان		
۱	پاییز		
صفر	زمستان		
۸۸۶/۸۵	بهار	میانگین فشار ایستگاه هواشناسی	
۸۸۳/۴۰	تابستان		
۸۹۲/۶۸	پاییز		
۸۸۸/۹۷	زمستان		
برآورد کلی کیفیت سوخت (overall): معمولی، سرب (صفر)، بنزن متوسط (۱٪)، اکسیژن (۲/۵٪)، گوگرد کم (۵۰ppm)			بنزینی
برآورد کلی کیفیت سوخت (overall): معمولی، گوگرد متوسط (۵۰۰ ppm)			دیزلی
۵۰			ضریب A/C
۲٪			شیب بزرگراه
استفاده از سیستم تهویه در تابستان و زمستان			وضعیت استفاده از سیستم تهویه

پس از وارد نمودن کلیه داده‌های ورودی مورد نیاز مدل IVE، نرخ انتشار  $PM_{10}$  از بزرگراه‌ها تخمین زده شد. با توجه به تردد خودروها در دو بزرگراه و تعداد آن‌ها در ساعات مختلف روز، متوسط نرخ انتشار آلاینده‌های هوا با واحد  $g/h$  تعیین گردید. پس از تخمین نرخ انتشار  $PM_{10}$  توسط مدل IVE، برای ترسیم الگوی پراکندگی  $PM_{10}$  مواجهه محیطی با این آلاینده در پیرامون هریک از بزرگراه‌ها از مدل AERMOD نسخه ۸/۹ استفاده گردید. این مدل شامل دو پیش پردازنده هواشناسی به نام AERMET برای تهیه اطلاعات هواشناسی به فرمت مناسب (SFC و PFL) و پیش پردازنده AERMAP برای تهیه اطلاعات توپوگرافی منطقه به فرمت مناسب DEM برای پردازنده اصلی AERMOD است. برای اجرای این مدل نرخ انتشار  $PM_{10}$  تخمین زده شده از بزرگراه‌ها، اطلاعات اقلیمی شامل اطلاعات هواشناسی سطحی (اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک میبد) شامل سرعت باد، جهت باد، ابرناکی، رطوبت نسبی، فشار ایستگاه و دمای هوای خشک برای بازده زمانی یک ساله (که از مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد به صورت میانگین سه ساعته تهیه شد) و اطلاعات کاربری اراضی شامل آلیبدو، زبری سطح و نسبت بوون برای سه کاربری بیابان، زراعی و شهر بود وارد مدل گردید. همچنین در این مطالعه به علت مسطح بودن ناحیه مدلسازی از DEM ۹۰ متری SRTM3 قابل دانلود از ماژول AERMAP استفاده گردید. در این مطالعه به علت عدم اندازه‌گیری داده‌های جو بالا (به عنوان یکی از داده‌های هواشناسی ضروری برای اجرای پیش پردازنده AERMET) در ایستگاه سینوپتیک میبد، از گزینه پیش فرض مدل برای تخمین داده‌های جو بالا استفاده شد. برای به دست آوردن سه پارامتر آلیبدو، زبری سطح و نسبت بوون، ابتدا نوع کاربری سرزمین در منطقه مورد مطالعه با بازدیدهای میدانی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به دست آمد. سپس با واردنمودن

نوع کاربری‌های شناسایی شده در زاویه مشخصی نسبت به جهت شمال منطقه، سه پارامتر مذکور توسط پیش پردازنده AERMET به طور اتوماتیک تعیین گردید. برای ترسیم نحوه پراکندگی  $PM_{10}$  شبکه‌ای از ۴۴۱ گیرنده از نوع کارترین یکنواخت<sup>۱</sup> و برای به دست آوردن مواجهه محیطی با  $PM_{10}$  در گروه‌های مواجهه، شش گیرنده مجزا<sup>۲</sup> با ارتفاع پایه ۱/۵ متر از سطح زمین معادل میانگین ارتفاع تنفسی انسان در محیط نرم افزار AERMOD تعیین شد. شش گروه از افرادی که به عنوان گیرنده‌های اصلی آلاینده  $PM_{10}$  در نواحی مختلف محدوده مدلسازی بودند شامل یک نگهبانی مستقر در بخش ورودی صنایع کاشی و سرامیک در ناحیه مدلسازی، افرادی که بیشتر اوقات خود را در پارک شهید پایدار می‌گذرانند، ساکنین روستای ترک آباد، کارگرانی که در کارخانه روباز فراوری شن و ماسه مشغول به کار بودند، همچنین افراد شاغل در شهرک صنعتی و پلیس راه اردکان نائین بود. سایر اطلاعات تکمیلی برای مدلسازی مواجهه محیطی با  $PM_{10}$  در محیط نرم افزار AERMOD شامل طول و عرض بزرگراه‌ها و ارتفاع از سطح آب‌های آزاد وارد نرم افزار گردید. در نهایت خروجی‌های مدل AERMOD به دو شکل نقشه‌های پراکندگی  $PM_{10}$  و میزان مواجهه با  $PM_{10}$  در گیرنده‌های مجزا برای متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه بر حسب  $\mu g/m^3$  به دست آمد. خروجی‌های AERMOD در این پژوهش شامل ماکسیمم‌های غلظت اتفاق افتاده در منطقه در ساعتی مشخص از روز و در ماه مشخصی از سال در یک گیرنده است. خروجی دوم میانگین غلظت  $PM_{10}$  در کلیه گیرنده‌های شبکه در ساعت مشخصی از روز و در ماه مشخصی از سال است. بعد از طی نمودن مراحل مذکور، مقادیر ماکسیمم و متوسط غلظت  $PM_{10}$  شبیه سازی شده توسط مدل در متوسط زمانی

<sup>۱</sup> Uniform Cartesian Grid<sup>۲</sup> Discrete Cartesian Receptors

۲۴ ساعته با استاندارد NAAQS مربوط به سال ۲۰۱۶ مقایسه گشت (۱۸).

ارزیابی ریسک سلامت فرآیندی چند مرحله است که بر اساس متد ارائه شده توسط سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA) برای دو طبقه سنی کودک و بزرگسال انجام می‌شود. در این بررسی هر دو نوع ریسک‌های سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا در اثر مواجهه با  $PM_{10}$  از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مدنظر قرار گرفت و مقادیر جذب روزانه  $PM_{10}$  (ADD) در هریک از مسیرها با استفاده از روابط ۵، ۶ و ۷ محاسبه شد (۱۹).

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (5)$$

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{BW \times AT \times PEF} \quad (6)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C \times SA \times SL \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (7)$$

که در آن  $ADD_{ing}$ ،  $ADD_{inh}$  و  $ADD_{dermal}$  به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه  $PM_{10}$  برحسب  $\mu g/m^3/day$  از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است، C غلظت ۲۴ ساعته و سالانه  $PM_{10}$  شبیه سازی شده در AERMOD بر حسب میلی گرم بر متر مکعب، BW وزن متوسط بدن که برای کودکان ۱۵ و بزرگسالان ۷۰ kg،  $R_{ing}$  نرخ بلعیدن که برای کودکان برابر با ۲۰۰ و برای بزرگسالان برابر با ۱۰۰  $mg/day$  است،  $R_{inh}$  نرخ استنشاق که برای کودکان برابر با ۷/۶ و برای بزرگسالان ۲۰ متر مکعب در روز در نظر گرفته می‌شود، PEF بیانگر فاکتور انتشار که برای هر دو طبقه سنی  $1/36 \times 10^9$  بر حسب  $kg/m^3$  است، SA ناحیه‌ای از پوست که در تماس با ذرات هوا برد می‌باشد. مقدار این پارامتر برای کودکان برابر با ۲۸۰۰ و برای بزرگسالان  $5700 \text{ cm}^2$  است. SL فاکتور چسبندگی پوست است که برای کودکان برابر با ۰/۲ و برای بزرگسالان برابر با  $0.07 \text{ mg/m}^2$  می‌باشد. EF بیانگر فراوانی مواجهه و مقدار آن برابر با ۱۸۰

روز در سال برای دو طبقه سنی می‌باشد.  $ED^1$  بیانگر زمان مواجهه که برای کودکان برابر با ۶ ساعت و برای بزرگسالان برابر با ۲۴ ساعت، AT برای ریسک‌های سرطان‌زایی برابر  $70 \times 180$  روز و برای ریسک‌های غیرسرطانی  $ED \times EF$  روز، برای هر دو طبقه سنی می‌باشد.  $ABS^2$  فاکتور جذب پوستی که برای هر دو طبقه سنی برابر با ۰/۰۱ (بدون واحد) در نظر گرفته می‌شود.  $CF^3$  فاکتور تبدیل که مقدار آن برابر با  $1 \times 10^{-6} \text{ mg/kg}$  می‌باشد. پس از اینکه میانگین جذب روزانه  $PM_{10}$  از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی محاسبه شد، ریسک غیرسرطان‌زایی (HQ) بر اساس تقسیم جذب روزانه به یک جذب مرجع خاص ( $R/D$ ) با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد (۲۰).

$HQ_i$  نسبت خطر غیرسرطان‌زایی در هر مسیر جذب،  $ADD_i$  مقادیر جذب روزانه  $PM_{10}$  از طریق مسیرهای بلع، تنفس و جذب پوستی ( $mg/kg/day$ ) و  $R/D_i$  دوز مرجع که برآورد حداکثر خطرپذیری در جمعیت انسانی از طریق قرار گرفتن در معرض روزانه  $PM_{10}$  در طول عمر است که مقدار آن برابر با  $1/1 \times 10^{-2} \text{ mg/kg/day}$  در نظر گرفته می‌شود. اگر میانگین جذب روزانه کمتر از جذب مرجع باشد هیچ اثر نامطلوبی بر سلامتی نخواهد داشت، در غیر این صورت اگر مقدار جذب روزانه بالاتر از  $R/D_i$  باشد احتمال دارد که باعث اثر نامطلوب بر روی سلامت انسان شود. اگر  $HQ \leq 1$  باشد، با سلامت انسان ناسازگار نیست و اگر  $HQ \geq 1$  باشد، اثرات نامطلوب و نگران کننده‌ای بر سلامت انسان دارد. مقدار شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرها برای هر دو گروه بزرگسال و کودکان طبق رابطه ۹ به دست می‌آید (۲۱).

<sup>1</sup> Exposure Duration

<sup>2</sup> Absorbtion

<sup>3</sup> Conversion Factor



نوسانات سرعت سیر در بزرگراه میبد اردکان نسبت به بزرگراه اردکان نائین بیشتر است. به طوری از نظر درصد فراوانی تنش خودروها در بزرگراه نتایج نشان داد در بزرگراه اردکان نائین ۱۰۰ درصد خودروها در کلاس کم تنش قرار دارند. در حالی که در بزرگراه میبد اردکان ۵۸/۸، ۳۱/۵ و ۱۲/۶ درصد خودروها به ترتیب در کلاس کم، متوسط و زیاد قرار داشتند. بر اساس نتایج آماربرداری و داده‌های مشاهداتی، ۲۳ نوع تکنولوژی شناسایی شد که در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج توزیع ترکیب و نرخ انتشار  $PM_{10}$  تخمین زده شده برای هر دسته از ناوگان در مدل IVE نشان داد در بزرگراه میبد اردکان، حدود ۶۷ درصد ناوگان از نوع سنگین است که باعث انتشار  $0.040 g/h$ ،  $PM_{10}$  می‌شوند. ۲۲ و ۱۱ درصد دیگر به ترتیب مربوط به وسایل نقلیه نیمه سبک و سبک هستند که باعث انتشار  $0.019 g/h$  و  $0.01 g/h$   $PM_{10}$  می‌شوند. در حالی که در بزرگراه اردکان نائین سهم خودروهای سنگین به ۲۰ درصد تقلیل می‌یابد و نرخ انتشار حدود  $0.011 g/h$  است. حدود ۵۰ و ۳۰ درصد باقی‌مانده مربوط به خودروهای سبک و نیمه سبک است. نرخ انتشار  $PM_{10}$  از این ناوگان به ترتیب برابر با  $0.012 g/h$  و  $0.02 g/h$  است.

در جدول ۳، نتایج برآیند نرخ انتشار  $PM_{10}$  تخمین زده شده بر حسب گرم بر ساعت، از کلیه وسایل نقلیه متردد در دو بزرگراه مورد بررسی برای هر یک از فصول مختلف سال توسط مدل IVE، نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در کلیه فصول سال، نرخ انتشار  $PM_{10}$  از بزرگراه میبد اردکان بیشتر از اردکان نائین است. همچنین نرخ انتشار  $PM_{10}$  در دو فصل زمستان و تابستان بیشتر از پاییز و بهار است که دلیل آن به استفاده از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در این فصول بر می‌گردد.

$$HQ_i = \sum \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad (8)$$

$$HI = \sum HQ_i \quad (9)$$

شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) نشان‌دهنده شدت اثرات نامطلوب  $PM_{10}$  از کل مسیرهای مواجهه انسان است. اگر مقدار  $HQ \leq 1$  باشد اعتقاد بر این است که هیچ ریسک مهمی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی وجود ندارد و اگر  $HQ \geq 1$  باشد به این معنی است که شانس زیادی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی و احتمال افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی با افزایش مقدار HI وجود دارد. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی هریک از مسیرهای سه گانه برای  $PM_{10}$  با استفاده از رابطه ۱۰ انجام شد.

$$\text{Carcinogenic risk (CR)} = \sum ADD_i \times SF_i \quad (10)$$

در معادله فوق CR خطر سرطان‌زایی،  $ADD_i$  مقادیر جذب روزانه  $PM_{10}$  در هریک از مسیرهای قرار گیری در معرض  $PM_{10}$  ( $mg/kg/day$ ) و  $SF_i$  فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض  $PM_{10}$  ( $mg/kg/day$ ) است که مقادیر این فاکتور توسط محمد (۲۰۱۷) برابر با  $2 \times 10^{-6} mg/kg/day$  ارائه شده است (۹). کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری اعم از میانگین، انحراف استاندارد، چولگی، کشیدگی، درصد ضریب تغییرات و آزمون کولموگروف اسمیرنوف در نرم افزار SPSS صورت گرفت.

### یافته‌ها

بر اساس نتایج به دست آمده کمترین سرعت حرکت در بزرگراه میبد اردکان برابر با ۹۰ کیلومتر بر ساعت و بیشترین برابر با ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. کمترین این مقادیر در بزرگراه اردکان نائین برابر با ۲۰  $km/h$  و بیشتری ۱۲۰  $km/h$  است.

جدول ۲. توصیف تکنولوژی‌های مورد استفاده در مدل IVE

شاخص	کارکرد خودرو	محفظه تبخیر	اگزوز	سیستم سوخت رسانی	وزن	سوخت	خودرو
۲۰۳	Km۱۶۱>	PCV	EuroIV	MPFI	Med	Petrol	Auto/SmTk
۲۰۲	km ۱۶۱-۸۰	PCV	EuroIV	MPFI	Med	Petrol	Auto/SmTk
۱۰۳	km ۱۶۱-۸۰	PCV	None	MPFI	Med	Petrol	Auto/SmTk
۹۹	km۷۹<	PCV	None	MPFI	Lt	Petrol	Auto/SmTk
۱۰۴	Km۱۶۱>	PCV	None	MPFI	Med	Petrol	Auto/SmTk
۷۵۶	km۷۹<	EGR+Impro	None	DI	Med	Diesl	Auto/SmTk
۱۰۲	km۷۹<	PCV	None	MPFI	Med	Petrol	Auto/SmTk
۴	Km۱۶۱>	PCV	None	Carburetor	Med	Petrol	Auto/SmTk
۱۸۲	Km۱۶۱>	PCV	Euro II	MPFI	Lt	Petrol	Auto/SmTk
۷۶۱	Km۱۶۱>	PCV	None	DI	Med	Diesl	Auto/SmTk
۲	Km۱۶۱>	PCV	None	Carburetor	Med	Petrol	Auto/SmTk
۷۵۹	km۷۹<	EGR+Impro	None	DI	Med	Diesl	Auto/SmTk
۷۶۰	km ۱۶۱-۸۰	EGR+Impro	None	DI	Med	Diesl	Auto/SmTk
۱۱۳۲	km ۱۶۱-۸۰	None	Euro II	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۳۳	Km۱۶۱>	None	Euro II	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۴۱	km ۱۶۱-۸۰	None	Euro III	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۴۲	Km۱۶۱>	None	Euro III	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۵۱	Km۱۶۱>	None	Euro IV	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۵۹	km ۱۶۱-۸۰	None	Euro V	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۵۸	km۷۹<	None	Euro V	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۳۸	km ۱۶۱-۸۰	None	Euro III	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۲۲	km۷۹<	None	EuroI	FI	HV	Diesl	Truck/Bus
۱۱۱۸	Km۱۶۱>	None	Euro I	FI	LT	Diesl	Truck/Bus

FI: تزریق سوخت / EGR+Impro: بیانگر سیستم کنترل کننده ای است که مقدار کمی از گازهای خروجی اگزوز را به محفظه احتراق بر می‌گرداند تا درجه حرارت زیاد کاهش یابد و به دنبال آن از میزان NOX کاسته شود / Auto/SmTk: خودروهای مسافری (اتومبیل، کامیون، وانت یا SUV) با وزن کمتر از ۴۰۸۲ کیلوگرم / Truck/Bus: کلیه خودروها با وزنی بیشتر از ۴۰۸۲ کیلوگرم / PCV: خودرو دارای سیستم کنترل کننده ای است که هوا را از کاترچ به محفظه ای احتراق می‌فرستد و برخی از انتشارات تبخیری را حذف می‌کند / Petrol: سوخت بنزینی / Diesl: سوخت دیزلی / Lt: خودروهای با اندازه موتور کمتر از ۱/۵ لیتر و وزن ۲۲۶۷/۹۶ کیلوگرم / HV: خودروها با اندازه موتور بیش از ۳ لیتر و وزن کمتر از ۴۰۸۲ کیلوگرم / Med: خودروها با اندازه موتور بیش از ۱/۵ لیتر و کمتر از ۳ لیتر با وزنی برابر با ۲۹۹۳ کیلوگرم / MPFI: سیستم سوخت رسانی چند نقطه / DI: سیستم تزریق مستقیم / None: خودرو فاقد تکنولوژی کنترل آلودگی است.

جدول ۳. نرخ انتشار PM<sub>۱۰</sub> از دو بزرگراه میبد اردکان و اردکان نائین در فصول مختلف سال

بزرگراه	مقادیر نرخ انتشار PM <sub>۱۰</sub> (بر حسب g/h)				
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین
میب- اردکان	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۷۴۷۵
اردکان- نائین	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶۷۵

با تعریف مختصات جغرافیایی نقاط گیرنده به صورت شبکه کارترین یکنواخت در مدل AERMOD، غلظت ماکسیمم و متوسط غلظت PM<sub>۱۰</sub> و نحوه پراکندگی آن شبیه سازی گردید. در جدول ۴ ماکسیمم‌های

غلظت و متوسط غلظت‌های محیطی PM<sub>۱۰</sub> در متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه برای هر یک از بزرگراه‌ها به صورت جداگانه و ترکیبی به همراه تاریخ رخداد ماکسیمم غلظت در ناحیه مدلسازی بر حسب

میکروگرم بر مترمکعب ارائه شده است. با در نظر گرفتن برآیند کلی انتشار  $PM_{10}$  از دو بزرگراه نتایج نشان داد ماکسیمم غلظت ۲۴ ساعته و سالانه به ترتیب  $5097 \mu g/m^3$  و  $1491 \mu g/m^3$  است. در صورتی که غلظت‌های متوسط در هر یک از متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه به ترتیب  $90/38 \mu g/m^3$  و  $18/87 \mu g/m^3$  به دست آمد. در کلیه مقادیر تخمین زده شده توسط مدل AERMOD سهم بزرگراه میبد اردکان در افزایش غلظت محیطی  $PM_{10}$  بیشتر از بزرگراه نائین اردکان پیش‌بینی شد. از آنجائیکه  $PM_{10}$  تاثیر مخربی بر روی سلامت انسان، حیوان، گیاه، ابنیه و غیره داشته و باعث ابتلا به انواع سرطان‌ها، بیماری‌های چشمی، اختلالات تنفسی، جهش ژنی می‌شود، بنابراین یکی از اقدامات

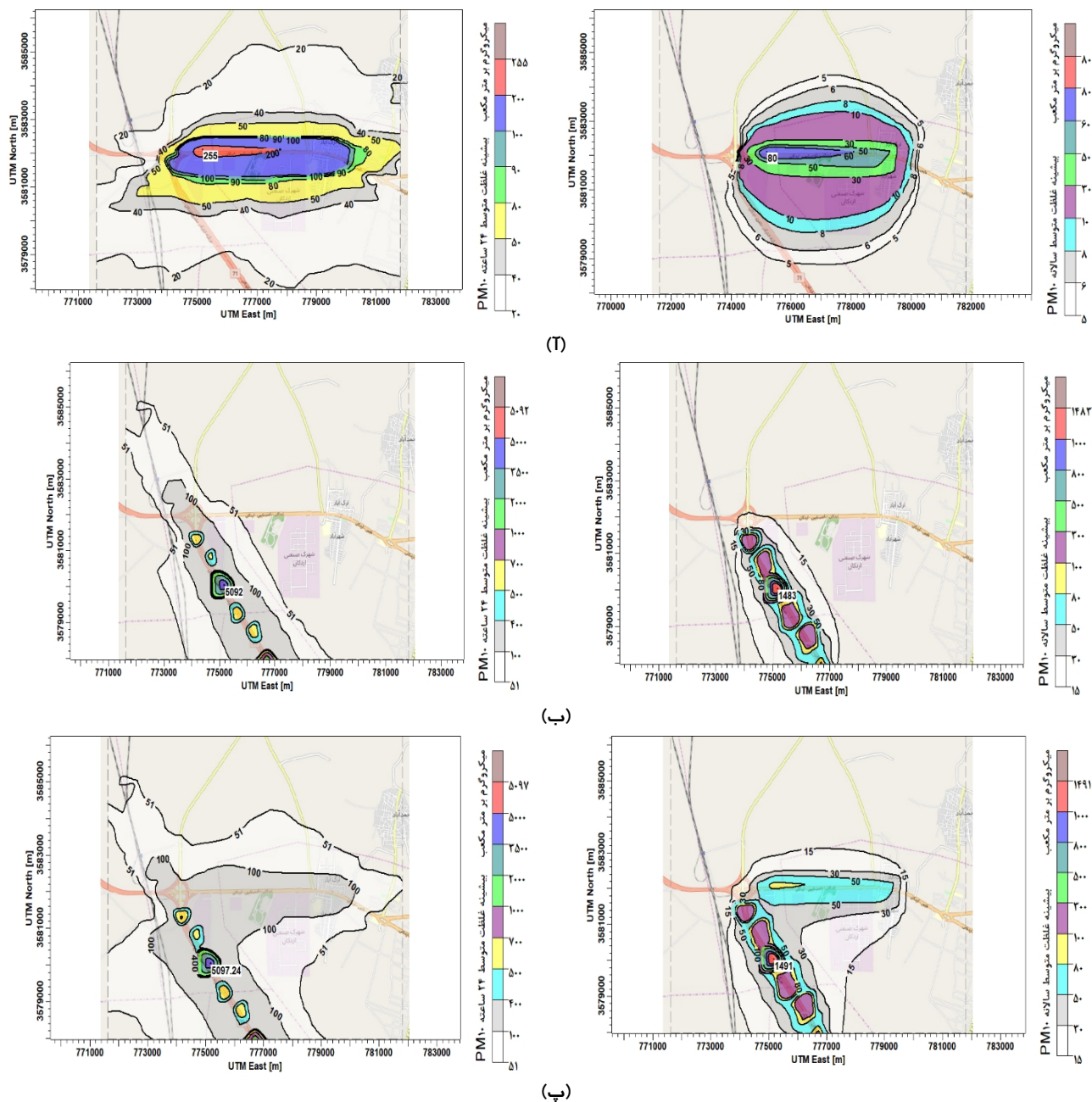
مهم و موثر به منظور کنترل کیفیت هوا، مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده  $PM_{10}$  با مقادیر استاندارد NAAQS است. استاندارد ملی کیفیت هوا (NAAQS) در سال ۲۰۱۶ تنها برای مواجهه ۲۴ ساعته با  $PM_{10}$  برابر با  $150 \mu g/m^3$  تعیین گردیده است (۱۴). نتایج حاصل از مقایسه غلظت شبیه‌سازی‌شده در تک‌تک گیرنده‌های محدوده مدل‌سازی با استاندارد مذکور نشان داد، مقادیر متوسط غلظت  $PM_{10}$ ، ۲۴ ساعته در ۴۳ گیرنده (۹۰/۷۵٪) بالاتر حدود مجاز و در ۳۹۸ (۹۰/۲۵٪) گیرنده پایین‌تر از حدود مجاز استاندارد ملی کیفیت هوا (NAAQS) است. برعکس مقادیر ماکسیمم غلظت شبیه‌سازی‌شده  $PM_{10}$  در متوسط زمانی ۲۴ ساعته بالاتر از حدود مجاز پیش‌بینی شد.

جدول ۴. مشخصات غلظت‌های ماکسیمم و متوسط  $PM_{10}$  در بازه زمانی مختلف در هر یک از بزرگراه‌ها

بزرگراه اردکان نائین								
متوسط زمانی	روز	ماه	سال	ساعت	ماکسیمم غلظت ( $\mu g/m^3$ )	مختصات X (m)	مختصات Y (m)	متوسط غلظت ( $\mu g/m^3$ )
۲۴ ساعته	۲۹	۳	۹۷	۲۴	۲۵۵	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۲۱۲۳	۳۶/۳۰
سالانه	-	-	-	-	۸۰/۰۹	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۲۱۲۳	۶/۸۹
بزرگراه میبد اردکان								
۲۴ ساعته	۲۹	۳	۹۷	۲۴	۵۰۹۲	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۰۰۴۲	۶۲/۶۹
سالانه	-	-	-	-	۱۴۸۳	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۰۰۴۲	۱۱/۹۸
بزرگراه‌های اردکان نائین و میبد اردکان								
۲۴ ساعته	۲۹	۳	۹۷	۲۴	۵۰۹۷	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۰۰۴۲	۹۰/۳۸
سالانه	-	-	-	-	۱۴۹۱	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۰۰۴۲	۱۸/۸۷

نتایج حاصل از محدوده آلاینده‌گی و حداقل غلظت پراکندگی  $PM_{10}$  پیرامون هر یک از بزرگراه‌های مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق نتایج، محدوده آلاینده‌گی  $PM_{10}$  در بازه‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه در بزرگراه اردکان نائین به ترتیب با حداقل غلظت پراکندگی  $20 \mu g/m^3$  و  $5 \mu g/m^3$  بیشتر از بزرگراه میبد اردکان ( $51 \mu g/m^3$ ) و  $15 \mu g/m^3$ ) است. همچنین نتایج نشان داد محدوده آلاینده‌گی بزرگراه‌ها در جهت باد بیشتر است.

محدوده آلاینده‌گی  $PM_{10}$  برای بازه زمانی ۲۴ ساعته و سالانه برای بزرگراه اردکان نائین در جهت باد ۴۰۰۲ و ۳۲۴۸ m و در خلاف جهت باد ۳۰۶۴ و ۳۲۴۵ m بود. در حالی که برای بزرگراه میبد اردکان شعاع پراکندگی برای بازه زمانی ۲۴ ساعته و سالانه در جهت باد ۲۲۰۳ و ۱۳۸۶ متر و در خلاف جهت باد ۱۵۹۵ و ۱۳۶۲ m تخمین زده شد.



شکل ۲. ترسیم الگوی پراکندگی و محدوده آلاینده کی. PM<sub>۱۰</sub> در متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه از بزرگراه‌های اردکان نائین (T)، میبد اردکان (ب) و برآیند کلی پراکندگی PM<sub>۱۰</sub> از دو بزرگراه (ب)

مواجهه محیطی در متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه با PM<sub>۱۰</sub> در شش گروه مواجهه به ترتیب برابر با  $138/06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $31/04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌باشد. در این میان، افرادی که در پلیس راه اردکان نائین مشغول نظارت بر تردد خودروها هستند، بیشترین مواجهه ۲۴

نتایج غلظت مواجهه محیطی PM<sub>۱۰</sub> مدلسازی شده در گروه‌های مواجهه، به همراه آماره‌های توصیفی به صورت میانگین، انحراف استاندارد، چولگی، کشیدگی، درصد ضریب تغییرات در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد میانگین غلظت

ساعته ( $2.05/69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و سالانه ( $49/60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) با  $\text{PM}_{10}$  دارند. کمترین میزان مواجهه ۲۴ ساعته ( $2.05/69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و سالانه ( $49/60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) مربوط به افرادی است که در پارک شهید پایدار بیشتر اوقات خود را می‌گذرانند. ساکنین روستای ترک‌آباد به‌عنوان مهمترین مرکز جمعیتی در  $473 \text{ m}$  از بزرگراه اردکان نائین و  $4088 \text{ m}$  متر از بزرگراه میبد اردکان فاصله دارند. بنابراین با توجه به موقعیت جغرافیایی این روستاها نسبت به بزرگراه‌ها می‌توان گفت روستای ترک‌آباد تحت تاثیر انتشارات متوسط این دو بزرگراه قرار دارند. نتایج آزمون نرمالیت کولموگروف اسمیرنوف برای گروه‌های مواجهه مختلف در کلیه متوسط‌های زمانی مورد بررسی نرمال بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات درجه تغییرپذیری غلظت‌های مواجهه محیطی  $\text{PM}_{10}$  در متوسط زمانی مورد بررسی در گروه‌های مواجهه را نشان می‌دهد. در صورتی که  $CV \leq 20\%$  باشد، نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک،  $20\% < CV \leq 50\%$  تغییرپذیری متوسط و  $CV > 50\%$  تغییرپذیری زیاد است. درحالی که ضرایب تغییر بالاتر از  $50\%$  نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است (۲۲). در این پژوهش درصد ضریب تغییرات  $\text{PM}_{10}$  در متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالانه در کلاس متوسط قرار گرفت. ضرایب تغییرات در کلاس متوسط بیانگر توزیع ناهمگن مواجهه با  $\text{PM}_{10}$  در گروه‌های مورد بررسی است. مقادیر زیاد انحراف‌استاندارد نشان‌دهنده گستره تغییراتی وسیع در گروه‌های مواجهه از نظر غلظت مواجهه محیطی  $\text{PM}_{10}$  در متوسط‌های زمانی مختلف است. میزان چولگی  $\text{PM}_{10}$  در متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و

سالانه مثبت بود که نمایانگر این است که مقادیر غلظت  $\text{PM}_{10}$  در گروه‌های مواجهه در متوسط‌های زمانی طولانی‌تر چولگی مثبتی به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارد. میزان کشیدگی در بازده زمانی ۲۴ ساعته مثبت بود که نشان‌دهنده شیب بیشتر نمودار توزیع غلظت  $\text{PM}_{10}$  در گروه‌های مواجهه مورد بررسی نسبت به منحنی توزیع نرمال است. با مقایسه مقادیر غلظت محیطی  $\text{PM}_{10}$  مدلسازی شده در گروه‌های مواجهه با استاندارد ۲۴ ساعته کیفیت هوا در سال ۱۳۹۵ مشخص گردید مواجهه ۲۴ ساعته پلیس راه اردکان نائین با آلاینده  $\text{PM}_{10}$  بیشتر از حدود مجاز است.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت در دو بخش سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا برای گروه‌های مواجهه با  $\text{PM}_{10}$  در متوسط‌های زمانی کوتاه‌مدت (۲۴ ساعته) و بلندمدت (سالانه) در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. نتایج این ارزیابی نشان داد بیشترین راه مواجهه ۲۴ ساعته و سالانه با  $\text{PM}_{10}$  از طریق بلع است و  $\text{HQ}$  ریسک غیرسرطان‌زایی تمامی راه‌های مواجهه با  $\text{PM}_{10}$  کوچکتر از یک می‌باشد. بنابراین ریسک غیرسرطان‌زایی مواجهه کوتاه‌مدت و بلندمدت با  $\text{PM}_{10}$  در کلیه گروه‌ها و رده‌های سنی در سطوح ایمن پیش‌بینی شد. همچنین نتایج ریسک‌های سرطان‌زایی به علت کوچک بودن مقادیر نمره ریسک کوچکتر از  $10^{-6}$  برای هر دو طبقه سنی قابل قبول محاسبه شد. در کلیه محاسبات ارزیابی ریسک سلامت مقادیر پارامترهای  $\text{CR}$  به دلیل زمان مواجهه کوتاه با  $\text{PM}_{10}$  برای کودکان کمتر و شاخص  $\text{HI}$  بیشتر از بزرگسالان محاسبه گردید که این مطلب نمایانگر در معرض خطر بودن کودکان نسبت به بزرگسالان است.

جدول ۵. آمار توصیفی غلظت PM<sub>۱۰</sub> مدلسازی شده در گروه‌های مواجهه

غلظت (میکروگرم بر متر مکعب)		
گروه‌های مواجهه / زمان مواجهه	مواجهه کوتاه مدت ۲۴ ساعته	مواجهه بلند مدت سالانه
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	۱۲۱/۳۶	۲۹/۶۳
پارک شهید پایدار	۷۰/۹۲	۲۰/۴۶
مناطق مسکونی ترک آباد	۱۲۳/۵۸	۳۱/۹۵
کارخانه فرآوری شن و ماسه	۱۲۹/۳۵	۳۱/۳۰
شهرک صنعتی اردکان	۱۷۷/۵۰	۴۷/۳۰
پلیس راه اردکان نائین	۲۰۵/۶۹	۴۹/۶۰
میانگین	۱۳۸/۰۶	۳۵/۰۳
انحراف استاندارد	۴۳/۲۰	۱۰/۲۲
ضریب تغییرات (%)	۳۱/۲۹	۲۹/۱۷
چولگی	۰/۱۷	۰/۳۴
کشیدگی	۰/۴۶	-۰/۵۴
کولموگروف اسمیرنوف (Sig)	۰/۲۰	۰/۲۰

جدول ۶. مقادیر ریسک سرطانی و شاخص خطر ریسک غیر سرطانی مواجهه کوتاه مدت (۲۴ ساعته) با PM<sub>۱۰</sub> انتشار یافته از بزرگراه‌های مورد مطالعه

گروه مواجهه	طبقه سنی	HQ <sub>ingest</sub>	HQ <sub>inhal</sub>	HQ <sub>dermal</sub>	HI	CR <sub>total</sub>
نگهبانی	کودک	$9/1 \times 10^{-5}$	$5/1 \times 10^{-9}$	$5/1 \times 10^{-7}$	$9/2 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-14}$
	بزرگسال	$1/5 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-9}$	$3/0 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-13}$
پارک شهید پایدار	کودک	$3/1 \times 10^{-4}$	$1/7 \times 10^{-1}$	$1/7 \times 10^{-6}$	$3/2 \times 10^{-4}$	$3/9 \times 10^{-14}$
	بزرگسال	$8/9 \times 10^{-6}$	$6/5 \times 10^{-1}$	$1/7 \times 10^{-1}$	$8/9 \times 10^{-6}$	$6/7 \times 10^{-14}$
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	$5/5 \times 10^{-4}$	$3/1 \times 10^{-1}$	$3/1 \times 10^{-6}$	$5/6 \times 10^{-4}$	$6/9 \times 10^{-14}$
	بزرگسال	$1/5 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-9}$	$3/1 \times 10^{-1}$	$1/5 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-13}$
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	$5/8 \times 10^{-4}$	$3/2 \times 10^{-1}$	$3/2 \times 10^{-6}$	$5/9 \times 10^{-4}$	$7/3 \times 10^{-14}$
	بزرگسال	$1/6 \times 10^{-5}$	$1/2 \times 10^{-9}$	$3/3 \times 10^{-1}$	$1/6 \times 10^{-5}$	$1/2 \times 10^{-13}$
شهرک صنعتی اردکان	کودک	$8/0 \times 10^{-4}$	$4/5 \times 10^{-1}$	$4/5 \times 10^{-6}$	$8/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-13}$
	بزرگسال	$2/2 \times 10^{-5}$	$1/6 \times 10^{-9}$	$4/5 \times 10^{-1}$	$2/2 \times 10^{-5}$	$1/7 \times 10^{-13}$
پلیس راه اردکان- نائین	کودک	$9/3 \times 10^{-4}$	$5/2 \times 10^{-1}$	$5/2 \times 10^{-6}$	$9/3 \times 10^{-4}$	$1/1 \times 10^{-13}$
	بزرگسال	$2/6 \times 10^{-5}$	$1/9 \times 10^{-9}$	$5/2 \times 10^{-1}$	$2/6 \times 10^{-5}$	$1/9 \times 10^{-13}$

جدول ۷. مقادیر ریسک سرطانی و شاخص خطر ریسک غیرسرطانی مواجهه بلند مدت (سالانه) با  $PM_{10}$  انتشاریافته از بزرگراه‌های مورد مطالعه

گروه مواجهه	طبقه سنی	$HQ_{ingest}$	$HQ_{inhal}$	$HQ_{dermal}$	HI	$CR_{total}$
تکبانی	کودک	$2/2 \times 10^{-5}$	$1/2 \times 10^{-9}$	$1/2 \times 10^{-7}$	$2/2 \times 10^{-5}$	$2/2 \times 10^{-5}$
	بزرگسال	$3/7 \times 10^{-6}$	$2/7 \times 10^{-10}$	$7/4 \times 10^{-9}$	$3/7 \times 10^{-6}$	$2/8 \times 10^{-10}$
پارک شهید پایدار	کودک	$9/0 \times 10^{-5}$	$5/0 \times 10^{-9}$	$5/0 \times 10^{-7}$	$9/1 \times 10^{-5}$	$1/1 \times 10^{-10}$
	بزرگسال	$2/5 \times 10^{-6}$	$1/8 \times 10^{-10}$	$5/1 \times 10^{-9}$	$2/5 \times 10^{-6}$	$1/9 \times 10^{-10}$
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	$1/4 \times 10^{-4}$	$7/8 \times 10^{-9}$	$7/8 \times 10^{-7}$	$1/4 \times 10^{-4}$	$1/7 \times 10^{-10}$
	بزرگسال	$3/9 \times 10^{-6}$	$2/9 \times 10^{-10}$	$7/9 \times 10^{-9}$	$3/9 \times 10^{-6}$	$3/0 \times 10^{-10}$
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	$1/4 \times 10^{-4}$	$7/8 \times 10^{-9}$	$7/8 \times 10^{-7}$	$1/4 \times 10^{-4}$	$1/7 \times 10^{-10}$
	بزرگسال	$3/9 \times 10^{-6}$	$2/9 \times 10^{-10}$	$7/9 \times 10^{-9}$	$3/9 \times 10^{-6}$	$3/0 \times 10^{-10}$
شهرک صنعتی اردکان	کودک	$2/1 \times 10^{-4}$	$1/1 \times 10^{-8}$	$1/2 \times 10^{-6}$	$2/1 \times 10^{-4}$	$2/6 \times 10^{-10}$
	بزرگسال	$6/0 \times 10^{-6}$	$4/4 \times 10^{-10}$	$1/2 \times 10^{-8}$	$6/0 \times 10^{-6}$	$4/5 \times 10^{-10}$
پلیس راه اردکان - نائین	کودک	$2/2 \times 10^{-4}$	$1/2 \times 10^{-8}$	$1/2 \times 10^{-6}$	$2/2 \times 10^{-4}$	$2/7 \times 10^{-10}$
	بزرگسال	$6/2 \times 10^{-6}$	$4/6 \times 10^{-10}$	$1/2 \times 10^{-8}$	$6/2 \times 10^{-6}$	$4/7 \times 10^{-10}$

## بحث

میبید اردکان به ترتیب برابر با  $40 \text{ g/h}$  و  $0.1$  و در بزرگراه اردکان نائین به ترتیب برابر با  $0.11$  و  $0.12 \text{ g/h}$  بود. در مطالعه قادری و همکاران نرخ انتشار  $PM_{10}$  از وسایل نقلیه در تعدادی از بزرگراه‌های اصلی شهر تهران با در نظر گرفتن سوخت یورو ۴ برابر با  $0.75 \text{ ton/day}$  تخمین زده شد (۲۶). عالیپور مهاجر و همکاران با استفاده از مدل IVE نرخ انتشار  $PM_{10}$  از خودروهای سایپا در بزرگراه‌های شهر تهران به ازای هر کیلومتر را  $0.02 \text{ g}$  تخمین زدند (۲۷). در مطالعه حاضر مشخص گردید، علت نرخ انتشار  $PM_{10}$  بیشتر در بزرگراه میبید اردکان این است که حدود  $67$  درصد خودروهای متردد، سنگین هستند. در این رابطه وانگ و همکاران بیان داشتند وسایل نقلیه سنگین همچون کامیون‌ها و اتوبوس‌ها تقریباً در انتشار بیش از نیمی از ذرات معلق سهیم هستند (۲۸). همچنین نتایج معین‌الدینی و همکاران نشان دادند انتشار ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیه سنگین است و در معابر بزرگراهی بیشتر می‌باشد و سهم خودروهای سبک در انتشار ذرات معلق هوا به مراتب کمتر است (۲۹). تنش خودروها در بزرگراه منعکس‌کننده الگوی رانندگی و رفتار رانندگان در جاده می‌باشد. در این

به طور کلی تاثیر دو بزرگراه مورد بررسی بر کیفیت هوا منطقه و مواجهه افراد با  $PM_{10}$  وابسته به دو فاکتور اصلی است: فاکتور اول؛ نرخ انتشار  $PM_{10}$  از خودروها و عوامل موثر بر آن و فاکتور دوم؛ فاکتورهای هواشناسی. در این مطالعه میانگین نرخ انتشار  $PM_{10}$  مدلسازی شده توسط مدل IVE در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای بزرگراه میبید اردکان برابر با  $0.74$  گرم بر ساعت و برای بزرگراه نائین اردکان  $0.26$  گرم بر ساعت تخمین زده شد. در فصل گرم تابستان نرخ انتشار  $PM_{10}$  از خودروها بیشتر از فصل سرد تابستان بود که با نتایج شفا بخشی و همکاران همخوانی دارد (۲۳). معجری و همکاران با استفاده از مدل IVE نرخ انتشار  $PM_{10}$  از اتوبوس‌های پایانه مسافربری بی‌بقی برابر با  $17/32$  کیلوگرم در روز تخمین زدند (۲۴). همچنین در تحقیق شفیع پور و همکاران نرخ انتشار  $PM_{10}$  از وسایل نقلیه سنگین و سبک بزرگراه‌های شهر تهران به ترتیب  $72/12$  و  $762/22$  کیلوگرم در روز تخمین زده شد (۲۵). در حالی که در مطالعه حاضر نرخ انتشار  $PM_{10}$  وسایل نقلیه سنگین و سبک در بزرگراه

مطالعه توزیع درصد فراوانی تنش خودروها در بزرگراه میبد اردکان به صورت  $58/8$  درصد خودروها در تنش کم،  $31/5$  درصد در تنش متوسط و  $12/6$  درصد در تنش زیاد بود. بر عکس در بزرگراه اردکان نائین،  $100$  درصد خودروها در تنش کم قرار داشتند. تنش خودروها متاثر از سرعت و شتاب می باشد و در مطالعات گوناگون تاثیر این دو پارامتر مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه ای که چن و همکاران برای بررسی خصوصیات انتشار سطح جاده ای وسایل نقلیه سنگین در شانگهای مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن ها نشان داد نرخ انتشار وسایل نقلیه به طور قابل توجهی با فاکتورهای همچون سرعت و شتاب تغییر می نماید. سن بالای خودروها همراه با سوخت غیر پاک می تواند منجر به تغییر در سرعت و شتاب حرکت این وسایل می گردد (۳۰). بنابراین کیفیت سوخت از دیگر عوامل موثر بر نرخ انتشار ذرات معلق هوا است. با توجه به اینکه کیفیت سوخت وسایل نقلیه سنگین پایین بوده و گوگرد بیشتری را دارد، بنابراین انتشار ذرات معلق افزایش می یابد. کیفیت سوخت یکی از نکات قابل تامل در برنامه های مدیریت کیفیت هوای شهرها است. در این مورد، می توان با استفاده از کنترل وسایل نقلیه سنگین که دارای سوخت دیزلی هستند، گامی موثر در راستای کاهش ذرات معلق هوا انجام داد.

فاکتور هواشناسی از دیگر فاکتورهای مهم تاثیر گذار بر تخمین و شبیه سازی محدوده آلاینده بزرگراهها و افزایش مواجهه افراد با آلاینده های انتشار یافته از بزرگراهها توسط مدل AERMOD می باشد. از پارامترهای اصلی این فاکتور سرعت و جهت باد می باشد که در مطالعات محققین مختلفی منعکس شده است از جمله می توان به نتایج مطالعه امینی با هدف تاثیر سرعت و جهت باد بر پراکندگی آلاینده ها در جهت یک بزرگراه و خلاف جهت یک بزرگراه اشاره نمود (۳۱). همچنین تاثیر این دو پارامتر بر الگوی پراکندگی ذرات معلق در مدل AERMOD

مطالعه باجغلی و همکاران و شجاعی برجویی منعکس شده است (۳۲، ۱۷). در مطالعه حاضر به دلیل اینکه جهت باد غالب منطقه عمدتاً از سمت شمال به سمت جنوب است بنابراین غلظت ذرات معلق در پایین دست بزرگراهها بیشتر است ولی چون ناحیه مورد بررسی از نظر توپوگرافی، مسطح می باشد، پراکندگی  $PM_{10}$  تقریباً در تمامی جهات صورت می گیرد. پایداری اتمسفر از دیگر پارامترهای هواشناسی تاثیر گذار در تخمین الگوی پراکندگی و مواجهه با  $PM_{10}$  است. پایداری اتمسفر تابع جریان های حرارتی و ممنتوم به عبارتی تعادل انرژی در محیط زیست است. بدین ترتیب مدل AERMOD بر اساس تعادل انرژی در لایه مرز سیاره ای (PBL) پایداری اتمسفر به طور پیوسته تخمین می زند. پایداری اتمسفر در مدل AERMOD بر اساس تابع طول موئین ابوخوف تعیین می شود. بر اساس این شاخص شرایط ناپایدار اتمسفری اشاره به شرایط همرفت دارد که پراکندگی آلاینده ها افزایش یافته و باعث تخمین پایین تر غلظت مواجهه با آلاینده ها می شود. در شرایط پایدار انتقال آلاینده ها و پراکندگی آن ها کاهش می یابد بدین ترتیب تخمین غلظت آلاینده ها در گیرنده ها کاهش می یابد (۳۳). در پژوهش حاضر محدوده آلاینده گی هریک از بزرگراهها از  $1386$  الی  $4071$  متر متغیر به دست آمد و با افزایش فاصله از بزرگراهها غلظت  $PM_{10}$  و میزان مواجهه با آن در گروه های مورد بررسی کاهش می یافت. این مطلب مشابه نتایج مطالعه عسکریه و همکاران است که با مطالعه بر روی بزرگراه های سه شهر دالاس، هوستون و ال پاسو دریافتند غلظت آلاینده ها در فاصله  $2/5$  m از حاشیه بزرگراهها دارای بیشترین مقدار است و با فاصله  $250$  m از لبه بزرگراه غلظت آلاینده ها به کمترین مقدار خود می رسد (۳۴). همچنین کارنر و همکاران با تجزیه و تحلیل  $41$  پایش کنار جاده ای بین سال های  $1978$  تا  $2008$  به این نتیجه رسیدند که غلظت آلاینده ها با فاصله ای  $115$  تا  $570$  m از لبه جاده



کاهش می‌یابد (۳۵). ونکاتام و همکاران با مدلسازی پراکندگی آلاینده‌ها از بزرگراه‌ها گزارش کردند که غلظت آلاینده‌ها با فاصله از بزرگراه‌ها کاهش می‌یابد (۳۶). از دیگر یافته‌های مطالعه حاضر، تخمین بیشتر غلظت مواجهه با  $PM_{10}$  در متوسط زمانی کوتاه‌مدت (۲۴ ساعته) با  $PM_{10}$  نسبت به مواجهات بلندمدت (سالانه) بود. چرا که با گذشت زمان ذرات به واسطه نیروی گرانش زمین در سطح زمین رسوب می‌کنند و میزان مواجهه کاهش می‌یابد.

نتایج ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مواجهه  $PM_{10}$  در شش گروه مورد بررسی پایین‌تر از حدود استاندارد (HI کوچکتر از ۱ و CR کوچکتر از  $10^{-6}$ ) و قابل قبول ( $10^{-6}$  تا  $10^{-3}$  HI و  $10^{-14}$  تا  $10^{-13}$  CR) پیش‌بینی شد. همچنین شاخص خطر تجمعی برای کودکان بزرگتر از بزرگسالان محاسبه شد. در رابطه با ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با آلاینده انتشاریافته از وسایل نقلیه می‌توان به مطالعه شفیع پور مطلق و همکاران اشاره نمود. در این مطالعه با انجام مدلسازی ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با  $PM_{10}$  انتشاریافته از اتوبوس‌های پایانه مسافری بیهقی، شاخص مخاطره تاثیر غیرسرطان‌زایی مواجهه با  $PM_{10}$  در پایانه قابل قبول تخمین زده شد. در حالی که ریسک‌های سرطانی غیرقابل قبول تخمین زده شد، به طوری که بیشترین ریسک سرطانی برای رانندگان پیش‌بینی گردید و برای ۵ نفر از افراد در پایانه احتمال ابتلا به سرطان وجود داشت (۳۷). تبت و همکاران ریسک‌های غیرسرطانی مواجهه ۲۴ ساعته با  $PM_{10}$  در زمستان در کودکان و بزرگسالان شهر املنل آفریقا غیرقابل قبول تخمین زدند (۳۸). مگیدو و همکاران با اندازه‌گیری  $PM_{10}$  در نواحی ترافیکی و صنعتی واقع در شمال اسپانیا، ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی مواجهه با این آلاینده را در بزرگسالان قابل قبول و در کودکان غیرقابل قبول تخمین زدند (۳۹). روی و همکاران مطابق مطالعه حاضر ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی مواجهه بزرگسالان با  $PM_{10}$

در ایستگاه‌های بزرگراه متروپولیتان کره در سطوح قابل قبول ( $10^{-14}$  تا  $10^{-13}$ ) تخمین زدند (۴۰). گودرمن و همکاران در یک مطالعه کهورت بر روی ارتباط عملکرد ریه و مواجهه محلی با بزرگراه‌ها در ۳۶۷۷ کودک ۱۰ تا ۱۸ ساله توانستند دریابند که در فاصله ۵۰۰ متری از بزرگراه نسبت به فاصله بیشتر از ۱۵۰۰m، عملکرد ریه کاهش می‌یابد (۴۱). فرگوسون و همکاران یک مطالعه مروری بر روی شیوع بیماری آسم و نزدیکی به بزرگراه در کشورها و مناطق مختلف بررسی نمودند و نتایج آنها نشان داد رابطه معنی‌داری بین این دو پارامتر وجود دارد (۴۲). سایر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش، مطالعه مروری سیستماتیک لو و همکاران بر روی اثبات رابطه بین آلودگی ناشی از تردد وسایل نقلیه و توسعه فنوتیپ‌های آسم در کودکان (۴۳)، مطالعه پاور و همکاران در رابطه با آلودگی هوا ناشی از تردد خودروها و عملکرد شناختی در مردان مسن (۴۴)، مطالعه کهورت چن و همکاران بر روی زندگی در نزدیکی بزرگراه‌های اصلی و بروز بیماری‌های زوال عقلی، پارکینسون و مالتیپل اسکروزیس (۴۵)، مطالعه جانک و همکاران بر روی مواجهه طولانی‌مدت با آلودگی هوا ناشی از تردد خودروها در بزرگراه و بروز بیماری لوپوس اریتماتوز سیستمیک در ساکنین اطراف این بزرگراه‌ها در تایوان (۴۶) نام برد. مدل‌های ضرایب انتشار و پراکندگی مورد استفاده در ارزیابی ریسک سلامت با وجود کاربردهای گسترده و مزایای مختلف، از جهات مختلفی دارای محدودیت هستند. به عبارت دیگر ماهیت هر مدلی در شبیه‌سازی پدیده‌ها با یک سری خطاها و عدم قطعیت‌های روبه‌رو بوده بنابراین مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های تجربی به دو روش سنجش اختلاف و سنجش میزان همبستگی می‌توان میزان خطای مدل‌ها را رفع نمود. یکی از محدودیت‌های اجرایی این پژوهش عدم کالیبراسیون و رفع خطاهای مدل است. با توجه به کمبود تجهیزات

آزمایشگاهی جهت پایش  $PM_{10}$  در نواحی نزدیک به بزرگراه‌ها و همچنین به دلیل استقرار صنایع کانی‌های غیرفلزی بسیار در محدوده مدلسازی و نیز وقوع طوفان‌های گرد و غبار به تعداد دفعات زیاد در این ناحیه، انجام کالیبراسیون مدل در چنین شرایطی نتایج دقیق‌تری به دست خواهد داد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های به دست آمده از پژوهش حاضر حدود مواجهه با  $PM_{10}$  در اکثر گیرنده‌های محدوده مدلسازی پایین‌تر از مقادیر استاندارد ملی کیفیت هوا NAAQS بود و سهم دو بزرگراه مورد بررسی در ایجاد ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ساکنین اطراف آن به علت مواجهه با  $PM_{10}$  قابل قبول محاسبه شد. از جنبه‌های کاربردی این تحقیق ارائه روش مدلسازی ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با  $PM_{10}$  با استفاده از دو مدل IVE و AERMOD بدون انجام اندازه‌گیری‌های مستقیم میدانی از آلاینده

$PM_{10}$  بود. در واقع در کشورهای در حال توسعه‌ای که با کمبود ابزارهای نمونه‌برداری از آلاینده‌ها برای ارزیابی ریسک سلامت روبه‌رو هستند، مدل‌های پراکندگی و مدل‌های ضرایب انتشار می‌توانند به‌عنوان یک راه حل امیددهنده در راستای افزایش توانایی تصمیم‌گیرندگان برای ارزیابی ریسک سلامت ساکنین اطراف بزرگراه‌ها و در صورت لزوم طراحی راهبردهای کنترل موثر و ارائه یک پیش‌زمینه برای ارزیابی استراتژی‌های کنترل و اثربخشی برنامه‌ریزی‌های مختلف حمل و نقل ارائه دهند.

### تشکر و قدرانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه به شماره ۲۵۴۲۲۸۷ دارای کد اخلاق IR.YAZD.REC.1398.027 در مقطع کارشناسی ارشد بوده که با حمایت دانشگاه یزد انجام شده است. نویسندگان از کلیه افرادی در انجام این مطالعه یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### References

- 1- Maji KJ, Dikshit AK, Deshpande A. Human health risk assessment due to air pollution in 10 urban cities in Maharashtra, India. Cogent Environ Sci. 2016; 2(1):1193110.
- 2- Zhang K, Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. Sci Total Environ. 2013; 450:307-16.
- 3- Baninameh S, Rafiei M, Karimi SR. Evaluation of the dispersion of pollutants from mobile sources of the pollutant (studying area: Ahvaz). J Environ Sci Technol. 2017; 19(5):67-76 [In Persian].
- 4- Khorsandi H, Karimzadeh S, Aghaei M. Health impact assesement of exposure to particulate matter less than 10 micron and sulfur dioxide using AIRQ model in Urmia, Iran. J Urmia Univ Med Sci. 2016; 27(5):438-48 [In Persian].
- 5- Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M, Hoek G, Andersen Z, Hoffmann B, et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. Int J Environ. 2016; 87: 66-73.
- 6- Mohan M, Bhati S, Sreenivas A, Marrapu P. Performance evaluation of AERMOD and ADMS-urban for total suspended particulate matter concentrations in megacity Delhi. Aerosol Air Qual Res. 2011; 11(7):883-94.
- 7- Qiu Z, Liu W, Gao HO, Li J. Variations in Exposure to In-vehicle Particle Mass and Number Concentrations in Different Road Environments. J Air Waste Manag Assoc. 2019; 69(8), pp.988-1002.
- 8- Consonni D, Carugno M, De Matteis S, Nordio F, Randi G, Bazzano M, et al. Outdoor particulate matter ( $PM_{10}$ ) exposure and lung cancer risk in the EAGLE study. PloS one. 2018; 13(9):e0203539.
- 9- Mohammed AM. Estimation of  $PM_{10}$  Health Impacts on Human within Urban Areas of Makkah city, KSA. 2017.

- 10- De Donno A, De Giorgi M, Bagordo F, Grassi T, Idolo A, Serio F, et al. Health risk associated with exposure to PM10 and benzene in three Italian towns. *Int J Environ Res Public Health*. 2018; 15(8):1672.
- 11- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. Application of SWEEP and AERMOD Models to Simulate PM10 Emission Risk from Primary Materials and Waste Depos of Tile and Ceramic, Khak-e-Chini and Glass Industries of Ardakan, Yazd, Iran in 2018. *J Environ Health Eng*. 2020; 7 (4):401-426 [In Persian].
- 12- Aghaei M, Yunesian M. Exposure Assessment to Environmental Pollutants in Human Health Risk Assessment Studies; Overview on New Approaches. *J Health*. 2019; 10(2):138-55 [In Persian].
- 13- Kalhor M, Ghaleh Askari S, Bozorgi M. AERMET performance in evaluation of boundary layer parameters and its effect on carbon monoxide concentration outputs in AERMOD model compared to upper air data. *Iran J Health Environ*. 2018; 11(3):365-76 [In Persian].
- 14- Kalhor M, Bajoghli M. Comparison of AERMOD, ADMS and ISC3 for incomplete upper air meteorological data (case study: Steel plant). *Atmos Pollut Res*. 2017; 8(6):1203-08.
- 15- Mokhtar MM, Hassim MH, Taib RM. Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modelling. *Process Saf Environ Prot*. 2014; 92(5):476-85.
- 16- Shahbazi H, Reyhanian M, Hosseini VA. The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach. *Emiss Control Sci Techno*. 2016; 2(1):44-56.
- 17- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, kuchakzadeh M, MoslehArani A, Sodaiezhadeh H. Dispersion and Health Risk Assessment of PM10 Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model. *Iran South Med J*. 2019; 22 (5): 317-332 [In Persian].
- 18- de Leeuw F, Benešová N, Horálek J. Evaluation of international air quality standards. ETC/ACM Technical Paper. 2016; 10:1-31.
- 19- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Hosseini Sangchi S. Study of Suspended Air Particles and Health Risk Assessment of Exposure to PM10 and PM2.5 in One of the Textile Industries. *J Health*. 2020; 11 (2):144-155 [In Persian].
- 20- Gruszecka-Kosowska A. Assessment of the Kraków inhabitants' health risk caused by the exposure to inhalation of outdoor air contaminants. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2018; 32(2):485-99.
- 21- Cheng X, Huang Y, Zhang SP, Ni SJ, ZJ L. Characteristics, sources, and health risk assessment of trace elements in PM10 at an urban site in Chengdu, southwest China. *Aerosol Air Qual Res*. 2018; 18(2):357-70.
- 22- Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian AH, Ali-Taleshi MS, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Iran J Health Environ*. 2017; 10(1):75-86 [In Persian].
- 23- Shafabakhsh G, Taghizadeh SA, Kooshki SM. Investigation and sensitivity analysis of air pollution caused by road transportation at signalized intersections using IVE model in Iran. *Eur Transp Res Rev*. 2018; 10(1):7.
- 24- Mejari M, Shafie Pour M, Pardakhti A. Estimating Air Pollution Concentrations in a City Bus Terminal. *Environ Sci*. 2015; 1;13(1):125-30 [In Persian].
- 25- Shafie-Pour M, Tavakoli A. On-road vehicle emissions forecast using IVE simulation model. *Int J Environ Res Public Health*. 2013; 7(2):367-76.
- 26- Ghadiri Z, Rashidi Y, Broomandi P. Evaluation Euro IV of effectiveness in transportation systems of Tehran on air quality: Application of IVE model. *Pollut*. 2017; 3(4):639-53.
- 27- Alipourmohajer S, Rashidi Y, Atabi F. Verification of IVE Model for SAIPA Co. Fleet Emission. *Pollut*. 2019; 5(2):235-45.
- 28- Wang H, Chen C, Huang C, Fu L. On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China. *Sci Total Environ*. 2008; 398(1-3):60-67.
- 29- Moeinoldini M, Taleshi MS, Azimi R. Spatial modeling of airborne diffusion of propagated materials in all cities of Karaj. *J Nat Environ*. 2017; 70(4):935-47 [In Persian].

- 30- Chen C, Huang C, Jing Q, Wang H, Pan H, Li L, et al. On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai. *Atmos Environ*. 2007; 41(26):5334-44.
- 31- Amini S. The Development and Application of Models for Dispersion of Roadway Emissions: The Effects of Roadway Configurations on Near Road Concentrations of Vehicle Emissions and Increasing the Spatial Resolution of Satellite-Derived  $PM_{2.5}$  Maps (Doctoral dissertation, UC Riverside). 2018. 1-143.
- 32- Bajoghli M, Abari MF, Radnezhad H. Dispersion Modeling of Total Suspended Particles (TSP) Emitted from a Steel Plant at Different Time Scales Using AERMOD View. *J Earth Environ Health Sci*. 2016; 2(2):77.
- 33- Steinfeld JI. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1998; 40(7):1-26.
- 34- Askariyeh MH, Vallamsundar S, Farzaneh R. Investigating the Impact of Meteorological Conditions on Near-Road Pollutant Dispersion between Daytime and Nighttime Periods. *Transp Res Rec*. 2018; 2672(25):99-110.
- 35- Karner AA, Eisinger DS, Niemeier DA. Near-roadway air quality: synthesizing the findings from real-world data. *Environ sci techno*. 2010; 44(14):5334-44.
- 36- Venkatram A, Snyder M, Isakov V, Kimbrough S. Impact of wind direction on near-road pollutant concentrations. *Atmos Environ*. 2013; 80:248-58.
- 37- Shafie-Pour M, Pardakhty A, Mejari M. Assessing the Risk of Air Pollutants Released at the Passenger End of the Road by Modeling Method. *J Environ Stud*. 2015; 41(1):97-105 [In Persian].
- 38- Thabethe ND, Engelbrecht JC, Wright CY, Oosthuizen MA. Human health risks posed by exposure to  $PM_{10}$  for four life stages in a low socio-economic community in South Africa. *Pan Afr Med J*. 2014; 18.
- 39- Megido L, Suárez-Peña B, Negral L, Castrillón L, Fernández-Nava Y. Suburban air quality: Human health hazard assessment of potentially toxic elements in  $PM_{10}$ . *Chemosphere*. 2017; 177:284-91.
- 40- Roy D, Seo YC, Namgung HG, Kwon SB. Inhalation cancer risk from  $PM_{10}$  in the metropolitan subway stations in Korea. *J Transp Health*. 2019; 14:100580.
- 41- Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Kunzli N, Jerrett M, Peters J. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet*. 2007 Feb 17; 369(9561):571-7.
- 42- Ferguson EC, Maheswaran R, Daly M. Road-traffic pollution and asthma—using modelled exposure assessment for routine public health surveillance. *Int J Health Geogr*. 2004; 3(1):24.
- 43- Lau N, Norman A, Smith MJ, Sarkar A, Gao Z. Association between Traffic Related Air Pollution and the Development of Asthma Phenotypes in Children: A Systematic Review. *Int J Chronic Dis*. 2018. 2018: 1-12.
- 44- Power MC, Weisskopf MG, Alexeeff SE, Coull BA, Spiro III A, Schwartz J. Traffic-related air pollution and cognitive function in a cohort of older men. *Environ Health Perspect*. 2010; 119(5):682-87.
- 45- Chen H, Kwong JC, Copes R, Tu K, Villeneuve PJ, Van Donkelaar A, et al. living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson's disease, and multiple sclerosis: a population-based cohort study. *Lancet*. 2017; 389(10070):718-26.
- 46- Jung CR, Chung WT, Chen WT, Lee RY, Hwang BF. Long-term exposure to traffic-related air pollution and systemic lupus erythematosus in Taiwan: A cohort study. *Sci Total Environ*. 2019; 668: 342-49.