فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۹۱، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۹۴-۸۳

بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر تغییرات ساعتی انتشار آلاینده‌های مبنا و گازهای گلخانه‌ای از خودروهای سواری

سید عرفان حسینی‌فر، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مجید شفیع‌پور مطلق، استادیار، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
خسرو اشرفی، دانشیار، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
محمدرضا احدی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، پژوهشکده حمل‌ونقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
E-mail: m.ahadi@bhrc.ac.ir

چکیده

خودروهای سواری بنزین‌سوز یکی از مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق و گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان هستند؛ که موجب عدم تطابق کیفیت هوای شهر تهران با استانداردهای کیفیت هوا شده‌اند. این پژوهش چشم‌اندازی را در زمینه تأثیر هم‌زمان تغییرات ساعتی دما و رطوبت محیط بر انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای مذکور فراهم می‌آورد. در این فعالیت تحقیقاتی شبیه‌سازی ترافیکی و تخمین انتشار با استفاده از مدل IVE و با وارد نمودن داده‌های هواشناسی سی‌ساله در این مدل انجام گردیده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ترکیبی از دمای محیط بالا و رطوبت کم، مقدار انتشار آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق و گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس را افزایش می‌دهد. در مقابل در مواقعی که دما و رطوبت میانگین ساعتی به ترتیب حداکثر و حداقل است؛ میزان انتشار مونواکسید کربن به حداقل مقدار خود می‌رسد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر ساعت کاری ادارات و مراکز آموزشی به‌نحوی‌که زمان پایان فعالیت کاری با زمان وقوع حداکثر دما و حداقل رطوبت محیط در شبانه‌روز مصادف نباشد؛ می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای تأثیرگذار در زمینه کاهش انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شود.

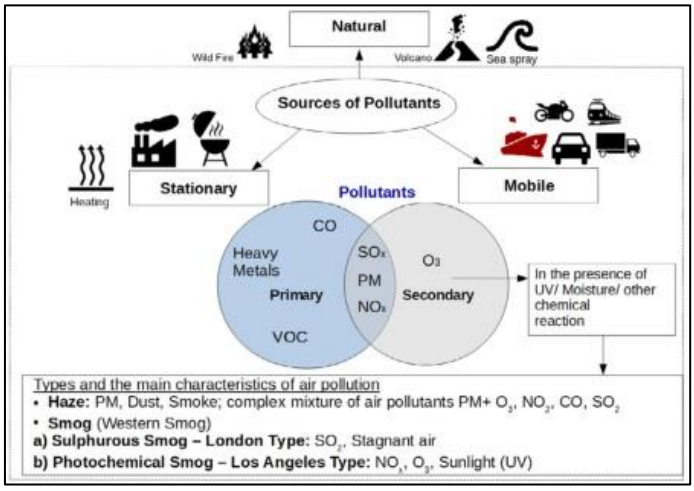
واژه‌های کلیدی: دما و رطوبت محیط، انتشار از خودروهای سواری، حمل‌ونقل، تهران، مدل IVE

۱. مقدمه

آلودگی هوا صرف‌نظر از محیط (بسته یا باز) یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی در زندگی شهری امروز به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه است. بر اساس اطلاعات سازمان جهانی بهداشت (WHO[1])، سالانه حدود ۵/۹ میلیون نفر جانشان را براثر مواجهه با آلودگی هوا از دست می‌دهند. آلاینده‌هایی همچون مونواکسید کربن، ترکیبات آلی فرار، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن اثرات مخربی را بر روی محیط‌زیست و سلامت انسان می‌گذارند. آن‌ها در تولید آلاینده‌های ثانویه همچون ازن و ذرات معلق نقش اساسی دارند و موجب ایجاد مه دود[2] در جو می‌شوند. بعلاوه آلودگی هوا سبب کاهش دید افقی و ایجاد باران‌های اسیدی می‌گردد. شکل ۱ منابع آلاینده هوا و انواع آن‌ها را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

آلودگی هوا می‌تواند اثرات غیرقابل جبرانی را بر محیط‌زیست تحمیل کند. رسوب و تجمع آلاینده‌ها در بدن موجودات زنده، موجب انباشت این مواد در بدن شده و در درازمدت سلامت آن ها را به خطر می‌اندازد. در بررسی‌های انجام‌شده در ایالات‌متحده آمریکا، حدود ٦٠ درصد از مونواکسید کربن، ۵۰ درصد از اکسیدهای نیتروژن و ٤٥ درصد از ترکیبات آلی فرار موجود در اتمسفر، ناشی از خودروها و در برآوردی دیگر، بالغبر نیمی از آلاینده‌های تولیدی در آمریکا ناشی از وسایل نقلیه موتوری گزارش شده است که حاکی از اهمیت تأثیر منابع متحرک بر آلودگی هوا است.

در این میان بر اساس آمار سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، خودروهای سواری نقش بسزایی را در ایجاد ترافیک و به دنبال آن انتشار آلاینده‌ها ایفا می‌کنند؛ به‌نحوی‌که سهم وسایل نقلیه شخصی در ایجاد ترافیک صبحگاهی در حدود ٦٨ درصد است. این در حالی است که سهم تاکسی، اتوبوس واحد، موتورسیکلت و سایر انواع وسایل نقلیه به ترتیب برابر ۱۸، ٤، ۲ و ۸ درصد است.



شکل ۱. منابع و انواع آلاینده‌های هوا

عوامل ترافیکی و جغرافیایی متعددی همچون میزان پیمایش، سرعت متوسط ناوگان، سن ناوگان، ارتفاع از سطح دریا، شیب جاده، کیفیت سوخت و میزان استفاده از تهویه مطبوع بر انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای اثرگذارند. گذشته از موارد یادشده، دمای محیط از دیگر عوامل مؤثر بر میزان انتشار از اگزوز خودروهاست که کمتر به آن پرداخته شده است. ازاین‌رو اختلاف قابل‌توجهی بین میزان انتشار واقعی خودروها و میزان انتشار حاصل از فعالیت‌های آزمایشگاهی وجود دارد. البته دلایل بی شماری موجب ایجاد اختلاف مذکور می‌گردند. بااین‌حال، شواهد روزافزونی از آزمون‌های آزمایشگاهی وجود دارد که نشان می‌دهد انتشار آلاینده‌های مبنا از وسایل نقلیه به‌شدت به تغییرات دمای محیط وابسته است. لازم به ذکر است که در این

مطالعه وابستگی به دما باید مستقل از انتشارات ناشی از استارت سرد در نظر گرفته شود؛ که در آن موتورهای احتراق داخلی ضمن دستیابی موتور، روان کننده‌ها و کاتالیزورها به دمای عملیاتی، نیاز به فراهم آوردن نسبت هوا به سوخت موردنظر داشته که همگی منجر به انتشار بیشتر آلاینده‌ها برای مدت‌زمان کوتاهی می‌شوند.

ضمن اطلاع از اهمیت تأثیر دمای محیط بر میزان انتشار باید به این نکته توجه نمود که رطوبت هوا نیز دیگر عامل هواشناسی است که بر میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای از اگزوز خودروهای سواری اثرگذار است. رطوبت بالای محفظه احتراق با کاهش حداکثر دما و افزایش مدت‌زمان احتراق، سبب ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در میزان انتشار از خودروهای بنزین سوز می‌گردد. ازاین‌رو مدل انتشار از منابع متحرک (International Vehicle Emissions) IVE که مدلی تائید شده در سطح جهانی و مناسب برای کشورهای درحال‌توسعه است نیز جهت شبیه‌سازی شرایط محیطی، تأثیر دما و رطوبت محیط را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد.

تعیین تأثیر دما و رطوبت محیط بر تغییرات میزان آلایندگی خودروها با استفاده از روش‌هایی همچون دینامومتر شاسی و یا سیستم‌های اندازه‌گیری آلایندگی قابل‌حمل ($PEMS^3$) دشوار است، زیرا با استفاده از این روش‌ها تعداد بسیار کمی از خودروهای سواری موجود در منطقه موردمطالعه را می‌توان مورد آزمایش قرار داد. درنتیجه در این فعالیت از مدل تخمین انتشار IVE که جمع‌آوری داده‌ها و محاسبه فهرست انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های مبنا و آلاینده‌های سمی را ممکن می‌سازد بهره‌برداری شده است.

هدف اصلی این پژوهش تعیین نوع و میزان اثر هم‌زمان دما و رطوبت محیط بر تغییرات ساعتی انتشار آلاینده‌های مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق و گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان از خودروهای سواری بنزین سوز است. نتایج این فعالیت می‌تواند چشم‌انداز صحیح و وسیعی را در زمینه ساعات پیک انتشار از خودروهای سواری تحت تأثیر پارامترهای هواشناسی در اختیار بگذارد.

۲. روش پژوهش

۲-۱ منطقه موردبررسی

منطقه‌ای که در این پژوهش موردمطالعه قرارگرفته شهر تهران است. مساحت این شهر در حدود ۷۵۱ کیلومترمربع است. این شهر در حال حاضر بیش از ۹ میلیون نفر جمعیت داشته و در صدر پرجمعیت‌ترین شهرهای ایران قرار دارد. با این تفاصیل می توان نتیجه گرفت که میزان تراکم جمعیت در این شهر قابل‌توجه است. افزایش روزافزون جمعیت تهران و به دنبال آن افزایش تعداد وسایل نقلیه، موجب بروز مشکلاتی در زمینه ترافیک و آلودگی هوا گردیده است. اقدامات علمی، عملی و مدیریتی در زمینه ترافیک و آلودگی هوا می‌توانند نقش بسیار مهمی در زمینه کاهش اثرات مخرب این پدیده‌ها داشته باشند. ویژگی‌های جغرافیایی و وضعیت تردد در شهر تهران در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. اطلاعات کلی شهر تهران

شرح	مقدار	واحد
جمعیت	۹/۱	میلیون نفر
مساحت	۷۵۱	کیلومترمربع
تراکم جمعیت	۱۲۱/۲	نفر در هکتار
مصرف روزانه بنزین	۱۲	میلیون لیتر

شرح	مقدار	واحد
طول جغرافیایی شهر تهران	۵۱/۰۵ تا ۵۱/۳۵	طول شرقی
عرض جغرافیایی شهر تهران	۳۵/۳۵ تا ۳۵/۵۰	عرض شمالی
متوسط ارتفاع از سطح دریا	۱۲۸۰	متر
بیشترین طول شهر تهران	٤٥	کیلومتر
بیشترین عرض شهر تهران	۲۷	کیلومتر

تهران دارای یک شبکه بزرگراهی گسترده است که نقاط مختلف این شهر را به یکدیگر وصل می‌کند. این شهر، گذشته از بزرگراه ها دارای خیابان‌های شریانی درجه یک و دو، خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها است که مشخصات هرکدام از آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که وجود این شبکه معابر گسترده موجب ایجاد تفکری غلط مبنی بر ظرفیت بی‌پایان بزرگراه‌ها و خیابان‌ها شده و تأثیر بسزایی بر افزایش میزان ترافیک و به‌تبع آن انتشار انواع آلاینده‌ها داشته است.

جدول ۲. طول شبکه معابر شهر تهران

رده عملکردی معابر	طول (کیلومتر)
آزادراه، بزرگراه و رمپ و لوپ	۹۳۱
خیابان اصلی (شریانی درجه ۱ و ۲)	۱۰۵۳
خیابان فرعی (جمع کننده و دسترسی محلی)	۱۵۵۲
کوچه و بن‌بست	۲۸۳۸

سهم انواع وسایل نقلیه در ایجاد ترافیک مذکور با توجه به میزان مسافت طی شده همسنگ سواری تعیین می‌شود. بر این اساس میزان تأثیر وسایل نقلیه شخصی ٦٨ درصد بوده و به میزان قابل‌توجهی بیش از سایر وسایل نقلیه است. این در حالی است که تنها ٤٠ درصد جابجایی‌ها از طریق خودروهای شخصی صورت می‌گیرد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت ناوگان حمل‌ونقل سواری ازنظر ترافیک و آلودگی هوا است.

۲-۲ پردازش دادها و آماده‌سازی مدل

پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت ضمن تأثیر بر نسبت هوا به سوخت، دمای احتراق و عملکرد سیستم کاتالیزور خودرو، سبب تغییرات قابل‌توجهی در انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای می گردند. این پارامترها علی‌رغم تأثیر بر میزان انتشار نسبت به سایر ورودی‌های مدل مغفول واقع شده‌اند. نظر به اهمیت این عوامل، جهت اطمینان از صحت این داده‌ها لازم است که این پارامترها، مربوط به یک دوره زمانی طولانی‌مدت باشند. به این منظور داده های دما و رطوبت نسبی ۳۰ ساله روزانه مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا پایان سال ۲۰۱۹ به‌عنوان داده هواشناسی ورودی مدل انتخاب گردیده‌اند. این داده‌ها که به‌صورت ۳ ساعته از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردیده است در جدول ۱ و ۲ قابل‌مشاهده است.

جدول ۳. دمای میانگین ساعتی شهر تهران

Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
۰	۲,۷	٤,٥	۸,۹	١٤,٢	١٩,١	٢٤	٢٦,٧	٢٦,٣	٢٢,٤	١٦,٤	٩,٢	٤,٥	١٥
۳	۲,۱	۳,۸	۸,۱	١٣,٩	١٩,٥	٢٤,٥	٢٦,٦	٢٥,٨	٢١,٦	١٥,٦	٨,٧	٤	١٤,٦
٦	٤,٤	٦,٧	١١,٩	١٨	٢٣,٦	٢٨,٩	٣١,١	٣٠,٧	٢٧	٢٠,٥	١٢,٢	٦,٥	١٨,٦

Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
۹	۷	۹,۲	۱٤,۲	۲۰,٤	۲٦,۲	۳۱,۹	۳٤,۲	۳۳,٤	۲۹,۷	۲۳	۱٤,٦	۹,۱	۲۱,۲
۱۲	۷,۹	۱۰,۳	۱٥,٤	۲۱,٤	۲۷,۳	۳۳,٦	۳٦,۲	۳٥,۳	۳۱,۲	۲٤	۱٥,۲	۹,٦	۲۲,۳
۱٥	٥,٥	۸,۳	۱۳,۷	۱۹,۹	۲٥,۸	۳۲,۷	۳٥,٥	۳٤,۲	۲۹,۲	۲۱,٤	۱۲,٦	۷,۲	۲۰,٦
۱۸	٤,۲	٦,٦	۱۱,٦	۱۷,٤	۲۳	۲۹	۳۲	۳۰,۸	۲٦	۱۹	۱۱	٥,۹	۱۸,۳
۲۱	۳,٤	٥,٥	۱۰,۱	۱٥,۷	۲۰,۹	۲٦,۱	۲۹	۲۸,۲	۲۳,۹	۱۷,٤	۹,۹	٥,۱	۱٦,٤
۲٤	۲,۷	٤,٥	۸,۹	۱٤,۲	۱۹,۱	۲٤	۲٦,۷	۲٦,۳	۲۲,٤	۱٦,٤	۹,۲	٤,٥	۱٥

جدول ٤. رطوبت میانگین ساعتی شهر تهران

Hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
۰	٦٥	٥۹,٤	٥۱,٤	٤۷,۹	٤۰,۹	۳٤,۳	۳٤,۷	۳۳,۸	۳٥,۷	٤٥,۱	٥۸	٦٥,۷	٤۷,٥
۳	٦٥,۷	٦۱,۳	٥۳,۸	٤۸,۸	٤۰,۷	۳۳,۹	۳٥,٦	۳٥,۱	۳۷,۳	٤٦,۷	٥۸,۹	٦٦,٤	٤۸,٦
٦	٥۹,۱	٥۲,۷	٤۳,۲	۳۷,۲	۲۹,۸	۲۳,۸	۲٥	۲٤,٤	۲٥,۹	۳٤,۱	٤۷	٥۷,۹	۳۸,۲
۹	٤۸,۸	٤۳,٤	۳٥,۹	۳۰,٤	۲۳,٤	۱۸,٦	۱۹,۷	۱۹,۹	۲۱,۳	۲۸,٤	۳۹	٤۸	۳۱,٤
۱۲	٤٦	۳۹,۸	۳۲,٦	۲۷,۸	۲۱,۲	۱٦	۱٦,۹	۱۷,٤	۱۸,۸	۲٦,۱	۳٦,۷	٤٦,۱	۲۸,٦
۱٥	٥٤,۳	٤٦	۳٦,٦	۳۱,٦	۲٤,۱	۱٦,۸	۱۷,٥	۱۸,۱	۲۱,۳	۳۱,۸	٤٥,٦	٥٥,٥	۳۳,۲
۱۸	٥۹,٤	٥۲,۷	٤۳,۹	۳۹	۳۱,٤	۲۳,۷	۲٤,٤	۲٥,٥	۲۸,۷	۳۹	٥۲,۳	٦۰,۹	۳۹,۹
۲۱	٦۲,٦	٥٦,٥	٤۸,٤	٤٤,۲	۳٦,۸	۳۰,۱	۳۰,٤	۳۰,۷	۳۲,۸	٤۳,۱	٥٥,۷	٦٤	٤٤,٥
۲٤	٦٥	٥۹,٤	٥۱,٤	٤۷,۹	٤۰,۹	۳٤,۳	۳٤,۷	۳۳,۸	۳٥,۷	٤٥,۱	٥۸	٦٥,۷	٤۷,٥

میزان پیمایش را می‌توان به‌صورت مسافت طی شده و یا مقدار زمان سفر و با واحدهای کیلومتر، مایل، ساعت و دقیقه وارد مدل IVE نمود. این مدل مسافت پیموده شده را با استفاده از داده ورودی سرعت متوسط تخمین می‌زند. سرعت متوسط دیگر پارامتر مربوط به رفتار رانندگی است که در این پژوهش موردبررسی قرار گرفته است. این پارامتر با الگوی رانندگی در ارتباط بوده و تا حدی موجب تغییر الگوی رانندگی واردشده در مدل IVE می‌گردد. در پژوهش حاضر با توجه به اطلاعات تغییرات ساعتی متوسط سرعت ناوگان شهر تهران، دامنه تغییرات سرعت متوسط خودروها بین ۲۵ تا ۳۷ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. دامنه تغییرات این داده‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

شرکت کنترل کیفیت هوا به‌طور سالیانه در گزارشی تحت عنوان آنالیز سوخت بنزین جایگاه‌های شهر تهران، محدودیت‌های مربوطه و خصوصیات بنزین را مشخص می‌نماید. کیفیت سوخت و میزان مواد افزودنی موجود در آن از دیگر موارد تأثیرگذار بر نتایج این پژوهش است. در مدل IVE می‌توان خصوصیات کلی بنزین و مقدار گوگرد، سرب، بنزن و ترکیبات حاوی اکسیژن را مشخص نمود. دامنه تغییرات خصوصیات سوخت در این مدل، محدود به گزینه‌های موجود در آن بوده و بر این اساس خصوصیات سوخت مصرفی به شرح جدول ٦ آورده شده است.

جدول ۵. سرعت و مسافت پیمایش میانگین ناوگان سواری شهر تهران

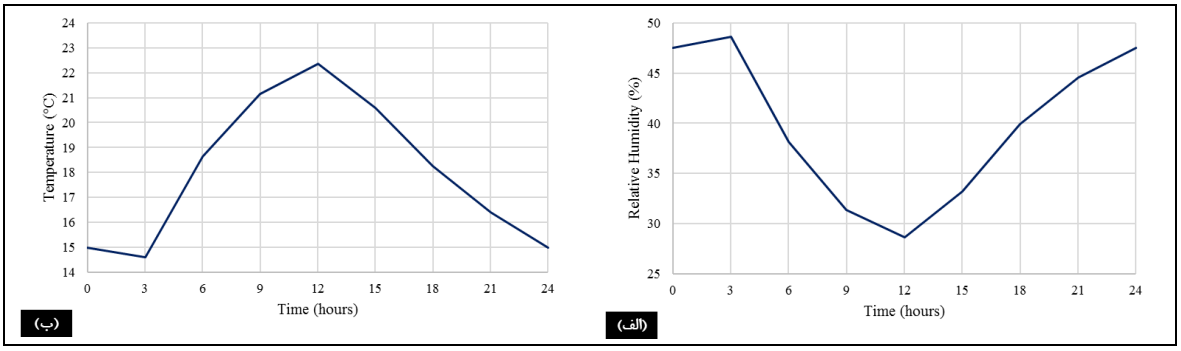
Hour	Distance (vehicle-km)	Speed (km/h)
٦	٧٠٢٤٤٢٦	٣٠,٩
٧	٧٧٢٩٧٠٢	٢٥,١
٨	٧٢٤٢٣٨٩	٣٠,٤
٩	٦٤١٤٩٦٠	٣٣,٥
١٠	٥٧٣٣٢٠٦	٣٦,٨
١١	٦١١١١٣٠	٣٥,١
١٢	٦٠٤٩٣٧٥	٣٥,١
١٣	٥٧٣٣١٠٠	٣٦,٦
١٤	٥٨٣٧٠٣٤	٣٦,٧
١٥	٦٤٩٤٤٠٠	٣٤,١
١٦	٧٦٤٨١٦٤	٢٩
١٧	٧٧٢١٨٨٠	٢٦,٦
١٨	٦٧٣٢٠٦٨	٣٠
١٩	٥٣٨٣٠٤١	٣٥

جدول ٦. خصوصیات سوخت در مدل IVE

Overall	Sulfur (S)	Lead	Benzene	Oxygenate
Moderate/premixed	Low (50ppm)	none	Low (0.5%)	2.5%

۲-۳ تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

هدف از انجام این پژوهش تعیین میزان تأثیر تغییرات هم‌زمان دما و رطوبت محیط بر انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای از اگزوز خودروهای سواری در ساعات مختلف شبانه‌روز است. با نیل به هدف مذکور رفتار انتشار در طول شبانه‌روز و زمانی که این میزان به حداقل و حداکثر خود می‌رسد مشخص خواهد شد. داده‌های دما و رطوبتی که در شکل ۲ نشان داده شده است حاصل میانگین ساعتی این دو پارامتر در ۳۰ سال گذشته است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود نحوه تغییرات دما و رطوبت عکس یکدیگرند؛ به‌نحوی‌که در ساعاتی که دما به حداکثر خود می‌رسد میزان رطوبت حداقل بوده و زمانی که رطوبت به حداکثر خود می‌رسد دما در کمترین مقدار خود قرار دارد. به‌منظور دستیابی به اهداف این فعالیت پژوهشی، پس از به دست آوردن مقدار میانگین ساعتی دما و رطوبت محیط در سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۹، مقادیر حاصله درحالی‌که سایر پارامترهای مؤثر بر مقدار انتشار در مدل IVE ثابت نگه داشته شده بودند به شکل هم‌زمان وارد این مدل گردیدند. با وارد نمودن هر یک از ارقام مربوط به دما و رطوبت در مدل، میزان انتشار حاصل از هر زوج ورودی به‌طور جداگانه محاسبه شد. درنهایت مشخص گردید که انتشار هر یک از آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای در چه ساعت و تحت تأثیر چه ترکیبی از دما و رطوبت به مقدار حداکثر خود می‌رسد.



شکل ۲. میانگین تغییرات ساعتی (الف) رطوبت و (ب) دمای محیط

۳. تحلیل داده‌ها

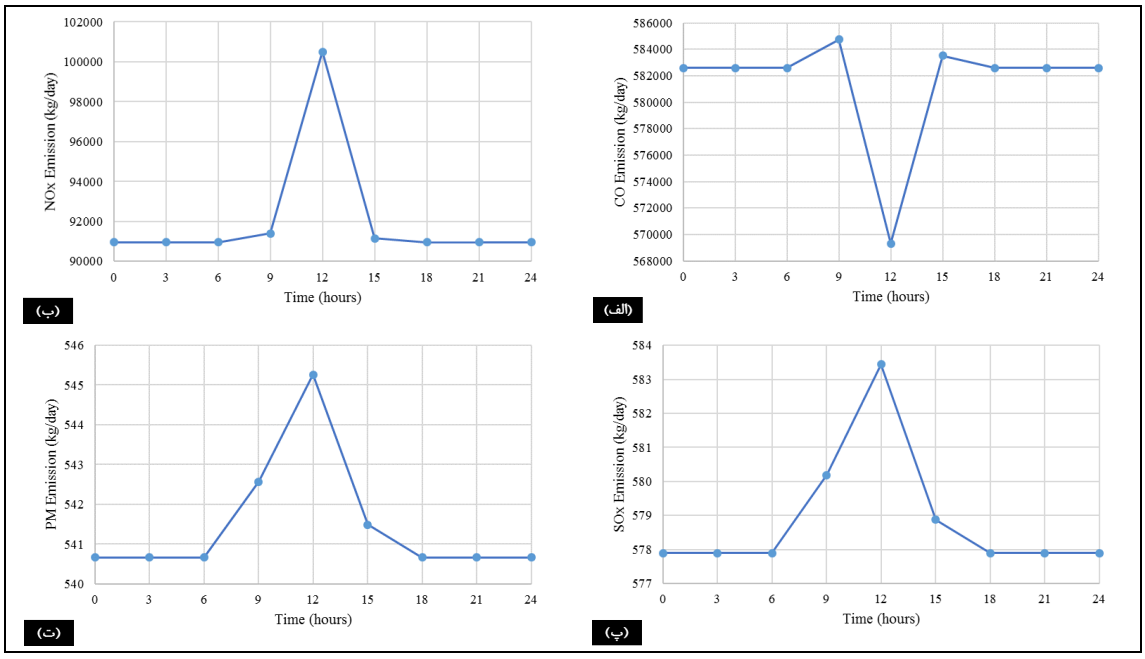
۳-۱ تأثیر دما و رطوبت محیط بر انتشار آلاینده‌های مبنا

پارامترهای هواشناسی یکی از پارامترهای کلیدی و تأثیرگذار در زمینه انتشار از خودروهای سواری است. به همین جهت در این پژوهش ضمن قرار دادن مقادیر دما و رطوبت ساعتی نشان داده شده در جدول ۷ مقادیر نظیر انتشار میانگین در ساعات مختلف شبانه‌روز به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که انتشار آلاینده‌های مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق از خودروهای سواری به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر دما و رطوبت محیط است (شکل ۳).

بر اساس داده‌های هواشناسی موجود در جدول ۷ میزان دمای محیط تا ساعت ۱۲ ظهر صعودی بوده و پس‌ازآن روند نزولی پیدا می‌کند. در مقابل رطوبت محیط تا ساعت ۱۲ ظهر به شکل تقریباً پیوسته‌ای روند نزولی داشته و سپس افزایش می‌یابد. با توجه به نمودارهای موجود، انتشار اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق در ساعت ۱۲ ظهر به میزان حداکثر خود می‌رسد؛ این به این معنا است که ترکیبی از دمای بالا و رطوبت پایین موجب افزایش انتشار این مواد می‌گردد. برخلاف آلاینده‌های مذکور، نحوه تأثیر دما و رطوبت بر انتشار مونواکسید کربن متفاوت است؛ به‌نحوی‌که در ساعت ۱۲ ظهر مقدار انتشار این آلاینده به حداقل مقدار خود در شبانه‌روز می رسد. توجه به این نکته ضروری است که محدوده دما و رطوبت میانگین موردنظر، از بامداد تا ساعت ٦ صبح و از ساعت ۱۸ الی بامداد تأثیری بر انتشار از اگزوز خودروهای سواری ندارد. لازم به ذکر است که شیب تغییرات میزان انتشار، حدفاصل ساعات ۹ الی ۱۵ بیش از سایر اوقات شبانه‌روز است.

جدول۷. تأثیر پارامترهای هواشناسی بر میزان انتشار ساعتی آلاینده‌های مبنا

Hour	Temperature (°C)	RH (%)	CO (kg)	NO_X (kg)	SO_X (kg)	PM (kg)
۰	۱۵	٤۷,۵	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷
۳	۱٤,٦	٤۸,٦	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷
٦	۱۸,٦	۳۸,۲	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷
۹	۲۱,۲	۳۱,٤	۵۸٤۷۵۱,۷	۹۱٤۰۵,۹۱	۵۸۰,۱۹	۵٤۲,۵۷
۱۲	۲۲,۳	۲۸,٦	۵٦۹۳۱٤,۸٤	۱۰۰۵۰٦,۸	۵۸۳,٤٤	۵٤۵,۲٦
۱۵	۲۰,٦	۳۳,۲	۵۸۳۵۱٤,۹۹	۹۱۱٤۸,۱۹	۵۷۸,۸۸	۵٤۱,٤۹
۱۸	۱۸,۳	۳۹,۹	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷
۲۱	۱٦,٤	٤٤,۵	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷
۲٤	۱۵	٤۷,۵	۵۸۲۵۸۷,٤۵	۹۰۹۵٤,۸۹	۵۷۷,۹	۵٤۰,٦۷



شکل ۳. تغییرات ساعتی انتشار (الف) مونواکسید کربن، (ب) اکسیدهای نیتروژن، (پ) اکسیدهای گوگرد و (ت) ذرات معلق

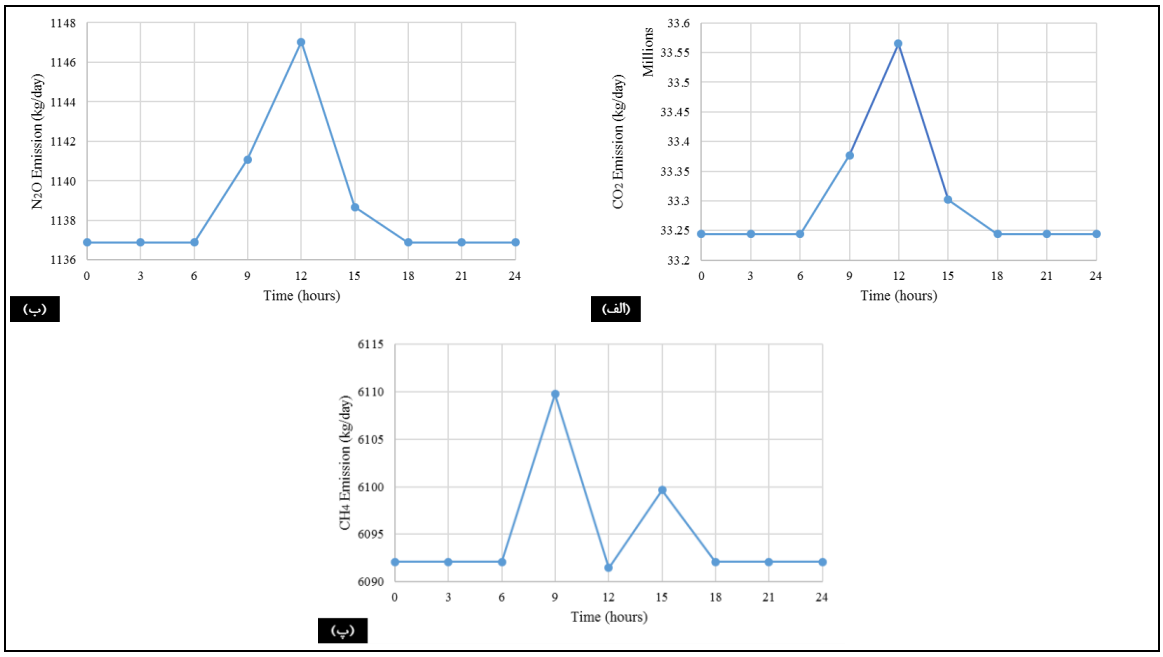
۳-۲ تأثیر دما و رطوبت محیط بر انتشار گازهای گلخانه ای

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود تغییرات هم‌زمان پارامترهای دما و رطوبت محیط موجب ایجاد تغییر در میزان انتشار تمامی گازهای گلخانه‌ای موردبررسی می‌گردد. لازم به توجه است که نحوه تأثیر این دو پارامتر بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان شباهت‌ها و تفاوت‌های قابل‌توجهی دارد. به‌نحوی‌که با توجه به شکل ٤، میزان انتشار هیچ‌یک از گازهای گلخانه‌ای از بامداد تا ساعت ٦ و از ساعت ۱۸ الی بامداد تغییری نمی‌کند. در مقابل برخلاف دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس، نمودار انتشار متان دارای دو نقطه اوج بوده و در ساعت ۱۲ به مقدار حداقل خود می‌رسد. انتشار دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس در ساعت ۱۲ به مقدار حداکثر خود می‌رسد و با شیب بیشتری نسبت به افزایش خود از ساعت ۹ الی ۱۲، طی ساعات ۱۲ الی ۱۵ کاهش می‌یابد. توجه به این نکته ضروری است که شیب افزایش و کاهش به ترتیب در ساعت‌های ٦ الی ۹ و ۱۵ الی ۱۸ کمتر از مقدار همین پارامتر مابین ساعات ۹ الی ۱۵ است.

جدول ۸. تأثیر پارامترهای هواشناسی بر میزان انتشار ساعتی گازهای گلخانه‌ای

Hour	Temperature (°C)	RH (%)	CO_2 (kg)	N_2O (kg)	CH_4 (kg)
۰	۱۵	٤٧,٥	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩
٣	١٤,٦	٤٨,٦	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩
٦	١٨,٦	٣٨,٢	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩
٩	٢١,٢	٣١,٤	٣٣٣٧٦٨٢٦,٣٨	١١٤١,٠٨	٦١٠٩,٧٦
١٢	٢٢,٣	٢٨,٦	٣٣٥٦٤٩٤٨,٩٦	١١٤٧,٠٣	٦٠٩١,٤٧
١٥	٢٠,٦	٣٣,٢	٣٣٣٠١٠٥٠,٩٧	١١٣٨,٦٨	٦٠٩٩,٦٦
١٨	١٨,٣	٣٩,٩	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩

Hour	Temperature (°C)	RH (%)	CO_2 (kg)	N_2O (kg)	CH_4 (kg)
٢١	١٦,٤	٤٤,٥	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩
٢٤	١٥	٤٧,٥	٣٣٢٤٤٢١٩,٤١	١١٣٦,٨٨	٦٠٩٢,٠٩



شکل ٤. تغییرات ساعتی انتشار (الف) دی‌اکسید کربن، (ب) اکسید نیتروس و (پ) متان

٤. نتیجه‌گیری

همان‌طور که در ادامه توضیح داده شده است؛ انتشار ساعتی آلاینده‌های مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق و گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان در اثر تغییرات هم‌زمان دما و رطوبت محیط دچار تغییر می‌شود. با افزایش دما و کاهش رطوبت از بامداد الی ساعت۱۲ ظهر، انتشار تمامی آلاینده‌های موردبررسی به‌استثنای مونواکسید کربن افزایش یافته و در ادامه روز و با کاهش دما و افزایش رطوبت محیط میزان انتشار کاهش می‌یابد. مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس نیز رفتاری مشابه آلاینده‌های ذکرشده در بالا دارد. این در حالی است که انتشار گاز گلخانه‌ای متان رفتار متفاوتی از خود نشان داده و برخلاف سایر آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای دارای دو پیک در ساعات ۹ و ۱۵ بوده و در ساعت ۱۲ به مقدار حداقل خود در طول شبانه‌روز می‌رسد.

در این پژوهش نوع تأثیر تغییر هم‌زمان پارامترهای هواشناسی بر انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای، موردبررسی قرار گرفته است. این فرایند با استفاده از ارزیابی مقادیر خروجی مدل IVE انجام شده است. موارد زیر مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش هستند.

۱. ترکیبی از دمای محیط بالا و رطوبت نسبی کم، میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ذرات معلق، دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروس از اگزوز خودروهای سواری را به میزان حداکثر خود می‌رساند.

۲. در ساعت ۱۲ ظهر که دما و رطوبت میانگین ساعتی به ترتیب حداکثر و حداقل است؛ میزان انتشار مونواکسید کربن از اگزوز خودروهای سواری حداقل می‌شود.

۳. انتشار متان تحت تأثیر هم‌زمان افزایش و کاهش دو پارامتر هواشناسی موردبررسی، رفتار ثابتی نداشته و در ساعات ۹ و ۱۵ بیش از سایر مواقع است.

٤. دما و رطوبت میانگین ساعتی حدفاصل بامداد الی ٦ صبح و ١٨ الی بامداد، تأثیر قابل‌توجهی بر تغییرات میزان انتشار از خودروهای سواری ندارند.

٥. شیب تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌هایی که رفتار ثابتی در قبال تغییرات پارامترهای هواشناسی دارند؛ مابین ساعات ٩ الی ١٢ و ١٢ الی ١٥ بیش از سایر مواقع است.

٦. در میان تمامی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای موردبررسی، تغییرات هم‌زمان دما و رطوبت بیشترین تأثیر نسبی را بر میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن می‌گذارد.

٧. با توجه به اینکه افزایش دمای محیط و گذر آن از ٢٠ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش انتشار تمامی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای می‌گردد، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که در دامنه تغییرات پارامترهای موردبررسی تأثیر دمای محیط بر انتشار اغلب آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای بیش از تأثیر رطوبت نسبی محیط است.

٥. پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. Smog
3. Portable Emissions Measurement System

٦. مراجع

– محمدرضا محمد شفیعی, آلودگی هوا و اثرات آن بر محیط زیست. انتشارات پارس ضیا, ١٣٩٢.

– احسان بنی طالبی، سعید دهقانی و وحید حسینی، "تخمین بار آلودگی سیستم حمل‌ونقل شهری تهران به‌منظور ارزیابی راه‌کارهای کاهش آلودگی هوا," مجله پژوهش‌های عمران و محیط‌زیست، ١٣٩٣.

– "پایگاه اطلاعاتی مدل حمل‌ونقل تهران," معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ١٣٩٦.

– "گزیده آمار و اطلاعات حمل‌ونقل و ترافیک تهران," معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ١٣٩٦.

– Y. Van Fan, S. Perry, J. J. Klemeš, and C. T. Lee, "A review on air emissions assessment: Transportation," Journal of cleaner production, vol. 194, pp. 673-684, 2018.

– Deputy of Transport and Traffic of Tehran, "Tehran Traffic Statistics Handbook", 2019.

– R. O'Driscoll, M. E. Stettler, N. Molden, T. Oxley, and H. M. ApSimon, "Real world CO2 and NOx emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars," Science of the total environment, vol. 621, pp. 282-290, 2018.

– L. Ntziachristos, G. Papadimitriou, N. Ligterink, and S. Hausberger, "Implications of diesel emissions control failures to emission factors and road transport NOx evolution," Atmospheric environment, vol. 141, pp. 542-551, 2016.

– R. Suarez-Bertoa and C. Astorga, "Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions," Environmental pollution, vol. 234, pp. 318-329, 2018.

– A. Roberts, R. Brooks, and P. Shipway, "Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions," Energy conversion and management, vol. 82, pp. 327-350, 2014.

– Y. Chang, B. Mendrea, J. Sterniak, and S. V. Bohac, "Effect of ambient temperature and humidity on combustion and emissions of a spark-assisted compression ignition engine," Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 139, no. 5, 2017.

– ISSRC, "International Sustainable Systems Research Center, IVE Model User Manual, Version 2.0.," 2008.

– Å. Sjödin et al., "On-Road Emission Performance of Late Model Diesel and Gasoline Vehicles as Measured by Remote Sensing," ed: IVL Svenska Miljöinstitutet, 2017.

– Iran Meteorological Organization. (2020). Specialized products and services weather. Available: https://www.irimo.ir/eng/wd/720-Products-Services.html.

– Tehran Air Quality Control Company. (2021). analysis of gasoline of Tehran's filling stations. Available: https://air.tehran.ir/Default.aspx?tabid=957.

The Effects of Meteorological Parameters on Hourly Emissions of Criteria Pollutants and Greenhouse Gases from Gasoline Engine Passenger Cars

Seyed Erfan Hoseinifar, M.S. Grad., School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
Majid Shafiepour Motlagh, Assistant Professor, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
Khosro Ashrafi, Associate Professor, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
Mohammad Reza Ahadi*, Associate Professor, Ministry of Roads and Urban Development, Transportation Research Institute, Tehran, Iran

E-mail: m.ahadi@bhrc.ac.ir

Abstract

Gasoline engine passenger cars are one of the most significant sources for emissions of local pollutants, namely, Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Oxides (NO_X), Sulfur Oxides (SO_X), and Particulate Matters (PM), as well as emissions of greenhouse gases including Carbon Dioxide (CO_2), Nitrous Oxide (N_2O), and Methane (CH_4), which has resulted in Tehran ambient air being noncompliant with legal air quality standards. This article provides an overview of the simultaneous effects of ambient temperature and humidity on emissions of criteria pollutants and greenhouse gases. In this work, traffic simulation and emission estimation were conducted by the IVE model, using long-term meteorological data. The findings of the present study indicated that a combination of high ambient temperature and low relative humidity increases the emissions of NO_X, SO_X, PM, CO_2, and N_2O from gasoline engine passenger cars. In contrast, when the average hourly temperature and humidity are maximum and minimum, respectively; The emission of CO reaches its minimum value. In conclusion, changing the working hours of offices and educational centers in such a way that the end of the working hours does not coincide with maximum temperature and minimum humidity, can be considered as a solution to reduce the vehicular emissions of criteria pollutants and greenhouse gases.

Keywords: Meteorological parameters, Vehicular emissions, Transportation, Tehran, IVE model