تحلیل حساسیت اثر نسبی پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر میزان انتشار آلاینده‌های خطرناک از خودروهای سواری (مطالعه موردی: شهر تهران)

مقاله علمی ـ پژوهشی

سید عرفان حسینی‌فر، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مجید شفیع‌پور مطلق، استادیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
خسرو اشرفی، دانشیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
محمدرضا احدی*، دانشیار، پژوهشکده حمل‌ونقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.ahadi@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۱/۰٤/۲۷– پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۱۵
صفحه۵۲-۳۳

چکیده

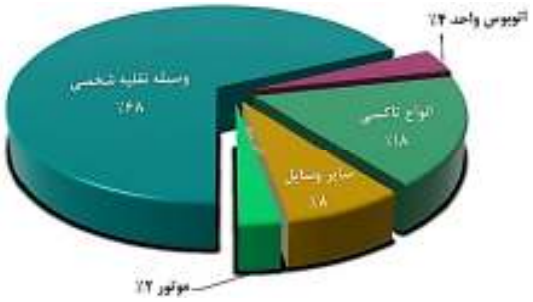
این پژوهش به منظور تعیین میزان و نحوه تأثیر انواع پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار آلاینده‌های خطرناک و سمی انجام شده است. در این مطالعه موردی به منظور نیل به هدف مذکور ضمن برقراری یک تصاعد حسابی در دامنه ورودی‌ها، هر یک از پارامترهای ورودی به صورت نقطه‌ای در اختیار مدل تخمین انتشار IVE قرار گرفته است. در ادامه و جهت تعیین میزان حساسیت انتشار آلاینده‌های خطرناک از اگزوز خودروهای سواری نسبت به عوامل ورودی، از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیرگذارترین عامل بر افزایش انتشار آلاینده‌های بوتادین، استالدهید و فرمالدهید با ضرایب تعیین ۰/۷۱، ۰/۶۸ و ۰/۶۶ میانگین سن ناوگان خودروهای سواری است. این در حالی است که بر اساس یافته‌های این فعالیت پژوهشی، مهم‌ترین و اثرگذارترین عامل افزایش انتشار آلاینده‌های آمونیاک و بنزن به ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۹۰ و ۱/۰۰، شیب جاده و مقدار بنزن موجود در سوخت است. با بررسی روند تغییرات میزان انتشار آلاینده‌ها تحت تأثیر مقادیر مختلف پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی می‌توان مقادیر بهینه هر یک از این عوامل را به منظور حداقل سازی میزان انتشار ارزیابی نمود. با توجه به نتایج به دست آمده، نوسازی ناوگان خودروهای سواری، بهبود کیفیت سوخت و احداث جاده‌هایی با شیب ملایم می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب در جهت کاهش انتشار آلاینده‌های سمی در شهر تهران در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های خطرناک، تحلیل حساسیت، خودروهای سواری، مدل IVE

۱- مقدمه

آلاینده‌های خطرناک هوا که به عنوان آلاینده‌های سمی نیز شناخته می‌شوند، آن دسته از موادی هستند که خاصیت سرطان‌زایی آن‌ها تائید شده و یا قرار گرفتن در معرض آن‌ها موجب ایجاد بیماری‌های مزمن از جمله کاهش میزان باروری و نقص‌های مادرزادی می‌گردد. درصد قابل توجهی از انتشار این آلاینده‌ها از منابع متحرک انسان‌ساخت از جمله خودروهای سواری، کامیون‌ها و اتوبوس‌ها سرچشمه می‌گیرد (U.S. Environmental Protection Agency, 2022). مواجهه طولانی‌مدت با این مواد حتی در سطوحی کمتر از

غلظت معیار استنشاقیِ معین‌شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست، می‌تواند موجب بروز تأثیرات نامطلوبی بر سیستم‌های قلبی و عروقی، تنفسی و غدد درون‌ریز گردد (Bolden, Kwiatkowski, & Colborn, 2015). آلاینده‌های خطرناک مورد بررسی در این فعالیت پژوهشی شامل بوتادین، استالدهید، فرمالدهید، آمونیاک و بنزن هستند. بخش قابل توجهی از میزان انتشار آلاینده‌های هوا، تحت تأثیر منابع متحرک جغرافیایی است. در این میان مطابق شکل ۱ خودروهای سواری نقش بسزایی در ایجاد ترافیک و انتشار آلاینده‌ها ایفا می‌کنند (Deputy of Transport and Traffic of Tehran, 2019). در مقابل بر اساس سیاهه انتشاری که در سال ۲۰۱٤ توسط سازمان حفاظت محیط زیست توسعه یافته است؛ ۰/٤ الی ۰/۷ درصد از انتشار این آلاینده‌ها نشئت‌گرفته از منابع ثابت نقطه‌ای است. شایان ذکر است که انتشار این آلاینده‌ها در مناطق شهری به یکدیگر وابسته بوده و انتشار یکی از آن‌ها موجب افزایش انتشار دیگر آلاینده‌های سمی می‌شود (Miller et al., 2012; Miri et al., 2016).



شکل ۱. سهم انواع وسایل نقلیه در ایجاد ترافیک صبح

در زمینه مدیریت آلودگی هوا، انجام اقدامات پیشگیرانه می‌تواند از تأثیرات سوء این پدیده بر سلامت انسان‌ها و سایر جانداران و تخریب و خوردگی بناهای ارزشمند و باستانی جلوگیری نماید. به منظور ارائه یک روش پیشگیرانه جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها از اگزوز خودروهای سواری باید ارزیابی صحیحی از پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی مؤثر بر میزان انتشار انجام گیرد. پارامترهای اصلی مؤثر بر میزان انتشار آلاینده‌های خطرناک عبارت‌اند از: میزان پیمایش، سرعت متوسط ناوگان، سن ناوگان، دما و رطوبت محیط، ارتفاع از سطح دریا، شیب جاده، کیفیت سوخت و میزان استفاده از تهویه مطبوع. جهت تعیین تأثیر هر یک از پارامترهای مذکور بر میزان انتشار آلاینده‌ها، روش‌های گوناگونی از جمله استفاده از ضرایب انتشار AP-42 که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا توسعه داده شده است وجود دارد. اما این روش میزان سوخت‌های تبخیری، تعداد استارت‌های سرد و گرم و عادات رانندگی را در نظر نمی‌گیرد (Shafie-Pour & Tavakoli, 2013). از دیگر روش‌های مورد استفاده برای سنجش آلاینده‌ها می‌توان به روش سنجش بر روی شاسی دینامومتر، روش سنجش همراه (PEMS) و روش سنجش از راه دور (RS) اشاره کرد. همچنین به کمک مدل‌های تخمین انتشار می‌توان به صورت غیرمستقیم، میزان انتشار آلاینده‌ها و تغییرات انتشار تحت تأثیر پارامترهای مؤثر بر آن را مورد محاسبه قرار داد. از میان مدل‌های موجود در زمینه تخمین نرخ انتشار آلاینده‌های هوا از منابع متحرک، مدل IVE (International Vehicle Emissions) به عنوان مدل مورد استفاده در این پژوهش انتخاب گردیده است که مدلی تأیید شده در سطح جهانی و مناسب برای کشورهای در حال توسعه است (Agarwal & Mustafi, 2021; Rahman et al., 2021). تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک انجام شده که اغلب آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار IVE مدل‌سازی گردیده است. در این میان تعداد اندکی از آن‌ها به بررسی تأثیر یک عامل منفرد بر تغییرات انتشار آلاینده‌ها از اگزوز خودروهای سواری پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از این فعالیت‌های پژوهشی اشاره می‌گردد.

-تأثیر خصوصیات سوخت بر میزان انتشار آلاینده‌ها در مکزیک: ضمن این پژوهش که در سال ۲۰۱۹ انجام شده ثابت گردیده است که انتشار هیدروکربن‌ها از ناوگان

حمل‌ونقل این کشور بسیار بیشتر از ایالات‌متحده آمریکا است. انتشار تبخیری ترکیبات آلی فرار، تحت تأثیر فشار بخار سوخت و میزان اتانول است. بالا بودن میزان انتشار تبخیری در کشور مکزیک از کیفیت پایین سوخت و بهره‌برداری از استاندارد Euro 4 سرچشمه می‌گیرد (Koupal & Palacios, 2019).

-تأثیر پیمایش و تغییرات فناوری بر میزان انتشار: در پژوهشی که توسط گروهی از نویسندگان چینی در سال ۲۰۱۸ صورت گرفته است تأثیر میزان پیمایش و تغییرات استانداردهای انتشار بر میزان انتشار آلاینده‌های مبنا از خودروهای سواری بنزینی، با استفاده از روش دینامومتر شاسی بررسی شده است. این پژوهش نشان داده است که یک رابطه معنادار مستقیم خطی بین افزایش میزان فرسودگی خودرو و افزایش میزان انتشار آلاینده‌های مونواکسید کربن، هیدروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن وجود دارد. این فعالیت پژوهشی همچنین ثابت کرده است که پیشرفت استانداردهای انتشار، نقشی کلیدی در کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها ایفا می‌کند (Zhang et al., 2018).

-تأثیر استفاده از سیستم تهویه مطبوع خودرو بر افزایش مصرف سوخت: محققان این پژوهش به این نتیجه دست یافته‌اند که یکی از مهم‌ترین دلایل عدم انطباق میزان سوخت مصرفی اعلامی توسط تولیدکننده خودرو با مصرف سوخت واقعی، استفاده از سیستم تهویه مطبوع است. آن‌ها با استفاده از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی ثانیه‌ای مصرف سوخت خودرو در شرایط استفاده از سیستم تهویه مطبوع ثابت کردند که در سرعت‌های کمتر از ۱۰ کیلومتر بر ساعت میزان افزایش مصرف سوخت ناشی از استفاده از سیستم مذکور برابر ۱۷/٦ لیتر بر صد کیلومتر است. این میزان با افزایش سرعت و در سرعت‌های بین ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت به ۸/۱ لیتر بر صد کیلومتر و در سرعت‌های بالاتر به ۱/۳ لیتر بر صد کیلومتر تقلیل می‌یابد (Mogro & Huertas, 2021).

-بررسی عوامل مؤثر بر انتشار آلاینده‌های خطرناک هوا در منطقه‌ای صنعتی در کره جنوبی: در پژوهشی که توسط گروهی از نویسندگان کره‌ای در سال ۲۰۱۹ انجام شده است میزان تأثیر عوامل مختلف بر افزایش غلظت آلاینده‌های خطرناک با استفاده از نمونه‌برداری در دو منطقه صنعتی و سه منطقه مسکونی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در مناطق مسکونی بیشتر از مناطق صنعتی بوده است. این نتایج به وضوح به این مسئله اشاره دارد که فعالیت‌های صنعتی تنها منبع انتشار این آلاینده‌ها در منطقه نیستند و انتشار از اگزوز خودروها مؤثرترین منبع تولید هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای است (Baek et al., 2019).

با بررسی پژوهش‌های ذکرشده در زمینه انتشار آلاینده‌های مبنا، گازهای گلخانه‌ای و البته آلاینده‌های سمی و خطرناک از خودروهای سواری می‌توان دریافت که فعالیت‌های بسیاری در زمینه انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک انجام شده است. در این زمینه از روش‌های مستقیم، سنجش از راه دور و مدل‌های تخمین انتشار استفاده شده است. اکثریت فعالیت‌های وابسته به مدل‌سازی در سال‌های اخیر با استفاده از مدل IVE انجام گردیده است و تعداد کمی از پژوهشگران از سایر مدل‌های تخمین انتشار موجود استفاده کرده‌اند. همان‌طور که گفته شد عوامل بسیاری بر میزان انتشار انواع آلاینده‌ها از منابع متحرک اثرگذارند که این عوامل را می‌توان به سه دسته کلی پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی تقسیم نمود. تاکنون پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر هر یک از این عوامل همچون تکنولوژی مورد استفاده در خودرو، میزان پیمایش، سرعت، استفاده از تهویه و خصوصیات سوخت مصرفی بر میزان انتشار انجام شده است. در این میان جای خالی فعالیت تحقیقاتی جامعی که تأثیر تمامی عوامل مؤثر بر میزان انتشار را در بر گیرد احساس می‌شود. در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا با استفاده از مدل IVE مقدار انتشار هر یک از آلاینده‌ها در شرایطی ثابت مشخص شده و میزان تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر بر انتشار تعیین گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین حدود ۱۵٦۰ متر در شمال و۱۱۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است و در حدود ۷۵۱ کیلومتر مربع مساحت

دارد. شهرداری تهران به منظور تأمین نیازمندی‌ها و اداره بهتر شهر، سطح شهر را به ۲۲ منطقه تقسیم کرده است (Deputy of Transport and Traffic of Tehran, 2019). وجود یک شبکه بزرگراهی گسترده در شهر تهران و همچنین افزایش روزافزون شهرنشینی و به دنبال آن گسترش صنایع در این شهر از جمله مواردی هستند که موجب افزایش پیوسته تعداد خودروها در این شهر شده‌اند. تعداد خودروهایی که در شهر تهران پلاک شده‌اند در حدود ۳/۵ میلیون است. افزون بر این خودروها، روزانه تعداد زیادی خودرو از دروازه‌های ورودی شهر تهران به سمت این شهر روانه می‌شوند که موجب افزایش میزان سفرها و در نتیجه افزایش حجم ترافیک و انتشار آلاینده‌ها می‌شوند. شکل ۲ حجم خودروهای سواری ورودی به شهر تهران از ۱٤ ورودی شهر را نشان می‌دهد (Deputy of Transport and Traffic of Tehran, 2019).

شکل ۲. مجموع حجم ورودی صبحگاهی به دروازه‌های شهر تهران

افزایش پیوسته تعداد خودروها در شهر تهران موجب افزایش تعداد سفرهای سواره و به تبع آن کاهش سرعت متوسط در شبکه معابر، افزایش متوسط زمان سفر و افزایش نسبت زمان تأخیر به زمان سفر می‌گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد هر یک از عوامل مذکور می‌تواند تأثیر بسزایی بر انتشار انواع آلاینده‌ها داشته باشد.

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها و مدل‌سازی

مدل مورد استفاده در این پژوهش به منظور تعیین تأثیر هر یک از عوامل ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار از خودروهای سواری مدل IVE است. این مدل شامل سه فاز است. فاز اول شامل الگوهای رانندگی، استارت و فناوری خودرو و فاز دوم مربوط به برآورد انتشار از این خودروها است. در مرحله آخر و در فاز سوم، این برآوردها بعلاوه اطلاعات دیگر مانند شرایط محلی و سن ناوگان در ابزاری مبتنی بر نرم‌افزار JAVA وارد می‌شوند که میزان انتشار را تخمین می‌زند. این مدل توانایی پیش‌بینی میزان انتشار آلاینده‌های مبنا، گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های سمی را دارد. تخمین انتشار در این مدل از ضرب نرخ پایه انتشار مربوط به هر فناوری در ضرایب تصحیح به دست می‌آید. معادله ۱ نرخ انتشار تخمینی را نشان می‌دهد (Rashidi & Atabi, 2019).

$$Q_t = B_t \times K_{1t} \times K_{2t} \times \ldots \times K_{xt} \quad (۱)$$

Q: نرخ انتشار

B: نرخ انتشار پایه

K: ضریب تصحیح

ضرایب تصحیح را می‌توان به شکلی که در جدول ۱ آورده شده است دسته‌بندی نمود. این مدل برای لحاظ کردن اثر این ضرایب، از دو عامل توان ویژه (VSP) و تنش موتور (Engine Stress) استفاده می‌کند. هر دو پارامتر ذکرشده را می‌توان از طریق سرعت لحظه به لحظه خودرو در یک بازه زمانی مشخص و قرار دادن آن در روابط ۲ و ۳ به دست آورد. در پژوهش حاضر در ابتدا با در اختیار داشتن سرعت لحظه‌ای مربوط به چرخه رانندگی اروپا (شکل ۳) و با استفاده از روابط موجود، اقدام به محاسبه توان ویژه موتور و تنش موتور می‌گردد که در نتیجه این فرایند سهم هر یک از دسته‌بندی‌های مربوط به الگوی رانندگی و فراوانی آن‌ها به دست خواهد آمد (ISSRC, 2008; Lyu et al., 2021).

جدول ۱. پارامترهای مؤثر بر محاسبه انتشار آلاینده‌ها در مدل IVE

متغیرهای محلی	متغیرهای کیفیت سوخت	متغیرهای رانندگی
دمای محیط	نوع سوخت	توان ویژه خودرو
رطوبت محیط	میزان گوگرد سوخت	شیب جاده
ارتفاع	میزان سرب سوخت	استفاده از تهویه مطبوع
برنامه بازرسی و نگهداری	میزان بنزن سوخت	توزیع استارت
انتشار پایه	میزان ترکیبات اکسیژن‌دار سوخت	

$$VSP = v\,(1.1a + 9.81\,(a\tan(\sin(grade))) + 0.132) + 0.000302v^3 \quad (۲)$$

$grade = (h_{t=0} - h_{t=-1})/\ v_{(t=-1to0seconds)}$

v = velocity (m/s)

a = acceleration (m/s^2)

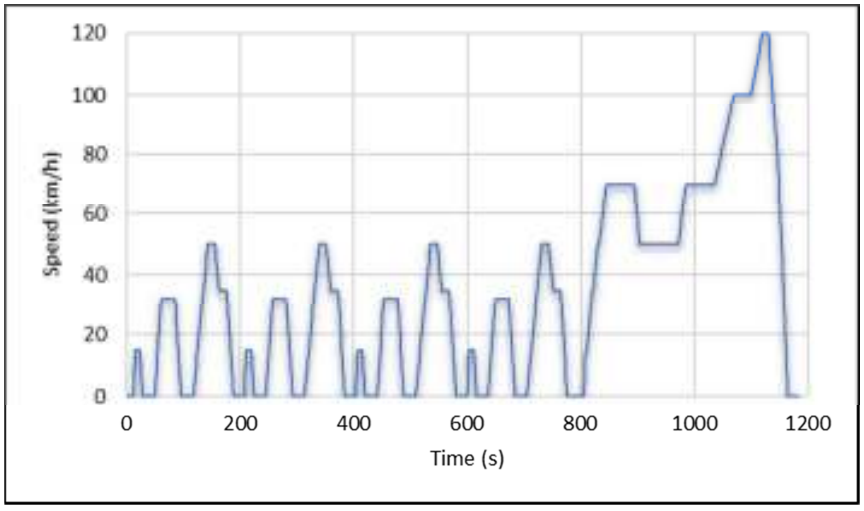
h = Altitude (m)

$$\text{Engine Stress (unitless)} = \text{RPM Index} + (0.08\ \text{ton/kW}) \times \text{Pre-average Power} \quad (۳)$$

$\text{Pre-average Power} = \text{Average}\ (VSP_{t=-5sec\ to\ -25\ sec})\ (kW/ton)$

$\text{RPM Index} = Velocity_{t=0}/\text{Speed Divider (unitless)}$

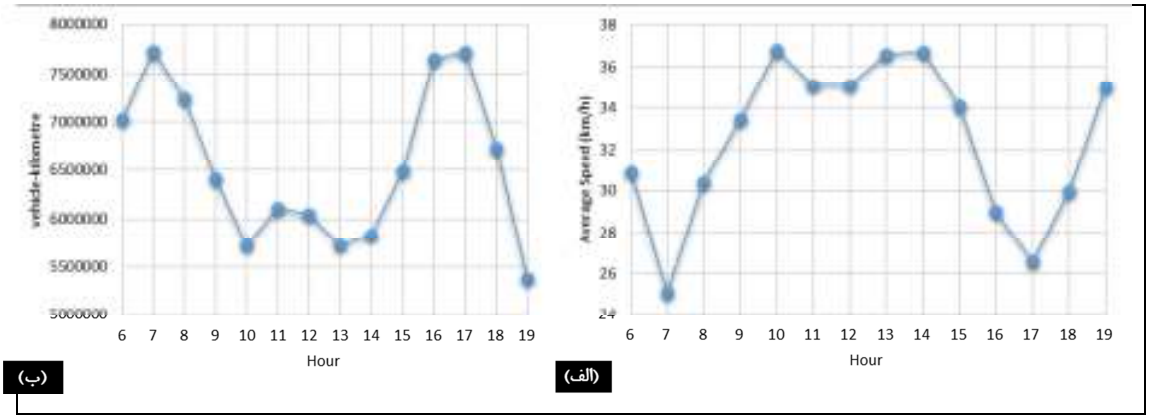
Minimum RPM Index = 0.9



شکل ۳. چرخه رانندگی اروپا

سرعت میانگین و مسافت طی شده از جمله عوامل مؤثر بر انتشار آلاینده‌ها از خودروها هستند. دامنه تغییرات مورد بررسی این دو پارامتر در پژوهش حاضر حد فاصل ساعات ٦ الی ۱۹ در روزهای کاری هفته است. همان‌طور که در شکل ٤ نشان داده شده است میزان مسافت طی شده و سرعت میانگین ناوگان رابطه عکس دارند؛ به نحوی که هرچه مسافت پیمایش ناوگان در یک ساعت مشخص (تابعی از تعداد خودرو و حجم ترافیک) بیشتر باشد سرعت میانگین ناوگان کاهش می‌یابد. با تعیین نحوه تأثیر سرعت میانگین بر میزان انتشار می‌توان سرعت میانگین بهینه به منظور دستیابی به کمترین میزان انتشار در شهر تهران را محاسبه نمود. از طرف دیگر تعیین تأثیر مسافت روزانه پیموده شده توسط ناوگان سواری شهر تهران بر میزان انتشار می‌تواند تأثیر طرح‌های کاهش تعداد خودروهای فعال در سطح شهر همچون طرح زوج و فرد را مشخص نماید.

در مدل IVE کاربر می‌تواند اطلاعات مربوط به دما و رطوبت را به صورت روزانه و یا ساعتی وارد کند. دما و رطوبت از دیگر عوامل مؤثر بر میزان انتشار هستند که با تغییر سازمان‌یافته آن‌ها می‌توان شدت تأثیر هر یک از این دو عامل را معین نمود. در این پژوهش از اطلاعات هواشناسی مربوط به سی سال اخیر (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) استفاده شده است. با توجه به داده‌های سازمان هواشناسی کشور، حداقل میانگین روزانه دما در این بازه زمانی برابر ۷/۷- و حداکثر این مقدار برابر ۳۷/٦ درجه سلسیوس ثبت گردیده است. بنابراین دامنه تغییرات دمای محیط در این پژوهش بین ۷/۵- و ۳۷/۵ انتخاب گردیده است. حداقل و حداکثر میانگین روزانه رطوبت در بازه زمانی مذکور به ترتیب ۸ و ۹۷/۱۲۵ بوده است که در این پژوهش دامنه تغییرات رطوبت، بین ۸ و ۹۸ انتخاب شده است. مقادیر یادشده به همراه تاریخ وقوع آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ٤. (الف) سرعت و (ب) مسافت پیمایش میانگین ناوگان سواری شهر تهران Deputy of Transport and Traffic of Tehran, (2019)

جدول ۲. مقادیر کمینه و بیشینه داده‌های هواشناسی (Iran Meteorological Organization, 2020)

پارامتر هواشناسی	مقدار	تاریخ
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۷/۵-	۲۰۰۸/۰۱/۰۸
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۳۷/۵	۲۰۰۳/۰۷/۱۷
حداقل رطوبت (٪)	۸/۰	۲۰۱٤/۰۸/۰۹
حداکثر رطوبت (٪)	۹۸/۰	۱۹۹۱/۰۱/۰٤

دو عامل دیگری که در این پژوهش به عنوان پارامترهای مؤثر بر میزان انتشار مورد بررسی قرار گرفته‌اند، پارامترهای کیفیت سوخت و تکنولوژی ناوگان خودروهای سواری هستند. تمرکز این پژوهش بر روی خودروهای سواری بنزین‌سوز است که بر طبق دسته‌بندی مدل IVE زیرمجموعه گروه Auto/Small Truck قرار می‌گیرند. بر اساس تنظیمات مدل IVE خودروهای مورد مطالعه از لحاظ حجم موتور در دو گروه Light (حجم موتور کمتر از ۱/۵ لیتر) و Medium (حجم موتور بین ۱/۵ تا ۳ لیتر) دسته‌بندی می‌شوند. تمامی خودروهای مورد بررسی مجهز به سیستم پاشش سوخت چندنقطه‌ای (MPFI)، کاتالیزور سه‌جانبه (3WY) و سیستم تهویه مثبت محفظه میل‌لنگ (PCV) هستند. موارد مذکور به همراه میزان پیمایش انواع خودروها و درصد تجهیز آن‌ها به سیستم تهویه مطبوع در جدول ۳ و خصوصیات سوخت مصرفی آن‌ها در جدول ٤ آورده شده است. همان‌طور که در این جداول آمده است در حدود ۲۸ درصد خودروهای ناوگان مورد مطالعه در این پژوهش، مجهز به موتورهایی با ظرفیت کمتر از ۱/۵ لیتر بوده و بقیه آن‌ها به موتورهایی با ظرفیت مابین ۱/۵ تا ۳ لیتر تجهیز شده‌اند. همچنین در حدود ۹۷ درصد از خودروهای مورد بررسی مجهز به سیستم تهویه مطبوع هستند.

در آخر توجه به این نکته حائز اهمیت است که گذشته از تأثیر مستقیم دمای محیط بر تغییرات میزان انتشار از خودروها، تغییرات دمای محیط می‌تواند از طریق تأثیر بر میزان استفاده از سیستم تهویه مطبوع خودرو نیز بر افزایش مصرف سوخت و میزان انتشار مؤثر باشد Vashisht & (Rakshit, 2021). با فرض اینکه دمای مرزی استفاده و یا عدم استفاده از سیستم تهویه مطبوع توسط رانندگان برابر ۲٤ درجه سانتی‌گراد باشد؛ دمای میانگین ساعتی در شهر تهران به شکلی است که در ٤ ماه اول و ۳ ماه آخر سال هیچ راننده‌ای اقدام به استفاده از سیستم تهویه مطبوع نخواهد کرد. این در حالی است که رانندگان در ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر به میزان مشخص‌شده در شکل ۵ از سیستم تهویه مطبوع استفاده خواهند نمود. در نتیجه گستره میزان استفاده از تهویه مطبوع (به عنوان ورودی مدل IVE) از ۰ تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است. در این پژوهش با تغییر میزان استفاده از تهویه مطبوع در گستره منتخب، اقدام به ثبت مقادیر انتشار هر یک از آلاینده‌های سمی می‌گردد. در ادامه با بهره‌گیری از این مقادیر ثبت‌شده، نمودار مربوط به میزان انتشار روزانه هر یک از آلاینده‌های سمی به طور جداگانه رسم و میزان تأثیر سیستم تهویه مطبوع بر انتشار مشخص می‌شود.

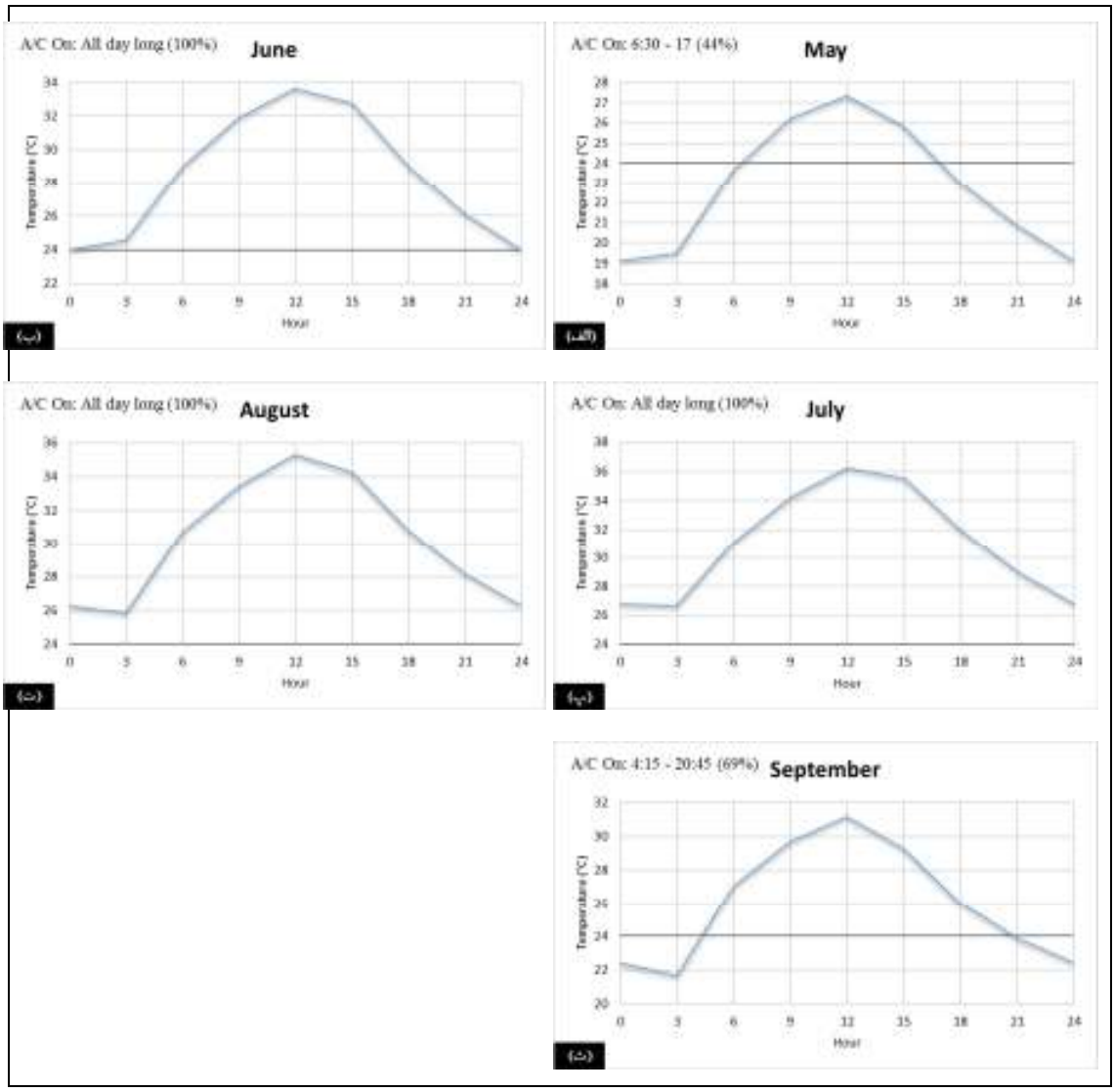
جدول ۳. تکنولوژی ناوگان خودروهای سواری شهر تهران

Vehicle type	Fuel	Technology	Accumulated mileage ($\times 10^3$ km)	Travel fraction (%)	AC equipped fraction (%)
Light	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	<79	15.63	100
Light	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	80–161	9.38	100
Light	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	>161	3.13	100
Medium	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	<79	43.75	100
Medium	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	80–161	21.88	100
Medium	Gasoline	MPFI: 3WY: PCV	>161	6.25	50

منبع: آماده‌سازی شده توسط نویسندگان با استفاده از داده‌های استخراج‌شده از (Banitalebi & Hosseini, 2015)

جدول٤. خصوصیات سوخت در مدل IVE (Tehran Air Quality Control Company, 2021)

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



شکل ۵. میزان و مدت زمان میانگین استفاده از سیستم تهویه مطبوع خودروها در شهر تهران در ماه‌های (الف) مه، (ب) ژوئن، (پ) ژوئیه، (ت) اوت و (ث) سپتامبر بر اساس داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله

۳-۲- پردازش داده‌ها

همان‌طور که در قسمت‌های پیشین بیان شد، هدف این پژوهش تعیین میزان تأثیر هر یک از عوامل ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر روی انتشار است. به منظور دستیابی به این هدف، اطلاعات مربوط به دامنه تغییرات هر یک از پارامترهای فایل موقعیت و فایل ناوگان از جمله ارتفاع از سطح دریا، شیب جاده، دما، رطوبت، میزان گوگرد، بنزن و ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در سوخت، سرعت متوسط ناوگان، مدت زمان استفاده از سیستم تهویه مطبوع، مسافت پیموده شده و سن ناوگان گردآوری گردیده است. در ادامه ضمن تغییر سازمان‌یافته هر یک از ورودی‌های ذکر شده در مدل IVE، خروجی‌های متفاوتی ثبت شده است. با بررسی روند تغییرات میزان انتشار حاصل از نرم‌افزار و رسم نمودار حاصل از دسته داده‌های به دست آمده، اقدام به برآورد بهترین خط برازنده شده است. لازم به ذکر است که به منظور فراهم کردن قابلیت مقایسه بین خطوط برازنده مربوط به پارامترهای مختلف مورد بررسی، با استفاده از تعریف فرمول ٤ اقدام به بی‌بعد سازی پارامترها گردیده است.

در نهایت با توجه به شیب‌خط‌های به دست آمده از خطوط برازنده مربوط به پارامترهای مورد بررسی، میزان تأثیر هر یک از پارامترها بر میزان انتشار حاصل می‌شود.

$$I = \frac{I_H - I_L}{P_{max} - P_{min}} \times P - P_{min} \quad (٤)$$

I= شاخص مورد نظر از پارامتر مورد محاسبه

I_H= حداکثر مقدار شاخص (۱۰۰)

I_L= حداقل مقدار شاخص (۰)

P= مقدار پارامتر مورد نظر

P_{max}= حداکثر مقدار پارامتر مورد نظر

p_{min}= حداقل مقدار پارامتر مورد نظر

۳- نتایج

۳-۱- تحلیل حساسیت پارامترها

به منظور انجام فرایند تحلیل حساسیت، ارتباط و میزان تأثیر پارامترهای ورودی بر پارامترهای خروجی که در این پژوهش مقدار انتشار آلاینده‌های سمی و خطرناک از خودروهای سواری است؛ با استفاده از روش آنالیز حساسیت محلیِ یک عامل در هر نوبت (One at a Time) معین شد. در این روش تغییرات خروجی با تغییر یک ورودی و ثابت نگه‌داشتن سایر ورودی‌ها بررسی می‌شود. از این طریق شیب‌خط و میزان تأثیر هر یک از پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر تغییرات متغیرهای وابسته مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت. طی این فرایند سعی بر آن بود که سه هدف رتبه دهی، غربالگری و نگاشت که همانا اهداف اصلی آنالیز حساسیت هستند تحقق یابند Pianosi et al., 2016).به این منظور پارامترهای مؤثر بر انتشار بر اساس سهم نسبی آن‌ها در تغییرات خروجی طبقه‌بندی شده و عواملی که بیشترین و کمترین تأثیر را بر میزان انتشار داشتند مشخص شدند (رتبه دهی)؛ ورودی‌هایی که تأثیر ناچیزی بر تغییرات انتشار داشتند تعیین گردیدند (غربالگری)؛ و در نهایت نواحی‌ای از دامنه ورودی‌ها که موجب ایجاد مقادیر معنادار خروجی (بیشینه و کمینه) می‌شدند معین گشتند (نگاشت).

۳-۲- غربالگری پارامترهای مؤثر بر انتشار

از میان تمامی پارامترهای تأثیرگذار بر میزان انتشار آلاینده‌ها که قبلاً در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شد، در پژوهش حاضر متغیر محلی ارتفاع و سرب موجود در بنزین از عواملی بودند که تأثیر قابل مشاهده‌ای بر تغییرات میزان انتشار هیچ‌یک از آلاینده‌های سمی مورد بررسی نداشتند. عدم تغییر میزان انتشار آلاینده‌ها ناشی از تغییر ارتفاع از سطح دریا به دلیل مجهز بودن ناوگان سواری شهر تهران به سیستم پاشش سوخت افشانه‌ای است. این سیستم قابلیت تطبیق با تغییرات نسبت هوا به سوخت بر اثر تغییرات ارتفاع و کاهش چگالی هوا را دارا بوده و بنابراین از تغییرات میزان انتشار بر اثر تغییر ارتفاع جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر از آن جایی که مطابق جدول ٤ میزان سرب موجود در سوخت مصرفی خودروهای سواری صفر در نظر گرفته شده است؛ این عامل تأثیری بر میزان انتشار آلاینده‌ها نخواهد داشت.

۳-۳- همبستگی میان پارامترهای ورودی و انتشار بوتادین

شکل ٦ نتایج رگرسیون خطی در زمینه تأثیر عوامل مختلف بر انتشار آلاینده بوتادین را نشان می‌دهد. بر اساس معیار ضریب تعیین (R^2)، میزان انتشار این آلاینده بیشترین همبستگی را با عوامل مسافت پیمایش شده و میزان استفاده از تهویه مطبوع با مقدار R^2 برابر با ۱ دارد. در حالی که کمترین همبستگی به پارامترهای سن ناوگان (R^2=0.7118) و رطوبت محیط(R^2=0.8485) تعلق دارد. در این میان پارامترهای شیب جاده، گوگرد، ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در سوخت و سرعت با ضریب تعیین بالغ بر ۰/۹ به خوبی تغییرات متغیر وابسته را توضیح داده‌اند. لازم به ذکر است که تأثیر دما بر انتشار بوتادین در نقطه مشخصی از کاهشی به افزایشی تغییر می‌کند و در هر دو بخش نمودار، با ضریب تعیین مناسبی تغییرات انتشار را توضیح می‌دهد. نهایتاً شکل ٦ ج نشان می‌دهد که تغییرات میزان بنزن موجود در بنزین تأثیری بر انتشار بوتادین ندارد. عموماً گفته می‌شود که ضریب تعیین کمتر از ۰/۰۵ معرف عدم وجود همبستگی میان دو پارامتر است. این در حالی است که کمترین ضریب تعیین مربوط به سن ناوگان و برابر ۰/۷۱۱۸ است که نشان از کفایت رگرسیون خطی برای توضیح ارتباط انتشار بوتادین و پارامترهای مربوطه دارد.

٤-۳- همبستگی میان پارامترهای ورودی و انتشار استالدهید

در شکل ۷ رگرسیون خطی برای عوامل مؤثر بر انتشار استالدهید نشان داده شده و ضرایب تعیین و شیب‌خطوط هر یک از آن‌ها بطور جداگانه آورده شده است. بر اساس نمودارهای موجود، ضرایب تعیین شیب جاده، گوگرد، ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در بنزین، سرعت متوسط، مسافت و تهویه مطبوع همگی بیشتر از ۰/۹ و به ترتیب برابر ۰/۹۰٤۸، ۰/۹۷۸٤، ۰/۹۷۹٦، ۰/۹۸۹، ۱/۰ و ۱/۰ هستند. این موضوع بیانگر این واقعیت است که حداقل ۹۰ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط تغییرات متغیرهای مستقل توضیح داده شده است. در مقابل سن ناوگان و رطوبت نسبی محیط با ضرایب تعیین ۰/٦۷۵۵ و ۰/۸٤۸۲ میزان کمتری از تغییرات انتشار استالدهید را نمایش می‌دهند. در مورد دما نیز گفتنی است که ناحیه‌ای از دامنه ورودی‌ها موجب ایجاد مقدار کمینه در خروجی گشته که از این رو با برازش دو منحنی خطی سعی بر توضیح هر چه بهتر نوع تغییرات انتشار شده است. در نهایت شایان ذکر است که تغییرات بنزن موجود در بنزین تأثیری بر انتشار استالدهید ندارد.

٥-۳- همبستگی میان پارامترهای ورودی و انتشار فرمالدهید

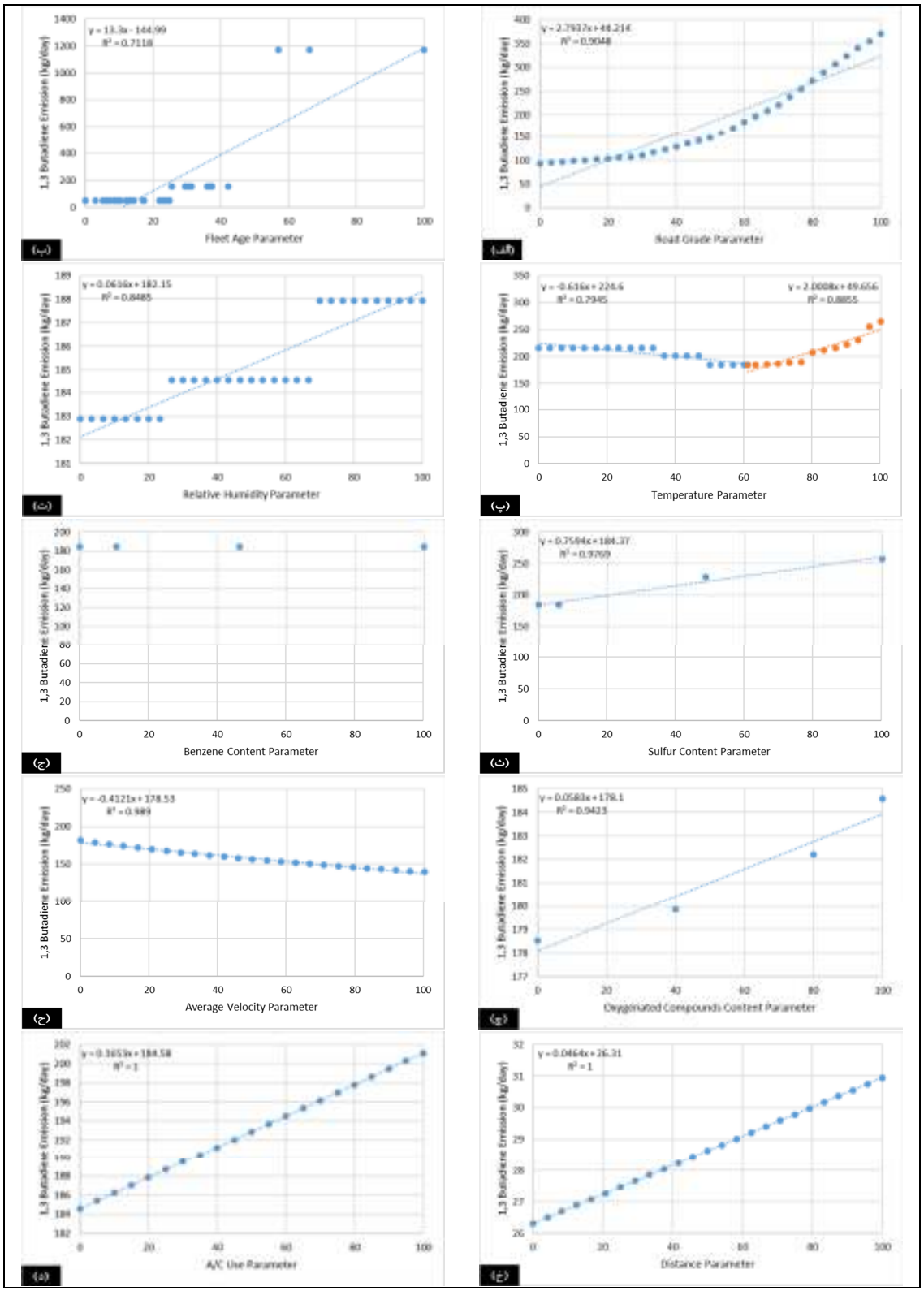
شکل ۸ میزان و نحوه تأثیر عوامل مختلف ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار آلاینده سمی و خطرناک فرمالدهید را نشان می‌دهد. همان‌طور که در هر یک از اشکال ۸ الف الی ۸ د قابل مشاهده است میزان ضریب تعیین برای عوامل شیب جاده، سن ناوگان، رطوبت محیط، مقدار گوگرد، مقدار ترکیبات اکسیژن ساز موجود در بنزین، سرعت متوسط، مسافت و استفاده از تهویه مطبوع به ترتیب برابر ۰/۹۰٤۸، ۰/٦٥٥۷، ۰/۸٤۸۱، ۰/۹۷۹۹، ۰/۹۷۹٦، ۰/۹۸۹، ۱/۰ و ۱/۰ است. ضرایب تعیین ذکرشده در بالا نشان‌دهنده وجود رابطه‌ای معنادار بین تمامی عوامل مذکور و انتشار فرمالدهید است. رفتار پارامتر دما از ۰ الی نقطه ٦۰ کاهشی (R^2=0.7944) و از نقطه ٦۰ الی ۱۰۰ افزایشی (R^2=0.8854) است. همچنین تغییرات میزان بنزن موجود در بنزین همانند آلاینده‌های بوتادین و استالدهید بر انتشار فرمالدهید نیز تأثیر قابل مشاهده‌ای ندارد. مقادیر ضرایب تعیین مذکور نشان دهنده این واقعیت است که مدل رگرسیون خطی به خوبی توانسته توضیح‌دهنده تأثیر پارامترها بر انتشار فرمالدهید باشد.

٦-۳- همبستگی میان پارامترهای ورودی و انتشار آمونیاک

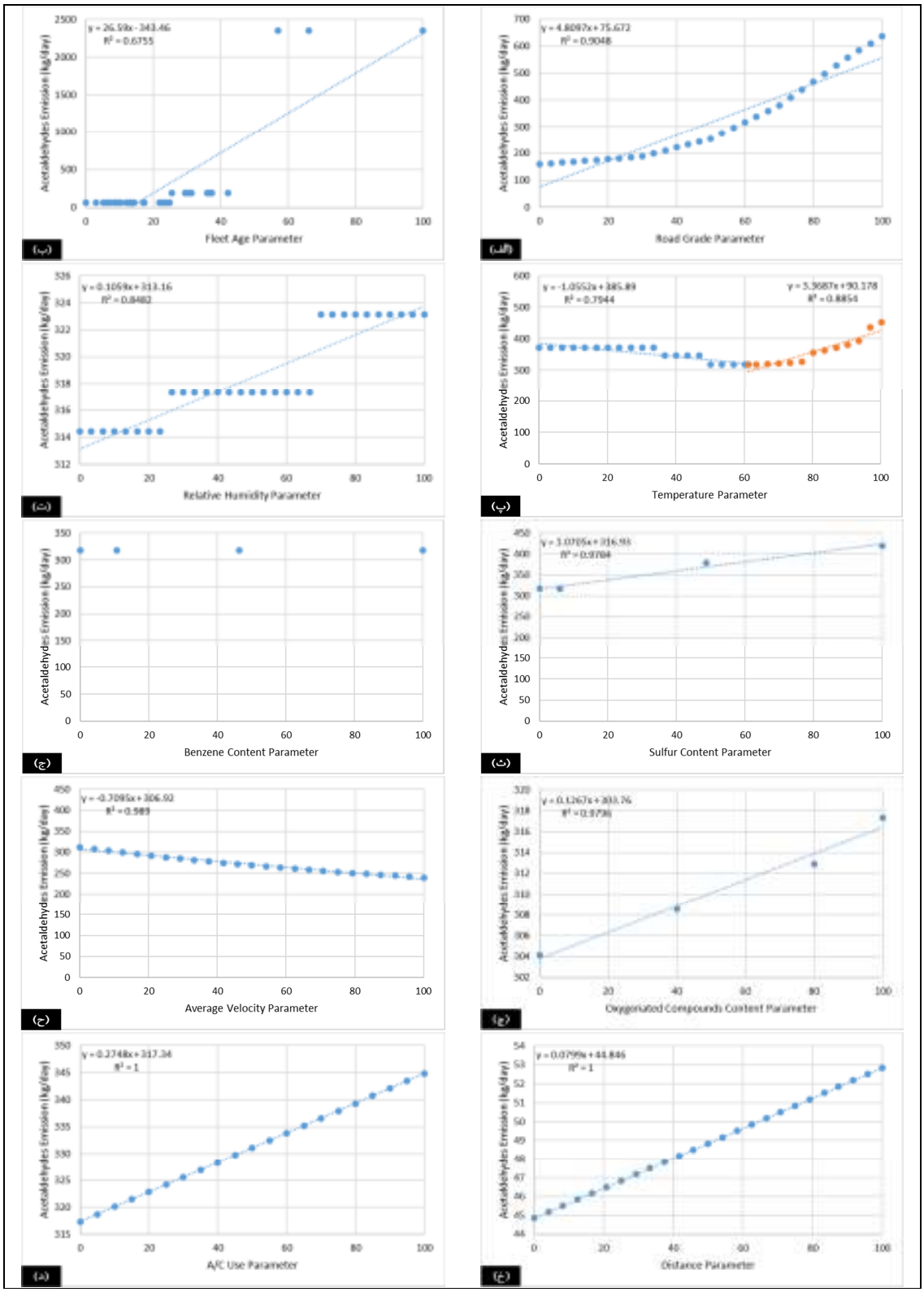
در شکل ۹ نوع و میزان تغییرات انتشار آمونیاک از خودروهای سواری تحت تأثیر پارامترهای مختلف آورده شده است. میزان انتشار این آلاینده بیشترین همبستگی را با عوامل مسافت پیمایش شده و میزان استفاده از تهویه مطبوع با مقدار R^2 برابر با ۱ دارد. انتشار این آلاینده کمترین همبستگی را در میان عوامل مختلف با پارامتر سن ناوگان (R^2=0.6353) دارد. میزان انتشار آمونیاک با شیب جاده و مقدار گوگرد موجود در بنزین رابطه مستقیم داشته و ضریب تعیین هر یک از این دو پارامتر به ترتیب برابر ۰/۹۰۳۱ و ۰/۹۲٤۸ است. در مقابل با افزایش میزان سرعت متوسط ناوگان، مقدار انتشار آلاینده آمونیاک کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که ضریب تعیین رابطه میان سرعت و انتشار آمونیاک برابر ۰/۹۸۹ است. تغییرات دمای محیط تا نقطه مشخصی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر انتشار نداشته و پس از آن با افزایش دما، میزان انتشار آمونیاک افزایش می‌یابد. میزان رطوبت، بنزن و ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در سوخت تأثیری بر تغییرات میزان انتشار آمونیاک ندارد.

۷-۳- همبستگی میان پارامترهای ورودی و انتشار بنزن

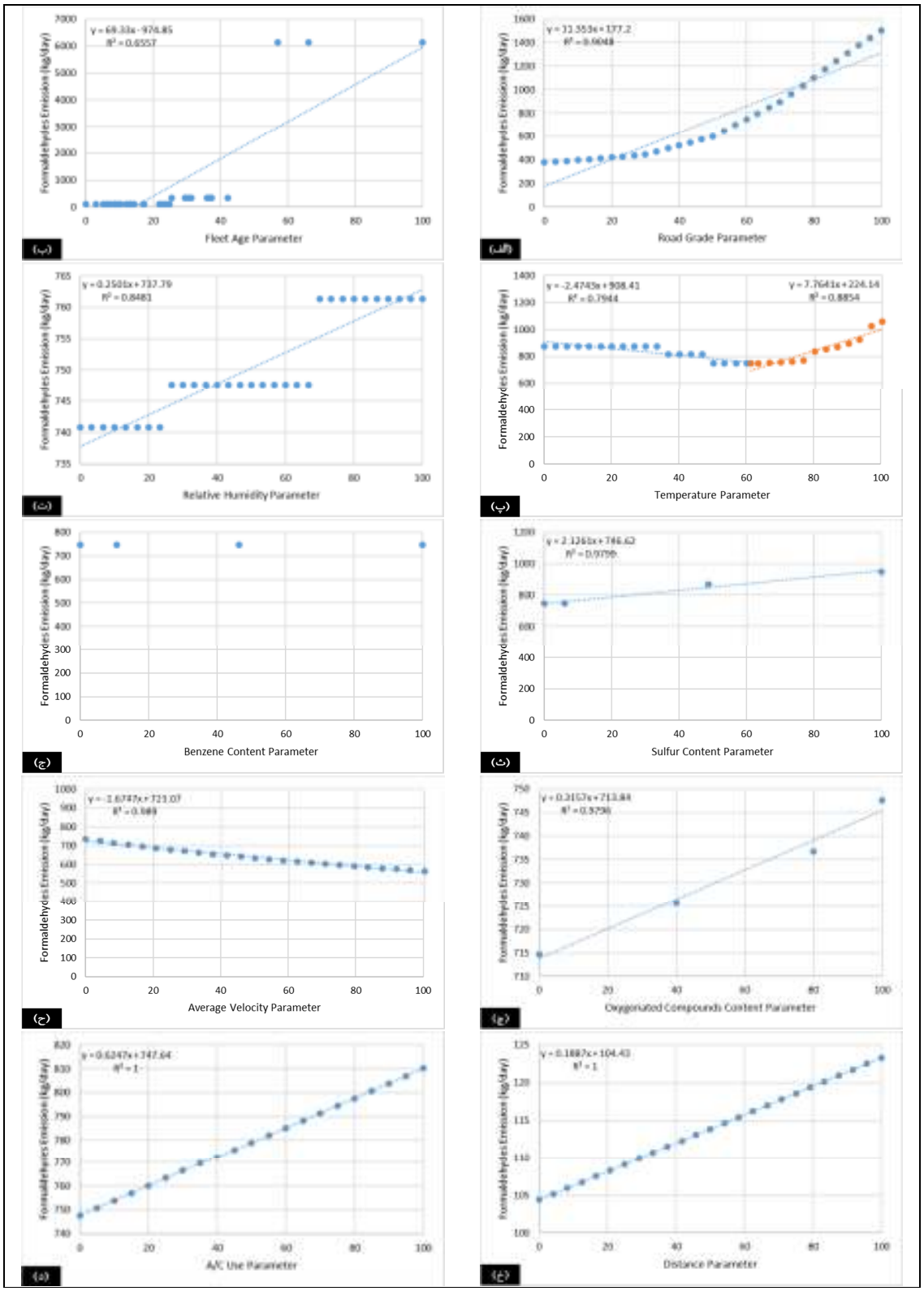
نحوه تأثیر عوامل مختلف ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار آلاینده بنزن که به عنوان آخرین آلاینده در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است در شکل ۱۰ به تصویر کشیده شده است. میزان بنزن موجود در بنزین، مسافت و استفاده از تهویه مطبوع با ضریب تعیین ۱ نسبت به سایر عوامل، همبستگی بیشتری را با انتشار آلاینده بنزن از خود نشان داده‌اند. در مرتبه بعدی عوامل شیب جاده، سن ناوگان، رطوبت محیط، گوگرد و میزان ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در بنزین با ضرایب تعیین ۰/۹۰٤۸، ۰/۸۳٤۱، ۰/۸٤۸۱، ۰/۹۷٤۹ و ۰/۹٥٦۷ بیشترین میزان همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند. بر خلاف تمامی پارامترهای بالا، سرعت متوسط ناوگان با انتشار آلاینده بنزن رابطه عکس دارد. ضریب تعیین رابطه بین تغییرات سرعت و انتشار این آلاینده برابر ۰/۹۸۹ بوده و نشانگر وجود یک رابطه معنادار قوی بین این دو پارامتر است. در نهایت شکل ۱۰ پ نشان می‌دهد که تأثیر دما بر انتشار بنزن در نقطه مشخصی از کاهشی به افزایشی تغییر می‌کند و در هر دو بخش نمودار با ضریب تعیین مناسبی تغییرات انتشار را توضیح می‌دهد.



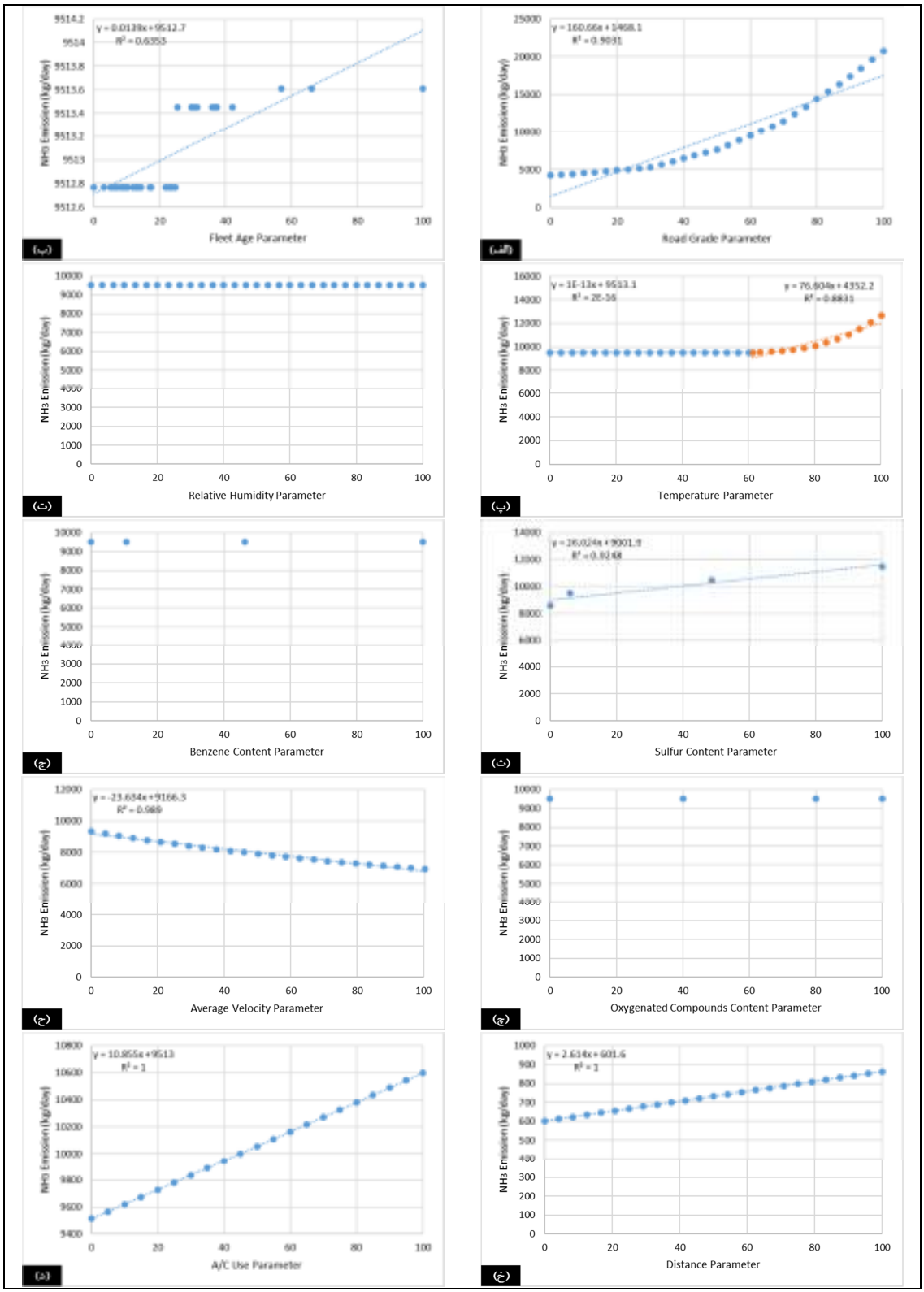
شکل ٦. همبستگی میان پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی (الف–د) و انتشار آلاینده بوتادین



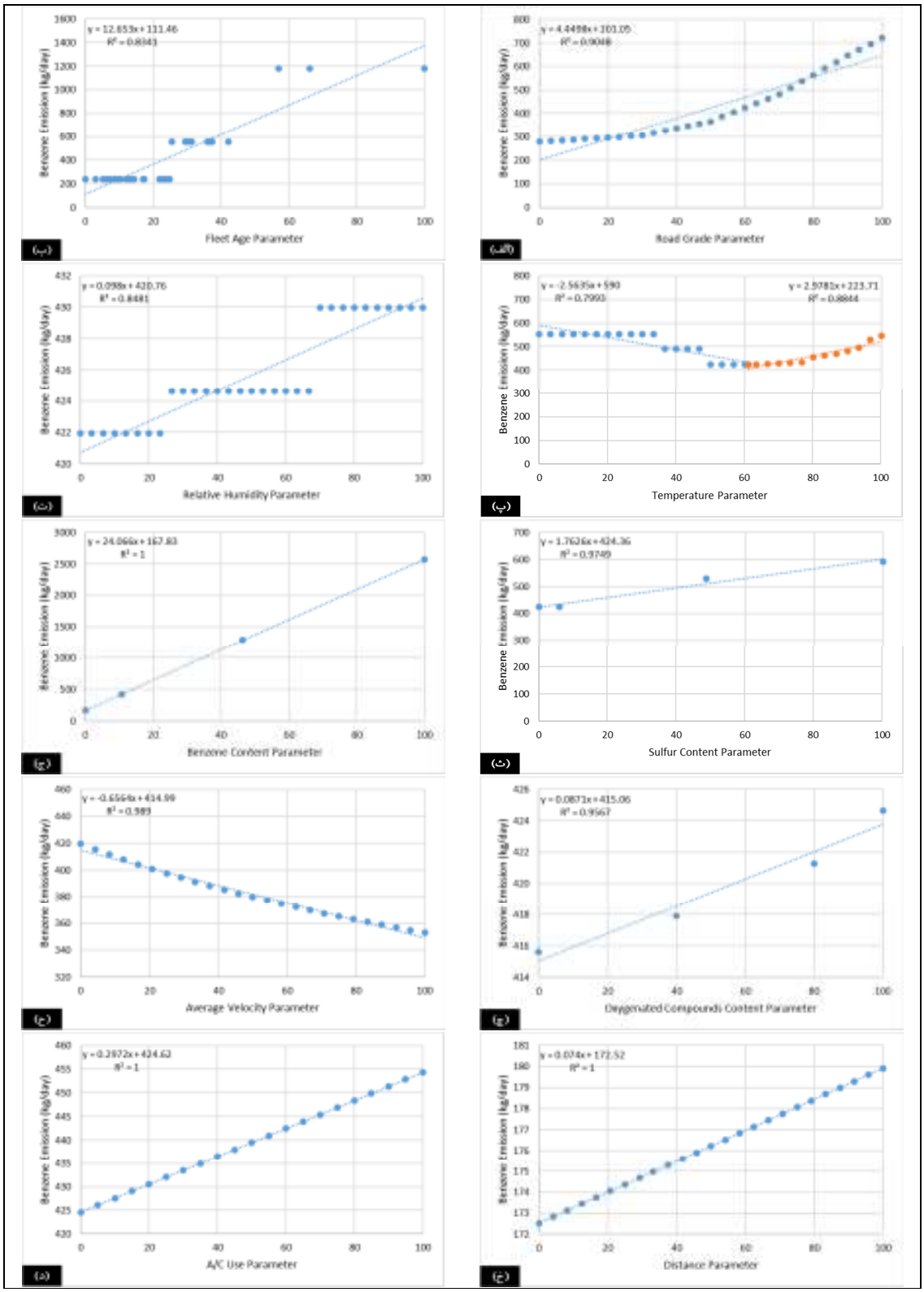
شکل ۷. همبستگی میان پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی (الف–د) و انتشار آلاینده استالدهید



شکل ۸. همبستگی میان پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی (الف–د) و انتشار آلاینده فرمالدهید



شکل ۹. همبستگی میان پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی (الف–د) و انتشار آلاینده آمونیاک



شکل ۱۰. همبستگی میان پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی (الف–د) و انتشار آلاینده بنزن

جدول ۵. شیب‌خطوط و نحوه تأثیر پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر آلاینده‌های سمی

	بوتادین	استالدهید	فرمالدهید	آمونیاک	بنزن
شیب جاده	۲/۷۹	٤/۸۱	۱۱/۳۵	۱٦۰/٦٦	٤/٤۵
دمای محیط (<۲۰°C)	-۰/٦۲	-۱/۰٦	-۲/٤۷	۰	-۲/۵٦
دمای محیط (>۲۰°C)	۲	۳/۳۷	۷/۷٦	۷٦/٦	۲/۹۸
رطوبت محیط	۰/۰٦	۰/۱۱	۰/۲۵	۰	۰/۱
گوگرد	۰/۷٦	۱/۰۷	۲/۱۳	۲٦/۰۲	۱/۷٦
بنزن	۰	۰	۰	۰	۲٤/۰۷
ترکیبات اکسیژن‌دار	۰/۰٦	۰/۱۳	۰/۳۲	۰	۰/۰۹
سرعت متوسط	-۰/٤۱	-۰/۷۱	-۱/٦۷	-۲۳/٦۳	-۰/٦٦
مسافت	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۹	۲/٦۱	۰/۰۷
سن ناوگان	۱۳/۳	۲٦/۵۹	٦۹/۳۳	۰/۰۱	۱۲/٦۵
تهویه مطبوع	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/٦۲	۱۰/۸٦	۰/۳

همان‌طور که می‌دانیم اگر ضریب تعیین را درصد تغییر در متغیر وابسته‌ای بدانیم که به دلیل تغییر در متغیر مستقل ایجاد شده، راه خطا پیموده‌ایم. چرا که ضریب تعیین معیاری است که تنها می‌گوید یک متغیر تا چه حد توانسته است متغیر دیگر را توضیح دهد؛ ولی نمی‌گوید که چه میزان تغییر در یک متغیر قابل استناد به متغیر دیگر است. در نتیجه در این پژوهش پس از بررسی روند تغییرات میزان انتشار به دست آمده از مدل و رسم نمودار حاصل از دسته داده‌ها، اقدام به برآورد بهترین خط برازنده گردید و در نهایت با توجه به شیب‌خطوط، میزان تأثیر هر یک از پارامترها بر انتشار آلاینده‌های سمی به دست آمد. شیب‌خط مثبت بیانگر وجود رابطه مستقیم و در مقابل شیب‌خط منفی نشان‌دهنده وجود رابطه معکوس مابین متغیرهای وابسته و مستقل است. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر در صورت وجود تغییرات قابل مشاهده در نحوه تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی، به منظور توضیح هر چه بهتر رفتار انتشار آلاینده‌ها تحت تأثیر تغییرات پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی از دو خط برازش مجزا استفاده شده است. جدول ۵ که حاوی داده‌های مربوط به شیب خطوط برازش بین عوامل مؤثر بر انتشار و تغییرات میزان انتشار آلاینده‌های خطرناک و سمی است؛ اطلاعات موجود در نمودارهای ٦-۱۰ را به شکل خلاصه نشان می‌دهد.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تعیین تأثیر پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار آلاینده‌های سمی و خطرناک بوتادین، استالدهید، فرمالدهید، آمونیاک و بنزن از آنالیز حساسیت و مدل رگرسیون خطی استفاده شد. از میان عوامل مؤثر بر انتشار، تأثیر میزان پیمایش، سرعت متوسط ناوگان، سن ناوگان، دما و رطوبت محیط، ارتفاع، شیب جاده، کیفیت سوخت و میزان استفاده از تهویه مطبوع بر میزان انتشار مشخص گردید. طی این فرایند پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر انتشار داشتند به عنوان پارامترهای مهم و حساس شناخته شدند. به منظور نیل به اهداف مذکور از مدل تخمین انتشار IVE بهره‌برداری شده و تغییرات میزان انتشار تحت تأثیر مقادیر مختلف پارامترهای ورودی مشخص گردید.

تحلیل نتایج این پژوهش در زمینه تعیین میزان اثرگذاری پارامترهای ترافیکی، جغرافیایی و محیطی بر انتشار آلاینده‌های سمی و خطرناک به شرح زیر است:

- در مورد ناوگان سواری شهر تهران پارامترهای شیب جاده، دما و رطوبت محیط، میزان گوگرد و ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در بنزین، تهویه، سرعت، مسافت و سن ناوگان از عوامل مؤثر بر انتشار آلاینده‌های سمی هستند.

- به دلیل تجهیز ناوگان سواری شهر تهران به سیستم سوخت‌آمایی افشانه‌ای، عامل ارتفاع تأثیری بر انتشار آلاینده‌ها ندارد. زیرا این سیستم توان تطبیق نسبت هوا به سوخت با افزایش ارتفاع را دارد.

- به دلیل مجهز بودن ناوگان سواری شهر تهران به کاتالیزور، با افزایش سرعت و در نتیجه افزایش دما و بهبود عملکرد کاتالیزور، میزان انتشار تمامی آلاینده‌های سمی مورد بررسی کاهش می‌یابد.

- به دلیل حذف سرب از بنزین مصرفی شهر تهران، میزان انتشار این آلاینده از خودروهای سواری این شهر به صفر رسیده است.

-تغییرات بنزن موجود در سوخت تنها بر انتشار آلاینده سمی بنزن از اگزوز خودروهای سواری مؤثر بوده و هیچ تأثیری بر انتشار سایر آلاینده‌های مورد بررسی ندارد.

- تغییرات رطوبت محیط و ترکیبات اکسیژن‌دار موجود در بنزین بر انتشار آلاینده سمی آمونیاک از خودروهای سواری بی‌تأثیر است.

- با افزایش دمای محیط، انتشار تمامی آلاینده‌های سمی مورد بررسی تا نقطه مشخصی کاهش یافته و پس از آن و با رسیدن به مقدار حداقل روند افزایشی پیدا می‌کند.

-مهم‌ترین عامل افزایش انتشار سه آلاینده بوتادین، استالدهید و فرمالدهید پارامتر سن ناوگان خودروهای سواری است.

- شیب جاده مهم‌ترین عامل افزایش انتشار آلاینده آمونیاک از اگزوز خودروهای سواری است.

- مؤثرترین و مهم‌ترین عامل افزایش انتشار آلاینده سمی بنزن از خودروهای سواری میزان بنزن موجود در سوخت است.

- از آنجایی که وجود گوگرد در بنزین موجب افزایش دمای احتراق گشته و این عامل خود باعث افزایش کارایی کاتالیزور و در نتیجه کاهش انتشار در سرعت‌های بالا می‌شود. تعیین میزان گوگرد بهینه می‌تواند تأثیر بسزایی بر انتشار آلاینده‌ها داشته باشد.

- نوسازی ناوگان خودروهای سواری، بهبود کیفیت سوخت و اجتناب از احداث جاده‌های با شیب تند، نقش مؤثری در کاهش انتشار آلاینده‌های سمی خواهد داشت.

۵- مراجع

-Agarwal, A. K., & Mustafi, N. N., (2021), "Real-world automotive emissions: Monitoring methodologies, and control measures", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110624.

-Baek, K.-M., Seo, Y.-K., Kim, J.-Y., Baek, S.-O., Baek, K.-M., Seo, Y.-K., Kim, J. Y., et al., (2019), "Monitoring of particulate hazardous air pollutants and affecting factors in the largest industrial area in South Korea: The Sihwa-Banwol complex. Environmental Engineering Research", 25(6), pp.908-923.

-Banitalebi, E., & Hosseini, V., (2015), "Development of hot exhaust emission factors for Iranian-made euro-2 certified light-duty vehicles", Environmental Science & Technology, 50(1), pp.279-284.

-Bolden, A. L., Kwiatkowski, C. F., & Colborn, T., (2015), "New look at BTEX: are ambient levels a problem"? Environmental Science & Technology, 49(9), pp.5261-5276.

-Deputy of Transport and Traffic of Tehran, (2019), "Tehran Traffic Statistics Handbook".

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

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

-Koupal, J., & Palacios, C., (2019), "Impact of new fuel specifications on vehicle emissions in Mexico", Atmospheric Environment, 201, pp.41-49.

-Lyu, P., Wang, P. S., Liu, Y., & Wang, Y., (2021), "Review of the studies on emission evaluation approaches for operating vehicles", Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 8(4), pp.493-509.

-Miller, L., Xu, X., Grgicak-Mannion, A., Brook, J., & Wheeler, A., (2012), "Multi-season, multi-year concentrations and correlations amongst the BTEX group of VOCs in an urbanized industrial city", Atmospheric Environment, 61, pp.305-315.

-Miri, M., Shendi, M. R. A., Ghaffari, H. R., Aval, H. E., Ahmadi, E., Taban, E., Gholizadeh, A., et al., (2016), "Investigation of outdoor BTEX: Concentration, variations,

sources, spatial distribution, and risk assessment", Chemosphere, 163.
-Mogro, A., & Huertas, J., (2021), "Assessment of the effect of using air conditioning on the vehicle's real fuel consumption", International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM).
-Pianosi, F., Beven, K., Freer, J., Hall, J. W., Rougier, J., Stephenson, D. B., & Wagener, T., (2016), "Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow", Environmental Modelling & Software, 79, pp.214-232.
-Rahman, S. A., Fattah, I. R., Ong, H. C., Ashik, F. R., Hassan, M. M., Murshed, M. T., Imran, M. A., et al., (2021), "State-of-the-Art of Establishing Test Procedures for Real Driving Gaseous Emissions from Light-and Heavy-Duty Vehicles, Energies", 14(14), 4195.
-Rashidi, Y., & Atabi, F., (2019), "Verification of IVE Model for SAIPA Co. Fleet Emission".
-Shafie-Pour, M., & Tavakoli, A., (2013), "On-road vehicle emissions forecast using IVE simulation model", International Journal of Environmental Research, 7(2), pp.367-376.
-Tehran Air Quality Control Company, (2021), "analysis of gasoline of Tehran's filling stations", Retrieved from https://air.tehran.ir/Default.aspx?tabid=957.
-U.S. Environmental Protection Agency, (2022), "Hazardous Air Pollutants", Retrieved from https://www.epa.gov/haps.
-Vashisht, S., & Rakshit, D., (2021), "Recent advances and sustainable solutions in automobile air conditioning systems", Journal of cleaner production, 329, 129754.
-Zhang, Q., Fan, J., Yang, W., Ying, F., Bao, Z., Sheng, Y., Lin, C., et al., (2018), "Influences of accumulated mileage and technological changes on emissions of regulated pollutants from gasoline passenger vehicles", Journal of Environmental Sciences, 71, pp. 197-206.

Sensitivity Analysis of Hazardous Air Pollutants Emission from Passenger Cars to Traffic, Geographic and Environmental Parameters (Case Study: Tehran)

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

Received: September 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of various traffic, geographic, and environmental parameters on the vehicular emissions of HAPs (Hazardous Air Pollutants). In this case study, an arithmetic sequence was defined in the range of inputs to enter discrete independent variables into the IVE (International Vehicle Emissions) model. After simulating the results by the IVE model, a linear regression model was used to determine the sensitivity of the exhaust pipe HAPs emissions to the input parameters. The findings of the present study indicated that the passenger car fleet age is the most effective parameter on the emissions of 1, 3-Butadiene, Acetaldehyde, and Formaldehyde with R^2 (Coefficient of Determination) of 0.71, 0.68, and 0.66. In addition, this analytical study proved that the most important and effective parameters in increasing the emissions of Ammonia and Benzene are road gradient and the amount of benzene in the fuel with R^2 of 0.90 and 1.00, respectively. According to the present research findings, by analyzing the changes in the emission rate of pollutants under the influence of different values of traffic, geographic, and environmental parameters, the optimum values of each of these parameters can be evaluated to minimize the vehicular emission rate. In conclusion, renovating the fleet of passenger cars, improving fuel quality, and building roads with a gentle slope should be considered as the solutions to reduce the emissions of HAPs in Tehran.

Keywords: Hazardous Air Pollutants, Sensitivity Analysis, Passenger Cars, IVE Model