

## تأثیر حمل و نقل الکتریکی بر شاخص‌های آلودگی هوای کلان شهر تهران

شاهین ریاحی‌نیا<sup>۱</sup>، معین معینی‌اقطاعی<sup>۲</sup>، محمود فتوحی فیروزآباد<sup>۳</sup>، هادی مدقق<sup>۴</sup>

۱- دانشجو دکتری مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشجو دکتری مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

۳- استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

۴- معاونت اندازه‌گیری سیستم‌های هوشمند سابا، سازمان بهره‌وری انرژی ایران

### چکیده

امروزه با پیشرفت صنایع و توسعه شهرنشینی که منجر به افزایش جمعیت و شلوغی در کلان شهرها شده است، آلودگی هوا مسئله بگرنجی شده است. آلودگی هوا اثرات منفی زیادی بر روی سلامت جسم و روان انسان‌ها و محیط زیست دارد. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه حمل و نقل صورت گرفته است. یکی از این فناوری‌ها، استفاده از باتری الکتریکی در خودروهای بنزینی و موتورسیکلت‌هاست. با توجه به اینکه انرژی الکتریکی انرژی پاک است، انتظار می‌رود که با جایگزینی این وسایل نقلیه الکتریکی در حمل و نقل، آلودگی هوای کلان شهرها کاهش یابد. در این مقاله این موضوع برای شهر تهران بررسی شده است. سه سناریوی مختلف با در صد نفوذهای کم، متوسط و زیاد خودروها و موتورسیکلت‌های الکتریکی در نظر گرفته شده و شاخص‌های آلودگی هوا محاسبه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که جایگزینی موتورسیکلت‌های الکتریکی می‌تواند به عنوان راه حلی سریع و موثر برای کاهش آلودگی در آینده نزدیک و جایگزینی خودروهای الکتریکی به عنوان راه حلی موثر برای بلند مدت در کاهش آلودگی می‌باشد.

**کلید واژه :** حمل و نقل الکتریکی، آلودگی هوا، خودروی هیبریدی، موتورسیکلت برقی.

<sup>۱</sup> دانشجو دکتری، ۰۹۱۳۴۰۸۸۵۰۹ و riahinia@ee.sharif.edu

<sup>۲</sup> دانشجو دکتری، ۰۹۱۳۳۴۱۳۰۹۳ و m.moeini@iee.org

## ۱- مقدمه

توسعه صنعتی و پیشرفت تکنولوژی، دستاوردهای متنوعی را برای زندگی انسان به همراه داشته است اما متأسفانه گاهی در روند پیشرفت و اجرای برنامه‌های توسعه صنعتی، پس‌ماندهایی به شکل ترکیباتی ناخواسته و اغلب زیان‌آور در محیط رها می‌شوند به گونه‌ای که اثرات منفی بسیاری بر محیط زیست می‌گذارند. پدیده آلودگی هوا نیز یکی از اثرات توسعه صنعتی است که با افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی، روز به روز بر شدت آن افزوده می‌شود و با توجه به خطراتی که این آلودگی برای سلامت افراد ساکن در مناطق آلوده دارد، لازم است با آگاهی و شناخت از این مسئله، در راستای جلوگیری و یا کاهش خطرات آن اقدام نمود. هوا یکی از پنج عنصر ضروری (هوا، آب، غذا، گرما و نور) برای ادامه حیات انسان است. هر فرد روزانه نزدیک ۲۲۰۰۰ بار تنفس می‌کند و تقریباً به ۱۵ کیلوگرم هوا در روز نیاز دارد. معمولاً انسان می‌تواند به مدت ۵ هفته بدون غذا و مدت ۵ روز بدون آب زنده بماند، اما نمی‌تواند بدون هوا حتی ۵ دقیقه زنده بماند [۱].

با پیشرفت بشر در ابعاد گوناگون، خودرو نیز به سمت صنعتی شدن حرکت کرده و در نتیجه صنعت حمل و نقل در دنیا در بسیاری از کشورها متولد گردید [۲]. تولید هر چه بیشتر این تکنولوژی، نیاز به مصرف بیشتر انرژی و در نتیجه بیشتر شدن مضرات آن را به دنبال داشته است. مطالعات گوناگون نشان می‌دهد که صنعت حمل و نقل در مناطق شهری یکی از اصلی‌ترین منابع تولید آلاینده‌های مختلف هوا و همچنین تشدید کننده آلودگی‌های صوتی می‌باشند. با پیشرفت تکنولوژی در ساخت موتورهای الکتریکی برای حمل و نقل و همزمان پیشرفت انواع ذخیره کننده های انرژی، امکان گذر از خودروهای بنزینی به خودروهای الکتریکی از یک رویا آهسته به سمت عملی شدن پیش می‌رود. نقشه راه کشورهای گوناگون در حرکت به سمت صنعت حمل و نقل الکتریکی گواه این مدعا است [۳].

## ۲- آلودگی هوا

انجمن مشترک مهندسين آلودگی هوا و کنترل آن، آلودگی هوا را به صورت ذیل تعریف کرده است [۴]. "آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلوده‌کننده مانند گرد و غبار، فیوم‌ها، گازها، غبار، بو، دود و بخار در هوای آزاد با کمیت‌ها، ویژگی‌ها و زمان حضور خاص که برای زندگی انسان، گیاه و حیوانات، خطرناک و برای اموال مضر باشد و یا به طور غیر قابل قبولی مخل استفاده‌ی راحت از زندگی و اموال

گردد". این تعریف، بازه‌ی وسیعی دارد و غالباً مورد مراجعه برای نوشتن قوانین حقوقی قرار گرفته است.

## ۱.۲- ترکیب جو

جو زمین مخلوطی گازی در اطراف کره‌ی زمین است که تا ارتفاع هزاران کیلومتر اطراف آن پراکنده شده است. این مخلوط دارای ترکیب نسبتاً پایدار و ثابتی است که در نزدیکی سطح زمین و محل زندگی ما انسان‌ها، تغییرات اجزای آن در حالت طبیعی بسیار کم و در حد چند هزارم درصد می‌باشد. تنها استثنای مربوط به این امر، بخار آب است که دامنه تغییرات آن از تقریباً صفر تا چهار درصد حجمی هوا می‌رسد. جدول ۱ ترکیب عناصر اصلی هوای خشک در سطح دریا را نشان می‌دهد. نیتروژن و اکسیژن به تنهایی بیش از ۹۹٪ حجم هوا را به خود اختصاص داده‌اند. گاز بسیار مهم و حیاتی دی اکسید کربن که کاهش یا افزایش آن، حیات در کره‌ی زمین را تهدید می‌کند، تنها حدود ۰/۰۳٪ از حجم هوا را تشکیل می‌دهد. گازهای دیگری نیز به مقدار اندک و متغیری در جو وجود دارند که هیدروکربن‌های مختلف، ازن، منواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروژن، آمونیاک، پر اکسید هیدروژن، هالوژن‌ها، رادون، دی اکسید گوگرد، سولفید هیدروژن؛ سولفیدهای آلی و مرکاپتان‌ها از آن جمله‌اند. جدول ۲ نیز مقایسه ترکیب هوای پاک و آلوده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ترکیب طبیعی جو زمین بر فراز اقیانوس و نزدیکی قطب جنوب [۴]

غلظت (ppm)	درصد حجمی	نام ترکیب
۷۸۰۴۰۰	۷۸/۰۴	نیتروژن
۲۰۹۴۶۰	۲۰/۹۴۶	اکسیژن
۹۳۴۰	۰/۹۳۴	آرگون
۳۲۱	۰/۰۳۲۱	دی اکسید کربن
۱۸	۰/۰۰۱۸۲	نئون
۵/۲	۰/۰۰۰۵۲	هلیوم
۱/۲	۰/۰۰۰۱۲۵	متان
۱/۱	۰/۰۰۰۱۱	کریپتون
۰/۲	۰/۰۰۰۰۲۵	منو اکسید ازت
۰/۵	۰/۰۰۰۰۵	هیدروژن
۰/۱	۰/۰۰۰۰۱	منواکسید کربن
۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۰۸۷	گزنون
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	دی اکسید ازت
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲	دی اکسید گوگرد

جدول ۲: مقایسه ترکیب هوای پاک و آلوده [۵]

هوای آلوده (ppm)	هوای پاک (ppm)	آلاینده
۰/۲-۲	۰/۰۰۱-۰/۰۱	دی اکسید گوگرد
۳۵۰-۷۰۰	۳۱۰-۳۳۰	دی اکسید کربن
۵-۲۰۰	< ۱	منواکسید کربن
۰/۰۱-۰/۵	۰/۰۰۱-۰/۰۱	اکسیدهای نیتروژن
۱-۲۰	< ۱	هیدروکربن‌ها
۷۰-۷۰۰	۱۰-۲۰	ذرات معلق ( $\mu\text{g}/\text{m}$ )

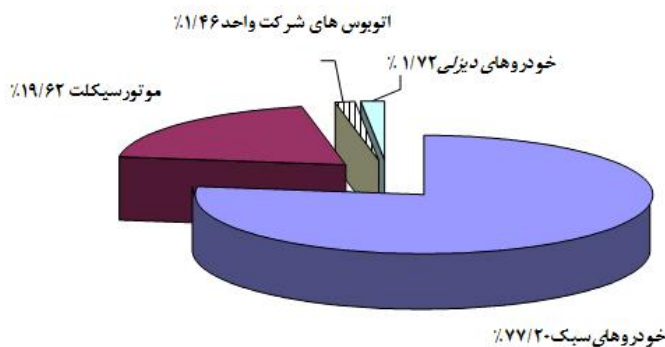
### ۲.۳- تقسیم بندی آلاینده ها

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا شش آلاینده اصلی را به عنوان معیار انتخاب نموده و آن‌ها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرده است [۶]. آلاینده‌های اولیه موادی هستند که از منابع به طور

مستقیم در مقادیر زیاد به هوای محیط وارد می‌شوند و موجب بروز اثرات سوء بهداشتی و مزاحمت در رفاه عمومی در مقیاس مکانی نسبتاً بزرگ می‌شوند و به اصطلاح افراد زیادی را در یک منطقه‌ی وسیع تحت تأثیر قرار می‌دهند که برای این آلاینده‌ها، استانداردهای ملی وضع نموده‌اند. این گروه آلاینده‌ها شامل پنج آلاینده منواکسید کربن (CO)، دی‌اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)، ذرات معلق (PM) دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) و سرب (Pb) می‌باشد. آلاینده‌های ثانویه به موادی اطلاق می‌شود که در اثر فعل و انفعالات موجود در هوای اطراف زمین به وجود می‌آید و در این گروه می‌توان از ازن (O<sub>3</sub>) نام برد.

### ۳- آلودگی هوای تهران ناشی از سیستم حمل و نقل

مطالعات انجام شده همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نشان می‌دهد بیش از ۸۰ درصد آلودگی هوای تهران ناشی از منابع متحرک یا وسایل نقلیه است. بر همین اساس، میزان کل آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک برابر ۵۰۴,۷۱۹,۱ تن در سال می‌باشد. در صورتی که سیستم حمل و نقل به زیر گروه‌هایی خودروهای سبک، موتورسیکلت‌ها، اتوبوس‌های شرکت واحد و سایر خودروهای دیزلی (شامل اتوبوس‌ها، مینی‌بوس‌ها و کامیون‌ها و کامیون‌های سبک) تقسیم‌بندی شود، سهم هر گروه در کل انتشار آلودگی ناشی از سیستم حمل و نقل در هوای شهر تهران به صورت شکل ۲ خواهد بود.



شکل ۱: سهم گروه‌های مختلف سیستم حمل و نقل در آلودگی منابع متحرک هوای تهران در سال ۱۳۸۳ [۵]

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، خودروهای سواری عمده‌ترین سهم یعنی بیش از ۷۷ درصد از کل انتشار آلودگی ناشی از منابع متحرک را دارا هستند، که یکی از عمده‌ترین دلایل آن را

می‌توان به وجود تعداد قابل توجه این بخش از سیستم حمل و نقل نسبت به سایر گروه‌های دیگر دانست.

#### ۴- تأثیر حمل و نقل الکتریکی بر شاخص‌های آلودگی هوای تهران

در این بخش، به سنجش توانایی این پدیده نوظهور، حمل و نقل الکتریکی، بر شاخص‌های آلودگی کلان‌شهر تهران پرداخته می‌شود. بدین منظور، در ابتدا، از اطلاعات وضعیت آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در چند سال اخیر و نیز سهم انواع حمل و نقل الکتریکی (انواع مدل‌های خودروهای موجود در بازار و موتورسیکلت‌ها) بر این شاخص‌ها برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. سپس، با معرفی چند سناریوی ممکن برای آینده حمل و نقل الکتریکی در این کلان‌شهر، به تحلیل اثرات ممکن حضور آن‌ها بر شاخص‌های آلودگی هوای تهران پرداخته می‌شود.

#### ۴.۱- اطلاعات آماری خودروهای کلان شهر تهران

بر طبق اطلاعات پلیس راهور ناجا، تعداد خودروهای شماره گذاری شده در تهران از ابتدا تا سال ۱۳۸۶ مطابق جدول ۳ می‌باشد [۷]. همچنین تعداد خودروهای شماره گذاری شده در سال‌های بعد از ۱۳۸۶، به ترتیب در جداول ۴ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۳: تعداد خودروهای شماره گذاری شده از ابتدا تا سال ۱۳۸۶ در تهران [۷]

نوع وسیله	تعداد وسایل نقلیه شماره گذاری شده شهر تهران از بدو تاسیس تا سال ۱۳۸۶				
	شخصی	دولتی	عمومی	تاکسی	سیاسی
موتورسیکلت	۱۸۳۵۵۶۱	۶۸۹۹۴	۰	۰	۰
سواری	۳۱۰۸۰۵۳	۸۶۴۲۵	۵۶۳۷۸	۶۱۲۷	۹۶۵۲
اتوبوس	۳۰۷۴	۲۷۸۶	۲۱۸۷۹	۰	۰
مینی بوس	۶۶۹۳	۶۸۲۴	۲۹۰۴۶	۰	۰
وانت بار	۲۶۷۴۰۰	۴۰۷۷۲	۴۳۶۰۲	۰	۰
کامیونت	۴۸۰۳۳	۲۴۲۶	۱۰۴۵۴	۰	۰
کامیون	۴۴۶۶۴	۲۴۲۶	۸۲۵۸۱	۰	۰
کشنده	۵۴۷۶	۵۰۸۹	۴۴۶۷۵	۰	۰
جمع					

جدول ۴: تعداد وسایل نقلیه شماره گذاری شده در سال ۱۳۸۷ در تهران [۷]

تعداد وسایل نقلیه شماره گذاری شده تهران بزرگ در سال ۱۳۸۷																								
موتور سیکلت	سواری			اتوبوس			مینی بوس			وانت بار		کامیونت			کامیون			کشنده			آتش نشانی	کشاوری	جمع کل	
	شخصی	دولتی	شخصی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی				
206010	430	270085	2	1	2	921	32	4	452	27579	428	31	4732	482	1832	32	55	5225	7	3	1693	179	0	53492

جدول ۵: تعداد خودروهای شماره گذاری شده در سال ۱۳۸۸ در تهران [۷]

تعداد وسایل نقلیه شماره گذاری شده تهران بزرگ در سال ۱۳۸۸																										
موتور سیکلت	سواری			اتوبوس			مینی بوس			وانت بار		کامیونت			کامیون			کشنده			آتش نشانی	کشاوری	جمع کل			
	شخصی	دولتی	شخصی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی						
114035	342	315365	0	1	0	623	8	2	50	19650	495	8	3638	52	3445	2	78	5291	0	4	1608	267	0	441	441	441

جدول ۶: تعداد خودروهای شماره گذاری شده در شش ماهه اول سال ۱۳۸۹ در تهران [۷]

تعداد وسایل نقلیه شماره گذاری شده تهران بزرگ در شش ماهه اول سال ۱۳۸۹																										
موتور سیکلت	سواری			اتوبوس			مینی بوس			وانت بار		کامیونت			کامیون			کشنده			آتش نشانی	کشاوری	جمع کل			
	شخصی	دولتی	شخصی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی	عمومی	شخصی	دولتی						
95274	51	77572	2	1	2	79	0	1	2	5807	76	7	479	8	533	0	6	1316	0	0	495	33	0	165	165	165

هم اکنون طبق گزارش‌های ارائه شده از پلیس راهور نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، تعداد خودروهای سواری در تهران به تعداد حدود ۴.۲۰۰.۰۰۰ و موتورسیکلت تقریباً به تعداد ۳.۰۰۰.۰۰۰ رسیده است. آخرین آمار و اطلاعات منتشر شده در سال ۹۱ نشان می‌دهد که تقریباً به ازای هر پنج نفر یک دستگاه خودرو در ایران وجود دارد [۷].

#### ۲.۴- آلودگی خودروهای الکتریکی و هیبریدی

از آنجایی که خودروهای هیبریدی نیز مشابه خودروهای مرسوم بنزین را به عنوان یک سوخت مصرف می‌کنند تا بتوانند بخشی از انرژی مورد نیاز برای حرکت خود را تأمین نمایند، تولید انواع آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای مشابه خودروهای مرسوم چندان غیر محتمل به نظر نمی‌رسد. اما، از آنجایی که

خودروهای هیبریدی نسبت به خودروهای مرسوم دارای توانایی در استفاده از انرژی الکتریکی به منظور تولید انرژی لازم برای حرکت نیز می‌باشند، احتیاج به مصرف سوخت کمتری نسبت به خودروهای سنتی برای پیمودن مسافت یکسان دارند. بدین صورت که میانگین مصرف سوخت یک خودروی نمونه هیبریدی شش lit/100km می‌باشد در صورتی که برای خودروی مرسوم بنزینی این مقدار برابر ۸.۸۷ lit/100km می‌باشد [۸].

#### ۵- مطالعه موردی

به منظور طراحی یک چارچوب مناسب و عملی برای تحلیل اثرات انواع سیاست‌های ممکن در زمینه حمل و نقل الکتریکی بر شاخص‌های آلودگی برای کلان‌شهر تهران در این بخش فرضیات زیر به عنوان مبنای مطالعات مد نظر قرار می‌گیرند.

#### ۵.۱- در صد نفوذ انواع موتور سیکلت ها و خودروهای بنزینی در سال هدف مطالعات (سال ۱۴۰۰)

جدول ۷ نشان دهنده تعداد و درصد انواع خودروهای بنزینی موجود در کلان شهر تهران در سال ۱۳۹۱ می‌باشد. همچنین میزان موتور سیکلت های موجود در کلان شهر تهران در سال ۱۳۹۱ بالغ بر ۳.۰۰۰.۰۰۰ می‌باشد که این تعداد برای خودروهای سواری برابر ۴.۲۰۰.۰۰۰ اتومبیل می‌باشد.

جدول ۷: تعداد خودروهای سواری موجود در کلان شهر تهران در سال ۱۳۹۱

نوع خودرو	درصد نوع خودرو	تعداد در سال ۹۱
پراید	۴۴/۷	۱۸۷۷۴۰۰
پژو RD	۱۰/۷	۴۴۹۴۰۰
پژو ۴۰۵	۸/۹	۴۱۱۶۰۰
سمند	۹/۱	۳۸۲۲۰۰
پژو ۲۰۶	۸/۳	۳۴۸۶۰۰
پژو پارس	۶/۴	۲۶۸۸۰۰
تندر ۹۰	۷/۲	۱۱۳۴۰۰
ریو	۱/۶	۶۷۲۰۰
زانتیا	۱/۱	۴۶۲۰۰
خودروهای خارجی	۵/۶	۲۳۵۲۰۰



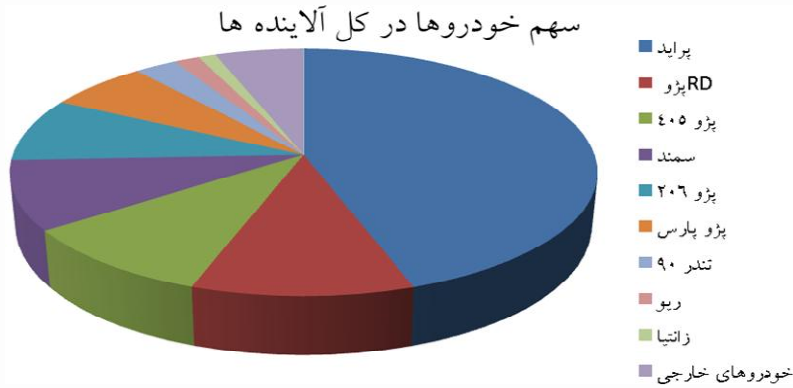
جدول ۸: تعداد خودروهای سواری موجود در کلان شهر تهران در سال ۱۴۰۰

نوع خودرو	درصد انواع خودروها	تعداد برای ۱۴۰۰
پراید	۴۴/۷	۳۱۷۳۳۵۰
پژو RD	۱۰/۷	۷۵۹۶۱۶
پژو ۴۰۵	۸/۹	۶۹۵۷۲۳
سمند	۹/۱	۶۴۶۰۲۹
پژو ۲۰۶	۸/۳	۵۸۹۲۳۵
پژو پارس	۶/۴	۴۵۴۳۵۰
تندر ۹۰	۷/۲	۱۹۱۶۷۹
ریو	۱/۶	۱۱۳۵۸۷
زانتیا	۱/۱	۷۸۰۹۱
خودروهای خارجی	۵/۶	۳۹۷۵۵۶

میزان رشد سالیانه خودروها و موتور سیکلت ها در کلان شهر تهران برابر میانگین میزان رشد سالیانه در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۱ لحاظ شده است ( ۶.۰۰۵۶٪ برای خودروها و ۵.۵۵۷۶٪ برای موتورسیکلتها) [۷]. بر مبنای این میزان رشد تعداد و میزان نفوذ انواع خودروهای بنزینی و موتور سیکلت ها به صورت جدول ۸ بدست می آید. از این به بعد، به مطالعات در سال هدف، سناریوی صفر اطلاق می گردد.

## ۵.۲- سهم انواع موتور سیکلت ها و خودروهای بنزینی در شاخص های آلاینده برای سال هدف مطالعات (سال ۱۴۰۰)

با توجه به اینکه انواع خودروها و موتور سیکلت ها در ایران (ساخت داخل و ساخت خارج از کشور) دارای استاندارد های مختلف آلودگی می باشند (استاندارد EURO2 و EURO4)، بر مبنای نوع استاندارد آلاینده خودروها میزان سهم هر خودرو در شاخص کل آلاینده ها محاسبه گردید که نتایج آن شکل ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۲: سهم هر یک از خودروها در کل آلودگی ها

جدول ۹: تعداد خودروهای سواری موجود در کلان شهر تهران در سال ۱۴۰۰

THC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM	Co	نوع آلودگی
EI <sub>5</sub>	EI <sub>4</sub>	EI <sub>3</sub>	EI <sub>2</sub>	EI <sub>1</sub>	سمبل

طریقه محاسبات آلودگی های انواع خودروهای سواری موجود به صورتی که در روابط زیر نشان داده شده است، بدست می آید. به منظور سهولت در ارائه روابط از علائم اختصاری ارائه شده در جدول ۹ استفاده شده است. میزان سهم هر نوع خودرو در تولید انواع آلودگی ها به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$EI_{i-k} = \frac{EI_i^{U2} \times n_{V2-k}}{WS_{EI_i}} \quad k \in T_{U2} \quad (1)$$

$$EI_{i-k} = \frac{EI_i^{U4} \times n_{V4-k}}{WS_{EI_i}} \quad k \in T_{U4} \quad (2)$$

که در آن  $EI_{i-k}$  شاخص آلودگی هوای  $i$  ام برای خودروی  $k$  ام می باشد که همان طور در رابطه ۱ و ۲ نشان داده شده است مقدار  $k$ ، متعلق به مجموعه و انواع خودروهای موجود در محاسبات می باشد. با توجه به اینکه در مطالعات ما که کلان شهر تهران می باشد، اغلب خودروهای موجود دارای استاندارد EURO2 و EURO4 می باشند؛ لذا خودروهای نیز در این رابطه با اندیس  $U4$  و  $U2$  برای انواع خودروهای این دو گروه استاندارد آلودگی اروپا بدست آمده و محاسبه می شود. همچنین  $T$  و  $n$  انواع و تعداد خودروها را نشان می دهند.  $WS_{EI_i}$  مجموع وزنی را نشان می دهد که در رابطه ۳ به دست می آید.

$$WS_{EI_i} = \sum_{k=1}^{T_{U2}} n_{V2-k} \times EI_i^{U2} + \sum_{j=1}^{T_{U4}} n_{V4-k} \times EI_i^{U4} \quad (3)$$

### ۵.۳- انواع سناریو های در نظر گرفته شده برای حضور موتور سیکلت ها و خودروهای الکتریکی در سال هدف مطالعات (سال ۱۴۰۰)

برای اینکه بتوان تأثیر سیاست های مختلف و ممکن حمل و نقل الکتریکی را بر شاخص های آلاینده های هوای کلان شهر تهران به خوبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، سه سناریوی مختلف برای انجام مطالعات فرض گردیده است که در جدول ۱۰ نشان داده شده اند.

جدول ۱۰: سناریو های مختلف از درصد نفوذهای خودروهای هیبریدی و موتورسیکلت های برقی

انواع سناریو	درصد نفوذ خودروهای هیبریدی	درصد نفوذ موتورسیکلت های برقی
سناریو اول (نفوذ کم)	٪۱۰	٪۳۰
سناریو دوم (نفوذ متوسط)	٪۲۵	٪۴۵
سناریو (نفوذ زیاد)	٪۳۵	٪۷۰

میزان آلاینده های خودروهای هیبریدی با توجه به استاندارد ارایه شده در مرجع [۹] و هم چنین متوسط میزان مصرف بنزین در این نوع خودروها در مقایسه با خودروهای بنزینی به دست می آید. نحوه محاسبه میزان آلاینده های تولیدی توسط خودروهای هیبریدی در رابطه ۴ نشان داده شده است.

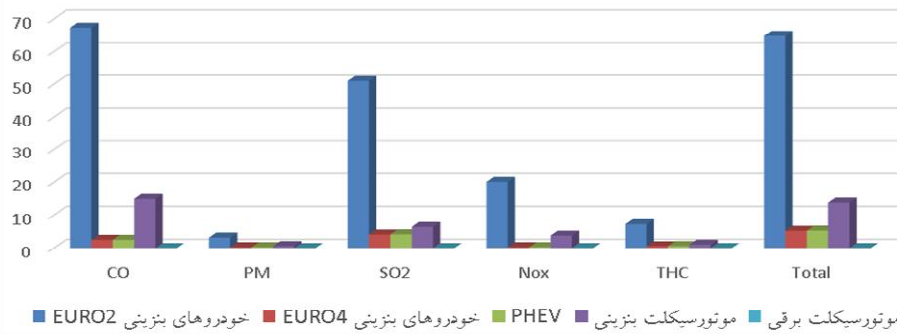
$$EI_{i-Hy} = \frac{EI_i^{U4} \times n_{Hy}}{WS_{EI_i}} \quad (4)$$

لازم به یادآوری است که موتورسیکلت های برقی هیچ گونه آلاینده های تولید نمی نمایند. لذا، در محاسبات میزان آلاینده های آنها صفر لحاظ شده است.

### ۵.۴- نتایج محاسبات آلودگی برای سناریوی اول

در این سناریو میزان نفوذ حمل و نقل الکتریکی (خودروهای هیبریدی و موتورسیکلت های برقی) به نسبت بقیه سناریوها پایین در نظر گرفته شده است. میزان آلاینده های تولیدی انواع وسایل حمل و نقل در این سناریو در شکل ۳ ارائه گردیده است.

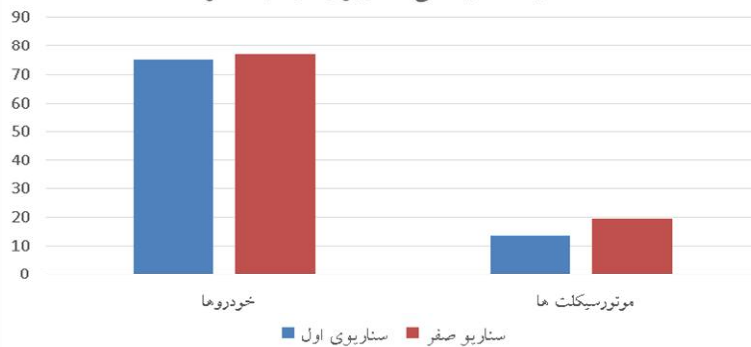
میزان آلاینده‌گی های سناریو اول



شکل ۳: میزان آلاینده‌گی تولیدی انواع وسایل حمل و نقل در سناریوی اول

شکل ۴ نشان دهنده میزان کل آلاینده‌گی تولیدی (آلاینده‌گی متحرک) توسط خودروها و موتورسیکلت‌ها در سناریوهای صفر و اول می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حضور خودروهای هیبریدی در نفوذهای پایین (۱۰٪) نتوانسته است میزان تولید آلاینده‌گی‌های خودروها را به میزان چشمگیری کاهش دهد.

مقایسه آلاینده‌گی سناریوی اول با صفر



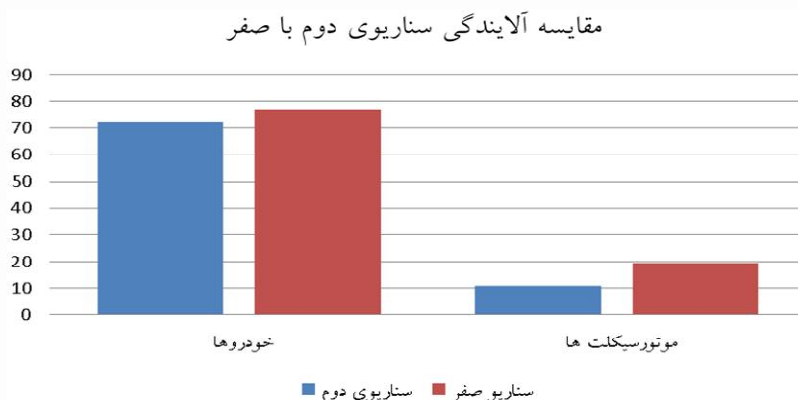
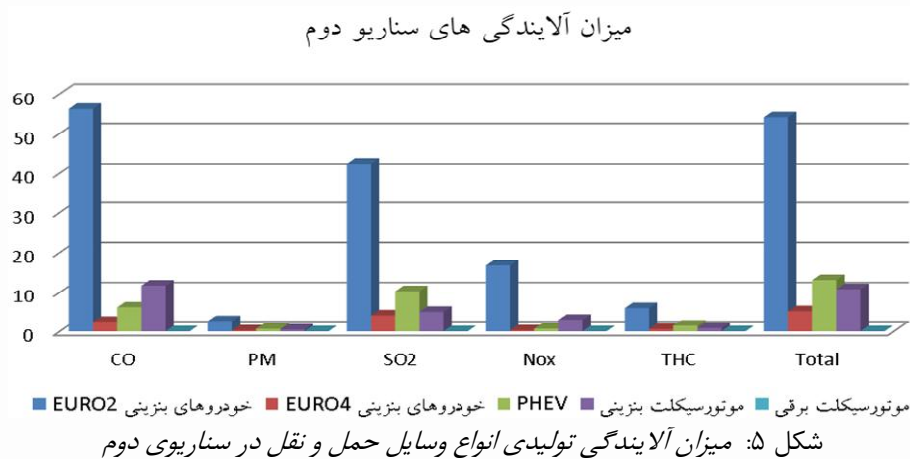
شکل ۴: میزان کل آلاینده‌گی تولیدی توسط خودروها و موتورسیکلت‌ها در سناریوهای صفر و اول

علت این امر را این‌گونه می‌توان بیان نمود که خودروهای هیبریدی نیز به دلیل مصرف سوخت (هر چند که کمتر) تولید آلاینده‌گی داشته و این در نفوذهای پایین نمی‌تواند عاملی برای جلوگیری از حجم تولیدی آلاینده‌ها توسط خودروها باشد. در مقابل، همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است میزان آلاینده‌گی موتورسیکلت‌ها که یکی از منابع اصلی تولید آلاینده‌گی می‌باشند به نسبت قابل توجهی کاهش نشان می‌دهد. از این تحلیل می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از خودروهای هیبریدی به تنهایی در نفوذهای پایین نمی‌تواند ما را به سمت کاهش آلاینده‌گی‌ها به عنوان دلیل

اصلی به کارگیری خودروهای الکتریکی سوق دهد. در مقابل، در گام اول حرکت به سمت حمل و نقل الکتریکی، حمایت از موتورسیکلت‌های برقی می‌تواند در کوتاه مدت نتایج قابل توجهی در بحث آلودگی به بار آورد.

### ۵.۵- نتایج محاسبات آلودگی برای سناریوی دوم

در این سناریو میزان نفوذ حمل و نقل الکتریکی (خودروهای هیبریدی و موتورسیکلت‌های برقی) نسبت به سناریو اول بیشتر شده است. میزان آلودگی تولیدی انواع وسایل حمل و نقل در این سناریو در شکل ۵ ارائه شده است.

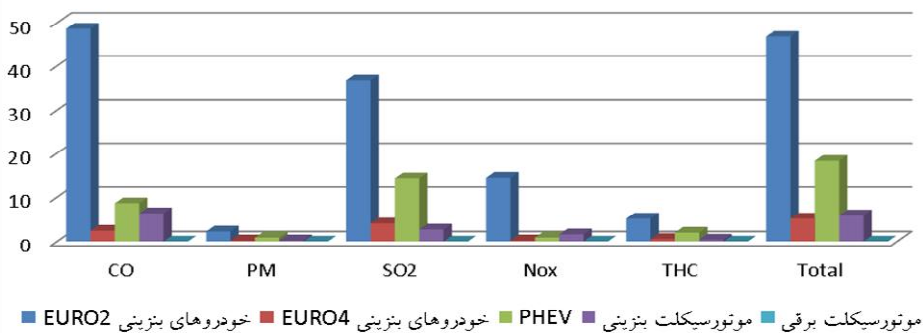


شکل ۶ نشان دهنده میزان کل آلاینده‌گی تولیدی (آلاینده‌گی متحرک) توسط خودروها و موتورسیکلت‌ها در سناریوهای صفر و دوم می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این سطح نفوذ خودروهای هیبریدی (۲۵٪)، سهم تولید آلاینده‌ها توسط خودروها به میزان قابل توجهی کاهش داشته است. در این حالت، بیش از پیش ارزش به‌کارگیری خودروهای هیبریدی در بخش حمل و نقل را می‌توان به خوبی مشاهده نمود. علاوه بر این، همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است میزان آلاینده‌گی موتورسیکلت‌ها که یکی از منابع اصلی تولید آلاینده‌گی می‌باشند به نسبت قابل توجهی کاهش یافته است. این میزان کاهش خیلی بیشتر از توانایی سناریوی اول در کاهش این سطح از آلودگی می‌باشد.

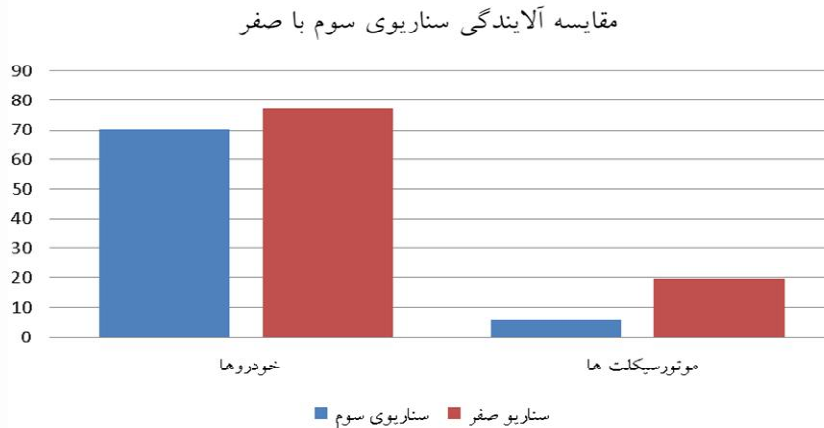
#### ۵.۶- نتایج محاسبات آلودگی برای سناریوی سوم

در این سناریو میزان نفوذ حمل و نقل الکتریکی (خودروهای هیبریدی و موتورسیکلت‌های برقی) نسبت به سناریو اول بسیار زیاد شده است به گونه‌ای در این حالت ۷۰٪ موتورهای شهر را از نوع الکتریکی فرض کرده‌ایم. میزان آلاینده‌گی تولیدی انواع وسایل حمل و نقل در این سناریو در شکل ۷ ارائه گردیده است.

میزان آلاینده‌گی های سناریو سوم



شکل ۷: میزان آلاینده‌گی تولیدی انواع وسایل حمل و نقل در سناریوی سوم



شکل ۸: میزان کل آلاینده‌ی تولیدی توسط خودروها و موتورسیکلت‌ها در سناریوهای صفر و سوم

شکل ۸ نشان دهنده میزان کل آلاینده‌ی تولیدی (آلاینده‌ی متحرک) توسط خودروها و موتورسیکلت‌ها در سناریوهای صفر و سوم می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این سطح نفوذ برای خودروهای هیبریدی (۳۵٪) نسبت به حالت‌های قبلی، آلاینده‌ی هوا کاهش بیشتر و قابل توجهی داشته است. همچنین، همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است میزان آلاینده‌ی تولیدی موتورسیکلت‌ها کاهش چشم‌گیری نسبت به سناریوهای قبلی داشته است که این موضوع از اینجا ناشی می‌شود که نفوذ موتورسیکلت‌های برقی در این حالت زیاد و ۷۰٪ موتورسیکلت‌ها را شامل می‌شود. از آنجا که موتورسیکلت‌ها سهم زیادی در تولید آلاینده‌ی هوا در کلان‌شهر تهران دارد، لذا با افزایش نفوذ موتورسیکلت‌های پاک برقی به جای نوع بنزینی مرسوم، خود می‌توان کاهش زیادی در آلاینده‌ی هوای شهر تهران داشت.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به منظور بررسی هر چه دقیق‌تر اثرات انواع سیاست‌های ممکن در زمینه صنعت حمل و نقل الکتریکی بر آلودگی هوای کلان‌شهرهای ایران، کلان‌شهر تهران به عنوان نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به تعداد خودروها و موتورسیکلت‌های موجود در این شهر و میزان رشد آن‌ها در سال‌های گذشته، هدف مطالعات، سه نوع سیاست مختلف در زمینه حمل و نقل الکتریکی معرفی شد. این سیاست‌ها به خوبی می‌تواند روند ممکن در زمینه حضور خودروها و موتورسیکلت‌های الکتریکی در ایران را نشان دهد. با انجام مطالعات و استخراج نتایج مختلف در زمینه تأثیر حضور حمل و نقل الکتریکی، به مقایسه این نتایج با سناریوی بدون حضور حمل و نقل الکتریکی پرداخته شد.

نتایج حاصل از این پژوهش همان طور که در تحلیل نتایج نیز با جزئیات کافی بیان شد، بدین صورت بیان می شود که استفاده از خودروهای هیبریدی در نفوذهای پایین نمی تواند اثر قابل توجهی بر شاخص های آلودگی هوا داشته باشد و لذا می توان این نوع تکنولوژی از حمل و نقل الکتریکی را یک گزینه بلند مدت در راستای آلودگی مد نظر قرار داد. در مقابل، می توان موتورسیکلت های الکتریکی را به عنوان یک راه حل فوری و کوتاه مدت برای بحث آلودگی کلان شهرها در ایران مطرح نمود. هزینه کمتر در بحث زیر ساخت های سخت افزاری و نرم افزاری، هزینه پایین در تولید و جذابیت بیشتر در قیاس با خودروهای الکتریکی از دید مشتری در کنار هم سبب می گردد که بتوان با قطعیت بیشتری موتورسیکلت های الکتریکی را آغازگر روند رو به رشد حمل و نقل الکتریکی در ایران معرفی نمود.



۷- مراجع

- 1- Lave LB, Seskin EP, Air pollution and human health, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1977.
- 2- [Online]. Available: <http://www.history.com/topics/automobiles/>
- 3- D. Bodson, "Standardization Roadmap for Electric Vehicles [Standards]," Vehicular Technology Magazine, IEEE, vol. 8, no. 3, pp. 114-116, Sept. 2013.
- 4- [Online]. Available: <http://www.doe.ir/>
- 5- [Online]. Available: <http://air.tehran.ir/Default.aspx?tabid=111>
- 6- [Online]. Available: <http://www.epa.gov/>
- 7- [Online]. Available: <http://www.traffic19.ir/editor/uploadfiles/gozideh.pdf/>
- ۸- احمد صادقیه و محمد صالح اولیاء، "مقایسه مصرف انرژی در ماشین‌های برقی و فسیلی"، سومین همایش ملی انرژی ایران.
- 9- [Online]. Available: <http://www.greenvehicleguide.gov.au/GVGPUBLICUI/home.aspx>

## Impact of Electrical Transportation on Air Pollution of Tehran Metropolis

Shahin Riahinia, Moein Moeini-Aghataei, Arman Alahyari, Mahmud Fotuhi-Firuzabad, Hadi Modaghegh

- 1-Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- 2-Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- 3-Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- 4-Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- 5- Iran Energy Efficiency organization (IEEO), (SABA)

### Abstract

Nowadays with development of industries and increment of urbanization which have led to population augmentation, air pollution has become an inconvenient problem. Air pollution has several negative impacts on human mind and body health and city environment. In recent years a great success in transportation technologies has been perceived. One of these technologies is utilization of electric batteries in existing internal combustion motors vehicles. Since electrical energy is a clean one, it is expected that air pollution decrease considerably by penetration of these vehicles in transportation system. In this paper this issue is scrutinized for city of Tehran. Three different scenarios with different level of penetration are considered. The results show that electric motorcycles can be used as a quick solution and electric cars can be used as an effective long-term solution for decreasing air pollution.