مدل‌سازی و بررسی فنی - اقتصادی گزینه‌های گوناگون حمل و نقل عمومی در کاهش مصرف انرژی و آلودگی هوای کلان شهرها

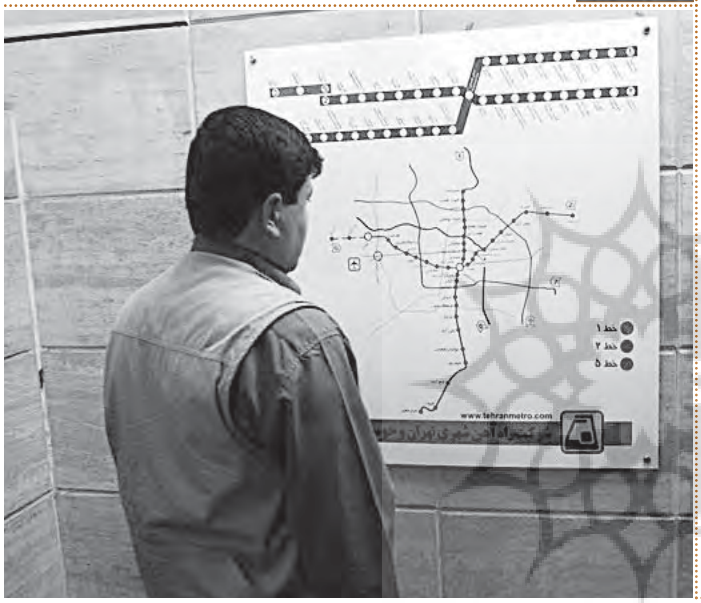
(مطالعه موردی شهر تهران)

هما کشاورزی
استادیار دانشکده محیط زیست
دانشگاه تهران

ایوب ترکیان
دانشیار و رئیس مرکز آب و انرژی
دانشگاه صنعتی شریف

بابک فیض آقایی

مقالهٔ علمی



چکیده:

سهم سیستم حمل ونقل عمومی تهران در جذب سفرهای درون شهری ۵۲ درصد است، در صورتی که این سیستم ۸ درصد کل آلودگی سالانهٔ ناشی از منابع متحرک در تهران را تولید می‌کند. توسعهٔ ناوگان حمل و نقل عمومی تهران موجب کاهش آلودگی سیستمهای دیگر نظیر خودروهای شخصی و کاهش چشمگیر مصرف سوخت در تهران می‌شود. در این تحقیق روابط مصرف سوخت، عمر و سرعت خودروهای عمومی تهران با استفاده از مدل موبایل۶ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که ضرایب انتشار خودروها با عمر خودرو به‌صورت خطی تغییر می‌کند و در غالب موارد با افزایش سرعت میانگین پیمایش، کاهش چشمگیری در ضرایب انتشار خودروها ایجاد می‌شود. همچنین با توجه به وضعیت عملکردی هر سیستم، هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای و با توجه به نتایج مدل‌سازی و میزان آلاینده‌های انتشاریافته از هر ناوگان، هزینه‌های غیرمستقیم آلودگی محاسبه شده است. در ادامه آلودگی انتشاریافته و هزینه‌ها بر حسب شمار مسافران و کیلومتر جابه‌جا شدهٔ هر ناوگان نرمال شده و شاخصهای هزینه هر ناوگان برآورد شده است. سپس ناوگان حمل و نقل عمومی تهران از نظر هزینه و میزان آلودگی مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی:

آلودگی هوا، مصرف سوخت، انرژی، ضرایب انتشار، مدل موبایل۶، حمل و نقل.

۱- مقدمه

بهبود سیستمهای حمل و نقل عمومی، راهکاری اساسی در حفظ منابع انرژی و کیفیت هوای تنفسی در شهرهای بزرگ است. برای بررسی ناوگان حمل و نقل عمومی باید شاخصه‌هایی چون ضرایب انتشار، عمر خودروها، تعداد، نوع و مصرف سوخت، میانگین سرعت، میزان انتشار آلاینده‌های خروجی از اگزوز را در نظر داشت و ضمن مقایسه پتانسیل ایجاد آلودگی آنها در مقایسه با خودروهای شخصی، اهمیت توسعه و سرمایه‌گذاری دولت را در بخش حمل و نقل عمومی مستدل ساخت. آمارها نشان می‌دهند که ۵۲ درصد حمل ونقل مسافر را در تهران خودروهای عمومی شامل اتوبوس، مینی‌بوس و تاکسی انجام می‌دهند [۱]، اما مقدار آلودگی ناشی از آنها تنها ۸ درصد جرم کل آلودگی هوای تهران را شامل می‌شود [۲].

بنابراین توسعه و بهبود ناوگان حمل و نقل عمومی تهران با کاهش استفاده از خودروهای شخصی و موتورسیکلت (که بیشترین سهم را در آلودگی دارند [۳]) به کاهش چشمگیر آلودگی هوا در تهران منجر می‌شود. در این زمینه و برای یافتن راهکارهای بهبود سیستم با هدف کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت، تخمین ضرایب انتشار آلاینده‌های خودروهای عمومی در اوضاع مختلف نقش مهمی را ایفا می‌کند و تصمیم‌گیری مدیران را برای بهبود عملکرد سیستم تسهیل می‌کند. در این مقاله با استفاده از مدل ضرایب انتشار موبایل۶ ضرایب انتشار خودروهای عمومی تهران برای ۵ آلاینده مونواکسیدکربن، هیدروکربنها، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید گوگرد و ذرات معلق مدل شده است.

خودروهای مختلف در ۶ گروه اتوبوس دیزلی، اتوبوس گازی، مینی‌بوس، تاکسیهای بنزینی و گازی و LPG سوز تقسیم شده و برای هر گروه، مدلسازی ضرایب انتشار بر اساس تغییر عمر خودرو و سرعت میانگین پیمایش خودرو انجام گرفته است.

۲- روشهای تخمین ضرایب انتشار

بررسی ضرایب انتشار خودروها و محاسبهٔ میزان جرم آلاینده‌های منتشر شده از یک خودرو بسیار پیچیده است و به عوامل زیادی بستگی دارد. معمولاً نحوهٔ رانندگی و حرکت خودروها در مسیر پیمایش آنها بر اساس مفهومی به نام چرخهٔ رانندگی توصیف می‌شود. چرخه‌های استانداردی نظیر چرخهٔ رانندگی ECE یا FTP، چرخه‌های رانندگی اروپا و امریکاست. برای محاسبهٔ ضرایب انتشار می‌توان در آزمایشگاه و تحت چرخه‌ها و شرایط استاندارد ضرایب انتشار مورد نظر را برای خودروهای گوناگون به‌دست آورد. در سالهای اخیر مدلهای کامپیوتری ضرایب انتشار بر پایهٔ مطالعات آزمایشگاهی گسترده توسعه یافته‌اند. از مهمترین و پر کاربردترین این مدلها می‌توان به سری مدلهای موبایل سازمان محیط زیست امریکا [۴]، مدل EMFAC بورد تخصصی منابع هوایی کالیفرنیا [۵] و COPERT اتحادیهٔ اروپا اشاره کرد. جدیدترین نسخهٔ سری مدلهای موبایل در سال ۲۰۰۲ منتشر شده است. موبایل۶ ضرایب انتشار وسایل نقلیه را تحت اثر شرایط اعمالی کاربر مانند تغییرات شرایط محیطی، تغییرات سرعت میانگین ترافیک وسایل نقلیه، تغییرات نوع سوخت و نوع خودرو و غیره تخمین می‌زند. در واقع موبایل۶ بر اساس ضرایب انتشار پایه و مجموعه‌ای از ضرایب اصلاحی[1] عمل می‌کند [۴]. ضرایب انتشار پایه ضرایبی است که از اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی تحت شرایط استاندارد و کنترل شده به‌دست می‌آیند. ضرایب اصلاحی بر اساس تغییر پارامترهای گوناگون و اعمال شرایط متفاوت با شرایط آزمایشگاه، با استفاده از مدل محاسبه می‌شوند. سپس این ضرایب در ضرایب انتشار پایه خودرو ضرب می‌شود و بدین وسیله ضریب انتشار خودروی مورد نظر تحت شرایط اعمالی جدید به‌دست می‌آید [۴]. موبایل۶ دامنهٔ وسیعی از پیش‌فرضهای اولیه[2] را برای اجرای مدل دارد. این پیش فرضها با میانگین‌گیری پارامترهای گوناگون در سراسر ایالات متحده امریکا به‌دست آمده‌اند که

جدول ۷- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت اتوبوس دیزلی

تا سرعت x	ازسرعت x	c	b	a	Pollutant (mg/km)
۳۱/۳	۰		۵۰۱۹۱	-۱۲۲۲	CO
۶۵/۴	۳۱/۳		۱۹۶۶۳	-۲۴۸	
۱۰۰	۶۵/۴		-۹۴۹	۶۷	
۳۰	۰		۱۲۷۴۹	-۲۰۰/۸	HC
۶۴/۱۶	۳۰		۸۸۱۷	-۶۹/۷	
۱۰۰	۶۴/۱۶		۵۱۴۷	-۱۲/۵	
۱۰۰	۰	۲۳۰۳۵	-۶۱۵	۵/۹۱۶۷	Nox
۱۸/۶	۰		۹۵۷۵	-۲۴۳/۳	PM10
۷۰/۱	۱۸/۶		۶۰۸۶	-۵۵/۷	
۱۰۰	۷۰/۱		۴۰۱۸	-۲۶/۲	
۳۶/۴	۰		۸۲۶۳	-۹۴/۱	SO2
۶۸/۴	۳۶/۴		۵۹۵۲	-۳۰/۶	
۱۰۰	۶۸/۴		۳۰۱۸	۱۲/۳	

y=E.F. x=Speed(km/h)
y=ax+b $y=ax^2+bx+c$

جدول ۸- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت اتوبوس گازی

تا سرعت x	از سرعت x	c	b	a	آلاینده(mgr/km)
۲۶/۹	۰		۷۹۹۹	-۹۴/۰۵	CO
۶۳/۷	۲۶/۹		۶۰۱۱	-۲۰/۲۳	
۱۰۰	۶۳/۷		۴۴۳۸	۴/۴۷۳	
۲۷/۸	۰		۱۷۹۲۱	-۲۳/۳۲	HC
۶۳/۳	۲۷/۸		۱۷۹۰۱	-۸/۱۹	
۱۰۰	۶۳/۳		۱۷۴۰۹	-۱/۳۷	
۱۰۰	۰	۷۵۴۴۱	-۱۸۵/۲	۱/۷۸	NO_x
۱۸/۳	۰		۲۴۱/۸	-۱/۶	PM_{10}
۶۵/۳	۱۸/۳		۲۱۶/۸	-۰/۲۳	
۱۰۰	۶۵/۳		۱۷۵/۷	۰/۴	
۲۰/۳	۰		۲۸/۹	-۰/۵۶	SO_2
۶۱/۲	۲۰/۳		۲۰/۴	-۰/۱۴	
۱۰۰	۶۱/۲		۶/۹	-۰/۰۸	

y=E.F. (mgr/km) x=Speed(km/h)

جدول ۹- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت مینی‌بوس

تا سرعت x	از سرعت x	c	b	a	آلاینده
۳۱/۳	۰		۴۹۱۴۶	-۱۲۲۲	CO
۶۵/۴	۳۱/۳		۱۸۶۶۰	-۲۴۸	
۱۰۰	۶۵/۴		-۱۹۴۱	۶۷	
۳۰	۰		۱۱۶۴۸	-۲۰۰/۸	HC
۶۴/۱۶	۳۰		۷۷۱۵	-۶۹/۷	
۱۰۰	۶۴/۱۶		۴۰۴۳	-۱۲/۵	
۱۰۰	۰	۲۱۷۷۴	-۶۱۵	۵/۹۱۶۷	NO_x
۱۸/۶	۰		۹۴۰۹	۲۴۳/۳	PM_{10}
۷۰/۱	۱۸/۶		۵۹۲۰	-۵۵/۷	
۱۰۰	۷۰/۱		۳۸۵۲	-۲۶/۲	
۳۶/۴	۰		۷۶۵۳	-۹۴/۱	SO_2
۶۸/۴	۳۶/۴		۵۳۴۲	-۳۰/۶	
۱۰۰	۶۸/۴		۲۴۰۸	۱۲/۳	

y=E.F. (mgr/km) x=Speed(km/h)
y=ax+b $y=ax^2+bx+c$

جدول ۱۰- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت تاکسی بنزینی

تا سرعت x	از سرعت x	b	a	آلاینده (mg/km)
۲۱/۸	۰	۱۲۶۰۳۴	-۳۸۹۴	CO
۵۳/۸	۲۱/۸	۴۵۱۳۲	-۱۸۳/۴	
۱۰۰	۵۳/۸	۱۸۸۹۰	۱۱۸/۵	
۱۴	۰	۱۷۸۲۵	-۸۲۲/۴۶	HC
۳۱/۷	۱۴	۸۵۹۳	-۱۶۳/۰۲	
۱۰۰	۳۱/۷	۴۲۱۴	-۲۴/۹	
۲۴/۶	۰	۴۴۸۵	-۷۹/۷۵	NO_x
۷۶/۷	۲۴/۶	۲۵۴۴	-۰/۷۴	
۱۰۰	۷۶/۷	۲۳۴۳	۱/۸۸	
۱۷/۶	۰	۵۲۸	-۱۱/۳	PM_{10}
۷۱/۴	۱۷/۶	۳۷۵	-۲/۶	
۱۰۰	۷۱/۴	۲۱۱	۰/۳	
۱۸/۴	۰	۲۱/۶	-۰/۴۳	SO_2
۵۳/۲	۱۸/۴	۱۶/۸۴	-۰/۱۷	
۱۰۰	۵۳/۲	۶/۲	۰/۰۳	

y=E.F. X=Speed(km/h) y=ax+b

جدول ۱۱- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت تاکسی گازی

تا سرعت x	از سرعت x	b	a	آلاینده(mg/km)
۱۹/۱	۰	۱۳۸۷	-۶۹/۵	CO
۶۰/۲	۱۹/۱	۶۷	-۰/۴	
۱۰۰	۶۰/۲	-۳۹۷	۷/۳۱	
۲۲/۱	۰	۵۶/۳	-۰/۴۵	HC
۴۲/۶	۲۲/۱	۴۶/۶	-۰/۰۰۷	
۱۰۰	۴۲/۶	۴۴/۶	/۰۴	
۲۱/۴	۰	۲۶۸/۴	-۱۲/۰۱	NO_x
۵۶/۱	۲۱/۴	۷/۷	۰/۱۷	
۱۰۰	۵۶/۱	-۵۱/۸	۱/۲۳	
۲۶/۳	۰	۱۷۹/۴	-۵/۴	PM_{10}
۴۸/۴	۲۶/۳	۶۱/۸	-۰/۹۳	
۱۰۰	۴۸/۴	۱/۳۷	۰/۰۴	
۱۶/۷	۰	۱۰/۵۴	-۰/۲۵	SO_2
۴۸/۴	۱۶/۷	۸/۲۱	-۰/۱۱	
۱۰۰	۴۸/۴	۲/۴	۰/۰۱	

y=E.F. X=Speed(km/h) y=ax+b

جدول ۱۲- ثوابت معادله تعیین ضرایب انتشار آلاینده‌ها بر اساس سرعت تاکسی LPG سوز

تا سرعت x	از سرعت x	b	a	آلاینده(mg/km)
۱۹/۱	۰	۱۰۳۳۶	-۶۹/۵	CO
۶۰/۲	۱۹/۱	۹۰۱۶	-۰/۴	
۱۰۰	۶۰/۲	۸۵۵۲	۷/۳۱	
۲۲/۱	۰	۱۱۲۳/۳	-۰/۴۵	HC
۴۲/۶	۲۲/۱	۱۱۱۳/۶	-۰/۰۰۷	
۱۰۰	۴۲/۶	۱۱۱/۶	۰/۰۴	
۲۱/۴	۰	۱۹۲۹/۴	-۱۲/۰۱	NO_x
۵۶/۱	۲۱/۴	۱۶۶۸/۷	۰/۱۷	
۱۰۰	۵۶/۱	۱۶۰۹/۲	۱/۲۳	
۲۶/۳	۰	۱۷۹/۴	-۵/۴	PM_{10}
۴۸/۴	۲۶/۳	۶۱/۸	-۰/۹۳	
۱۰۰	۴۸/۴	۱/۳۷	۰/۰۴	
۱۶/۷	۰	۱۰/۵۴	-۰/۲۵	SO_2
۴۸/۴	۱۶/۷	۸/۲۱	-۰/۱۱	
۱۰۰	۴۸/۴	۲/۴	۰/۰۱	

y=E.F. X=Speed(km/h) y=ax+b

۵- هزینه‌های حمل و نقل درون شهری

هزینه‌های ناوگان حمل و نقل را می‌توان به‌صورت کلی شامل دو دسته هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم در نظر گرفت. هزینه‌های مستقیم را نیز می‌توان به دو بخش هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری تقسیم کرد. هزینه‌های سرمایه‌ای شامل هزینه‌های تهیه و تجهیز ناوگان حمل و نقل و همچنین هزینهٔ احداث معابر و هزینه‌های جاری نیز شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری ناوگان، هزینهٔ مصرف انرژی و هزینه‌های کارمندی هر ناوگان است که سالانه محاسبه می‌شوند. هزینه‌های غیرمستقیم لحاظ شده در این تحقیق نیز هزینهٔ آلودگی تولیدی هرنوع خودرو در سال است.

در محاسبهٔ هزینه‌های سرمایه‌ای، با توجه به فاکتور هم‌ارز ترافیکی خودروهای مختلف، سهم هر خودرو از مساحت کل معابر شهری تهران و از هزینه‌های سرمایه‌ای جهت احداث معابر محاسبه شده است. مساحت انواع معابر اصلی تهران به تفکیک و معادل خودرو سبک و سهم هر نوع خودرو از معابر شهری لحاظ شده است. همچنین محاسبه و برآورد ارزش ناوگان موجود حمل و نقل موتوری تهران با توجه به وضعیت عمری ناوگان و قیمتهای مختلف خودرو در سنین متفاوت انجام گرفته است. بر این اساس سهم هریک از خودروهای موجود درناوگان حمل و نقل شهری از معابر تهران به دست آمده است.

۵-۱- هزینه‌های مستقیم

با توجه به‌اینکه برای سالیانه کردن هزینه‌های سرمایه‌ای یکی از عوامل تأثیرگذار همانا طول عمر پیش‌بینی شدهٔ پروژه است، تمام هزینه‌های سرمایه‌ای در ناوگان حمل و نقل عمومی تهران شامل اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی، مترو و هزینهٔ سالیانه آنها در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن وضعیت عمری انواع گروه خودروها، با ارزش فعلی محاسبه و بر اساس میانگین عمری و عمر باقیماندهٔ آنها، هزینهٔ سالیانه برآورد شده است.

باید به این نکته توجه کرد که در این تحقیق برای جلوگیری از خطا در محاسبات،

دو سیستم مترو با عنوانهای سیستم مترو ۱و مترو ۲ فرض شده است، زیرا عمده هزینه‌ها در سیستم مترو هزینهٔ احداث مسیر است ولی به دلیل تأمین نشدن تعداد باقیماندهٔ ناوگان مترو، سهم سفر جذب شدهٔ مترو به مراتب کمتر از ظرفیت طراحی آن با تعداد واگنهای نهایی خواهد بود. مشخصات سیستم مترو ۱ منطبق بر وضعیت موجود ناوگان مترو تهران است، اما سیستم متروی ۲ دارای واگنهایی به تعداد واگنهای نهایی خطوط۱، ۲ و ۵ است و کلیه پارامترهای مربوط به هزینه‌ها و همچنین تعداد مسافر جابه جا شدهٔ آن نیز به نسبت افزایش تعداد واگنها زیاد می‌شود.

۲-۵- هزینه‌های غیرمستقیم

در این تحقیق، هزینه‌های غیرمستقیم، فقط هزینهٔ آلودگی هوا در نظر گرفته شده که در رابطهٔ مستقیم با نوع و میزان سوخت مصرفی است. در ابتدا جرم آلاینده‌های مختلف هر یک از سیستمهای حمل و نقل عمومی تهران به صورت سالیانه برآورد شده و سپس با توجه به جرم آلاینده منتشر شده از هر گروه خودرو و با توجه به هزینهٔ ایجاد شده براثر انتشار هر آلاینده به ازای واحد جرم آن، هزینهٔ آلودگی جداگانه محاسبه شده است. برای محاسبهٔ جرم منتشر شدهٔ آلاینده‌ها با انواع سیستمها از ضرایب انتشار خودروها استفاده شده است. رابطهٔ ضرایب انتشار با افزایش عمر خودرو به‌صورت خطی تغییر می‌کند و این امر باعث می‌شود که بتوان با یک میانگین‌گیری وزنی، ضرایب انتشار آلاینده‌های هر گروه از خودروها را با توجه به وضعیت عمری آن گروه به دست آورد یا اینکه ضرایب انتشار خودرو مورد نظر را در عمر میانگین ناوگان محاسبه کرد. با درنظر گرفتن ضرایب انتشار انواع خودروها جرم آلاینده‌های منتشر شده از ناوگان حمل و نقل شهری در سال به تفکیک نوع خودرو برای پنج آلایندهٔ اصلی محاسبه شد. فرض می‌شود که آلایندگی مترو در شهر صفر باشد.

پس از محاسبه جرم آلاینده‌های منتشر شده و با توجه به واحدهای هزینه‌های غیرمستقیم آلودگی هوا، هزینه آلودگی هوای ناشی از سیستمهای حمل و نقل موتوری در تهران که در واقع خسارتهای وارد شده را نشان می‌دهد، تعیین شده است. با بررسی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم سیستمهای مختلف سهم هر کدام از اجزای هزینه‌های ناوگان حمل و نقل به دست آمد که در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳- هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم انواع سیستمهای حمل و نقل عمومی تهران

نوع سیستم حمل و نقل	هزینه‌های مستقیم (میلیارد ریال در سال)			هزینه‌های غیرمستقیم	کل هزینه	نسبت
	هزینه جاری	هزینه سرمایه‌ای	کل هزینه مستقیم	(آلودگی هوا) (میلیارد ریال در سال)	(میلیارد ریال در سال)	غیرمستقیم به مستقیم
اتوبوس	۱۰۴۹/۳	۶۵۶/۰۵	۱۷۰۵/۴	۶۵۴/۲	۲۳۵۹/۶	۰/۳۸
مینی‌بوس	۳۶۱/۱	۸۷/۲۱	۴۴۸/۳	۳۶۶/۷	۸۱۵	۰/۸۲
تاکسی	۲۸۳۸	۲۰۰/۹۱	۳۰۳۹	۳۰۰۴/۴	۶۰۴۳/۴	۰/۹۸
مترو ۱	۲۰۲/۵	۳۱۸۲/۴	۳۳۸۵	۰	۳۳۸۵	۰
مترو ۲	۴۰۰/۹	۳۵۲۰/۲	۳۹۲۱	۰	۳۹۲۱	۰

با توجه به محاسبات انجام گرفته به غیر از سیستم مترو که بدون آلودگی هوا درنظر گرفته شده، نسبت هزینهٔ آلودگی به هزینه‌های دیگر ناوگان اتوبوس‌رانی در تهران از بقیهٔ ناوگانها کمتر و در حدود یک سوم هزینه‌های مستقیم است. این رقم در مورد مینی‌بوسها بیشتر و در ناوگان تاکسی‌رانی نیز به مراتب بیشتر است به حدی که هزینهٔ آلودگی ناوگان تاکسی‌رانی با هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای آن تقریباً برابری می‌کند. در این جدول هزینه‌های کل هر سیستم نیز مشخص است، اما این هزینه‌ها شاخص مناسبی برای مقایسه نیستند زیرا برای مقایسهٔ سیستمهای مختلف تهران باید آنها را با توجه به مسافر جابه‌جا شدهٔ هر ناوگان مقایسه کرد برای این منظور نرمال کردن آلودگی و هزینه‌ها با توجه به توان جابه‌جایی مسافر هر ناوگان انجام گرفته است تا امکان مقایسه سیستمهای مختلف فراهم شود. به این منظور از فاکتوری به نام نفرکیلومتر یا مسافرکیلومتر استفاده می‌شود. فاکتور نفرکیلومتر در واقع بیانگر آن است که هر ناوگان چند نفر را یک کیلومتر یا یک نفر را چند کیلومتر جابه‌جا می‌کند. بنابراین در این مرحله می‌توان آلودگی تولیدی هر ناوگان، هزینه‌های مستقیم، هزینه‌های غیرمستقیم و هزینهٔ کل را بر مبنای شاخص مسافرکیلومتر هر گروه از خودروها نرمال کرد. در جدول ۱۴ هزینه‌های نرمال شدهٔ آلودگی ناوگان حمل و نقل شهری ارائه شده است.

جدول ۱۴- هزینهٔ نرمال شده آلودگی سیستمهای مختلف حمل و نقل موتوری

آلاینده	هزینه آلودگی هوا (Rials/passenger.km)					
	اتوبوس دیزلی	اتوبوس گازی	مینی‌بوس	تاکسی بنزینی	تاکسی گازی	تاکسی LPG سوز
CO	۱۴/۲۴	۳/۴۷	۵۸/۳۳	۸۸۸/۲	۶۴/۶۵	۴۴۰/۹۷
HC	۶/۵	۱۴/۱۷	۲۰/۹۱	۸۲/۵۳	۹/۵۵	۲۵/۹۴
NO_x	۲۳/۴	۳۶/۲۵	۵۸/۰۳	۱۴/۷۵	۲۹/۶۹	۶۹/۹۲
PM_{10}	۸/۲۸	۰/۲۱	۵۱/۳۸	۱۰/۴۱	۰/۸۹	۰/۸۹
SO_2	۷/۴۲	۰/۰۲	۱۲/۱۸	۰/۳	۰/۰۹	۰/۰۹

نتایج نشان می‌دهد که درمجموع پاک‌ترین شیوهٔ حمل و نقل عمومی موتوری در تهران اتوبوس گازی و آلوده‌ترین آن تاکسی بنزینی است. پاک‌ترین سیستم حمل و نقل عمومی موتوری سیستم اتوبوس و آلوده‌ترین سیستم، ناوگان تاکسی‌رانی است. همچنین به لحاظ کمترین هزینهٔ کل (مستقیم و غیرمستقیم) به ترتیب سیستم اتوبوسرانی، مینی‌بوسرانی، مترو و در نهایت تاکسی در اولویت است (البته سیستم مترو ۲ مورد نظر است).

۶- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق را می‌توان به‌طور اجمالی چنین خلاصه کرد:

۱- طبق مدل‌سازی ضرایب انتشار، تغییرات ضرایب انتشار با عمر به صورتی خطی افزایش می‌یابد و روند تغییرات به آلاینده و نوع خودرو وابسته است.

۲- تغییرات ضرایب انتشار در سرعتهای کم بسیار است و در سرعتهای بیشتر به یک پایداری نسبی می‌رسد. در بازه سرعت صفر تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت می‌توان روند تغییرات ضرایب انتشار با سرعت خودرو را در سه ناحیهٔ مجزا با تغییرات خطی بیان کرد.

۳- در بررسی سیستمهای مختلف می‌توان گفت به لحاظ ضرایب انتشار نرمال شده به ازای هر نفرکیلومتر، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم (هزینهٔ آلودگی هوا) و هزینهٔ کل، اتوبوس بهترین گزینه است.

۴- شاخص هزینهٔ میانگین سفر با سیستم عمومی در تهران (اتوبوس، مینی‌بوس، تاکسی یا مترو) ۵۲۷ ریال بر نفرکیلومتر برای هزینهٔ کل، ۱۶۱ ریال بر نفرکیلومتر برای هزینهٔ غیرمستقیم و ۳۶۵ ریال بر نفرکیلومتر برای هزینهٔ مستقیم به‌دست آمده است.

۵- هزینهٔ سفر با سیستم اتوبوس‌رانی و مینی‌بوس‌رانی کمتر و هزینهٔ سفر با سیستم تاکسی‌رانی و شبکهٔ مترو بیشتر از شاخص هزینهٔ میانگین سفر به وسیلهٔ سیستم حمل‌ونقل عمومی تهران است. البته با لحاظ کردن دیگر هزینه‌های غیرمستقیم سیستمهای حمل و نقل (مانند هزینهٔ آلودگی صوتی، اتلاف وقت و غیره که در این تحقیق انجام نگرفته است) می‌توان گفت هزینه‌های سفر با شبکهٔ مترو در جایگاه بهتری قرار خواهد گرفت که طرح هرگونه اظهار نظر دقیق‌تر نیازمند تحقیقات بیشتری است.

۶- با جهت‌گیری درون‌سیستمی توسعه، ابتدا گازسوزکردن ناوگان، تسهیل جریان ترافیک و در نهایت نوسازی ناوگان پیشنهاد می‌شود.

۷- با جهت‌گیری برون‌سیستمی توسعه، سوق دادن سفرها به سمت سیستم اتوبوس‌رانی و شبکهٔ مترو یا حداقل توزیع سفرها به نسبت ضریب سرنشین هر سیستم و همچنین کم‌کردن هرچه بیشتر سهم تاکسی‌رانی و مینی بوس‌رانی پیشنهاد می‌شود.

۷- منابع و مراجع

[۱] اولویتهای برنامهٔ جامع کاهش آلودگی هوای تهران در برنامهٔ چهارم توسعه، سازمان حفاظت محیط زیست، تیر ۱۳۸۴

[۲] سهم بندی منابع تولید آلودگی هوای تهران، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه شریف، رضا بیات، ۱۳۸۳

[۳] داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوا،۱۳۸۳

[4] U.S. Environmental protection Agency. Users's Guide to mobile6,report EPA420-R-03-010,2003

[5] California Air Resource Board. EMFAC2000 User's Guide. California EPA, Sacramento, CA

پانوشتها:

1- Correction factor
2- Default Values
3- mobile@epa.gov