

پیامدهای بیرونی حمل و نقل با خودرو شخصی در شهر تهران

دکتر بهروز هادی زنوز، دکتر منصور زراء نژاد، دکتر حسن طایی و مسعود خداپناه*

تاریخ وصول: 89/7/3 تاریخ پذیرش: 89/10/13

چکیده:

با رشد سریع شهرنشینی در دهه‌های اخیر، حمل و نقل شهری به یکی از مسائل عمده‌ی شهری تبدیل شده است. بالا رفتن استفاده از خودرو شخصی در شهرهای بزرگ مانند تهران، باعث افزایش ترافیک شده و در پی آن زمان سفر افزایش پیدا کرده و میزان انواع آلودگی‌ها بالا رفته است. افرادی که از جاده‌ها استفاده می‌کنند در معرض خطر و آسیب‌های جدی زیست محیطی قرار دارند و سلامتی آنها مورد خطر واقع شده است. به همین دلیل شناسایی و برآورد هزینه‌های پیامدهای بیرونی حمل و نقل با خودرو شخصی مانند، آلودگی هوا، ازدحام، آلودگی صوتی و تصادفات، امروزه اهمیت فراوانی یافته است و توجه محققان و سیاستگذاران جامعه را به خود جلب نموده است. در این مقاله با توجه به سهم بالای انواع آلودگی‌های خودرو شخصی در شهر تهران، روش‌های مناسب سنجش و ارزیابی هر آلودگی تعیین و مشخص شده است. سپس میزان انواع آلودگی‌ها به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده با خودرو سواری شخصی در دوره‌ی اوج ترافیک و غیر اوج ترافیک براساس اطلاعات و آمار سال 1386 به دست آمده است. هزینه‌ی کل پیامدهای بیرونی خودرو شخصی در تهران در دوره‌ی اوج ترافیک 855 ریال و در دوره‌ی غیر اوج ترافیک 695 ریال تخمین زده شده است. هزینه‌ی تصادفات بیشترین سهم را در هزینه‌های پیامدهای بیرونی دارد و کمترین سهم متعلق به آلودگی صوتی است و در پایان راه کارهای مناسب جهت کاهش این آلودگی‌ها ارائه شده است.

طبقه‌بندی JEL: D62

واژه‌های کلیدی: پیامدهای بیرونی، خودرو شخصی، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، ازدحام، تصادفات

* به ترتیب، دانشیار دانشگاه علامه طباطبایی، استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، استادیار دانشگاه علامه طباطبایی و عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز. (bzoonooz@gmail.com)

1- مقدمه

بخش حمل و نقل از جمله مهمترین بخش‌های اقتصادی در شهرهای بزرگ است و این بخش سهم عمده‌ای در ایجاد ارزش افزوده دارد و تقاضای خدمات حمل مسافر و کالا را برآورده می‌سازد. با توسعه و گسترش شهرنشینی در دهه‌های اخیر و با افزایش نرخ مالکیت خودروهای شخصی و استفاده بیشتر از خودرو، ازدحام ترافیک افزایش یافته است. از این رو، میزان انواع آلودگی‌های ناشی از خودرو شخصی مانند آلودگی هوا، آلودگی صوتی، آلودگی ازدحام و تصادفات افزایش یافته و سلامتی ساکنان شهرهای بزرگ از جمله تهران مورد خطر جدی قرار گرفته است.

تهران با مساحتی حدود 780 کیلومتر مربع بزرگترین شهر ایران با جمعیتی 8 میلیون نفری است که بالغ بر 15 میلیون سفر سواره در آن انجام می‌شود. وضعیت توزیع سفرها که توسط انواع سیستم حمل و نقل شهری در سال 1386 در شهر تهران انجام گرفته است، شامل سیستم حمل و نقل عمومی (اتوبوس، مینی بوس، مترو) جمعاً 25/6 درصد و سهم حمل و نقل نیمه عمومی (انواع تاکسی و آژانس‌ها) جمعاً 31/5 درصد و سیستم حمل و نقل با خودرو سواری شخصی 36 درصد و موتور سیکلت 6/3 درصد است. سهم خودروهای سواری شخصی در کل سفرهای شهری تهران با 36 درصد نشان دهنده سهم بزرگی از سفرهای روزانه است. ضریب اشغال هر خودرو سواری شخصی به طور متوسط در تهران 1/57 نفر به ازای هر خودرو است که نشانگر بسیار بالا بودن سهم خودروهای سواری شخصی در ایجاد انواع پیامدهای بیرونی (ازدحام، آلودگی هوا، آلودگی صوتی و تصادفات) نسبت به سایر خودروها است (متصدی و دیگران، 1385).

معابر شهری تهران شامل بزرگراه‌ها و شریانی درجه 1 و شریانی درجه 2 و جمع کننده و دسترسی محلی، در مجموع 2731 کیلومتر طول دارند. این وضعیت با توجه به تعداد خودروها در سطح شهر تهران سبب کاهش سرعت متوسط حرکت خودروها در معابر شهری تهران شده است به گونه‌ای که سرعت متوسط حرکت در بزرگراه‌ها به 42 کیلومتر در ساعت و در معابر دسترسی محلی به 19 کیلومتر در ساعت کاهش یافته است. به همین سبب تهران یکی از شهرهایی است که بر اساس استانداردهای سازمان جهانی از جمله استاندارد سازمان جهانی

بهداشت¹ و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده،² جزء مناطق آلوده محسوب می‌گردد. عمده‌ترین منبع آلوده‌کننده‌ی هوای تهران، آلودگی ناشی از منابع متحرک (حمل و نقل) است که بین 80 تا 90 درصد در نوسان است. در حالی که سهم منابع ثابت حداکثر 20 درصد است. عمده‌ترین آلاینده‌های هوای تهران منواکسید کربن (CO) و ذرات معلق (PM 10) در هوا است.

علاوه بر این، خودرو مهم‌ترین منبع آلودگی صوتی در شهر تهران است. آمارها نشان می‌دهد که در اکثر معابر شهری تهران آلودگی صوتی بین 5 تا 30 دسی بل بیشتر از حد مجاز است. بر اساس نتایج آزمون صوتی خودروهای سواری در تهران، صدای عبوری خودرو سواری 75 و صدای اگزوز 80 و صدای بوق 94 دسی بل بوده است. بالاترین آلودگی صوتی در نزدیکی بزرگراه‌های اصلی به گوش می‌رسد و در مرکز شهر این مقدار بین 60 تا 75 دسی بل است. آلودگی صوتی علاوه بر تأثیراتی که بر سلامت دارد، باعث کاهش ارزش مالکیت خانه‌ها نیز می‌شود (متصدی و دیگران، 1385).

میزان تصادفات جاده‌ای به واسطه‌ی افزایش خودروها و سفرهای درون شهری بالا رفته است. به گونه‌ای که در سال 1386 در شهر تهران مجموع تصادفات 186886 مورد بوده که 267 مورد آن تصادف فوتی و 18233 مورد آن تصادف جرحی و 168387 مورد آن تصادف خسارتی بوده است که این تعداد تصادفات نسبت به سال‌های قبل افزایش داشته است.

به گزارش وزارت راه و ترابری در سال 1388 هزینه‌ی کل تصادفات فوتی 43227/6 میلیارد ریال (75/5 درصد)، تصادفات جرحی 12503/8 میلیارد ریال (21/8 درصد)، تصادفات خسارتی 1516/1 میلیارد ریال (2/7 درصد) و جمعاً 52257/5 میلیارد ریال بوده است.

یکی از راه‌های رویارویی با این مسأله شناسایی قیمت بهینه‌ی حمل و نقل به منظور کاهش پیامدهای بیرونی (منفی) آن است. این هزینه‌ها را باید افراد استفاده‌کننده از جاده، خصوصاً در زمان ازدحام پرداخت نمایند. براساس نظریه‌ی اقتصاد رفاه عمومی، یکی از شرایط تحقق بالاترین رفاه اجتماعی، آن است که تمامی قیمت‌ها با هزینه‌های اجتماعی نهایی آنها برابر باشد. در اینجا منظور از

¹ World Health Organization (WHO)

² Enviromental Protection Agency (EPA)

کلمه‌ی «اجتماعی» نشان دهنده‌ی آن است که باید همه‌ی هزینه‌ها از جمله پیامدهای منفی خارجی را نیز در بر بگیرد؛ یعنی قیمت بهینه باید در برگیرنده‌ی مجموع هزینه‌های منابع (هزینه‌های عملکردی خودرو) و هزینه‌های پیامد خارجی (ازدحام، آلودگی هوا، آلودگی صوتی و تصادفات) باشد و برای دست یابی به قیمت‌های بهینه در بخش حمل و نقل، شناسایی و تعیین میزان پیامدهای منفی امری ضروری است.

بنابراین هدف این مقاله شناسایی و تعیین روش‌های کمی نمودن پیامدهای خارجی حمل و نقل با خودرو شخصی در شهر تهران است. در این مقاله بر چهار مقوله‌ی اصلی هزینه‌های پیامد خارجی خودرو شخصی شامل هزینه‌ی آلودگی هوا، هزینه‌ی آلودگی صوتی، هزینه‌ی ازدحام و هزینه‌ی ناشی از تصادفات تأکید شده است. از این رو، سوالات اصلی تحقیق عبارتند از:

- 1- ارزش پولی هزینه‌های زیست محیطی استفاده از خودرو شخصی در شهر تهران به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده چه میزان است؟
- 2- ارزش پولی خسارات جانی و مالی ناشی از تصادفات خودروهای شخصی در شهر تهران چه مقدار است؟
- 3- کدامیک از پیامدهای بیرونی ناشی از خودرو شخصی بیشترین آلودگی را ایجاد می‌نماید؟

بقیه‌ی ساختار مقاله‌ی حاضر به این شکل است که در بخش دوم تحقیقات انجام گرفته در زمینه‌ی تعیین هزینه‌های پیامدهای خارجی حمل و نقل جاده‌های شهری به اختصار مرور می‌شود. در بخش سوم روش‌های سنجش و برآورد هزینه‌ی آلودگی ازدحام معرفی می‌شود و هزینه‌ی ازدحام در تهران تخمین زده می‌شود. در بخش چهارم با استفاده از مدل‌ها و روش‌های مختلف، هزینه‌ی جانبی خارجی ناشی از آلودگی هوا در اثر استفاده از خودرو شخصی محاسبه می‌شود. بخش پنجم و ششم به تخمین هزینه‌ی پیامدهای منفی، تصادفات و آلودگی صوتی با استفاده از روش‌های مربوطه می‌پردازد. در بخش هفتم مجموع پیامدهای خارجی خودرو شخصی ارائه می‌شود و در بخش هشتم نتایج مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و راهکارهای اجرایی مناسب برای داخلی نمودن این هزینه‌ها و کاهش آنها از طریق محدودیت‌ها و قوانین ترافیکی ارائه می‌شود.

2- مروری بر تحقیقات و مطالعات پیشین

1-2- مطالعات خارجی

مطالعات متعددی در خصوص سنجش پیامدهای بیرونی حمل و نقل جاده‌ای (ازدحام - آلودگی هوا، آلودگی صوتی و تصادفات) انجام گرفته است. مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته عبارت است از مطالعات نیوبری³ (1988)، جونز⁴ (1990)، مایرز⁵ (1993)، جانسون⁶ (1994) مایرز و دیگران (1996)، سفیروا⁷ و دیگران (2007)، سن⁸ و دیگران (2007)، اکشیا و دیگران⁹ (2010) است.

برای ارزیابی هزینه‌های پیامدهای خارجی حمل و نقل جاده‌ای، محققان بسیاری از جمله مایرز و دیگران (1996)، بیکل¹⁰ و دیگران (1997) از فرمول زیر برای هزینه آلودگی ازدحام استفاده کرده‌اند. این رابطه بیانگر دقایق مورد نیاز برای طی نمودن یک کیلومتر در یک مقطع زمانی معین (در هر ساعت یا در هر دقیقه) در شهر است.

$$\frac{1}{S} = A_1 + A_2 \times (\exp(A_3 \times q)) \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، S نشان دهنده‌ی سرعت متوسط به کیلومتر در ساعت است و q واحد اتومبیل مسافری (خودرو شخصی سواری) در هر ساعت است. A_1 و A_2 پارامترهای مربوط به ارتباط جریان سرعت هستند. مایرز و دیگران (1996) فرمول زیر را برای ازدحام مورد استفاده قرار داده‌اند.

$$\frac{1}{S} = 1/194428 + 0/005571 \times (\exp(7/890545 \times q)) \quad (2)$$

که نشان دهنده‌ی زمان مورد نیاز برای راندن یک کیلومتر در یک مقطع زمانی معین به دقیقه است. در این تابع، سرعت متوسط S با جریان ترافیک q که در واحد اتومبیل سواری مسافربر (PCU) در ساعت سنجیده شده برابر است. هنگامی که کمبود زمان که دیگر استفاده کنندگان از جاده آن را به وجود می‌آورند، در

³ Newbery

⁴ Jones

⁵ Mayeres

⁶ Jansson

⁷ Safirova

⁸ Sen

⁹ Akshaya

¹⁰ Bickel

تساوی فوق قرار داده شود، برای ارزیابی ارزش زمانی $(VOT)^{11}$ افرادی که از راه استفاده می‌کنند، از دیدگاه «تمایل به پرداخت» $(WTP)^{12}$ استفاده می‌شود. بر اساس این روش، هزینه‌های پیامدهای منفی ناشی از ازدحام در ساعات اوج در شهر بروکسل در سال 2005 به میزان خودرو شخصی 1/38 یورو در ساعت برای خودرو شخصی و 2/774 یورو برای اتوبوس، تراموا و کامیون محاسبه شده است.

مایرز و دیگران (1996) به محاسبه‌ی آلودگی هوا برای جامعه‌ی شهری بروکسل نیز پرداخته‌اند که آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق (pm) معادل با 83/19 یورو در گرم و برای Voc و Noc و So_2 نیز به ترتیب هزینه‌هایی معادل 1/5 میلی گرم - یورو و 7/55 میلی گرم - یورو و 93/7 میلی گرم - یورو به دست آوردند. روتن گادر¹³ (1996) به ارزیابی هزینه‌های آلودگی هوا ناشی از انتشار So_2 ، Nox و Voc و اثر آنها را بر سلامتی، محیط زیست و مواد بررسی کرده است. هزینه‌ی So_2 (انتشار سالانه) برابر با 12/994 یورو - تن و هزینه‌ی Nox (انتشار در فصل تابستان) برابر با 13/475 یورو - تن و Voc (انتشار در فصل تابستان) برابر با 12/175 یورو - تن بوده است.

روتن گادر (1996) نیز آلودگی صوتی ناشی از خودروها را با استفاده از دیدگاه تمایل به پرداخت هزینه محاسبه کرده است. بر اساس این محاسبه، هزینه‌های سالانه‌ی آلودگی صوتی 0/65 درصد GDP در اروپا است. متوسط هزینه‌های ناشی از آلودگی صوتی برای وسایل مسافری حدود 4/5 یورو در هر 1000 کیلومتر ساعت برای خودروهای سواری و 4/2 یورو در هر 1000 کیلومتر ساعت برای اتوبوس‌ها تخمین زده شده است.

مایرز و دیگران (1996) میزان هزینه‌های پیامدهای خارجی ناشی از آلودگی صوتی ایجاد شده توسط خودروها را در بروکسل با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرده‌اند:

$$Leq(A) = 53/9 + 10 \log(Q_{vl} + EQ_{pl}) - 10 \log L + K \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق $Leq(A)$ نشان دهنده‌ی میزان صدا در واحد دسی بل، Q_{vl} عبور و مرور وسایل سبک (کمتر از 3/5 تن) و Q_{pl} ، عبور و مرور وسایل نقلیه‌ی

¹¹ Value of Time

¹² Willingness to Pay

¹³ Rothengatter

سنگین (بیشتر از 3/5 تن) است. E نیز ضریب معادل میان انواع گوناگون وسایل نقلیه است. در شیب کمتر از 2 درصد یک وسیله نقلیه سنگین برابر با 10 وسیله بزرگ فرض می‌شود. L نیز نشانگر پهنای روی کار (بر حسب متر) L و K ضریب تصحیح سرعت است (بر اساس آن به ازای هر 10 کیلومتر در ساعت، سرعت بالای 60 کیلومتر در ساعت، یک دسی بل اضافه می‌شود).

هزینه‌های پیامد بیرونی ناشی از آلودگی صوتی برای خودروهای سواری در سال 2005 در بروکسل 1/141 یورو و برای اتوبوس‌ها 14/1 یورو تخمین زده شد. مایرز و دیگران (1996) نیز میزان هزینه‌های خارجی، تصادفات در بروکسل را محاسبه کرده‌اند. میزان کل این هزینه‌ها در ساعات اوج برای خودرو سواری 98/29 یورو در هر کیلومتر، اتوبوس 854/02 یورو در هر کیلومتر و تراموا 616/58 یورو در هر کیلومتر است.

2-2- مطالعات داخلی

در مورد کشور ایران دست یابی به اطلاعات و آمار لازم برای ارزیابی پیامدهای بیرونی وسایل نقلیه بر اساس اصول مذکور مشکل است. در طول دهه‌های گذشته تلاش‌های محدودی برای سنجش و ارزیابی پیامدهای بیرونی وسایل نقلیه جاده‌ای انجام گرفته است. این مطالعات بیشتر در سنجش یکی از انواع پیامدهای بیرونی صورت پذیرفته است.

پژویان و مقیمی نیا (1385) به منظور ارزیابی آلودگی هوا ناشی از خودروهای شخصی با استفاده نظریه رفتار مصرف کننده و در قالب تعادل جزئی تحقیقی انجام داده‌اند. در این تحقیق مدلی که برای آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهر تهران ارائه شده است به صورت معادلات تقاضای مسافت طی شده خانوارهای تهرانی دارای اتومبیل است. نتایج این تحقیق نشان داده است که تقاضای مسافت یک کالای کم کشش است که ناشی از پایین بودن قیمت بنزین در تهران است و نتایج حاصل از برآوردهای انجام شده پس از برقراری مالیات‌های زیست محیطی (مالیات بر قیمت بنزین و مسافت و مالیات بر اتومبیل) نیز بیانگر این است که با توجه به کم کشش بودن تقاضای مسافت طی شده برقراری این نوع مالیات‌ها صرفاً برای اهداف درآمدی دولت مفید است. در این تحقیق هیچ‌گونه

تخمین و ارزیابی آلودگی هوا به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده خودرو و شخص در تهران به صورت ارزش پولی انجام نشده است.

در مطالعه‌ی دیگر زاهد (1385) با توجه به آمار تصادفات جاده‌ای ایران طی سال‌های 79-1378 بخشی از هزینه‌های پیامد خارجی تصادف (شامل هزینه‌های فوت و معلولیت) را برآورد کرده است. برای کمی‌سازی اثرات تصادفات بر سلامتی انسان و مرگ و میر از شاخص $DALY$ ¹⁴ استفاده شده است. این شاخص برای سنجش وضعیت سلامتی انسان‌ها (با دیدگاه هزینه-فایده) کاربرد دارد و تنها شاخص کمی برای سنجش هزینه‌ی خارجی فوت، بیماری یا معلولیت است و نماینده‌ی سال‌های از دست رفته‌ی عمر ناشی از مرگ نابهنگام تا معلولیت نسبی است). در این تحقیق ارزش پولی هر $DALY$ (سال‌های از دست رفته عمر) به چند روش شامل روش دیه، روش بیمه و روش درآمد، تعیین شده است و هزینه‌ی پیامد خارجی تصادفات جاده‌ای و سهم آن از تولید ناخالص داخلی (GDP) ایران که معادل $0/3$ الی $2/2$ درصد از تولید ناخالص است، محاسبه شده است.

مهمترین مطالعه در خصوص پیامدهای بیرونی حمل و نقل جاده‌ای مربوط به گزارش وزارت و راه و ترابری ایران در سال 1388 در مورد هزینه‌ی پیامد بیرونی تصادفات است. در این گزارش برای محاسبه‌ی پیامدهای بیرونی تصادفات حمل و نقل جاده‌ای از روش تولید ناخالص داخلی و روش دیات یعنی آرای دادگاه‌های اسلامی کشور استفاده شده است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، سهم هزینه‌های پیامد بیرونی به تفکیک نوع تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) به ترتیب $75/5$ درصد، $21/8$ درصد و $2/7$ درصد است.

3- هزینه‌های پیامد خارجی ازدحام

موضوع صرف زمان برای استفاده‌کنندگان از خدمات حمل و نقل بسیار اهمیت دارد. بدین دلیل در محافل علمی تلاش زیادی در این جهت انجام گرفته است تا تخمین‌هایی در خصوص ارزش زمان اشخاص و ارزش صرفه‌جویی در زمان به لحاظ بهبود و شرایط حمل و نقل و قضاوت در مورد هزینه‌ی از دست رفتن زمان در مورد تراکم بیش از اندازه‌ی حمل و نقل به دست آید.

¹⁴ Disability Adjusted Life Year

مشکل عمده‌ی محاسبه‌ی هزینه‌ی زمان از دست رفته در شرایط نامساعد حمل و نقل، به دست آوردن ارزش زمانی است که برای آن پولی پرداخت نمی‌شود چون بازاری برای آن وجود ندارد.

هزینه‌های پیامد بیرونی ازدحام هنگامی به وجود می‌آید که یک وسیله‌ی نقلیه‌ی اضافی در جاده باعث کاهش سرعت دیگر وسایل نقلیه شود. مدل تعادلی که در این مقاله از آن بهره گرفته شده، تعیین کننده‌ی هزینه‌های پیامد بیرونی حمل و نقل خودرو شخصی است. اهمیت هزینه‌های پیامد بیرونی ازدحام از آن جهت است که سرعت پایین، بر زمان و هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه‌ی دیگر استفاده‌کنندگان از جاده تأثیر می‌گذارد و احتمال خطر تصادفات و هزینه‌های زیست محیطی را افزایش می‌دهد. در مدل ارائه شده، هزینه‌های پیامد بیرونی ازدحام را در قالب زیان‌های زمانی به دیگر استفاده‌کنندگان تقسیم می‌شود که به علت کاهش سرعت ناشی از وجود وسیله‌ی نقلیه‌ی اضافی در جاده به وجود آمده است.

3-1- ارتباط متغیر زمان با سرعت خودرو

با وجود آنکه شرایط ازدحام در بخش‌های مختلف راه‌های شهری متفاوت است، ولی در این مطالعه برای برآورد کل هزینه‌های ازدحام معابر شهری تهران، ترافیک به صورت یکسان فرض شده است و شبکه‌های معابر شهری به صورت سیستمی یکپارچه مورد بررسی قرار گرفته است. اضافه شدن یک خودرو اضافی به جریان ترافیک، زمان مورد نیاز برای راندن 1 کیلومتر را تغییر می‌دهد که آن را رابطه‌ی جریان و سرعت می‌نامیم.

در این روش جریان ترافیک در واحد خودرو سواری در هر کیلومتر بر ساعت، اندازه گرفته می‌شود که بر اساس آن تأثیرات ازدحام انواع خودروها - نه تعداد خودروها - نشان داده شود. در این ارتباط انواع خودروهای مختلف بر اساس رابطه‌ی هر اتوبوس یا کامیون معادل با 2 خودرو سواری است، معادل سازی شده است (مایرز و دیگران، 1996).

اهمیت رابطه‌ی جریان - سرعت خودرو در آن است که ارزیابی تأثیر افزایش نسبی تمامی سفرها را بر سرعت متوسط نشان می‌دهد. این امر امکان محاسبه‌ی افزایش زمان سفر و مسافر را در یک مسیر مشخص فراهم می‌سازد. نکته‌ی دیگر

تعیین نقطه‌ی پایه است که باید در مقایسه با وضعیت ازدحام ترافیک یا غیر ازدحام ترافیک به کار رود. لازم است وضعیت پایه‌ای وجود داشته باشد که بر اساس آن هزینه‌ی اضافی ناشی از ازدحام محاسبه شود. وضعیت پایه‌ای به کار برده شده بیانگر وضعیت فرضی ازدحام (صفر) است که اتومبیل‌ها قادرند با سرعت آزاد (قانونی) سفر کنند. این سرعت عموماً در معابر شهری حدود 45 کیلومتر در ساعت و برای بزرگراه‌ها بر اساس شرایط بزرگراهی تا 115 کیلومتر در نظر گرفته می‌شود و در سایر راه‌ها تا سرعت 75 کیلومتر است.

برای محاسبه‌ی رابطه‌ی جریان-زمان در شهر تهران بر اساس تابع مایرز و دیگران (1996) و بیگل و دیگران (1997) از رابطه‌ی زیر استفاده شده است:

$$T_{ij} = \frac{60}{s_{ij}} = A_{1j} [A_2 + A_3 e^{(A_4 q_i)}] \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق، t_{ij} نشان دهنده‌ی زمان مورد نیاز برای طی نمودن یک کیلومتر در دقیقه است. از نوع وسیله‌ی نقلیه و i دوره زمانی را نشان می‌دهد (ساعات اوج و غیراوج) و به طور کلی نشانگر تعداد خودرو سواری (PCU)¹⁵ کیلومتر در ساعات در آن دوره‌ی معین (q_i) است. s_{ij} سرعت وسیله‌ی (i) در دوره‌ی زمانی (i) در هر کیلومتر در ساعت است. A_2 ، A_3 ، A_4 و پارامترهای رابطه‌ی جریان-زمان هستند.

رابطه‌ی جریان-زمان (جریان با سرعت) به ما اجازه می‌دهد که زمان از دست رفته‌ای را که هر خودرو سواری اضافی، به جریان ترافیک و دیگر استفاده کنندگان از راه تحمیل می‌کند، محاسبه کنیم. از حاصل ضرب آن با ارزش زمان، هزینه‌های نهایی پیامد بیرونی ازدحام ($MECC$)¹⁶ به ازای هر خودرو سواری اضافی به دست می‌آید.

$$MECC_{qi} = \sum_j \frac{dt_{ij}}{dq_i} X_{ij} VOT_{ij} \quad (5)$$

در رابطه‌ی فوق X_{ij} تعداد کیلومترها در دوره‌ی زمانی i با وسیله‌ی j است، VOT_{ij} نیز ارزش زمانی از دست رفته هر مسافر را نشان می‌دهد.

¹⁵ Passenger car units

¹⁶ Marginal external congestion costs (MECC)

3-2- ارزش زمان (VOT)¹⁷

اصولاً محاسبه‌ی ارزش پولی وقت افراد، پیچیده است و قانون یکسان و یکنواختی ندارد. این مطلب کاملاً بستگی به وضعیت فرد مورد نظر و وضعیت اقتصادی جامعه‌ای که فرد مزبور در آن زندگی می‌کند دارد.

نکته‌ی دیگری که باید مدنظر داشت این است که ارزش متوسط اختصاص یافته به زمان بهره‌برداری از جاده یا به بیان دیگر، زیان مربوط به اتلاف زمان، بستگی به انگیزه‌ی سفر دارد و ارزش مزبور بسته به اینکه سفر در داخل و یا خارج از ساعات کار صورت پذیرد، متفاوت است. یعنی انگیزه‌ی سفرهای کاری و غیرکاری کاملاً متفاوت بوده و در نتیجه ارزش‌گذاری زمان آنها نیز فرق می‌کند. نوع خودرو نیز در محاسبه‌ی این ارزش تاثیر دارد.

نزدیکترین معیار برای سنجش ارزش زمان تلف شده، ارزش بر اساس متوسط دستمزد و حقوق افراد جامعه مورد مطالعه است. در این تحقیق متوسط حقوق و دستمزد خانوارهای شهر تهران در سال 1386 در نظر گرفته شده است (بانک مرکزی ایران، 1386). سهم سفرهای کاری 46 درصد و سهم سفرهای غیرکاری 54 درصد برای خانوارهای شهر تهران می‌باشد (شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، 1386). ارزش متوسط زمان 324 ریال در دقیقه و به تفکیک سفر کاری 519 ریال در دقیقه و سفر غیر کاری 158 ریال است.

حال با توجه به سرعت متوسط (38 کیلومتر در ساعت) در دوره‌ی غیر اوج ترافیک و سرعت در دوره‌ی اوج ترافیک (26 کیلومتر در ساعت) خودرو سواری در معابر شهر تهران در سال 1386، هزینه‌ی نهایی ازدحام ترافیک را در دوره‌ی غیر اوج 80 ریال در دقیقه و دوره‌ی اوج 316 ریال در دقیقه به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده با خودرو شخصی تعیین شده است.

3-3- هزینه‌های نهایی پیامد بیرونی ازدحام

با توجه به مطالب گفته شده و با این فرض که جریان سرعت آزاد در تهران 45 کیلومتر در ساعت و سرعت در زمان اوج ترافیک 26 کیلومتر در ساعت و سرعت در زمان غیر اوج را 38 کیلومتر در ساعت است، نتایج به دست آمده از تابع ازدحام که رابطه جریان با سرعت را نشان می‌دهد، نشان داد که مقدار زمان از دست رفته به

¹⁷ Value of time (VOT)

ازای تردد خودرو سواری در دوره اوج ترافیک 316 ریال در هر دقیقه و در دوره‌ی غیر اوج ترافیک 80 ریال در دقیقه است.

با توجه به نسبت 62 درصدی خودروها سواری در کل خودروها در شهر تهران، هزینه‌ی آلودگی ازدحام خودروهای سواری بسیار زیاد است. از این رو، ارائه‌ی راهکارهای اقتصادی و غیر اقتصادی برای کاهش هزینه‌ی ازدحام امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. این موضوع در بخش پایانی مورد توجه قرار خواهد گرفت.

4- هزینه‌های آلودگی هوا

آلودگی هوا با توجه به پیامدهای زینبارش به یکی از ملموس‌ترین معضلات زیست محیطی تهران تبدیل شده است. آمارهای ارائه شده حاکی از وضعیت وخیم هوای تهران است. عوامل اصلی افزایش آلودگی هوا ناشی از خودروهای سواری را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

الف- افزایش بی‌رویه تعداد (روزانه 870 مورد) خودروهای سواری (شرکت مطالعات جامع حمل و نقل ترافیک تهران، 1386)

ب- بالا بودن (11 سال) متوسط عمر ناوگان خودروهای سواری (سازمان بهینه سازی مصرف سوخت، 1386)

ج- پایین بودن (12/5 لیتر در 100 کیلومتر) کارایی سوخت خودروهای سواری (سازمان بهینه سازی مصرف سوخت، 1386)

د- پایین بودن کیفیت سوخت مصرفی خودرو (وزارت نفت ایران، 1386)

برای محاسبه‌ی هزینه‌های پیامد آلودگی هوای شهر ناشی از حرکت خودروهای سواری، لازم است در مرحله‌ی اول اطلاعاتی در خصوص منبع انتشاردهنده ارائه شود. در مرحله‌ی دوم باید متوسط انتشار انواع آلاینده‌های هوا را با توجه به مصرف سوخت به ازای هر لیتر بنزین مشخص و تعیین شود و در مرحله‌ی سوم، جدول ارزش‌گذاری پولی، خسارات زیست محیطی ناشی از انواع آلاینده‌های ایجاد شده توسط خودروهای سواری تعیین می‌شود. در مرحله‌ی پایانی، هزینه‌ی نهایی آلودگی هوا به ازای هر خودرو سواری در هر کیلومتر مسافت طی شده به صورت پولی محاسبه می‌شود.

در جدول 2 دسته‌بندی خودروهای سواری بنزین سوز با توجه به فراوانی آنها در شهر تهران ارائه شده است. همان‌طور که این در جدول مشاهده می‌شود، 76 درصد از خودروهای سواری موجود دارای حجم موتور متوسط و بزرگ هستند که بیانگر میزان مصرف سوخت بیشتر به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده با خودروهایی با حجم موتور کوچک است. همچنین با توجه اینکه دانش فنی به کار رفته در موتورهای این خودروها قدیمی است. میزان مصرف سوخت آنها بسیار بیشتر از نمونه‌های مشابه در کشورهای پیشرفته است.

جدول 2: دسته بندی خودروهای سواری بنزین سوز در تهران، 1386

درصد موجود	خودروهای نمونه داخلی	حجم موتور	خودروهای بنزین سوز
1	ماتیز	کوچکتر از 1000 cc	خیلی کوچک
23	پراید- پژو 206	1000cc - 1500cc	کوچک
73	پیکان- پژو 405- سمند	1500cc - 2000cc	متوسط
3	نیسان- پاترول- ماکسیما	بزرگتر از 2000 cc	بزرگ

مأخذ: سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور

مرحله‌ی دوم تعیین میزان متوسط مصرف بنزین به ازای هر کیلومتر و در نتیجه چگونگی انتشار انواع آلاینده‌ها به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده توسط خودروهای سواری است. جدول 3 میزان انتشار انواع آلاینده‌های هوا در دو دوره‌ی اوج ترافیک و غیر اوج ترافیک را که سرعت خودروها تغییر می‌کند، نشان می‌دهد.

جدول 3: انتشار آلاینده‌های هوا به تفکیک سرعت حرکت به ازای هر گرم در کیلومتر

PM g/km	NO (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)	وضعیت سرعت وسیله (km/h)
144	1/207	1/745	7/693	سرعت کم و ایستاده (دوره اوج)
144	1/829	1/331	5/425	متوسط سرعت 40 k/m (دوره غیراوج)

مأخذ: سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور

همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، میزان آلاینده‌های CO و HC در دوره‌ی اوج بیشتر و NOx در دوره‌ی غیر اوج بیشتر است.

* میزان آلاینده‌ی ذرات معلق در همراه با استفاده از شاخص مایرز و دیگران (1996) تعیین شده است.

پس از تعیین میزان انتشار آلاینده‌ها توسط خودروهای سواری، و با توجه به اثرات بهداشتی آلاینده‌های مذکور بر افراد جامعه، می‌توان هزینه‌های درمانی و پزشکی و همچنین کاهش عمر و خطرات بیماری ناشی از آن را به صورت پولی را محاسبه کرد. روش‌هایی که برای تعیین ارزش پولی آلاینده‌های هوا وجود دارد به صورت زیر است.

4-1- روش اول: محاسبه‌ی هزینه‌ی جبران خسارات وارد شده

در این روش برای ارزش‌گذاری پولی خسارت‌های زیست محیطی ناشی از انواع آلاینده‌ها، ابتدا باید ارتباط بین آلاینده‌های هوا و خسارات ناشی از آن شناسایی و سپس این خسارات بر اساس واحدهای پول اندازه‌گیری شود. به طور مثال، به کمک دانش پزشکی، میزان غلظتی از آلاینده را که منجر به خطرانی چون سرطان، بیماری‌های تنفسی، مرگ زودرس یا دیگر اثرات بهداشتی می‌شود، شناسایی می‌کنند و سپس هزینه‌های درمان و پیشگیری از بیماری‌ها ناشی از آلودگی را برای یک روز و سپس برای یک سال عمر انسان تعمیم می‌دهند و به تعداد جمعیت مناطق هوای آلوده شهر مورد نظر محاسبه و تعیین می‌کنند.

یکی از ارزیابی‌های دقیق و مستند را بیکل و دیگران (1997) در مورد کلیه آلاینده‌های هوا انجام داده‌اند. در این مطالعه میزان خسارت‌های زیست محیطی را بر حسب مقدار واحد وزنی هرگاز آلوده‌کننده‌ی هوا و بر حسب کیلوگرم بر یورو تعیین نموده‌اند. در این تحقیق مقدار هزینه‌های سلامت، هزینه‌های مربوط به تغییر اکوسیستم (چرخه‌ی طبیعت) تغییرات آب و هوا، هزینه‌های مادی و غیره را برای بعضی از شهرهای اروپایی محاسبه شده است. نتایج حاصل در جدولی به نام اکستر¹⁸ ارائه شده است. این جدول مورد استفاده محققان برای تخمین آلاینده‌های هوا ناشی از حمل و نقل قرار گرفته است (اکشایا و دیگران، 2010).

¹⁸ Externe

جدول 4: ارزش پولی خسارت انواع آلاینده‌ها - Externe - (Euro/g)

<i>SOx</i>	<i>CO</i>	<i>Pm</i>	<i>VOC</i>	<i>Co2</i>	<i>NOx</i>
0/0113	0/0000027	0/347	0/00078	0/0000252	0/0073

4-2- روش دوم: احتساب هزینه‌های پیشگیری از ایجاد هزینه

در این روش هزینه‌های کاهش انواع آلاینده‌ها به میزانی مشخص (مثلاً 20 درصد) را برآورد نموده، سپس با توجه به میزان انتشار انواع آلاینده‌ها از طریق حمل و نقل مورد نظر، خسارت هر کیلومتر مسافت طی شده را تعیین می‌کنند. برای مثال، باید اقدامات لازم برای کاهش 20 درصد از انواع آلاینده‌های هوا در شهر تهران مشخص شود. از جمله این اقدامات می‌توان به اصلاح تکنولوژی خودروها، بالابردن کیفیت بنزین مصرفی، نصب دستگاه‌های کاهش‌دهنده آلاینده‌ها در خودروها (کاتالیست و کنیستر)¹⁹، استفاده از لوازم و قطعات با کیفیات مناسب و رعایت استانداردهای مورد نظر در آنها (مانند لنت ترمز و لاستیک خودرو) اشاره کرد. با توجه به اثرات و نقش هر کدام از این اقدامات در میزان کاهش آلاینده‌های هوا، ارزش پولی این اقدامات تعیین و مشخص می‌شود.

در ایران تحقیقات انجام شده در خصوص ارزشگذاری پولی، اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا بسیار کم است. از مهمترین این تحقیقات مربوط به فرهود و دیگران (1382) است که با استفاده از روش اول کلیه هزینه‌های درمانی و بهداشتی انواع اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا در شهر تهران تخمین زده شده است.

در مقاله‌ی حاضر بر اساس روش اول و با در نظر گرفتن جدول 4 و چگونگی انتشار انواع آلاینده‌ها توسط خودروهای سواری در شهر تهران برای دو دوره‌ی زمان اوج ترافیک و دوره‌ی غیر اوج ترافیک، هزینه‌های آلودگی هوای شهر تهران ناشی از خودروهای سواری تخمین زده شده است

جدول 5: هزینه‌ی نهایی آلودگی هوا ناشی از خودروهای سواری (ریال/کیلومتر)

هزینه‌ی کل	<i>PM</i>	<i>NOx</i>	<i>HC</i>	<i>Co</i>	شرح
82	45/1282	36/5434	1/6539	0/0683	دوره اوج ترافیک
71	45/1182	24/1159	1/7348	1/482	دوره غیراوج ترافیک

مأخذ: نتایج این تحقیق

¹⁹ قطعاتی که با نصب بر روی خودرو سبب کاهش انواع آلاینده‌های هوا می‌شود.

4-3- نتایج تخمین هزینه‌ی نهایی آلودگی هوا

همان‌طور که در جدول 5 نشان داده شده است، هزینه‌ی نهایی آلودگی هوا در هر کیلومتر مسافت طی شده با خودرو شخصی در زمان غیراوج ترافیک 71 ریال و در زمان اوج ترافیک 82 ریال است.

تفاوت دو هزینه‌ی آلودگی هوا ناشی از تفاوت در انواع آلاینده‌ها در زمان اوج ترافیک و در زمان غیر اوج ترافیک است که به دلیل تغییر سرعت حرکت خودرو، میزان مصرف سوخت خودرو به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده تغییر می‌کند و در نتیجه انتشار انواع آلاینده‌ها با توجه به سرعت خودرو متفاوت است.

نکته‌ی دیگر آن است که هزینه‌ی آلودگی هوا ناشی از خودروهای سواری در شهر تهران به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده (نسبت به کشورهای پیشرفته) زیاد است. دلایل آن نیز همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، ناشی از بالا بودن عمر متوسط خودروهای سواری، پایین بودن تکنولوژی و دانش به‌کار رفته در موتورهای این خودروها، پایین بودن کارایی سوخت، پایین بودن کیفیت بنزین مصرفی و همچنین نامناسب بودن کیفیت قطعات و لوازم مصرفی (لنت ترمز، لاستیک و ...) به‌کار رفته در این خودروها دانست.

5- هزینه‌های خارجی تصادفات

تصادفات ترافیکی یکی از عوامل بسیار مهم مرگ و میر و صدمات شدید جانی و مالی بوده و آثار سنگین اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی آن جوامع بشری را به شدت مورد تهدید قرار داده است. هزینه‌یابی اقتصادی تصادفات می‌تواند شامل تمامی هزینه‌های ناشی از تصادفات یا در نتیجه تصادفات است. هزینه‌های تصادفات اولین بار در سال 1995 در انگلستان و سپس ایالات متحده آمریکا مورد محاسبه قرار گرفت. هزینه‌ی تصادفات ایران به طور جامع برای اولین بار در سال 2001 میلادی به میزان 6170/6 میلیارد ریال مورد ارزیابی قرار گرفت، در این مطالعه میزان هزینه‌ی تجهیزات، ماشین‌آلات و صدمه بر اشیاء 1744 میلیارد ریال برآورد شده است (آیتی، 1378).

در محاسبه‌ی هزینه‌ی تصادفات جاده‌ای مشکل عمده و بحث اساسی بین دانشمندان علوم مهندسی و اقتصاد و علوم وابسته به آنها، مربوط به هزینه‌های غیرمستقیم تصادفات است. این هزینه‌ها شامل از دست رفتن جان انسان‌ها یا از

دست رفتن توانایی کار و تولید در جامعه و هزینه‌ی جراحات روان و غم و غصه و آثار اقتصادی مربوط به تبعات فرهنگی و اجتماعی تصادفات مثل از هم پاشیدگی خانواده‌ها و بروز ناهنجاری‌های تربیتی در فرزندان و همچنین هزینه‌ی اتلاف وقت‌های مختلف مربوط به آن است.

هزینه‌های پیامد بیرونی تصادفات در حمل و نقل جاده‌ای ایران در گزارش وزارت راه و ترابری در سال 1388 انتشار یافته است. در گزارش مربوطه برای محاسبه‌ی هزینه‌های پیامد بیرونی (هزینه‌های غیر مستقیم) از روش «تولید ناخالص ملی» و نیز روش «دیات» یعنی آرای دادگاه‌های اسلامی کشور استفاده شده است. شش عنصر اصلی و مهم پیامدهای بیرونی حمل و نقل جاده‌ای به شرح زیر با دقت و اطلاعات و داده‌های موجود ارزیابی و محاسبه شده است.

- درمان مجروحان
- افراد کشته شده، معلولیت دائم، کاهش کیفیت زندگی و آثار فرهنگی و اجتماعی
- اوقات تلف شده، مصرف شده و تأخیرها
- وسایل نقلیه، سایر اشیاء اداری
- کاهش ظرفیت‌های عملکردی
- اختلال در محیط کار و هزینه‌های تربیتی و اصلاحی

این گزارش جامع‌ترین محاسبه‌ی هزینه‌های تصادفات حمل و نقل جاده‌ای تاکنون در ایران است که مورد تأیید نهادهای تخصصی نیز قرار گرفته است. به همین منظور در این مقاله از دست آوردهای این تحقیق برای تعیین هزینه‌های تصادفات حمل و نقل جاده‌ای درون شهری استفاده شده است. در جدول هزینه انواع تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی، ارقام آنها به گونه‌ای است که حتی اگر شرکت‌های بیمه بخواهند براساس حق بیمه پرداخت بیمه گذار به تعهدات خود عمل نمایند، فقط بخش بسیار کوچکی از این هزینه‌ها را جبران می‌نمایند. به عبارتی دیگر، تمامی هزینه‌های محاسبه شده، هزینه‌های بیرونی تصادفات جاده‌ای در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه تا کنون در ایران هزینه‌ی تصادفات درون شهری در هیچ تحقیق مدونی مورد محاسبه قرار نگرفته است، بدین جهت بر اساس تخمین 50

درصد تصادفات برون شهری (آیتی 1378)، هزینه‌های تصادفات درون شهری محاسبه شده است.

با توجه به سهم 62 درصدی انواع خودروهای شخصی در ایجاد تصادفات بر اساس گزارش راهنمایی و رانندگی تهران جدول زیر محاسبه شده است.

جدول 6: هزینه‌های پیامد بیرونی تصادفات شهر تهران در سال 1386

18042322/34 (میلیون ریال)	هزینه‌ی کل تصادفات شهر تهران در سال
11366663/07 (میلیون ریال)	سهم هزینه‌ی کل تصادفات خودروهای، سواری شهر تهران
5/821207 (ریال)	هزینه‌ی نهایی تصادفات هر خودرو شخصی در سال
(388) (ریال)	هزینه‌ی نهایی تصادف هر کیلومتر/ خودرو شخصی (متوسط مسافت طی شده در یک سال 15000 کیلومتر)

مأخذ: نتایج این تحقیق

بر اساس جدول فوق، هزینه‌ی کل تصادفات خودروهای سواری 18042 میلیارد ریال در سال 1386 بوده و هزینه‌ی متوسط هر کیلومتر مسافت طی شده با خودرو شخصی در همان سال برابر با 388 ریال در نظر گرفته شده است.

6- هزینه‌ی آلودگی صوتی خودرو

آلودگی صوتی از جمله پیامدهای زیانبار صنعتی شدن جوامع است که سلامت روانی و آرامش روحی ساکنان شهرهای بزرگ از جمله تهران را بر هم زده و به نوعی ریشه‌ی بسیاری از تنش‌های اجتماعی است. صدای موتور خودروها، صدای اصطکاک جاده و لاستیک، صدای آگزوز و صدای هشدار دهنده‌ی وسایل نقلیه از جمله بوق و آژیر دزدگیر از عوامل مولد آلودگی صوتی ناشی از ترافیک جاده‌ای هستند که جمعیت‌های انسانی را در کلان‌شهر تهران در معرض صداهای غیر مجاز قرار می‌دهند.

خودرو مهمترین منبع آلودگی صوتی در شهر تهران است و متأسفانه اکثر افراد تصور می‌کنند که آلودگی صدا اثرات چندانی بر سلامتشان ندارد. اما از اثرات مهم آلودگی صوتی می‌توان به افزایش افت شنوایی، اختلالات خواب، کاهش

کارایی، اثرات روانی، ترس و عصبانیت را نام برد. همچنین علاوه بر موارد ذکر شده در کودکان نیز موجب اختلالات شناختی و انگیزش پایین می‌شود. به منظور ارزیابی هزینه‌ی آلودگی صدا باید استاندارد آلودگی صوتی در ایران را ارائه کرد. در جدول زیر استاندارد زیست محیطی که توسط سازمان محیط زیست تهیه و به تصویب هیات وزیران رسیده است به صورت زیر است.

جدول 7: استانداردهای صدا در هوای آزاد ایران

شب (10 شب الی 7 صبح) Leg(30) و dB(A)	روز (7 صبح الی 10 شب) Leg(30) و dB(A)	نوع منطقه
45	55	منطقه مسکونی
50	60	منطقه تجاری - مسکونی
55	65	منطقه تجاری
60	70	منطقه مسکونی - صنعتی
65	75	منطقه صنعتی

مأخذ: سازمان محیط زیست، 1386

6-1- رابطه‌ی انتشار صدا در هوای آزاد

به منظور ارزیابی پولی آلودگی صوتی خودروها، ابتدا باید رابطه‌ی مبنی بر انتشار صدا از سوی خودرو را به دست آورد. سپس بر اساس رابطه‌ی بین حرکت خودرو و صدای ایجاد شده را مشخص نمود. پس از آن با توجه به قدرت صدای ایجاد شده آن را ارزش گذاری پولی کرد. از این رو، در مقاله‌ی حاضر از رابطه‌ی انتشار صدای خودروها که توسط لامور²⁰ (1990) و مایرز و پروست²¹ (1997) و آکشاگومار (2009) مورد استفاده قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری صدای خودروها استفاده می‌شود. این رابطه به شکل زیر است:

$$L_{eq}(dB(A)) = 20Log s - 10Log d + 10Log q + k(1) \quad (6)$$

که در آن $L_{eq}(dB(A))$ نشانگر صدای خودرو، S سرعت خودرو بر اساس (کیلومتر/ساعت)، d فاصله‌ی خودرو تا ساختمان و تأسیسات مورد نظر و q جریان ترافیک و حجم خودروسواری است.

همه‌ی خودروهای مختلف عبوری برحسب یک نوع خودرو (سواری) تبدیل می‌شود مثلاً هر خودرو سنگین (مانند کامیون یا اتوبوس) به میزان 10 خودرو

²⁰ Lamure

²¹ Mayeres and Proost

سواری در نظر گرفته می‌شود (مایرز و پروست، 1997؛ لامور، 1990). پارامتر k ضریب تصحیح سرعت خودرو است که بر اساس آن در سرعت بالای 60 کیلومتر در ساعت به ازای هر 10 کیلومتر افزایش سرعت، یک دسی بل بر صدا افزوده می‌شود. متغیر سرعت هر خودرو اضافی در جریان ترافیک هم به دلیل حضور و ایجاد سر و صدای خودرو و نیز اثر غیر مستقیمی که بر حرکت و سرعت سایر خودروها دارد، بر میزان صدا مؤثر است. گاهی V (جریان ترافیک) به دلیل اثری که بر سرعت خودروها دارد باعث کاهش سرعت خودرو می‌شود، این امر می‌تواند به این مفهوم باشد که صدای تولید شده توسط خودرو اضافی (اثر مستقیم) نسبت به کاهش سرعتی که به سایر خودروهای در ترافیک ایجاد می‌کند، کمتر است. به عبارتی دیگر، یک رابطه بین حجم ترافیک و سرعت خودروها وجود دارد که باید در نظر گرفته شود. آکشیایکومار (2009) رابطه‌ی سنجش میزان خودرو در هوای آزاد را به صورت زیر در شهر دهلی معرفی می‌کند:

$$Leq(A) = 53/9 + 10 \log(V_{Light} + EV_{heavy}) - 10 \log d + k \quad (7)$$

که در آن $Leq(A)$ نشانگر میزان صدا در فاصله‌ی 2 متری از منبع صداست و V_{Light} جریان وسایل نقلیه‌ی سبک (کمتر از 3/5 تن) اشاره دارد و منظور از V_{heavy} ، جریان وسایل نقلیه‌ی سنگین (بیشتر از 3/5 تن مثل اتوبوس) است و متغیر E نشان‌دهنده‌ی عامل تساوی است. در اینجا یک وسیله‌ی سنگین به میزان 10 خودروی سبک در نظر گرفته شده است. d همان فاصله از تأسیسات و ساختمان و k ضریب تصحیح است.

پس از معرفی رابطه‌ی انتشار صدای خودرو در هوای آزاد، می‌توان ارزش پولی آلودگی صدای خودروها را اندازه‌گیری کرد.

6-2- ارزش‌گذاری پولی سر و صدای ناشی از حرکت خودرو

به دلیل اینکه برای ارزش‌گذاری پولی آلودگی صدای ناشی از خودروها بازاری وجود ندارد و قیمت‌گذاری مستقیم آن ممکن نیست، از بازارهای جانشین²² یا فرضی²³ استفاده می‌کنیم. به عبارتی دیگر، از آنجا که اثری از بازار خرید و فروش آرامش

²² Surrogate Markets

²³ Hypothetical Markets

و سکوت نیست، ناچار از روش بازارهای جانشین استفاده می‌شود. بازارهای جانشین نشان دهنده‌ی تمایل برای پرداخت (WTP) افراد برای آرامش و سکوت است (الکساندر و بارد، 1987)²⁴.

روش رایج که بسیار مورد استفاده قرار گرفته است قیمت‌گذاری هدانیک²⁵، یا قیمت‌گذاری بر اساس کیفیت و ضمانت است که برای ارزش‌گذاری هزینه‌های اجتماعی سر و صدا به کار برده می‌شود. فلسفه‌ی اصلی استفاده از این روش آن است که ارزش یک خانه‌ی مسکونی تنها به ویژگی‌های خود خانه بستگی ندارد، بلکه صفات دیگری مانند خوش مسیر بودن، نزدیکی به مدارس، فروشگاه‌ها و پارک‌ها و دور بودن از آلودگی، نیز در ارزشمندی آن نقش دارد.

3-6- هزینه‌ی آلودگی صدا ناشی از خودروهای شخصی در تهران

برای سنجش آلودگی صدای ناشی از خودروهای شخصی در شهر تهران، باید کل شبکه‌ی معابر شهری تهران را در نظر گرفت که بر اساس جدول زیر 2731 کیلومتر است.

جدول 8: وضعیت شبکه‌ی معابر شهر تهران سال 1386

شرح	طول (کیلومتر)	متوسط عرض (متر)	مساحت (هزار متر مربع)	درصد	
				طول	مساحت
بزرگراه‌ها	374	39/9	14938	13/7	24/6
ریمپ و لوپ	180	8/7	1570	6/6	2/6
شریانی درجه 1	299	28/8	8606	10/9	14/2
شریانی درجه 2	459	24/8	11379	18/6	18/8
جمع کننده و دسترسی محلی	1419	17	24118	52	39/8
جمع کل	2731	119/2	60611	100	100

مأخذ: شرکت مطالعات جامع حمل و نقل تهران، 1386

از کل معابر شهری تهران، 31 درصد ترافیک سنگین و بحرانی دارد که این مقدار حدود 847 کیلومتر است. حدود 80 درصد از جریان ترافیک در این 847 کیلومتر اتفاق می‌افتد و سر و صدا در چنین نواحی و مناطقی به شدت بالا است. در چنین حالتی رابطه‌ی (13) به صورت زیر برای تهران در نظر گرفته می‌شود.

²⁴ Alexandre and Barde

²⁵ Hedanic Prices

$$L_{eq}(A) = 55 + 10 \text{Log} \left\{ \frac{0.8[V_{car} + 10(V_{bus})]}{847} \right\} - 10 \text{Log} q + k \quad (8)$$

در رابطه‌ی فوق عدد 55 با توجه به استاندارد صدای آزاد در تهران تعیین شده است.

پس از تعیین عملکرد ناشی از سروصدای خودروها، باید ارزش پولی هزینه‌ی آلودگی صوتی خودروها را بر اساس روش رایج یعنی روش قیمت‌گذاری هدانیک برآورد کرد. روش قیمت‌گذاری هدانیک مسکن بر اساس این مفهوم پایه‌گذاری شده است که ارزش و اهمیت یک مسکن تنها به ویژگی‌های خود آن وابسته نیست، بلکه عوامل محیطی از جمله آلودگی صوتی نیز در تعیین ارزش آن تأثیرگذار است. خانه‌هایی که در مکان‌های شلوغ قرار دارند، ارزش اقتصادی کمتری نسبت به خانه‌های مشابه در مکان‌های آرام دارند (پیرس و مارکند،²⁶ 1989).

برای ارزیابی میزان آلودگی صوتی باید از دوام خانه‌ها، ارزش استاندارد آنها در تهران، افت و کاهش قیمت هر خانه به ازای هر دسی بل ($dB(A)$) و همچنین ضریب تنزیل (استهلاک) خانه‌ها آگاهی داشته باشیم. در اکثر مطالعات صورت گرفته عمر خانه‌ها 50 سال فرض شده است و میزان افت قیمت به ازای هر دسی بل (A) بین $0/4-0/6$ درصد در نظر گرفته شده است. میزان افت قیمت به طور متوسط $0/5$ درصد به ازای دسی بل از نظر الکساندر و بارد (1987)، مایرز و پروست (1997) و اکشایارکومار (2009) کاملاً منطقی است.

این میزان افت تنها در صورتی اتفاق می‌افتد که آستانه‌ی سر و صدا از میزان معین بالاتر باشد که در این تحقیق این میزان معین بر اساس جدول استاندارد ایران به میزان $55 dB(A)$ در نظر گرفته شده است.

با در نظر گرفتن نرخ $0/5$ درصد کاهش ارزش قیمت خانه به دلیل آلودگی صدا به ازای یک دسی بل (dB) در مدت 50 سال، قیمت خانه‌ای که در معرض صدا است، هر سال به میزان 6103141 ریال کاهش پیدا می‌کند. با فرض ضریب استهلاک 5 درصد، هر خانه که در معرض صدا قرار دارد، برای هر یک ساعت به میزان 35 ریال کاهش قیمت خواهد داشت.

²⁶ Pearce and Markandya

برای تعیین هزینه‌ی پیامد خارجی سر و صدا به ازای هر کیلومتر در شهر تهران باید تعداد خانه‌های موجود در هر کیلومتر معابر شهری مشخص شود. با توجه به آمار، 2500000 خانه در شهر تهران وجود دارد²⁷ که با تقسیم بر کل معابر شهری تهران (2731 کیلومتر) به عدد 915 خانه در هر کیلومتر دست می‌یابیم. با توجه به تردد 200 خودرو در زمان غیر اوج ترافیک، هزینه‌ی آلودگی صوتی به ازای هر خودرو در کیلومتر، 156 ریال و در زمان اوج با توجه به تردد 450 خودرو، هزینه‌ی آلودگی صوتی به ازای هر خودرو در کیلومتر 69 ریال برآورد می‌شود.

7- هزینه‌های پیامد بیرونی خودروسواری

در جدول 9 کل هزینه‌های پیامدهای بیرونی خودروسواری در تهران با تفکیک دوره‌ی اوج ترافیک و دوره‌ی غیر اوج ترافیک ارائه شده است.

جدول 9: هزینه‌های پیامد بیرونی خودروسواری در تهران، 1386، (کیلومتر/ریال)

شرح	هزینه آلودگی ازدحام	هزینه آلودگی هوا	هزینه آلودگی صوتی	هزینه تصادفات	هزینه کل آلودگی‌ها
دوره اوج ترافیک	316	82	69	388	855
دوره غیراوج ترافیک	80	71	156	388	695

مأخذ: نتایج این تحقیق

همان‌طور که در جدول 9 نشان داده شده است، هزینه‌ی کل انواع پیامدهای بیرونی خودرو شخصی در تهران در دوره‌ی اوج ترافیک 855 ریال و در دوره‌ی غیر اوج ترافیک 695 ریال تخمین زده شده است. نتایج حاصل را می‌توان جزء اولین برآوردهای مربوط به هزینه‌ی پیامدهای بیرونی خودرو شخصی در شهر تهران به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده دانست. به منظور دستیابی به تخمین‌های دقیق‌تر و کاملتر، داشتن اطلاعات و آمارهای مناسب و دقیق از حمل و نقل شهر تهران امری ضروری است. نتایج به دست آمده در این تحقیق در شرایط

²⁷ آخرین آمار رسمی کشور مربوط به سال 1385 به تعداد 3434700 واحد شهری برای استان تهران منظور شده است.

خاص ترافیکی اعتبار دارند. برای تعیین هزینه‌های پیامدهای بیرونی خودرو شخصی، عوامل متعددی مؤثرند که در بخش‌های قبلی مقاله ذکر گردید. یکی از این عوامل، میزان ترافیک است که برای تعیین دقیق هزینه‌ی پیامد بیرونی ازدحام باید شرایط و امکانات و زیرساختی معابر شهری نیز در نظر گرفته شود.

8- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به دست آمده در این تحقیق و تجارب قبلی در سایر کشورها، نشان دهنده‌ی روند افزایشی هزینه‌های پیامد بیرونی خودرو شخصی است این موضوع ضرورت به‌کارگیری روش‌ها و شیوه‌های مناسب برای کاهش هزینه‌های پیامد بیرونی خودرو شخصی را ایجاب می‌کند.

رویکرد اصلی و شیوه‌ی مناسب «ابزارها برای اهداف» است. بر اساس این رویکرد، بهترین روش در برخورد با یک نابسامانی آن است که ابزاری مناسب به کار برده شود. در نتیجه، با توجه به نوع آلودگی و پیامد خارجی باید از ابزار یا ابزارهای ترکیبی مناسب استفاده شود، تا مستقیم‌ترین اثر در ایجاد انگیزه برای تغییر داشته باشد. مثلاً اگر ازدحام موجود در راه، سهم اساسی در عدم توازن بین منابع خالص اجتماعی و خصوصی داشته باشد، بر اساس این رویکرد دولت باید هزینه‌هایی برای کاربران راه در نظر بگیرد. که بهترین روش، تعیین مالیات بر ازدحام است. از این رو، قیمت‌گذاری بر اساس زمان‌های مختلف روز، به جای ابزار غیر دقیق مالیاتی سوخت، بسیار توجیه‌پذیر است. از طرفی دیگر، مالیات بر سوخت ممکن است روشی با کارایی نسبی، برای برخورد با آثار آلودگی زیست محیطی حمل و نقل باشد. بنابراین، استفاده ترکیبی از راهکارهای مختلف امری ضروری است.

راهکارها و شیوه‌های برخورد با پیامدهای بیرونی حمل و نقل به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند، دسته‌ی اول راهکارهای تعیین قیمت (شامل مالیات‌های سوخت، هزینه‌های راه، کرایه‌ی پارکینگ، یارانه‌های حمل و نقل عمومی) و دسته‌ی دوم ابزارهای مقرراتی (شامل مقررات محدوده‌های سرعت و مقررات ترافیکی) است. راهکارهای تعیین قیمت بهینه می‌تواند تعیین عوارض راه، برقراری هزینه‌ی پارکینگ، مالیات بر سوخت و افزایش کمیت و کیفیت حمل و نقل عمومی باشد. راهکارهای ابزارهای مقرراتی نیز می‌تواند به صورت تعیین محدوده‌ی ممنوعه‌ی

ترافیک، تعیین پارک سوار، ارائه‌ی امکانات ویژه به سواری‌های چند سرنشین، کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات، توسعه‌ی خدمات الکترونیکی باشد.

فهرست منابع:

- آیتی، اسماعیل، فرامرز قدیریان و محمدرضا احدی. (1378). محاسبه هزینه‌های آسیب به وسایل نقلیه در تصادفات جاده‌ای ایران در سال 1383. پژوهشنامه حمل و نقل، 5(1): 21-35.
- بانک مرکزی ایران. سالنامه آماری. (1386).
- پژویان، جمشید و علی مقیمی نیا. (1385). ارزیابی اقتصادی و سیاست‌های کنترل آلودگی هوا ناشی از حمل و نقل مورد تهران. مجله علمی اقتصاد و مدیریت، 68: 160-141.
- زاهد، فاطمه. (1385). برآورد هزینه خارجی بخش جاده‌ای کشور بر محیط زیست اجتماعی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، 33-18.
- سازمان بهینه سازی مصرف سوخت. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت. (1386). کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور.
- شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران. (1386). حمل و نقل و ترافیک تهران.
- فرهود، داریوش. (1382). طرح جامع ارزیابی اقتصادی خسارات وارده بر سلامتی حاصل از آلودگی هوای تهران. سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور.
- متصدی، سعید، حامد حداد خداپرست و مهدیه بوبه دژ. (1385). استانداردهای آلودگی صوتی در خودروهای سواری کشور. مجله علوم محیطی، 13: 1-10.
- وزارت نفت. (1386). سایت آمار و اطلاعات انرژی.

- Akshaya K., T. Geetam & U. Vrajindra. (2010). Estimating Marginal External Costs Of Transport In Delhi. *Transport Policy*, 17:27-37.
- Alexandre, A. & J. P. Barde. (1987). The Valuation of Noise, in: P.M. Nelson(ed.), *Transportation Noise Reference Book.*, Butterworths, London, pp. 23.
- Bickel, P., S. Schmid, W. Krewitt & R. Friedrich. (1997). External Costs of Transport in Externe. Final Report. IER, Stuttgart.
- Jansson, J.O. (1994). Accident Externalities Charges. *Journal of Transport Economics & Policy*, 31-43.
- Jones-Lee, M.W. (1990). The Value of Transport Safety. *Oxford Review of Economic Policy*, 6: 39-60.
- Lamure, C. (1990). Environmental Considerations in Transport Investment, in *Transport Policy and the Environment*, ECMT Ministerial Session (OECL).
- Mayeres, I. & S. Proost. (2001). Marginal Tax Reform, Externalities and Income Distribution. *Journal of Public Economics*, 79: 343-363.

- Mayeres, I. & S. Proost. (1997). Optimal Tax Rules for Congestion Type of Externalities. *Scandinavian Journal of Economics*, 99: 261-279.
- Mayeres, I. (1993). The Marginal External Cost of Car Use: With an Application to Belgium. *Tijdschrift Voor Economie en Management*, 38: 225-258.
- Mayeres, I., S. Ochelen & S. Proost. (1996). The Marginal External Costs of Urban Transport. *Transportation Research*, 1(2), 111-130.
- Newbery, D.M.G. (1998). Road User Charges in Britain. *The Economic Journal*, 98: 161-176.
- Pearce, D.W. & A. Markandya. (1989). *Environmental Policy Benefits: Monetary Valuation*. OECD, Paris.
- Rothengatter, W. (1996). *Bottlenecks in the European Transport Infrastructure*. Technical Report. Study on Behalf of the European Centre for Infrastructure Studies (ECIS).
- Safirova E., K. Gillingham & S. Houde. (2007). Measuring Marginal Congestion Costs of Urban Transportation: Do Networks Matter? *Transportation Research Part a*, 41: 734-749.
- Sen, A., G. Tiwari & V. Upadhyay. (2007) Should Bus Commuting be Subsidized for Providing Quality Transport Services?. *A Case for Dehli- Sadhana*, 32(4): 329-345.

