فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ارزیابی اثر سیاست قیمتگذاری تردد در محدوده مرکزی شهر اصفهان بر کاهش آلودگی هوا

میقات حبیبیان ، کمال خانعلی ، محسن شانظری
۱- دکترای برنامهریزی حملونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامهریزی حملونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده
امروزه مدیریت تقاضای حملونقل به عنوان راه حلی مفید برای کاهش تراکم ترافیک و کاهش پیامدهای منفی حملونقل مورد توجه اکثر شهرهای جهان قرار گرفته است. در جهت نیل به این اهداف میتوان سیاستهای مختلفی را اتخاذ کرد، که از آن جمله میتوان به انواع سیاستهای قیمتگذاری اشاره کرد. با اعمال این سیاستها، که از نوع سیاستهای دفعی میباشد، استفاده از وسیلهی نقلیه شخصی در منطقهی قیمتگذاری شده کاهش مییابد. در نتیجه تراکم ترافیک کاهش یافته و از پیامدهای منفی حملونقل که از مهم ترین آنها میتوان به آلودگی هوا اشاره کرد، کاسته خواهد شد. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی اثر سیاست قیمتگذاری تردد در محدوده مرکزی شهر اصفهان بر کاهش آلودگی هوا میباشد. در این تحقیق با تغییر مدلهای انتخاب وسیله نقلیه موجود و وارد کردن پارامتر هزینه استفاده از محدوده، ماتریسهای تقاضا تصحیح شده و با اختصاص آنها به شبکه حملونقل تغییرات شاخصهای عملکردی شبکه در برابر تغییرات قیمت تردد در محدوده بررسی شده است. این مطالعه نشان میدهد که در قیمت ۱۷۵۰۰۰ ریال، بیشترین منافع اجتماعی به نسبت هزینه تردد عاید شهر میشود.

واژگان کلیدی: مدیریت تقاضای حملونقل، قیمتگذاری تردد، محدوده مرکزی شهر، آلایندههای هوا، اصفهان.

۱- مقدمه
امروزه تراکم ترافیک به عنوان مشکل اصلی مناطق شهری و حومه ای که روزانه هزینههای زیادی را به جامعه وارد مینماید، شناخته شده است و پدیدههایی چون آلودگی هوا و مصرف انرژی نیز از پیامدهای تراکم ترافیک عنوان گردیده اند[۱]. تراکم ترافیک باعث ایجاد هزینه اجتماعی و فردی، اتلاف وقت شهروندان، بروز تصادفات، ایجاد مشکلات عدیده برای تردد عابران پیاده، آلودگی هوا، آلودگی شنیداری و هزینههای بهره برداری از شبکه میگردد. راه حلهای مقطعی که برای رفع معضل ترافیک به ذهن خطور میکند شامل مواردی از قبیل افزودن خطوط اضافی و محدودسازی تردد وسایل نقلیه شخصی در معابر (به خصوص در نواحی مرکزی شهرها) است. تجربههای فراوان نشان داده است که اجرای راه حل اول ممکن است علاوه بر اعمال هزینههای گزاف، به تراکم بیشتر ترافیک در معابر و ناکارایی سیستم حملونقل به علت تشویق بیشتر به سفر با سواری شخصی منجر شود که در نتیجه سبب افزایش بیشتر انتشار آلایندههای هوا خواهد شد[۲].

در مقابل، راه حل دوم روشی است که با مدیریت استفاده از منابع موجود، قصد بهینه نمودن استفاده از شبکه معابر را دارد و در نتیجه آن تراکم ترافیک کمتر شده و سبب کاهش انتشار آلایندههای هوا میگردد[۳].
سیاستهای مدیریت تقاضای حملونقل شامل راهکارهای مختلفی میباشند که از آن جمله میتوان به راهکار اخذ هزینه استفاده از شبکه از استفاده کنندگان از وسایل نقلیه شخصی اشاره کرد. هرچند برخی از هزینههای اجتماعی استفاده از وسایل نقلیه، همچون هزینه تعمیر و نگهداری روسازی راه و مصرف زمین توسط انواع مالیاتها از استفاده کنندگان اخذ میشود، بسیاری دیگر از هزینههای اجتماعی به صورت مستقیم از مسببان آنها دریافت نمیشود[۴]. نمونه ای از این هزینهها، هزینههای آلودگی هوا، آلودگی شنیداری، افزایش تاخیرهای ترافیکی و کاهش ایمنی است. به طور کلی، دریافت این هزینهها به صورت مالیات ثابت از شهروندان عادلانه نبوده و امکان پذیر نیست، چرا که این مالیاتها باید متناسب با میزان تولید این هزینهها باشد. در حقیقت، سهم شهروندان

در جبران این هزینه‌ها باید متناسب با سهم آنان در ایجاد این هزینه‌ها باشد. اگر جبران این هزینه‌ها با اخذ عوارض از استفاده کنندگان سیستم حمل‌ونقل میسر شود، هزینه پرداخت شده توسط استفاده کننده را می‌توان به میزان استفاده از شبکه مرتبط کرد[۴]. مطالعات پیشین حاکی از موثر بودن سیاست قیمت‌گذاری ورود به محدوده مرکزی شهر در میان سیاست‌های قابل طرح برای محدوده مرکزی شهر تهران است[۵,۶,۷]. در این مقاله با تمرکز بر محدوده مرکزی شهر اصفهان، بررسی اثر سیاست قیمت‌گذاری تردد در این محدوده بر کاهش انتشار آلاینده‌های هوا مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، با بررسی منافع صرفه جویی شده از هزینه‌های اجتماعی آلودگی هوا، کارایی سطوح مختلف قیمت‌گذاری تردد در محدوده مرکزی شهر بررسی شده است.

در این پژوهش پس از مروری بر مطالعات پیشین، به متدولوژی مطالعه پرداخته می‌شود. بخش چهارم به ارائه نتایج اشاره دارد و در بخش پنجم جمع بندی مطالعه ارائه شده است.

۲- زمینه مطالعه

به طور کلی، مطالعات پیشین نشان می دهند که روش‌های قیمت‌گذاری شبکه از موثرترین راهکارهای کاهش تراکم ترافیک و درنتیجه‌ی آن کاهش تولید آلاینده‌های هوا هستند[۵,۶,۷]. براساس این سیاست‌ها، استفاده کنندگان سواری شخصی جهت ورود به محدوده‌ای از شهر و یا تردد در برخی نواحی دارای تراکم ترافیک و یا در زمان‌هایی خاص، موظف به پرداخت وجوهی مشخص به عنوان عوارض هستند. منافع حاصل از قیمت‌گذاری علاوه بر کاهش آلودگی هوا، آلودگی‌های صوتی، کاهش زمان‌های تلف شده، قابلیت پیش بینی زمان سفر، بهبود وضعیت حمل‌ونقل همگانی و کاهش میزان تصادفات را نیز شامل می‌شود.

مطالعات نشان می دهد که میزان کارایی قیمت‌گذاری استفاده از محدوده مرکزی شهر، وابسته به رفتار پاسخ دهندگان و میزان عوارض است. به عنوان نمونه، در سنگاپور با اجرای طرح قیمت‌گذاری در خیابان‌های این شهر، کاهش ۱۷ درصدی حجم ترافیک در معابر پرتراکم و کاهش ۱۵ درصدی را در قسمت مرکزی شهر مشاهده گردید[۸]. لارسن و اروستمو از مطالعاتی که با وضع عوارض روزانه همراه بود، در شهر برگن ۷ درصد کاهش ترافیک و در شهر اسلو درصد کمتری را در کاهش ترافیک گزارش کردند[۹]. در شهر دوبلین سیاست قیمت‌گذاری موجب کاهش ۲۲ درصدی حجم ترافیک ورودی به مرکز شهر در ساعات اوج گردید[۱۰]. بیزوس و روخا طی مطالعاتی در لندن که درآن محدوده‌ی مرکز شهر، کاهش ۳۰ درصدی حجم ترافیک را گزارش کردند[۱۱].

در محدوده‌ی مرکزی شهر استکهلم نیز کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی حجم ترافیک در شرایط اعمال این سیاست مشاهده شد[۸]. می و مایلن چهار روش قیمت‌گذاری شبکه را برای کاهش ۱۰ درصدی سفرها در شهر کمبریج مطالعه نمودند، که نتیجه آن اثرگذاری بیشتر قیمت‌گذاری بر مبنای زمان بود[۱۲]. حبیبیان و کرمانشاه به بررسی اثر پنج سیاست مدیریتی حمل‌ونقل بر احتمال استفاده از خودروی شخصی در محدوده مرکزی شهر تهران پرداختند و نشان دادند که تاثیر سیاست قیمت‌گذاری ورودی به محدوده مرکزی شهر از سایر سیاست‌های دفعی در کاهش استفاده از خودروی شخصی برای سفرهای کاری به مرکز شهر تهران موثرتر است[۵].

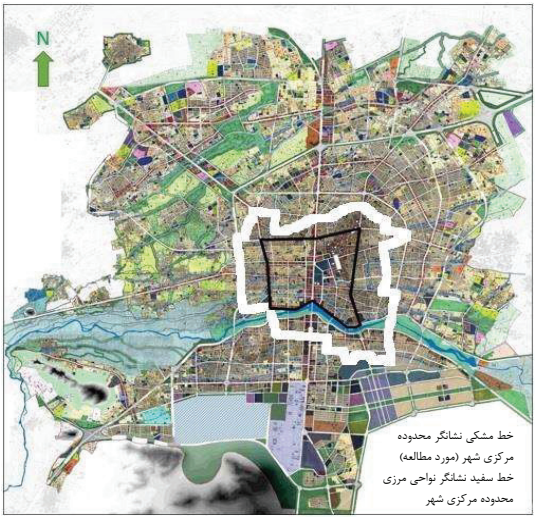
در میان این مطالعات، موضوع تولید آلاینده‌های هوا در سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل اغلب به صورت غیرمستقیم مورد توجه قرار گرفته است. مطالعاتی نیز به موضوع آلودگی هوا به صورت مستقیم پرداخته اند. حبیبیان و استادی جعفری در مطالعه ای با بررسی اثرات بلندمدت سیاست‌های ترکیبی مدیریت تقاضای حمل‌ونقل بر آلودگی هوا در شهر مشهد نشان دادند که اثر ترکیبی سیاست‌های هزینه پارکینگ و هزینه‌ی ورود به محدوده طرح ترافیک در مقایسه با ترکیب سایر سیاست‌ها، بیشتر بوده است[۱۳]. زارعی به ارزیابی چهار سیاست مدیریت تقاضای حمل‌ونقل در برابر بحران آلودگی هوا در شهر شیراز پرداخت و نشان داد که سیاست‌های تغییر زمان ادارات به مدت یک ساعت، تعطیلی مدارس در روز پنج شنبه، اخذ عوارض تردد در محدوده طرح ترافیک و تردد یک در میان خودروهای شخصی دارای پلاک زوج و فرد به ترتیب موفقیت بیشتری در کاهش آلاینده‌ی مونوکسید کربن دارند[۱۴]. حسنی نسب با استفاده از روش‌های انتخاب گسسته و منطق فازی، به بررسی سیاست‌های مختلف قیمت‌گذاری با هدف کاهش مدت زمان تاخیر و آلودگی هوا در محدوده‌ی مرکز تجاری شهر مشهد پرداخته است در این مطالعه قیمت انتخابی که کل هزینه‌های موردنظر را کمینه کند بین ۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ ریال در سال ۱۳۷۹ به دست آمده است[۱۵].

در مطالعه ای دیگر قیمت‌گذاری تردد در محدوده‌ی پرتراکم شهر شیراز و اثر آن بر کاهش آلودگی هوا در محدوده‌ی یاد شده، مورد پژوهش قرار گرفته است که نشان می دهد تعداد سفرهای وسیله نقلیه شخصی و نیز مصرف بنزین کاهش یافته، ولی مصرف گازوئیل افزایش یافته است[۴]. دیباج و حبیبیان با بررسی اثر سیاست قیمت‌گذاری ورود به محدوده‌ی مرکزی شهر تهران بر آلودگی هوا نشان دادند که با افزایش بهای ورودی به محدوده مرکزی شهر، تمایل افراد به استفاده از سواری شخصی کاهش یافته و احتمال استفاده از سایر گزینه‌های حمل‌ونقلی افزایش می‌یابد که در مجموع

آلاینده‌های منتشر شده کاهش می‌یابد[۱۶].
عابدی و همکاران تاثیر گازسوز نمودن تاکسی‌های شهر تهران از دیدگاه کاهش هزینه‌های اجتماعی که از آن به عنوان افزایش منافع اجتماعی تعبیر کردند، را بررسی کردند و نشان دادند که با گازسوز کردن تاکسی‌های شهر تهران، هزینه‌های اجتماعی انتشار آلاینده‌ها به میزان ۶۳،۸ میلیون دلار کاهش یافت[۱۷].
با جمع بندی نتایج حاصله می‌توان به این نتیجه رسید که با اعمال سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل و به ویژه سیاست قیمت‌گذاری تردد در محدوده مرکزی شهر، استفاده از وسیله‌ی نقلیه شخصی در منطقه‌ی قیمت‌گذاری شده کاهش می‌یابد. در نتیجه تراکم ترافیک کاهش یافته و از پیامدهای منفی حمل‌ونقل که از آنها می‌توان به آلودگی هوا اشاره کرد، کاسته خواهد شد. سیاست قیمت گذاری استفاده از شبکه حمل‌ونقل درون محدوده مرکزی شهر، باعث ایجاد تغییر در انجام سفر، انتخاب مقصد، انتخاب وسیله نقلیه و انتخاب مسیر خواهد شد. به همین دلیل چگونگی انتخاب موارد مذکور نقش کلیدی در مسئله دارد.

۳- رویکرد مطالعه

شهر اصفهان شامل جمعیت ۱۷۵۶۱۲۶ نفر[۱۸] و مساحت ۲۶،۷۶۲ هکتار می‌باشد[۱۹]، که در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر اصفهان که در سال ۱۳۷۹ انجام شد، به ۱۸۶ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است. به منظور برآورد میزان سفر بین ناحیه‌های ترافیکی در محدوده مرکزی شهر از مدل‌های پیش بینی تقاضای سفر در مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر اصفهان برای سال ۱۳۹۲ استفاده شده است[۲۰].
برای تعیین محدوده پرتراکم ترافیک در مرکز شهر ضمن بررسی میزان جذب سفر نواحی ترافیکی در ساعات اوج و نسبت زمان سفر مشاهده شده به زمان سفر آزاد کمان‌های شبکه حمل‌ونقل در ساعات اوج صبح، ۲۰ ناحیه ترافیکی مرکزی شهر به عنوان محدوده مرکز شهر جهت اخذ عوارض از استفاده کنندگان از سواری شخصی، انتخاب گردیده است. همچنین، برای آن دسته از افرادی که مبدا آن‌ها بیرون از محدوده و مقصدشان داخل محدوده قرار داشت، گزینه پارک-سوار نیز در نظر گرفته شد. برای استفاده از این گزینه، افراد می‌توانند از مبدا سفر در بیرون محدوده تا نواحی مرزی محدوده مرکزی شهر از وسیله نقلیه شخصی استفاده نموده و از نواحی مرزی تا مقصد داخل طرح از وسیله‌ی نقلیه همگانی (اتوبوس یا تاکسی) استفاده کنند. در شکل (۱) شهر اصفهان و محدوده مرکزی آن در این مطالعه و نواحی مرزی محدوده مذکور نشان داده شده است.



شکل ۱: *موقعیت محدوده مرکزی شهر و نواحی مرزی آن در شهر اصفهان*

تعیین هزینه استفاده از محدوده مرکزی شهر اصفهان باید به نحوی باشد که کل هزینه روزانه مرتبط با عملکرد شبکه حمل‌ونقل و میزان آلاینده‌ها را کاهش داده و قابلیت اجرایی داشته باشد. بدین ترتیب که گزینه‌های قیمت‌گذاری مختلف بررسی و مقایسه می‌شوند و گزینه برتر از بین اجراهای قیمت‌گذاری مختلف انتخاب و پیشنهاد می‌گردد. برای این منظور ابتدا تقاضای سفر به شبکه خیابانی تخصیص داده می- شود. سپس با استفاده از نتایج تخصیص ترافیک، نظیر زمان سفر صرف شده، سرعت وسیله نقلیه و میزان انتشار آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه مختلف محاسبه می‌شود. قابل ذکر است که در این مطالعه تقاضای سفر مبدا-مقصد ثابت فرض شده و دریافت عوارض استفاده از محدوده مرکزی شهر از استفاده کنندگان سواری شخصی تنها باعث کاهش سهم سفرهای سواری شخصی و انتقال سهم سفرهای کاهش یافته به اتوبوس یا استفاده از سیستم پارک سوار می شود.
از آنجا که در مدل‌های انتخاب وسیله نقلیه شهر اصفهان پارامتر هزینه وجود ندارد، برای ملاحظه اثر هزینه تردد در محدوده مرکزی شهر بر انتخاب وسیله نقلیه شهروندان از معادل زمانی هزینه استفاده شده است. بر این اساس با استفاده از رابطه (۱) مقدار هزینه تردد در محدوده به زمان معادل عوارض اخذ شده تبدیل گردید.

(۱)

(زمان معادل عوارض اخذ شده بر حسب دقیقه)

$$t_e = \frac{60 \times \text{Cost}}{VOT} (\text{min})$$

در این رابطه VOT نشان دهنده ارزش زمانی استفاده کنندگان از سواری شخصی است که از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید.

(۲)
$$VOT = \frac{S}{T \times P \times D} = \frac{145924872}{2288 \times 0.378 \times 3.29} = 51300$$
ریال بر ساعت

که در آن:
VOT = ارزش زمان هر ساعت فرد شاغل (ریال بر ساعت)؛
S = متوسط درآمد سالانه هر خانوار شهری در استان اصفهان در سال ۱۳۹۱ (ریال)[۲۱]؛
T = متوسط ساعت کاری در سال[۲۱]؛
P = متوسط درصد افراد شاغل در هر خانوار[۲۱]؛
D = بعد خانوار (متوسط جمعیت هر خانوار)[۲۱]؛
با توجه به تورم ۴۰ درصدی سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۹۱[۲۲]، ارزش ریالی زمان سفر افراد تقریبا برابر با ۷۲۰۰۰ ریال به ازای هر ساعت خواهد شد. با توجه به اینکه ارزش زمانی برای هر فرد بدست می‌آید و اخذ عوارض برای هر وسیله نقلیه شخصی در نظر گرفته می‌شود، عوارض در نظر گرفته شده جهت استفاده از محدوده مرکزی شهر باید بر ضریب سرنشین وسیله نقلیه شخصی، Q، که جزئیات آن در گزارش تخصیص ترافیک مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر اصفهان[۲۳] آمده است، تقسیم گردد:

(۳)
(زمان معادل عوارض اخذ شده بر حسب دقیقه)
$$t_e = \frac{60 \times \text{Cost}}{VOT \times Q} (\text{min})$$

به طور کلی با اجرای قیمت‌گذاری تردد در محدوده‌ی مرکزی شهر، شرایط زیر در خصوص استفاده از انواع وسایل نقلیه به وجود خواهد آمد.
الف- سفرهایی که به وسیله اتوبوس، تاکسی، موتور و دوچرخه انجام می‌گیرند، با توجه به آنکه با اجرای قیمت‌گذاری تردد در محدوده‌ی مرکزی شهر، محدودیتی جهت تردد آن‌ها به وجود نمی‌آید، می‌توانند به صورت آزاد داخل محدوده، تردد نمایند، لذا توابع مطلوبیت آن‌ها بدون تغییر باقی خواهد ماند.
ب- سفرهایی که پیش از قیمت‌گذاری تردد، با وسیله‌ی نقلیه شخصی انجام می‌گیرند، پس از قیمت‌گذاری به سه دسته تقسیم خواهند شد:
- سفرهایی که مبدا و مقصدشان خارج از محدوده است و مسیرشان از داخل محدوده نمی‌گذرند. این سفرها پس از قیمت‌گذاری تردد نیز بدون تغییر خواهند ماند.
- سفرهایی که مبدا و مقصدشان بیرون از محدوده بوده و کوتاه‌ترین مسیر آن‌ها از درون محدوده می‌گذرد. با توجه به تبدیل هزینه تردد به زمان، با زمان سفر بسیار زیادی مواجه می‌شوند و به جای عبور از محدوده پیرامون محدوده را برای رسیدن به مقصد می‌پیمایند که در این صورت کوتاه ترین مسیر این دسته از سفرها به بیرون محدوده منتقل می‌گردد.
- سایر سفرها شامل سفرهای خارج به داخل محدوده و برعکس و همچنین سفرهایی که مبدا و مقصد آن‌ها داخل محدوده مرکزی شهر قرار دارد، پس از اخذ عوارض با توجه به قیمت تعیین شده جهت استفاده از محدوده مرکزی شهر با کاهش مطلوبیت استفاده از سواری شخصی روبرو خواهند شد که این کاهش مطلوبیت موجب افزایش سهم سفرهای سایر شیوه‌های حمل‌ونقل و کاهش سهم سفر با وسایل نقلیه شخصی خواهد شد.

بر این اساس جهت تعیین ماتریس‌های تقاضای سفر، سهم هر وسیله نقلیه و در نتیجه تقاضای سفر آن بنابر هدف سفر با استفاده از تابع لوجیت در تکرارهای مختلف، با و بدون اضافه کردن زمان ناشی از عوارض به تابع مطلوبیت سواری شخصی محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که در توابع مطلوبیت سواری شخصی برای هدف سفرهای مختلف ساکنان شهر اصفهان که در طرح جامع حمل‌ونقل اصفهان استفاده شده بود عوارض تردد در محدوده مرکزی شهر در نظر گرفته نشده است[۲۰]، که پس از اعمال عوارض تردد در محدوده مرکزی شهر برحسب اهداف سفر با استفاده از رابطه (۳) اصلاح گردیده است.
در ادامه، میزان کاهش تعداد سواری شخصی با توجه به سیاست قیمت‌گذاری عبور از محدوده مرکزی شهر بدست می‌آید این محاسبات با استفاده از رابطه (۴) صورت می‌گیرد[۴] و بر اساس آن استفاده کنندگان از سواری شخصی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول، افرادی که سواری شخصی را در ناحیه مرزی پارک کرده و ادامه مسیر تا مقصد را به وسیله حمل‌ونقل همگانی می‌روند و دسته دوم افرادی که از مبدا اقدام به استفاده از وسایل حمل‌ونقل همگانی می‌کنند.

(۴)
در این رابطه
$$P_1 = \frac{1}{(1+\exp(-0.13(T_2 - T_1) - 0.84))}$$

P_1= سهم تغییر وسیله نقلیه در نواحی مرزی (k)
T_1=(زمان سفر با وسیله نقلیه شخصی از i به k) + (کوتاه ترین زمان سفر بین دو گزینه استفاده از همگانی یا تاکسی از k به j)
T_2= کوتاه ترین زمان سفر بین دو گزینه استفاده از همگانی یا تاکسی از i به j

بنابر سهم‌های محاسبه شده، میزان تقاضای هر یک از شیوه‌های سفر تعیین شده و با تکرار این عملیات در عوارض مختلف ماتریس‌های تقاضای هریک از شیوه‌های سفر در آن عوارض بدست می‌آید.
در ادامه، ماتریس‌های تقاضای سفر به معابر شبکه تخصیص داده می‌شود. این بخش توسط نرم افزار EMME/۲ انجام می‌شود. برای هر قیمت داده شده جهت استفاده از محدوده مرکزی شهر، در ابتدا ماتریس مبدا-مقصد مسافر با استفاده از تابع انتخاب وسیله نقلیه به ماتریس سفر به تفکیک وسیله نقلیه تبدیل می‌شود. سپس ماتریس سواری-همگانی به دو بخش تقاضای سواری و تقاضای حمل‌ونقل تبدیل شده، ماتریس جدیدی برای تقاضای سواری و همگانی به وجود می‌آید. ماتریس‌های تقاضای بهنگام شده به شبکه‌ی مربوطه تخصیص داده شده و نتایج این تخصیص، هزینه کل سفر را در شبکه حمل‌ونقل به دست می‌دهد. تغییر قیمت استفاده از محدوده مرکزی شهر در تابع انتخاب وسیله تاثیر می‌گذارد و این تغییر، حل مسئله تخصیص دیگری را طلب می‌کند. مطابق با مطالعات جامع اصفهان در این مطالعه به منظور رسیدن به یک جریان تعادلی دقیق تر، تخصیص ترافیک در شش مرحله انجام شده است. تخصیص سواری شخصی با استفاده از روش فرانک-ولف صورت گرفته و تخصیص سیستم همگانی با استفاده از روش استراتژی بهینه اجرا شده است.
میزان نشر آلاینده‌های مختلف (CO ,HC ,NOx) توسط وسایل نقلیه مختلف تابعی از فناوری وسیله نقلیه، نوع سوخت و سرعت وسیله‌ی نقلیه است[۲۴] و توابع مورد استفاده برای برآورد میزان برخی از آلاینده‌های منتشر شده توسط وسایل نقلیه مختلف برای طی یک کیلومتر طول راه با سرعت v (کیلومتر بر ساعت) برحسب گرم عبارتند از[۲۴]:

$$CO_{Motorcycle} = 76.76\text{-}1.6v + 0.0095v^2 + 95.91/v \quad (۵)$$

$$HC_{Motorcycle} = 25.47\text{-}0.43v + 0.0024v^2 + 178.48/v \quad (۶)$$

$$CO_{Car} = 127.64\text{-}2.68v + 0.016v^2 + 160.12/v \quad (۷)$$

$$HC_{Car} = 6.06\text{-}0.10v + 0.00056v^2 + 42.57/v \quad (۸)$$

$$NO_{x_{Car}} = 0.7 + 1.92/[1 + 93.54e^{-0/049\,v}] \quad (۹)$$

$$NO_{x_{HeavyVehicle}} = 19.63 - 0.32v + 0.0037v^2 + 21.13/v \quad (۱۰)$$

$$NO_{x_{Minibus}} = 0.64\,(NO_{x_{HeavyVehicle}}) \quad (۱۱)$$

در این مطالعه به منظور برآورد منفعت بدست آمده از قیمت‌گذاری تردد در محدوده مرکزی شهر، به ارتباط میزان آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن‌ها پرداخته شده است و برای تعیین بهترین قیمت، نسبت منافع کسب شده به عایدی از قیمت‌گذاری تردد در شبکه مورد توجه قرار گرفته است.
مطالعات انجام شده توسط شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور در سال ۱۳۸۴، هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌های هوا در ایران را به شرح جدول (۱) نشان می‌دهد[۲۵]. این مقادیر با توجه به نرخ تورم در کشور ایران حد فاصل سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ [۲۲] به شرح مندرج در جدول (۱) به روز رسانی شده است.

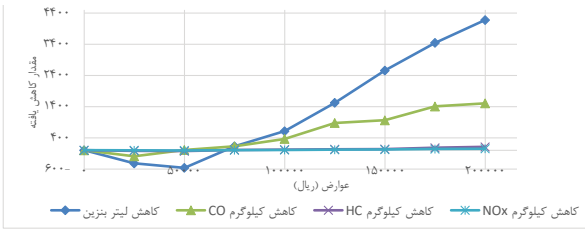
جدول۱ : *هزینه‌های اجتماعی به ازای هر تن آلاینده*

آلاینده‌ها	CO	HC	NOx
هزینه اجتماعی ایران در سال ۱۳۸۴ (دلار در هر تن)	۱۹۶	۲۵۹	۱۹۴
هزینه تعدیل شده بر مبنای نرخ تورم (ریال در هر تن)	۸,۱۷۵,۸۷۱	۱۰,۸۰۳,۸۲۹	۸,۰۹۲,۴۴۳

۴- نتایج

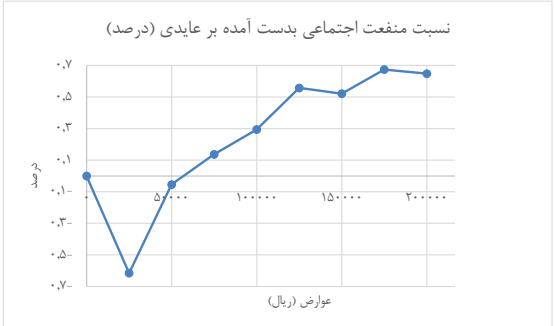
با استفاده از روش حل مورد استفاده، می‌توان عملکرد سیستم حمل‌ونقل شهر اصفهان را برای تقاضای مربوط به هر دوره زمانی و تحت تاثیر قیمت‌گذاری محدوده‌ای مشخص بررسی نمود. مدل تخصیص ترافیک اطلاعات گسترده ای از عملکرد یک سیستم حمل‌ونقل را برای تجزیه و تحلیل در اختیار می‌دهد. از جمله این اطلاعات می‌توان به حجم ترافیک، زمان سفر، سرعت، مصرف سوخت، میزان آلاینده‌های منتشر شده از وسایل نقلیه مختلف در هر کمان شبکه خیابانی و همچنین اطلاعات حجم مسافرین حمل‌ونقل همگانی در قسمت‌های مختلف مسیرها و تعداد مسافران سوار و پیاده شده در هر ایستگاه اشاره کرد. در این مطالعه از هشت نرخ متفاوت برای عوارض استفاده از محدوده مرکزی شهر در نظر گرفته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن نرخ عوارض صفر (گزینه عدم انجام کار)، جمعا ۹ گزینه مختلف برای اعمال عوارض استفاده از محدوده وجود دارد. بنابر نتایج به دست آمده از مدل تخصیص ترافیک در گزینه‌های مختلف قیمت‌گذاری و همچنین توابع مورد استفاده در برآورد آلاینده‌های مختلف برای وسایل نقلیه متفاوت که در بخش قبل اشاره شد، میزان کاهش تولید آلاینده‌ها و کاهش مصرف سوخت در گزینه‌های مختلف قیمت‌گذاری به شرح شکل (۲) می‌باشد. افزایش مصرف بنزین تا عوارض ۵۰۰۰۰ ریال مشاهده می‌شود که علت آن طولانی تر شدن مسیر حرکت استفاده کنندگان از خودروی سواری شخصی‌ای است که مبدا و مقصد آن‌ها خارج از محدوده قرار داشته و کوتاه‌ترین مسیر آن‌ها از این محدوده می‌گذرد. این افراد قبل از قیمت‌گذاری صرفا از محدوده مورد مطالعه عبور می‌کرده‌اند.

ملاحظه می‌شود که اثر کاهش استفاده از وسیله نقلیه تا این قیمت، کمتر از اثر آلودگی ناشی از افزایش مسافت افراد مورد اشاره است و از اینرو شدت مسئله‌ی آلودگی کاهش نیافته است.



شکل۲ : *میزان کاهش در تولید آلاینده‌های مختلف و مصرف سوخت در گزینه‌های مختلف قیمت‌گذاری*

برای هزینه ورود به محدوده مرکزی شهر، در هر مرحله قیمت‌گذاری میزان هزینه اجتماعی حفظ شده بر عایدی از قیمت‌گذاری تردد در محدوده‌ی مرکزی شهر تقسیم گردیده است. در این راستا، نسبت بیشتر هزینه‌های اجتماعی حفظ شده بر عایدی قیمت‌گذاری تردد نشان‌دهنده بازده اجتماعی سیاست قیمت‌گذاری محدوده است. با توجه به شکل (۳) بیشترین بازده اجتماعی هزینه ها در قیمت ۱۷۵۰۰۰ ریال (نقطه بیشینه) به دست می‌آید. با افزایش مصرف بنزین تا عوارض ۵۰۰۰۰ ریال بر شدت آلودگی افزوده می‌شود و هزینه‌های اجتماعی افزایش می‌یابد، لذا منفعت اجتماعی بدست آمده مقداری منفی پیدا می‌کند، بطوریکه حتی گزینه عدم انجام کار، گزینه بهتری از این قیمت و کمتر از آن است. با افزایش عوارض تردد در محدوده‌ی مرکزی، از شدت آلاینده‌ها کاسته می‌شود و هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد، این کاهش هزینه برای شهروندان منفعتی را به دنبال دارد. در این مطالعه نسبت این منفعت اجتماعی بر عایدی ناشی از قیمت‌گذاری تردد در محدوده مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفته است تا قیمتی که در آن بیشترین منافع نسبت به عایدی از قیمت‌گذاری نصیب شهروندان می‌گردد، بدست آید. نرخ کاهش وسایل نقلیه شخصی در قیمت‌های بالاتر کمتر می‌گردد، تا جایی که افزایش منفعت اجتماعی نسبت به عایدی توجیه نخواهد داشت.



شکل۳: نسبت منفعت اجتماعی بدست آمده بر عایدی از تردد در محدوده مرکزی در گزینه‌های مختلف قیمت‌گذاری

۵- جمع بندی

در این مقاله، با تمرکز بر محدوده مرکزی شهر اصفهان، بررسی اثر سیاست قیمت‌گذاری تردد در این محدوده بر کاهش انتشار آلاینده‌های هوا مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، با بررسی منافع صرفه‌جویی شده از هزینه‌های اجتماعی آلودگی هوا، کارایی سطوح مختلف قیمت‌گذاری تردد در محدوده مرکزی شهر بررسی شده است. با افزایش قیمت استفاده از محدوده مرکزی شهر کاهش استفاده از وسایل سواری شخصی در کل شبکه و در محدوده مرکزی شهر و افزایش استفاده از تاکسی و اتوبوس حاصل گردید. از سوی دیگر با افزایش قیمت استفاده از محدوده مرکزی شهر نتایج زیر حاصل شده است:

- میزان مصرف بنزین تا قیمت ۵۰۰۰۰ ریال برای وسایل نقلیه مختلف روند افزایشی دارد و از آن قیمت به بعد روندی کاهشی دارد.
- میزان آلاینده CO تا قیمت ۲۵۰۰۰ ریال روندی افزایشی داشته و از آن قیمت به بعد روندی کاهشی دارد.
- نسبت منفعت اجتماعی بدست آمده بر عایدی سیر صعودی داشته و در مقدار عوارض ۱۷۵۰۰۰ ریال به مقدار بهینه خود می‌رسد.

در انتها، پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ذکر می‌گردد. در این مقاله کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلاینده‌های هوا به عنوان منفعت اجتماعی مورد توجه قرار گرفته است که می‌تواند هزینه‌های دیگری مانند هزینه‌های زیست محیطی صرفه جویی شده و سایر هزینه‌های سرمایه گذاری به عنوان منفعت اجتماعی مورد توجه قرار گیرد. همچنین در این مطالعه از مدل‌های انتشار آلاینده ها و مصرف سوخت به کار گرفته شده در مطالعات جامع حمل و نقل مشهد استفاده شده است، حال آنکه می‌توان از مدل‌های متناسب با پیشرفت‌های انجام شده در صنعت خودروسازی استفاده نمود. همچنین، در این مقاله ماتریس تقاضای سفر سال ۱۳۹۲ و شبکه بر اساس سال ۱۳۹۰ مبنای تحلیل‌ها قرار گرفته، که می‌تواند به هنگام شود.

۶- منابع

1- De Palma, A., Lindsey, R., (2001). "Transportation: Supply and congestion in International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences 1st edn. Elsevier, 15882–15888.

۲- حبیبیان، م. "بررسی اتومبیل محوری در برنامه‌ریزی سنتی حمل‌ونقل"، اردیبهشت ۱۳۹۱، نهمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

3- Litman, T. Online TDM encyclopedia, [Internet]], (2013), [21 Augest 2013 cited], Available from: http://www.vtpi.org.

۴- آقابابازاده، ب. "مدیریت تقاضای سفر شهری برای کاهش آلودگی هوا با قیمت گذاری شبکه ،(۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و برنامه ریزی حمل ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

5- Habibian, M., Kermanshah, M (2013). "Coping with congestion: Understanding the role of simultaneous transportation demand management policies on commuters". Transport Policy vol. 30. 30, pp229-237.

6- Habibian, M., Dibaj, S., Rahmati, Y. "Investigating the role of push and pull TDM Policies on Car Commuters for Short Trips". 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, 2014 January, United States.

7- Shahangian. R. S., Kermanshah. M., and Mokhtarian. P. L., "Gender differences in response to price and time oriented policies targeting the commute to an automobile-restricted CBD: stated-preference mode choice study of drivers in Tehran, Iran", 91st Transportation Research Board in 2012, Annual Meeting, Washington, D.C.

۸- "مطالعات بازنگری و توسعه محدوده ممنوعه تردد شهر مشهد". (۱۳۸۸)، شرکت مهندسین مشاور آتیه ساز، جلد هفتم، گزارش شماره ۴۲۶-۸۸.

9- Larsen, O., Ostmoe, K., 'The experience of urban toll cordon in Norway 2001.

10- Lessons for the future'. Transport Economics and policy, 35(3): 457-471.

11- Biezus, L., Rocha, A. J. 'Does congestion management improve public transit'. (1999).

12- http://www.vtpi.org/tdm, Online TDM Encyclopedia,(Updated 5 November 2013).

13- Habibian. M., Ostadi Jafari. M., "Assessing the role of transportation demand management policies on urban air pollution: A case study of Mashhad. Iran". (September 2013). U.S.-IRAN SYMPOSIUM ON AIR POLLUTION IN MEGACITIES. The Beckman Center of the National Academy of Sciences and Engineering. Irvine, California.

pp. 97-105.

۱۴- زارعی، ح. ارزیابی سیاست های مدیریت ترافیک شهری در وضعیت بحرانی آلودگی هوا . (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و برنامه ریزی حمل ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۵- حسنی نسب، ش. برنامه ریزی کنترل ترافیک مرکز تجاری شهر: قیمت گذاری استفاده از تسهیلات و نیازهای سرمایه گذاری . (۱۳۷۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و برنامه ریزی حمل ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۶- دیباج، س. و حبیبیان، م. تاثیر سیاست قیمتگذاری ورود به محدوده مرکزی شهر بر آلودگی هوا (مطالعه موردی: سفرهای کاری به محدوده مرکزی شهر تهران) ، دی ۱۳۹۳، سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران.

۱۷- عابدی، ز.، عتابی، ف. و صوفی، م. بررسی منافع اجتماعی جایگزینی CNG به جای بنزین در تاکسی‌های شهر تهران ، تابستان ۱۳۹۰، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره دو، صفحات ۷۷-۶۷.

۱۸- سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۰، مرکز آمار ایران، http://www.amar.org.ir (بازدید شده در تاریخ ۲۲ آذر ۱۳۹۵)

۱۹- جمعیت و مساحت تقریبی و حریم قانونی مناطق ، شهرداری اصفهان، www.isfahan.ir، (بازدید شده در تاریخ ۲۲ آذر ۱۳۹۵)

۲۰- فرآیند مدل سازی برای برآورد تقاضای سفر آینده شهر اصفهان ، (۱۳۸۶)، مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲۱- گزارش آغازین: بررسی و ارزیابی فعالیت های فاز اول مطالعات جامع حمل ونقل شهر اصفهان . (۱۳۸۵)، مهندسین مشاور دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲۲- آمارها و داده‌ها ، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، www.cbi.ir ، (بازدید شده در تاریخ ۲۰ بهمن ۱۳۹۲).

۲۳- مدل تخصیص ترافیک و عملکرد سیستم حمل ونقل کلان شهر اصفهان در سال ۱۳۷۹ (۱۳۸۳). مرکز مطالعات و تحقیقات حمل ونقل دانشگاه صنعتی شریف. گزارش شماره ۰۴-۸۳.

۲۴- گزارش اهداف و مسائل مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر مشهد ، دی ۱۳۷۴، گزارش شماره ۰۹-۷۴، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی شریف.

۲۵- میزان صرفه جویی اقتصادی در پی تبدیل ناوگان حمل‌ونقل به سیستم CNG"، ۱۳۸۴، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور.

Assessing the impacts of cordon pricing policy on air pollution of central part of the city of Isfahan

Meeghat Habibian , Kamal Khanali , Mohsen Shanazari
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Amirkabir University of-۱ Technology
MSc student, Department of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology-۲

Abstract
Nowadays, transportation demand management is considered as a solution to more efficient usage of transportation resources of a society. In order to achieve this objective, different types of policies including pricing policies in restricted area could be chosen. By applying such policies, which discourage people from car usage, traffic congestion and air pollution would be decreased in the restricted area. The objective of this study is to assess the impact of cordon pricing policy on reducing air pollution in the central part of the city of Isfahan. Therefore, by introducing cost parameters to the existing mode choice models, the transportation demand matrix is updated. By assigning the updated demand to the transportation network, a number of network performance indicators versus different cordon price have been investigated. This study shows that, the .Rials ۱۷۵۰۰۰ ratio of social benefits to transportation cost for the city will be maximized at

Keywords: Transportation demand management, Cordon pricing, City central part, Air .pollutants, Isfahan