تحقیقات اقتصادی / دوره ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۹۶/ ص ۸۵۸-۸۲۱

تعیین عوارض ورود به محدوده مرکزی شهر براساس هزینه‌های اجتماعی (مطالعه‌ی موردی شهر اصفهان)

منصور جوهری فروشانی[۱]، حسین حق‌شناس[۲*]، بابک صفاری[۳]

۱. کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، joharim69@yahoo.com

۲. استادیار دانشکده‌ی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، ho_hagh@yahoo.com

۳. استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه اصفهان، babak.saffari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵

چکیده

سیاست قیمت‌گذاری محدوده به‌عنوان یک سیاست مدیریت تقاضا، دارای تجربیات جهانی در زمینه درونی سازی هزینه‌های بیرونی تراکم ترافیک است. یکی از اصلی‌ترین سئوالات در این سیاست، نحوه‌ی تعیین سطح عوارض می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مفاهیم هزینه‌های اجتماعی و نقطه تعادل نمودارهای عرضه و تقاضا تلاش شده یک روش نوین برای تعیین سطح عوارض در این سیاست ارائه شود. در این نقطه تعادل، عوارض دریافتی از خودروهای شخصی که وارد محدوده می‌شوند با هزینه‌ی نهایی خودروها در شهر برابر است. نمودار تقاضا با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از مصاحبه تمایل به پرداخت رانندگان خودروی شخصی با رویکرد رجحان بیان‌شده ترسیم‌شده است. نمودار عرضه نیز از محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی ترافیک خودروها شامل آلودگی صوتی، آلودگی هوا، شلوغی شبکه، خدمات ترافیکی و تسهیلات با استفاده از نتایج تخصیص ماتریس سفر خودروها به شبکه حمل‌ونقل در حالات مختلف حاصل شده است. با محاسبه‌ی نقطه برخورد منحنی تقاضا و منحنی عرضه (هزینه‌ی نهایی)، سطح عوارض برای هر بار ورود به محدوده‌ی مرکزی در شهر اصفهان در ساعت اوج تعیین‌شده است. در این سطح عوارض، بیش از ۷۵ درصد از استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی از استفاده از خودروی شخصی انصراف می‌دهند و با وسیله‌های دیگر به مرکز شهر سفر می‌کنند.

طبقه‌بندی JEL: R41

واژه‌های کلیدی: عرضه، تقاضا، حمل و نقل، قیمت‌گذاری محدوده، عوارض، اصفهان

---

*. نویسنده‌ی مسئول، تلفن تماس: ۰۳۱۳۳۹۱۱۴۰۵

۱- مقدمه

در جوامع امروزی اثرات زیان‌بار شلوغی ترافیک مانند اتلاف وقت مردم، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، کاهش ایمنی و ایجاد استرس و فشارهای روانی بر مردم، یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه ریزان شهری است. به‌منظور حل این مسئله دو استراتژی بنیادی افزایش عرضه و مدیریت تقاضای سفر وجود دارد. در راه‌حل‌های مبتنی برافزایش عرضه، نکات منفی گوناگونی مانند بیدار شدن بخشی از تقاضای پنهان، محدودیت‌های گسترش شبکه و نیاز به منابع مالی فراوان وجود دارد، لذا امروزه برای حل مشکل تراکم ترافیک، راه‌حل مدیریت تقاضا در جهت کاهش استفاده از خودروی شخصی و استفاده‌ی بیش‌تر از حمل‌ونقل همگانی و غیر موتوری، مورد توجه قرارگرفته است. یکی از سیاست‌های مدیریت تقاضا که دارای تجربیات مؤفق اجرایی در شهرهای مختلف دنیا از جمله سنگاپور، لندن، میلان و اسلو است، سیاست قیمت‌گذاری محدوده می‌باشد. در این سیاست کمربندی فرضی دور محدوده‌ای از شهر در نظر گرفته‌شده و استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی برای ورود به این محدوده، مجبور به پرداخت عوارض معین‌شده هستند، که درآمد حاصل از اجرای سیاست می‌تواند در راستای توسعه و بهبود حمل‌ونقل همگانی شهر استفاده شود. با توجه به پدید آمدن مشکل تراکم ترافیک در بیشتر شهرهای بزرگ ایران، به نظر می‌رسد، احساس نیاز به اجرای چنین طرح‌هایی در کلان‌شهرهای ایران نیز بسیار جدی است. از سئوالات اساسی در طراحی و اجرای این سیاست می‌توان به نحوه‌ی تعیین سطح عوارض اشاره کرد. تعیین پاسخ این سئوال به شیوه‌ای علمی می‌تواند افزایش دهنده‌ی اثرات مثبت طرح باشد. در این مقاله با فرض ادامه‌ی وضعیت فعلی گونه‌های حمل‌ونقل شهر بعد از قیمت‌گذاری محدوده، تلاش شده است یک روش علمی برای تعیین سطح عوارض برای هر بار ورود یک خودرو به محدوده‌ی مرکزی شهر اصفهان، مبتنی بر مفاهیم هزینه‌های اجتماعی و نمودارهای عرضه و تقاضا ارائه شود. در این راستا نمودار تقاضا با استفاده از تمایل به پرداخت مردم در صورت اعمال قیمت‌گذاری محدوده به‌دست‌آمده است. نمودار عرضه با محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی که استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی به شبکه حمل‌ونقل شهر وارد می‌کنند، محاسبه‌شده است. در ادامه با محاسبه‌ی نقطه برخورد نمودار تقاضا و هزینه‌ی نهایی، عوارض مناسب این سیاست به دست آمده است، میزان عوارضی که در آن، مبلغ پرداختی خودروی شخصی که به محدوده وارد می‌شود با

هزینه‌ی اجتماعی که به شبکه وارد می‌کند برابر است. در این پژوهش هزینه‌ی اجتماعی در نظر گرفته شده، تفاضل هزینه‌ی اجتماعی عمومی و هزینه‌ی اجتماعی شخصی است.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

مسئله قیمت‌گذاری شبکه برای نخستین بار توسط پیگو[1] در کتاب "اقتصاد رفاه" مطرح شده است (پیگو، ۱۹۲۰). بر اساس این مفاهیم آن دسته از کاربران راه که از جاده‌های شلوغ استفاده می‌کنند باید عوارضی برابر با میزان تفاوت میان هزینه‌ی نهایی عمومی[2] و هزینه‌ی نهایی هر استفاده‌کننده[3] بپردازند تا مازاد منافع عمومی[4] بیشینه شود. مازاد منافع عمومی نیز به‌صورت تفاوت میان کل منافع و کل هزینه‌ها تعریف شده و اغلب نماینده‌ی مناسبی برای رفاه عمومی است و بیشینه کردن آن منجر به کارایی اقتصادی خواهد شد (یانگ، ۲۰۰۵).

از جمله سئوالات اساسی در سیاست قیمت گذاری شبکه این است که عوارض ورودی به چه میزان و در کجا دریافت شود؟ پژوهشگران بسیاری به حل این مسئله پرداخته‌اند. ژانگ و همکاران ۲۰۰۳[5]، در پژوهش خود با استفاده از یک مسئله دوسطحی که سطح اول آن شبکه را به تعادل رسانده و محل محدوده را مشخص می‌کند و سطح بالایی آن سطح عوارض را باهدف ماکزیمم کردن رفاه اجتماعی به دست می‌آورد، سعی بر حل مسئله تعیین عوارض و تعیین موقعیت کمربند روی شبکه داشته‌اند. (افندی‌زاده ۲۰۱۰[6]) در مطالعه‌ی خود، یک مدل دوسطحی تعریف کرده است که سطح پایین مدل مسئله تعادل ترافیک با در نظر گرفتن هزینه‌ی تعمیم‌یافته است و سطح بالای آن رفاه اجتماعی را به حداکثر می‌رساند. نویسنده برای یافتن محل محدوده و تعیین عوارض، استفاده از دو الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد می‌دهد، از یک الگوریتم برای یافتن بهترین محدوده و از الگوریتم دوم برای تعیین بهترین عوارض

1. Pigou
2. Marginal social cost
3. Marginal private cost
4. Social surplus
5. X. Zhang, 2003
6. S. Afandizadeh

استفاده می‌شود. (زهیان، ۲۰۱۳[1]) در مطالعه‌ی خود تلاش کرده است یک مدل برای حل مسئله قیمت‌گذاری محدوده مرکزی شهر براساس سرعت، برای شهرهایی که شاخص محاسبه عوارض برای نگه‌داشتن وضعیت ترافیکی محدوده در حد رضایت‌بخش سرعت متوسط سفر است و با استفاده از این شاخص وضعیت ترافیکی را می‌سنجند. برای فرموله کردن این مسئله عملی در این پژوهش از یک برنامه‌ریزی ریاضی با محدودیت مدل تعادل باهدف حفظ وضعیت ترافیکی محدوده و برای حل این مسئله از یک الگوریتم ژنتیک تجدیدنظر شده استفاده می‌شود. (داگانزو ۲۰۱۵[2]) در مطالعه‌ی خود با ارائه‌یک مدل عملکرد شبکه بزرگ، اما نرم تک کاناله، به تعیین عوارض مبتنی بر طول سفر، در جهت بررسی تفاوت‌های روش عوارض گذاری سفر(یعنی کاربران به هنگام ورود به محدوده یک عوارض ثابت بپردازند) و روش عوارض گذاری تراکم متغیر بازمان (یعنی پرداخت عوارضی مبتنی بر طول سفر توسط هر کاربر) می‌پرداخته است. (لی ۲۰۱۴)[3] با فرض شهر تک مرکزی، تابع خطی برای توزیع جمعیتی که رابطه عکس بافاصله از مرکز شهر دارد، تابع خطی برای تقاضای الاستیک و استفاده از مدل ماکروسکوپیک انتشار آلایندگی خودرو، سعی بر ارائه مدلی در جهت افزایش رفاه اجتماعی برای یافتن هم‌زمان کمربند و سطح عوارض بهینه‌ی سیاست قیمت‌گذاری، در جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و رسیدن به حمل‌ونقل پایدار کرده است. (کوریا ۲۰۱۵[4]) در پژوهش خود یک مدل پویا با در نظر گرفتن روابط متقابل غلظت آلودگی و جریان ترافیک، برای حل مسئله قیمت‌گذاری باهدف کاهش آلودگی هوا ارائه می‌کند. به دلیل اینکه آلودگی هوای ناشی از تراکم ترافیک علاوه بر متأثر بودن از خصوصیات خودروها، متأثر از علائم جوی نیز است، مدل‌های پویای قیمت‌گذاری دارای دقت بیش‌تری می‌باشند. (ما ۲۰۱۵)[5]، در مطالعه‌ی خود به تلاش بر پرداخت یک مدل قیمت‌گذاری پویا باهدف اولیه‌ی کاهش آلودگی هوا در یک شبکه ترافیک پویا و تک مقصدی می‌پردازد. مدل ارائه‌شده دارای دو زیر مسئله است: ۱- سیستم تخصیص بهینه‌ی ترافیک پویا به شبکه ۲- قیمت‌گذاری پویای انتشار آلاینده‌ها. در این پژوهش

1. ZHiyuan, 2013
2. Daganzo, 2015
3. ZC li, 2014
4. J coria, 2015
5. R ma, 2015

ابتدا ثابت می‌شود که در شرایط خاصی یک حل حریان آزاد بهینه برای مینیمم کردن هزینه‌های کلی سیستم وجود دارد، که در حل زیر مسئله دوم از این حل به‌عنوان ورودی مسئله استفاده می‌شود. (بروگر ۲۰۱۲[1])، در مطالعه‌ی خود با سنجش میزان موفقیت و رضایت مردم از اجرای سیاست قیمت‌گذاری محدوده با هدف کسب درآمد، استفاده از یک مدل ساده مبتنی بر رأی اکثریت مردم را پیشنهاد می‌دهد. درحالی‌که اجرای این سیاست سبب افزایش مطلوبیت شبکه و بسیاری از اثرات مثبت دیگر در شبکه نظیر کاهش تراکم ترافیک و کاهش آلودگی هوا است، اما نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده مخالفت بیشتر مردم با اجرای هرگونه طرح قیمت‌گذاری محدوده است. (زاو ۲۰۱۵[2]) ترکیبی از روش‌های آزمون و خطای مطالعات قبلی را برای یک مسئله قیمت‌گذاری ارائه می‌کند، با این تفاوت که علاوه بر لحاظ کاهش هزینه‌ی کل سیستم، محدودیت‌های ظرفیت لینک‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. سپس یک روش تکرار دوسطحی برای حل این مسئله ترکیبی ارائه می‌کند که در آن از روش طرح‌ریزی زیر شیب برای حل سطح بیرونی فاز تکرار و از روش خطی جزئی برای سطح درونی فاز تکرار استفاده می‌شود و پس‌ازآن همگرا شدن جواب‌های این روش حل را اثبات می‌کند.

۳- مبانی نظری

۳-۱- قیمت گذاری معابر

بیش‌تر شهرها با شلوغی ترافیک در ساعات پر ازدحام روبه رو هستند. در دهه‌های گذشته عبور و مرور وسایل نقلیه‌ی موتوری هر سال افزایش یافته است، ولی ظرفیت جاده‌ها با حجم فزاینده ترافیک هم گام نبوده است. آلودگی هوا و تراکم ترافیک هزینه‌های اجتماعی ناشی از تراکم هستند. حجم تعادلی سفر در شرایط عادی با حجم بهینه و کارای خیابان متفاوت است چون هر راننده‌ای تنها هزینه‌ی شخصی و زمان سفر خود را لحاظ می‌گیرد و هزینه‌هایی که بر اجتماع وارد می‌شود، مانند آلودگی هوا و شلوغی ترافیک را در نظر نمی‌گیرد. شهرداری (شبه دولت محلی) برای جبران هزینه‌های اجتماعی، بر عبور و مرور خودروها، عوارض تعیین می‌کند. با تعیین عوارض، از یک‌سو رانندگان خودروی شخصی با ملاحظه هزینه‌ای که باید برای عوارض پرداخت

1. DE Brooger, 2012
2. B zhou, 2015

کنند در سطح پایین‌تری از نمودار تقاضا به تعادل می‌رسند و تعداد وسایل نقلیه کاهش می‌یابد و از سوی دیگر شهرداری می‌تواند از درآمد حاصل از عوارض، برای توسعه حمل و نقل همگانی و فضای سبز استفاده کند. (سالیوان، ۱۳۸۶)

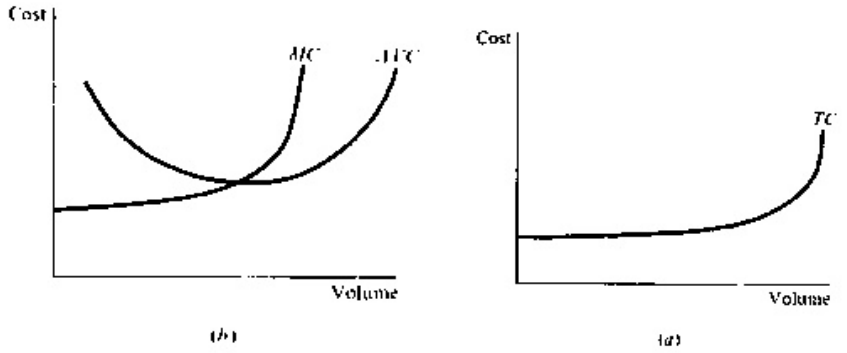
۳-۲- نمودار تقاضا

تابع تقاضای خرید مجوز ورود به محدوده، نشان‌دهنده چگونگی تأثیرپذیری حجم ترافیک یک خیابان از میزان عوارض پرداختی است. با توجه به این که در حال حاضر عوارض ورود به محدوده‌ی مرکزی شهر اصفهان دریافت نمی‌شود، برای رسم نمودار تقاضا، رجحان بیان شده رانندگان در تمایل به پرداخت عوارض برای استفاده از خودروی شخصی شناسایی شده است. بدین منظور با رانندگان خودروی شخصی مصاحبه انجام شده و واکنش آنها به اجرای طرح قیمت‌گذاری محدوده با بالارفتن عوارض مورد پرسش قرار گرفته است. با افزایش عوارض تعداد بیش‌تری از رانندگان از خودروی شخصی انصرف داده و با وسایل همگانی سفر می‌کنند و منحنی کاهش تقاضای خرید مجوز ورود به محدوده نسبت به افزایش عوارض رسم می‌شود.

۳-۳- نمودار عرضه

شهرداری (شبه‌ی دولت محلی) عرضه کننده مجوزهای عبور و مرور است. عوارض برای جبران هزینه‌های اجتماعی وضع می‌شود و لذا برای رسم نمودار عرضه می‌بایست توابع هزینه‌ی اجتماعی را به دست آورد. توابع هزینه‌ی توابعی هستند که نشان‌دهنده ارتباط بین هزینه‌های سیستم و تعداد استفاده کنندگان هستند. تابع هزینه‌ی کل TC (X) که هزینه‌ی کل سیستم را به حجم ترافیک مرتبط می‌سازد. تابع هزینه‌ی متوسط AVC (X) که مشخص‌کننده هزینه‌ی به ازای هر نفر است و از تقسیم هزینه‌ی کل بر حجم ترافیک به دست می‌آید. تابع هزینه‌ی نهایی MC (X) که نشان‌دهنده‌ی هزینه‌ی نهایی ایجادشده به ازای افزایش یک خودرو است و از مشتق تابع هزینه‌ی کل نسبت به خروجی به دست می‌آید. با افزایش حجم ترافیک، هزینه‌های اجتماعی افزایش می‌یابد و شهرداری محبور می‌شود سطح عوارض بالاتری وضع نماید. در ادامه شکل کلی نمودارهای این سه تابع در حمل‌ونقل آورده شده است (کنفانی ۱۹۸۳)[1] .

1. Kanafani, 1983



شکل ۱. شکل a نمودار هزینه‌ی کل و شکل b نمودارهای هزینه‌ی نهایی و متوسط (کنفانی، ۱۹۸۳)

۳-۴- *تعادل عرضه و تقاضا*

مبنای تعیین عوارض، هزینه‌ی اجتماعی تحمیل شده توسط آخرین خودروی اضافه شده به حجم ترافیک می‌باشد و لذا برای تعیین عوارض، تعادل نمودار هزینه‌ی نهایی با منحنی تقاضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نظر گرفتن هزینه‌ی نهایی به این دلیل است که در این حالت هزینه‌ی واقعی اجتماعی خودروهای وارد شده به محدوده محاسبه می‌شود، ولی هزینه‌ی متوسط هزینه‌ی کمتری از هزینه‌ی واقعی اجتماعی را برآورد می‌کند (سولیوان، ۱۳۸۶). نقطه‌ی تعادل منحنی تقاضای استفاده کنندگان برای خرید مجوز ورود به محدوده (پرداخت عوارض) و منحنی عرضه مجوزهای ورود به محدود توسط شهرداری که براساس هزینه‌ی نهایی اجتماعی محاسبه می‌شود، به تعادل می‌رسند. این نقطه‌ی تعادل نشان‌دهنده‌ی زمانی است که میزان هزینه‌ای که با اضافه شدن یک خودرو به استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی در محدوده به هزینه‌ی سیستم اضافه می‌شود، برابر است با میزان عوارضی که این خودرو باید برای ورود به محدوده بپردازد. با توجه به وجود طریقه‌های جایگزین حمل و نقل همگانی (اتوبوس و تاکسی) برای استفاده کنندگان، رانندگان خودروی شخصی در شرایط بازار، نسبت به خرید مجوزعبور یا انصراف از خودروی شخصی اقدام می‌کنند.

۴- مصاحبه رجحان بیان شده و رسم نمودار تقاضا

شهر اصفهان سومین شهر پرجمعیت ایران است که در سالیان اخیر شاهد تراکم ترافیک و اثرات منفی ناشی از آن بوده است که این تراکم بالای ترافیک در محدوده‌ی

مرکزی شهر بسیار ملموس‌تر از سایر نقاط شهر است. علت اصلی این امر وجود کاربری‌های جذاب سفر نظیر کاربری‌های: تفریحی، خرید، پزشکی، تجاری، اداری و آموزشی و آثار تاریخی معروف در مرکز شهر است. یکی از سیاست‌های مورد نظر مسئولان شهر برای کاهش ترافیک مرکز شهر قیمت گذاری ورود به محدوده مرکزی شهر است که در حال حاضر این قیمت گذاری محدوده در شهر اصفهان انجام نمی‌شود. مرزهای این محدوده شامل خیابان‌های کاشانی، بهشتی، مسجد سید، عبدالرزاق، هاتف، نشاط، چهارباغ خواجو، کمال اسماعیل و مطهری است که شمای کلی آن در شکل زیر نمایش داده شده است.

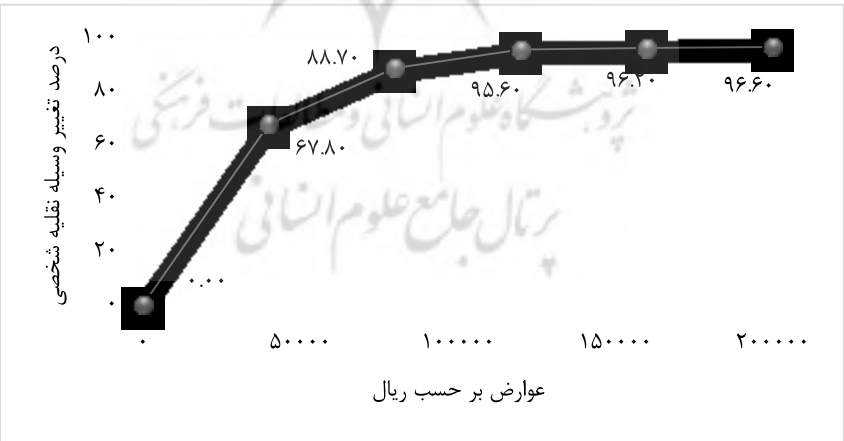
شکل ۲. محدوده قیمت‌گذاری شهر اصفهان

در این پژوهش برای بررسی تقاضای سفر رانندگان در شرایط قیمت گذاری از روش رجحان بیان شده استفاده شده است. در مصاحبه با ۱۰۶۵ نفر از رانندگان خودروهای شخصی در مرکز شهر، تمایل به پرداخت آنها برای خرید مجوز ورود به محدوده یا استفاده از وسایل جایگزین همگانی بررسی شده است. مصاحبه‌های حضوری در روزهای شنبه ۱۳۹۲/۲/۲۸ تا روز پنجشنبه ۱۳۹۲/۳/۲ در قالب مطالعات جامع حمل و نقل شهر اصفهان در مرکز شهر اصفهان انجام گرفته است. در این مصاحبه ابتدا از

واکنش افراد به مجوز با سطح عوارض ۴۰۰۰۰ ریال پرسیده می‌شود. در صورتی که شخص حاضر به پرداخت عوارض و استفاده از خودروی شخصی باشد، این سئوال در مورد سطح عوارض بعدی پرسیده می‌شود. این ترتیب تا سطح عوارضی که فرد از سفر با خودروی شخصی انصراف دهد، ادامه می‌یابد. سپس در سطح عوارضی که دیگر فرد حاضر به استفاده از خودروی شخصی نیست، طریقه جایگزین پرسیده می‌شود. نتایج این مصاحبه در مورد انتخاب وسیله‌ی رانندگان در سطح عوارض مختلف در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. نحوه انتخاب وسیله رانندگان در سطوح مختلف عوارض

عوارض	بدون عوارض	۴۰۰۰۰ ریال	۸۰۰۰۰ ریال	۱۲۰۰۰۰ ریال	۱۶۰۰۰۰ ریال	۲۰۰۰۰۰ ریال
تعداد انتخاب وسیله نقلیه شخصی	۱۰۶۵	۳۴۳	۱۲۰	۴۷	۴۰	۳۶
تعداد انتخاب حمل و نقل جایگزین (اتوبوس، تاکسی، دوچرخه، پیاده ...)	۰	۷۲۲	۹۴۵	۱۰۱۸	۱۰۲۵	۱۰۲۹
مجموع افراد	۱۰۶۵	۱۰۶۵	۱۰۶۵	۱۰۶۵	۱۰۶۵	۱۰۶۵



شکل ۳. درصد تغییر وسیله نقلیه شخصی در عوارض‌های مختلف

با استفاده از مدل لوجیت دوگانه مطابق رابطه ۱، یک تابع مطلوبیت هم‌فزون در انتخاب استفاده از خودروی شخصی با پرداخت عوارض ورود به محدوده و یا انتخاب طریقه جایگزین به دست آورده شده و با استفاده از این تابع احتمال استفاده از خودروی شخصی در عوارض‌های مختلف به دست می‌آید.

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{e^{u1}}}{\mathbf{e^{u1}} + \mathbf{e^{u2}}} \qquad (۱)$$

در این رابطه U1 مطلوبیت خودروی شخصی و U2 مطلوبیت طریقه‌ی جایگزین است. براساس متغیر سطح عوارض ورود به محدوده، تابع مطلوبیت خودروی شخصی(U1) برای شهر اصفهان، به‌صورت زیر به‌دست‌آمده است. در این مدل A5 عدد ثابت و Toll میزان عوارض ورود به محدوده است.

$$U_car = A5 - A6^{*} \ (Toll) \qquad (۲)$$

Toll = عوارض ورود به محدوده

A5 و A6 = ضرایب مدل

مدل لوجیت دوگانه انتخاب استفاده از خودروی شخصی با پرداخت عوارض ورود به محدوده و یا انصراف از خودروی شخصی و انتخاب طریقه جایگزین با نرم‌افزار N Logit ساخته شده، مدل مطلوب با لحاظ شاخص‌های آماری جدول ۳ به‌صورت زیر به‌دست‌آمده است:

$$U_car = 0.04424 - 0.000224^{*} \ (Toll) \qquad (۳)$$

جدول ۱. آزمون‌های اماری مدل

Log likelihood function	-۳۹۰۲/۸۶۱۱۸
Restricted log likelihood	-۵۴۷۱/۱۱۸۰۰
Chi squared [1 d. f.]	۳۱۳۶/۵۱۳۶۴
Sign. Level مدل	۰/۰۰۰۰۰
McFadden Pseudo R-squared	۰/۲۸۶۶۴۲۸
ρ^2 مدل	۰/۲۹
ازمون t عدد ثابت	۱/۱۷
ازمون t متغیرToll	-۴۱/۳۰
Sign. Level ازمون t	۰/۰۰۰

ضریب متغیر طبق آزمون t در مدل نهایی در سطح ۹۵ درصد معنادار هست. برای ارزیابی نیکویی برازش مدل‌ها از شاخص‌های نسبت درست‌نمایی ρ^2 و استفاده شده است. این دو شاخص از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شوند (اُرتوزار، ۲۰۱۱):

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta) - df}{LL(0)} \quad (۴)$$

$L(\beta)$: مقدار لگاریتم تابع لایکلیهود به‌ازای پارامترهای برآورد شده در مدل

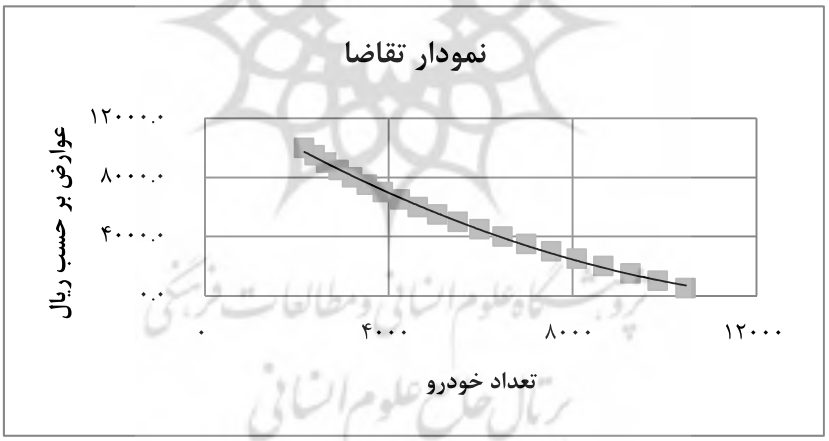
$LL(0)$: مقدار لگاریتم تابع لایکلیهود، زمانی‌که همه پارامترها صفر در نظر گرفته شوند

$LL(C)$: مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی در حالتی که تنها ثابت‌های ویژه گزینه‌ها در تابع مطلوبیت وجود داشته باشند

df: اختلاف تعداد متغیرهای توصیفی مدل پایه و مدل برازش شده

هم‌چنین آزمون نسبت درست‌نمایی کای دو با آماره‌ی $-2(LL(0) - LL(\beta)) \sim X_k^2$ مورد بررسی قرار گرفته است که درجه‌ی آزادی آن در این‌جا برابر با k، یعنی تعداد پارامترهای مدل است (ترین ۲۰۰۹).

در ادامه با استفاده از خروجی این مدل با عوارض متفاوت نمودار تقاضا مطابق شکل ۴ ترسیم‌شده است. بر این اساس این نمودار برای عوارض‌های ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ ریال و برای ۱۲۶۰۰ خودرو که در ساعت اوج از کل شهر قصد ورود به محدوده رادارند پرداخته شده است.



شکل ۴. نمودار تقاضا

۵- محاسبه‌ی هزینه‌ها و رسم نمودار عرضه

برای رسم نمودار عرضه نیاز به محاسبه هزینه‌های اجتماعی تردد خودروها به شبکه حمل‌ونقل شهر است که از نتایج تخصیص ترافیک به دست می‌آیند. در نرم افزار

تخصیص ترافیک، ماتریس سفر خودروی سواری بین نواحی ترافیکی مختلف شهر به شبکه معابر شهر تخصیص داده می‌شوند. در پژوهش حاضر از روش تخصیص جزیی و توابع عملکرد سلسله مراتب مختلف معابر شهر تعیین شده در مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، در قالب نرم افزار ترنسکد[1] استفاده شده است. در خروجی فرآیند تخصیص ترافیک، حجم تردد در هر یک از خیابان‌های شهری مشخص می‌شود. هزینه‌های مختلف اجتماعی براساس خودرو کیلومتر و خودرو ساعت طی شده در معابر محاسبه می‌شوند. هزینه‌های اجتماعی هزینه‌هایی هستند که استفاده‌کننده از خودروی شخصی به شبکه وارد می‌کند. در این پژوهش هزینه‌های شلوغی، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تصادفات، خدمات ترافیکی، تسهیلات و جمع‌آوری زباله از شبکه به‌عنوان هزینه‌های اجتماعی در نظر گرفته‌شده است.

برای محاسبه شاخص شلوغی، مجموع زمان سفر خودروی شخصی در ارزش زمان سفر آن (۵۰۰۰۰ ریال) ضرب شده است تا به نحوی نمایش‌دهنده‌ی هزینه‌ی شلوغی وارد بر شبکه باشد. ارزش زمان سفر (۵۰۰۰۰ ریال) بر اساس نتایج مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان در محاسبه‌ی این شاخص اقتصادی، منظور شده است.

شاخص‌های آلودگی هوا در این پژوهش HC، CO، NOX در نظر گرفته‌شده است که با توجه به هزینه‌ی اعلام‌شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۸۱، این هزینه‌ها[2] برای سال ۱۳۹۴ به‌دست‌آمده است. برای محاسبه‌ی میزان تولید این آلاینده‌ها، روابط ارائه‌شده در مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر اصفهان به‌کار رفته است. این روابط میزان آلودگی را برحسب گرم بر کیلومتر براساس سرعت متوسط V برای وسایل نقلیه مختلف به دست می‌آورند.

$$CO_{car,taxi,vanet} = 127.64 - 2.68V + 0.016V^2 + \frac{160.12}{V} \quad (۵)$$

$$HC_{car,taxi,vanet} = \frac{6.06}{0.1V} + 0.00056V^2 + \frac{42.57}{V} \quad (۶)$$

$$NO_{X_{car,taxi,vanet}} = 0.7 + \frac{1.92}{1+93.5e-0.049V} \quad (۷)$$

---

1 .Transcad

۲. در این پژوهش برای براورد هزینه‌ها برای سال ۱۳۹۴، از شاخص بهای مصرف کننده (CPI) مندرج در سایت بانک مرکزی استفاده شده است.

$$HC_{car,taxi,vanet} = \frac{6.06}{0.1V} + 0.00056V^2 + \frac{42.57}{V} \quad (۸)$$

کمی سازی هزینه‌های مربوط به آلودگی صوتی، تصادفات، خدمات ترافیکی، تسهیلات و جمع‌آوری زباله از شبکه برای سال ۱۳۹۴، با استفاده از هزینه‌های به‌دست‌آمده این شاخص‌ها در مطالعه‌ی خشایی (۱۳۹۰، خشایی) انجام گرفته است. در جدول زیر تعاریف دقیق تمام شاخص‌ها، نحوه‌ی محاسبه‌ی آن‌ها و همچنین هزینه‌ی تمامی شاخص‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۲. تعاریف کلیه شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش

هزینه	تعریف	نحوه محاسبه	هزینه
شلوغی	ارزش ریالی زمان سفر افراد در ترافیک	خروجی زمان سفر نرم افزار ضربدر ارزش زمان سفر	۵۰۰۰۰ ریال هر ساعت
آلودگی هوا	ارزش ریالی معادل تبعات آلودگی هوای ناشی از آلاینده‌هایCO; NOX; HC	محاسبه میزان هر الاینده با استفاده از روابط مطالعات جامع برای هر کیلومتر ضربدر خروجی کیلومتر نرم‌افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۱۸۳۸۶ هزار ریال بر تن (Co)
			۵۸۸۳۶ هزار ریال بر تن (No_x)
			۲۰۵۹۲ هزار ریال بر تن (Hc)
آلودگی صوتی	ارزش ریالی معادل تبعات آلودگی صوتی ناشی از حمل‌ونقل	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۲۴۹ ریال بر کیلومتر
تصادفات	هزینه‌های ناشی از تصادفات و سوانح رانندگی شامل فوت، جرح و خسارات مالی	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۲۰۸ ریال بر کیلومتر
خدمات ترافیکی	هزینه‌های جاری مانند راهنمایی رانندگی و معاونت حمل‌ونقل و غیره	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۱۷ ریال بر کیلومتر
تسهیلات	هزینه‌ی ساخت و نگهداری از تسهیلات مختلف حمل‌ونقلی	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۱۷۲ ریال بر کیلومتر
جمع‌آوری زباله	هزینه‌ی ناشی از اسقاط کردن قطعات وسایل نقلیه	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	۱۷ ریال بر کیلومتر

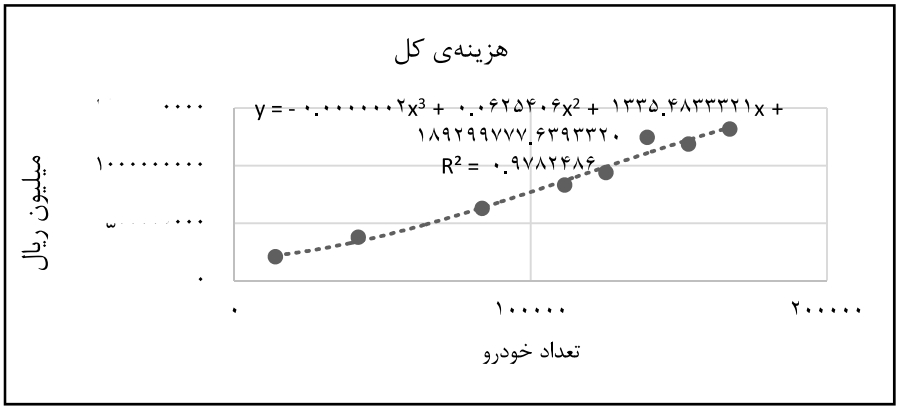
برای رسم نمودارهای عرضه، ابتدا ماتریس سفر وضع موجود به شبکه تخصیص داده شده و هزینه‌های اجتماعی تردد خودورها در وضع موجود محاسبه شده است. سپس در ۸ حالت مختلف افزایش و کاهش ماتریس سفرها، تخصیص ترافیک دوباره انجام و هزینه‌های اجتماعی هر حالت محاسبه شده است. این حالات سفر عبارت‌اند از: وضع موجود به اضافه‌ی ۱۰٪ و۲۰٪، وضع موجود منهای ۱۰٪، ۲۰٪، ۴۰٪، ۷۰٪ و ۹۰٪ درصد.

به‌دلیل این‌که در وضع موجود بیشتر خیابان‌های مرکزی شهر در حالت شلوغی هستند و هدف از این پژوهش، قیمت گذاری برای کاهش شلوغی معابر است به قسمتهایی از منحنی که شلوغی کمتری از وضع موجود دارند بیش‌تر توجه شده است. درانتها نمودار هزینه‌ی کل، رسم و تابع آن برازش داده شده و با مشتق‌گیری از آن نمودار هزینه‌ی نهایی به‌دست‌آمده است.

جدول زیر نشان دهنده‌ی هزینه‌های اجتماعی محاسبه شده در حالات مختلف ماتریس سفر خودروهاست.

جدول ۳. مجموع هزینه‌های اجتماعی در حالات مختلف حجم سفر

هزینه‌ی کل (میلیون ریال)	تعداد خودرو	حالت
۱۳۱۶/۸	۱۶۷۲۲۷	وضع موجود به‌علاوه ۲۰ درصد
۱۱۸۷	۱۵۳۲۹۲	وضع موجود به‌علاوه ۱۰ درصد
۱۲۴۵/۱	۱۳۹۳۵۶	وضع موجود
۹۳۸/۲	۱۲۵۴۲۰	وضع موجود منهای ۱۰ درصد
۸۲۷/۷	۱۱۱۴۸۵	وضع موجود منهای ۲۰ درصد
۶۲۶/۶	۸۳۶۱۴	وضع موجود منهای ۴۰ درصد
۳۷۴/۵	۴۱۸۰۷	وضع موجود منهای ۷۰ درصد
۲۰۵	۱۳۹۳۶	وضع موجود منهای ۹۰ درصد



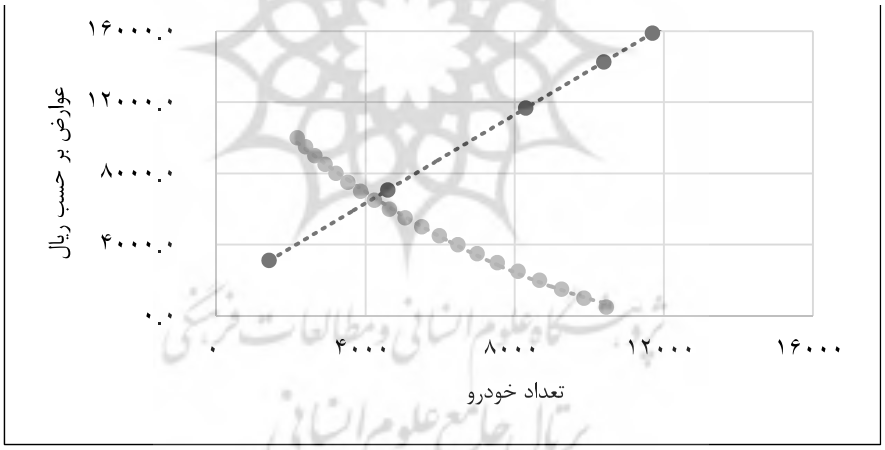
شکل ۵. نمودار هزینه‌ی کل

همان‌طورکه از نمودار بالا قابل مشاهده است (بزرگ‌تر بودن اعداد در محورهای عمودی و افقی نسبت به نمودارهای هزینه‌ی متوسط و هزینه‌ی نهایی) نمودار هزینه‌ی کل برای کل شهر ترسیم شده است. با تقسیم هزینه‌ی کل به خروجی (منظور از خروجی تعداد خودرو در حال تردد در شهر که از خروجی نرم افزار تخصیص به دست می‌آید)، هزینه‌ی متوسط سیستم رسم شده است و با مشتق‌گیری از هزینه‌ی کل نسبت به خروجی نمودار هزینه‌ی نهایی به‌دست‌آمده است. در شکل زیر منحنی روشن تر نشانگر نمودار هزینه‌ی متوسط و منحنی تیره‌تر نشانگر منحنی هزینه‌ی نهایی است.

شکل ۶. نمودارهای هزینه‌ی متوسط و هزینه‌ی نهایی

۶- تعادل عرضه وتقاضا و تعیین عوارض

با تقاطع دادن نمودارهای هزینه‌ی نهایی به‌عنوان نمودار عرضه و نمودار تقاضا، نقطه‌ی تعادل به‌دست‌آمده است. این نقطه بیان‌گر سطح عوارضی خواهد بود که هزینه‌ی ورود آخرین خودرو به محدوده مرکزی با عوارض پرداختی برابری خواهد کرد. این نمودار که در شکل پایین رسم شده است، واحد محور افقی تقاضا برحسب خودرو و واحد محور عمودی عوارض برحسب ریال است. عوارض به‌دست‌آمده ۶۵۹۵۰ ریال برای هر بار ورود به محدوده است. در این پژوهش این عوارض برای طراحی این سیاست برای ساعت اوج ۷ تا ۸ صبح به‌دست‌آمده است. با این روش می‌توان سطح عوارض را برای هر ساعت از شبانه‌روز به دست آورد. اگر این سطح عوارض را درون مدل براورد شده از مصاحبه با استفاده کنندگان از خودروی شخصی در قسمت ترسیم نمودار تقاضا، قرار دهیم چیزی در حدود ۲۵ درصد تنها به استفاده از خودرو شخصی ادامه داده و در حدود ۷۵ درصد از سفر خود را از خودروی شخصی به حمل و نقل همگانی تغییر می‌دهند.



شکل ۷. نقطه‌ی تعادل عرضه و تقاضا

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای تعیین سطح عوارض در سیاست قیمت‌گذاری محدوده‌ی مرکزی شهر، از مفهوم نقطه تعادل در برخورد نمودارهای عرضه (هزینه‌ی نهایی) و تقاضا استفاده شد. در این نقطه تعادل، عوارض دریافتی از خودروهای شخصی که وارد

محدوده می‌شوند با هزینه‌ی نهایی خودروها در شهر برابر می‌شود. بر این اساس، نمودار تقاضا با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از پرسشنامه‌های تمایل به پرداخت رانندگان و پرداخت یک مدل لوجیت به دست آمده است. نمودار عرضه نیز با تخصیص تعداد خودرو در حالات مختلف و محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی (شامل هزینه‌ی‌های: شلوغی، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تصادفات، خدمات ترافیکی، تسهیلات و جمع‌آوری زباله) هریک از حالات رسم شده است. در نتیجه‌ی این پژوهش، سطح عوارض برای سیاست قیمت‌گذاری محدوده در شهر اصفهان برای هر ورود خودرو در ساعت اوج ۷ تا ۸ صبح، ۶۵۹۵۰ ریال به‌دست‌آمده است. در این سطح عوارض به دست آمده، حدود ۷۵ درصد استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی از سفر با خودروی شخصی انصراف خواهند داد. از این روش می‌توان برای تعیین سطح عوارض در ساعت‌ها و محدوده‌های دیگر نیز استفاده کرد.

منابع

۱. سولویان، آرتور (۱۳۸۶). مباحثی در اقتصاد شهری، ترجمه: قادری، جعفر، پژوهشکده‌ی اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. خشایی. مرتضی، عابدینی، مهدی و بابایی، شروین (۱۳۹۰). تعیین هزینه‌ی سیستمی سفر با هریک از مودهای حمل و نقل شهر تهران، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل و ترافیک تهران.

۳. لطفعلی‌پور، محمدرضا و غمخوار، قاسم (۱۳۸۸). قیمت‌گذاری بهینه‌ی گاز طبیعی در شرکت خراسان بزرگ با استفاده از روش رمزی. مجله‌ی دانش و توسعه. ۱۱(۲۷)، ۲۳-۴۹.

۴. هندرسون. جیمز میچل.، کوانت. ریچارد (۱۳۸۷). تئوری اقتصاد خرد (رویکرد ریاضی)، ترجمه: قره‌باغیان، مرتضی و پژویان، جمشید، انتشارات خدمات فرهنگی رسا، تهران.

5. Afandizadeh, S., Yadak, M., & Kalantari, N. (2011). Simultaneous determination of optimal toll locations & toll levels in cordon-based congestion pricing problem (case study of Mashhad city). *International journal of civil engineering*, 9(1), 33.

6. Coria, J., Bonilla, J., Grundström, M., & Pleijel, H. (2015). Air pollution dynamics & the need for temporally differentiated road

pricing. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 75, 178-195.
7. Daganzo, C. F., & Lehe, L. J. (2015). Distance-dependent congestion pricing for downtown zones. *Transportation Research Part B: Methodological*, 75, 89-99.
8. De Borger, B., & Proost, S. (2012). A political economy model of road pricing. *Journal of Urban Economics*, 71(1), 79-92. http://www. cbi.ir/SimpleList/1591. asp
9. Kanafani, A. (1983). Transportation demand analysis. 45-47, Firth Edition, Transportation research board.
10. Li, Z. C., Wang, Y. D., Lam, W. H., Sumalee, A., & Choi, K. (2014). Design of sustainable cordon toll pricing schemes in a monocentric city. Networks & Spatial Economics, 14(2), 133-158.
11. Liu, Z., Meng, Q., & Wang, S. (2013). Speed-based toll design for cordon-based congestion pricing scheme. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 31, 83-98.
12. Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). Stated choice methods: analysis & applications. Cambridge University Press.
13. Ma, R., Ban, X. J., & Szeto, W. Y. (2015). Emission Modeling & Pricing in Dynamic Traffic Networks. Transportation Research Procedia, 9, 106-129.
14. Ortuzar, J. D., willumsen, Luis G. (2011). Modeling transport, 130-134, 4th edition by Wiley.
15. Pigou, A. C. (1920). The Economics of Welfare, 80-81, 4th. London: Macnillam.
16. Train, K. E. (2009). Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.
17. Yang, H., & Huang, H. J. (2005). Mathematical & economic theory of road pricing. Emerald Group Publishing Limited. 140-143.
18. Zhang, X., & Yang, H. (2004). The optimal cordon-based network congestion pricing problem. Transportation Research Part B: Methodological, 38(6), 517-537.
19. Zhou, B., Bliemer, M., Yang, H., & He, J. (2015). A trial-&-error congestion pricing scheme for networks with elastic demand & link capacity constraints. Transportation Research Part B: Methodological, 72, 77-92.