

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

منصور جوهری فروشانی^۱، حسین حق‌شناس^{۲*}، بابک صفاری^۳

۱. کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان،

joharim69@yahoo.com

۲. استادیار دانشکدهٔ حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، ho_hagh@yahoo.com

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

تاریخ دریافت: ۱۵/۰۳/۹۵ تاریخ پذیرش: ۱۵/۰۷/۹۶

چکیده

سیاست قیمت‌گذاری محدوده به عنوان یک سیاست مدیریت تقاضا، دارای تحریبیات جهانی در زمینه درونی سازی هزینه‌های بیرونی ترافیک است. یکی از اصلی‌ترین سئوالات در این سیاست، نحوه 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 به دست آمده از مصاحبه تمایل به پرداخت رانندگان خودروی شخصی با رویکرد رجحان بیان شده ترسیم شده است. نمودار عرضه نیز از محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی ترافیک خودروها شامل آلدگی صوتی، آلدگی هوا، شلوغی شبکه، خدمات ترافیکی و تسهیلات با استفاده از نتایج تخصیص ماتریس سفر خودروها به شبکه حمل و نقل 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 تعیین شده 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.

R41: طبقه‌بندی JEL

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. به منظور حل این مسئله دو استراتژی بنیادی افزایش عرضه و مدیریت تقاضای سفر وجود دارد. در راه حل‌های مبتنی بر افزایش 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، راه حل مدیریت تقاضا در جهت کاهش استفاده از خودروی شخصی و استفاده‌ی بیشتر از حمل و نقل همگانی و غیر موتوری، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از سیاست‌های مدیریت تقاضا که دارای تجربیات موفق اجرایی در شهرهای مختلف دنیا از جمله سنگاپور، لندن، میلان و اسلو است، سیاست قیمت‌گذاری محدوده می‌باشد. در این سیاست کمرنگی فرضی دور محدوده‌ای از شهر در نظر گرفته شده و استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی برای ورود به این محدوده، مجبور به پرداخت عوارض معین شده هستند، که درآمد حاصل از اجرای سیاست می‌تواند در راستای توسعه و بهبود حمل و نقل همگانی شهر استفاده شود. با توجه به پیدید آمدن مشکل تراکم ترافیک در بیشتر شهرهای بزرگ ایران، به نظر می‌رسد، احساس نیاز به اجرای چنین طرح‌هایی در کلان شهرهای ایران نیز بسیار جدی است. از سئوالات اساسی در طراحی و اجرای این سیاست می‌توان به نحوه تعیین سطح عوارض اشاره کرد. تعیین پاسخ این سئوال به شیوه‌ای علمی می‌تواند افزایش دهنده اثرات مثبت طرح باشد. در این مقاله با فرض ادامه‌ی وضعیت فعلی گونه‌های حمل و نقل 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 به دست آمده است. نمودار عرضه با محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی که استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی به شبکه حمل و نقل شهر وارد می‌کنند، محاسبه شده 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^۱ 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^۲ و هزینه‌ی نهایی هر استفاده‌کننده^۳ بپردازند تا مازاد منافع عمومی^۴ بیشینه شود. مازاد منافع عمومی نیز به صورت 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 سوالات اساسی در سیاست قیمت‌گذاری شبکه این است که عوارض ورودی به چه میزان و در کجا دریافت شود؟ پژوهشگران بسیاری به حل این مسئله پرداخته‌اند. ژانگ و همکاران^۵، در پژوهش خود با استفاده از یک مسئله دوستطحی که سطح اول آن شبکه را به تعادل رسانده و محل محدوده را مشخص می‌کند و سطح بالای 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 ۲۰۱۰^۶) در مطالعه‌ی خود، یک مدل دوستطحی 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 حداقل 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،^۱ ۲۰۱۳) در مطالعه‌ی خود تلاش کرده است یک مدل برای حل مسئله قیمت‌گذاری محدوده مرکزی شهر براساس سرعت، برای شهرهایی که شاخص محاسبه عوارض برای نگهداشت 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. (داغانزو^۲ ۲۰۱۵) در مطالعه‌ی خود با ارائه یک مدل عملکرد شبکه بزرگ، اما نرم تک کالله، 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 بپردازنند) و روش عوارض گذاری تراکم متغیر بازمان (یعنی پرداخت عوارضی مبتنی بر طول سفر توسط هر کاربر) می‌پرداخته است. (لی^۳ ۲۰۱۴) 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 حمل و نقل پایدار کرده است. (کوریا^۴ ۲۰۱۵) 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^۵ ۲۰۱۵)، 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 ارائه شده دارای دو زیر مسئله است: ۱- سیستم تخصیص بهینه‌ی ترافیک پویا به شبکه ۲- قیمت‌گذاری پویای انتشار آلایندگان. 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 به عنوان ورودی مسئله استفاده می‌شود. (بروگر ۲۰۱۲)، 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. در حالی که اجرای این سیاست سبب افزایش مطلوبیت شبکه و بسیاری از اثرات مثبت دیگر در شیکه 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) 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 دوستخی 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 پس از آن همگرا شدن جواب‌های این روش حل را اثبات می‌کند.

۳- مبانی نظری

۳-۱- قیمت‌گذاری معابر

بیش‌تر شهرها با شلوغی ترافیک در ساعات پر ازدحام روبه رو هستند. در دهه‌های گذشته عبور و مرور وسائل 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 یک سو 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)

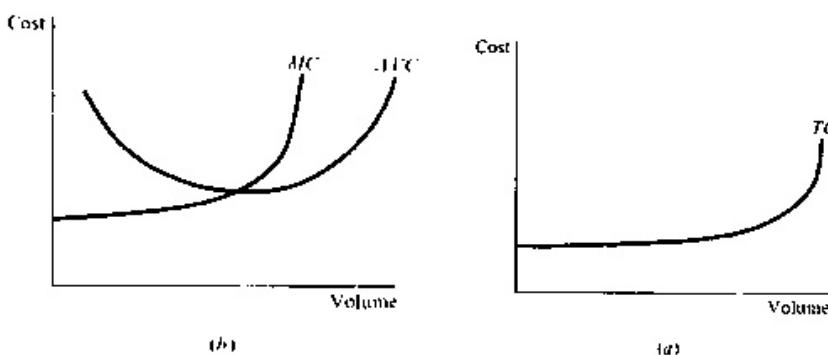
۳-۲- نمودار تقاضا

تابع تقاضای خرید مجاز 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 مجاز 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 می‌باشد 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 مشخص کننده هزینه‌ی به ازای هر نفر است و از تقسیم هزینه‌ی کل بر حجم ترافیک به دست می‌آید. تابع هزینه‌ی نهایی (X) MC 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 مجبور می‌شود سطح عوارض بالاتری وضع نماید. در ادامه شکل کلی نمودارهای این سه تابع در حمل و نقل آورده شده است (کنفانی^۱).

1. Kanafani, 1983



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

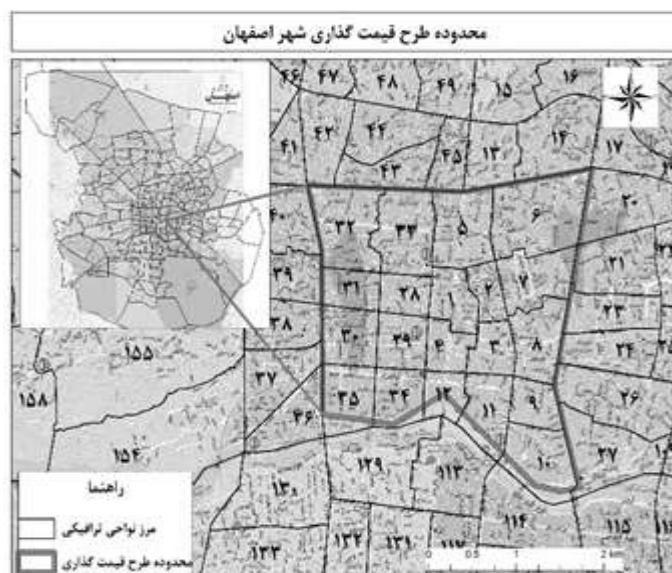
۳-۴- تعادل عرضه و تقاضا

مبناًی 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 مجاز 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 هزینه‌های که با اضافه شدن یک خودرو به استفاده کنندگان از خودروی شخصی در محدوده به هزینه‌ی سیستم اضافه می‌شود، برابر است با میزان عوارضی که این خودرو باید برای ورود به محدوده پردازد. با توجه به وجود طریقه‌های جایگرین حمل و نقل همگانی (اتوبوس و تاکسی) برای استفاده کنندگان، رانندگان خودروی شخصی در شرایط بازار، نسبت به خرید مجاز عبور یا انصراف از خودروی شخصی اقدام می‌کنند.

۴- مصاحبه رجحان بیان شده و رسم نمودار تقاضا

شهر اصفهان سومین شهر پر جمعیت 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، هائف، نشاط، چهارباغ خواجه، کمال اسماعیل و مطهری است که شمای کلی آن در شکل زیر نمایش داده شده است.



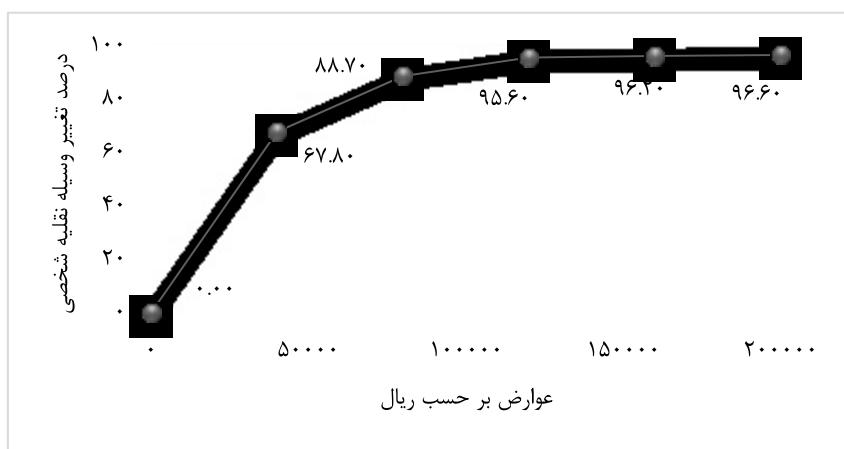
شکل ۲. محدوده قیمت‌گذاری شهر اصفهان

در این پژوهش برای بررسی تقاضای سفر رانندگان در شرایط قیمت‌گذاری 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 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 سؤال در مورد سطح عوارض بعدی پرسیده می‌شود. این ترتیب تا سطح عوارضی که فرد از سفر با خودروی شخصی انصاف 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 ...)	۷۲۲	۹۴۵	۱۰۱۸	۱۰۲۵	۱۰۲۹	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 هم‌فزاون 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.

$$p = \frac{e^{u_1}}{e^{u_1} + e^{u_2}} \quad (1)$$

در این رابطه U_1 مطلوبیت خودروی شخصی و U_2 مطلوبیت طریقه جایگزین است. براساس متغیر سطح عوارض ورود به محدوده، تابع مطلوبیت خودروی شخصی (U_1) برای شهر اصفهان، به صورت زیر به دست آمده است. در این مدل A5 عدد ثابت و Toll میزان عوارض ورود به محدوده است.

$$U_{car} = A5 - A6 * (\text{Toll}) \quad (2)$$

عارض ورود به محدوده

$A5$ و $A6$ ضرایب مدل

مدل لوجیت دوگانه انتخاب استفاده از خودروی شخصی با پرداخت عوارض ورود به محدوده و یا انصاف از خودروی شخصی و انتخاب طریقه جایگزین با نرمافزار N Logit ساخته شده، مدل مطلوب با لاحظ شاخص‌های آماری جدول ۳ به صورت زیر به دست آمده است:

$$U_{car} = 0.04424 - 0.000224 * (\text{Toll}) \quad (3)$$

جدول ۱. آزمون‌های اماری مدل

Log likelihood function	-۳۹۰۲/۸۶۱۱۸
Restricted log likelihood	-۵۴۷۱/۱۱۸۰۰
Chi squared [1 d. f.]	۳۱۳۶/۵۱۳۶۴
Model Sign. Level	.00000
McFadden Pseudo R-squared	.02866428
ρ^2 مدل	.029
آزمون t عدد ثابت	1/17
آزمون t متغیر Toll	-41/30
آزمون t Sign. Level	.0000

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 رابطه ۴ محاسبه می‌شوند (ارتوزار، ۲۰۱۱):

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta) - df}{LL(0)} \quad (4)$$

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

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

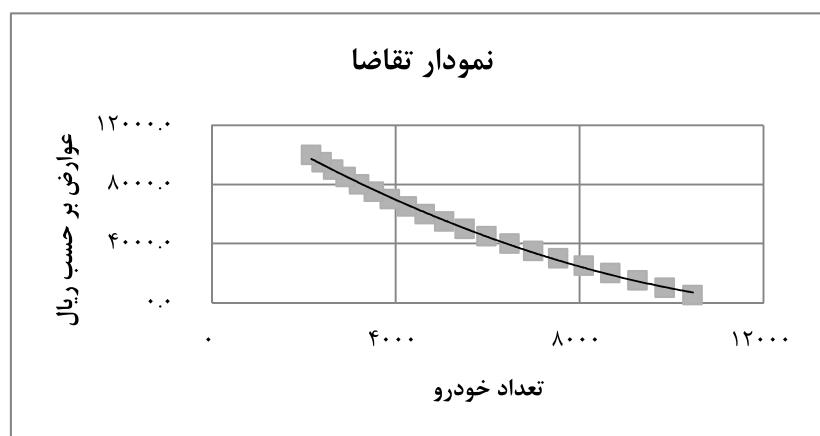
$LL(C)$: مقدار لگاریتم تابع درستنمایی در حالتی که تنها ثابت‌های ویژه گزینه‌ها در تابع مطلوبیت وجود داشته باشند

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

همچنین آزمون نسبت درستنمایی کای دو با آماره‌ی $(-2(LL(0) - 2(LL(\beta))) \sim \chi_k^2$

یعنی تعداد پارامترهای مدل است (ترين ۹۰۰۲). در ادامه با استفاده از خروجی این مدل با عوارض متفاوت نمودار تقاضا مطابق

شکل ۴ ترسیم شده است. بر این اساس این نمودار برای عوارض‌های ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ 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 شیوه حمل و نقل 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 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 استفاده کننده 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 به عنوان هزینه‌های اجتماعی در نظر گرفته شده است.

برای محاسبه شاخص شلوغی، مجموع زمان سفر خودروی شخصی در ارزش زمان سفر آن (۵۰۰۰ ریال) ضرب شده است تا به نحوی نمایش دهنده‌ی 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 NO_x, CO, HC در نظر گرفته شده است که با توجه به هزینه‌ی اعلام شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۸۱، این هزینه‌ها^۱ برای سال ۱۳۹۴ به دست آمده است. برای محاسبه‌ی میزان تولید این آلاینده‌ها، روابط ارائه شده در مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان به کار رفته است. این روابط میزان آلودگی را بر حسب گرم بر کیلومتر براساس سرعت متوسط V برای وسائل نقلیه مختلف به دست می‌آورند.

$$CO_{car,taxi,vanet} = 127.64 - 2.68V + 0.016V^2 + \frac{160.12}{V} \quad (5)$$

$$HC_{car,taxi,vanet} = \frac{6.06}{0.1V} + 0.00056V^2 + \frac{42.57}{V} \quad (6)$$

$$NOX_{car,taxi,vanet} = 0.7 + \frac{1.92}{1+93.5e^{-0.049V}} \quad (7)$$

۱ .Transcad

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

$$HC_{car,taxi, vanet} = \frac{6.06}{0.1V} + 0.00056V^2 + \frac{42.57}{V} \quad (8)$$

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

جدول ۲. تعاریف کلیه شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش

هزینه	نحوه محاسبه	تعریف	هزینه
۵۰۰۰۰ ریال هر ساعت	خروجی زمان سفر نرم افزار ضربدر ارزش زمان سفر	ارزش ریالی زمان سفر افراد در ترافیک	شلوغی
۱۸۳۸۶ هزار ریال بر تن (Co)	محاسبه میزان هر الیندہ با استفاده از روابط مطالعات	ارزش ریالی معادل تبعات آلودگی هوای ناشی از آلیندہ‌های CO; NOX; HC	آلودگی هوای
۵۸۸۳۶ هزار ریال بر تن (No _x)	جامع برای هر کیلومتر ضربدر خروجی کیلومتر		
۲۰۵۹۲ هزار ریال بر تن (Hc)	نرم‌افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی		
۲۴۹ ریال بر کیلومتر	خروجی کیلومتر نرم افزار ضربدر هزینه‌ی ریالی	ارزش ریالی معادل تبعات آلودگی صوتی ناشی از حمل و نقل	آلودگی صوتی
۲۰۸ ریال بر کیلومتر	هزینه‌های ناشی از تصادفات و سوانح رانندگی شامل فوت، جرح و خسارات مالی		تصادفات
۱۷ ریال بر کیلومتر	هزینه‌های جاری مانند راهنمایی رانندگی و معاونت حمل و نقل و غیره		خدمات ترافیکی
۱۷۲ ریال بر کیلومتر	هزینه‌ی ساخت و نگهداری از تسهیلات مختلف حمل و نقلی		تسهیلات
۱۷ ریال بر کیلومتر	هزینه‌ی ناشی از اسقاط کردن قطعات وسایل نقلیه		جمع‌آوری زباله

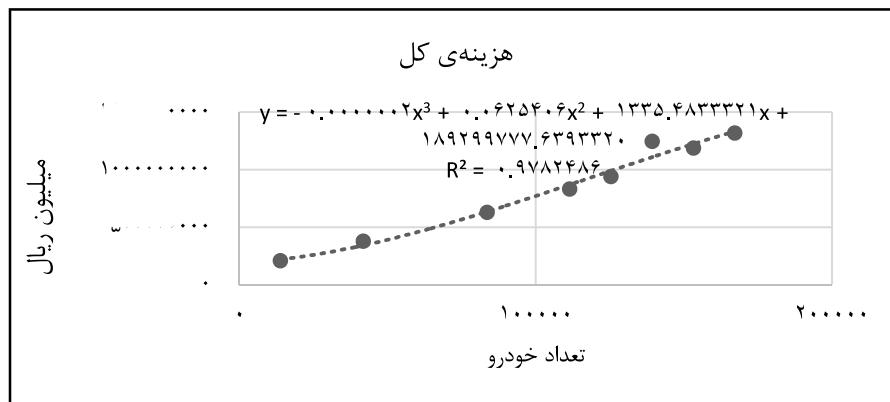
برای رسم نمودارهای عرضه، ابتدا ماتریس سفر وضع موجود به شبکه تخصیص داده شده و هزینه‌های اجتماعی تردد خودورها در وضع موجود محاسبه شده است. سپس در ۸ حالت مختلف افزایش و کاهش ماتریس سفرها، تخصیص ترافیک دوباره انجام و هزینه‌های اجتماعی هر حالت محاسبه شده است. این حالات سفر عبارت‌اند از: وضع موجود به اضافه‌ی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

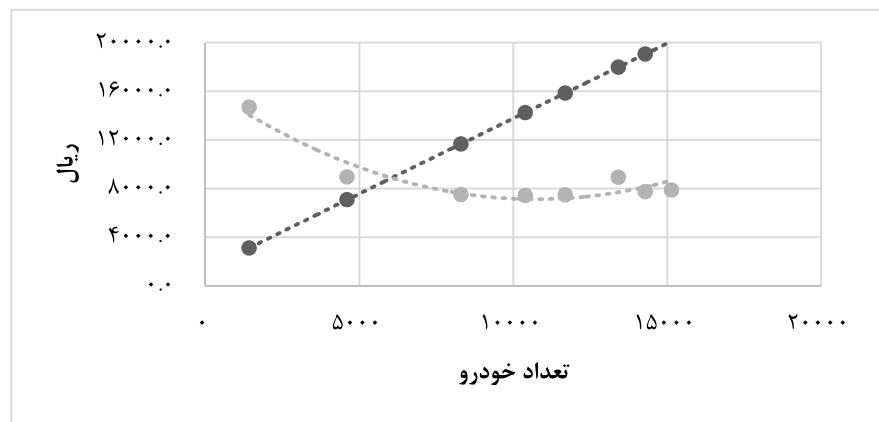
جدول ۳. مجموع هزینه‌های اجتماعی در حالات مختلف حجم سفر

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



شکل ۵. نمودار هزینه‌ی کل

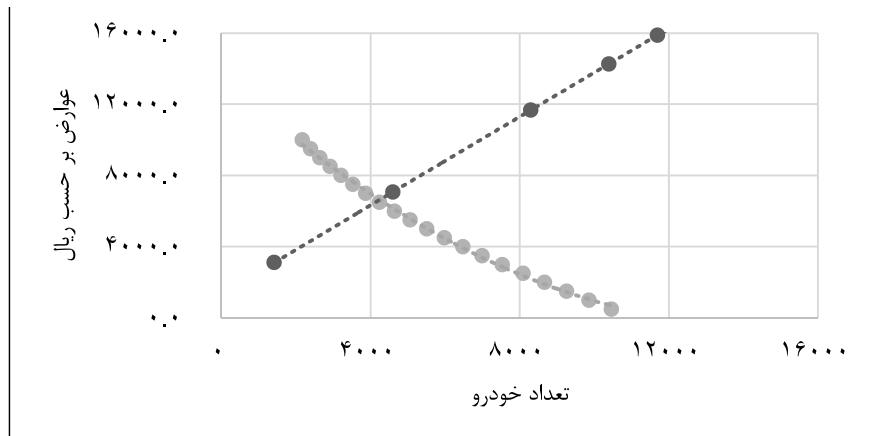
همان‌طور که از نمودار بالا قابل مشاهده است (بزرگ‌تر بودن اعداد در محورهای عمودی و افقی نسبت به نمودارهای هزینه‌ی متوسط و هزینه‌ی نهایی) نمودار هزینه‌ی کل برای کل شهر ترسیم شده است. با تقسیم هزینه‌ی کل به خروجی (منظور از خروجی تعداد خودرو در حال تردید در شهر که از خروجی نرم افزار تخصیص به دست می‌آید)،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



شکل ۶. نمودارهای هزینه‌ی متوسط و هزینه‌ی نهایی

۶- تعادل عرضه و تقاضا و تعیین عوارض

با تقطّع دادن نمودارهای هزینه‌ی نهایی به عنوان نمودار عرضه و نمودار تقاضا، نقطه‌ی تعادل به دست آمده 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 بر حسب خودرو و واحد محور عمودی عوارض بر حسب ریال است. عوارض به دست آمده 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 به دست آمده 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 محدوده 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 به دست آمده از پرسشنامه‌های تمایل به پرداخت رانندگان و پرداخت یک مدل لوจیت به دست آمده است. نمودار عرضه نیز با تخصیص تعداد خودرو در حالات مختلف و محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی (شامل هزینه‌های: شلوغی، آلدگی هوا، آلدگی 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 به دست آمده است. در این سطح عوارض به دست آمده، حدود ۷۵ درصد استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی از سفر با خودروی شخصی انصاف 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. ۴۹-۲۳(۲۷)، ۱۱.
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.