مهندسی عمران شریف، ویژه‌ی حمل و نقل شهری
دوره‌ی ۲-۲۷، شماره‌ی ۳، ص. ۷۳-۸۱، (یادداشت فنی)

ارزیابی اقتصادی تأمین زیرساخت‌های حمل و نقل در کریدورهای متراکم شهری (مطالعه‌ی موردی: بزرگراه صدر)

محمود صفارزاده (استاد)
بابک میربها (دانشجوی دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس

هزینه‌های مختلفی همچون آلودگی و تراکم موجب عدم شفافیتِ منافع احداث زیرساخت‌های حمل‌ونقلی و عدم کفایت هزینه‌های اولیه‌ی احداث به‌عنوان معیارهای اصلی مقایسه‌ی اقتصادی گزینه‌ها شده است. در این پژوهش با انجام یک مطالعه‌ی موردی، تعامل با چنین مشکلاتی بررسی شده است. آلودگی و تراکم به‌عنوان دو هزینه‌ی خارج از جیب معرفی شد و سه رویکرد «حفظ وضع موجود»، «احداث مسیر غیر هم‌سطح» و «احداث خط مترو» به‌عنوان گزینه‌های احتمالیِ تعامل با مشکلات ترافیکیِ وضع موجود معرفی شدند. نتایج حاصله بیان‌گر منافع ۱۷ درصدی (نسبت به کل هزینه‌ی احداث خط) ناشی از احداث خط مترو در سال افق طرح، بدون درنظر گرفتن ضرایب تعدیل بود. این مقدار برای گزینه‌ی تونل برابر ۹درصد به دست آمد. ضمناً نتایج نشان‌دهنده‌ی این مهم بود که تصمیمات مبتنی بر هزینه‌های ساخت اولیه زیرساخت‌ها، بدون در نظر گرفتن منافع و هزینه‌های خارج از جیب آن‌ها، قابل ارزیابی صحیح نیست.

واژگان کلیدی: تحلیل سود ـ هزینه، هزینه‌ی خارج از جیب، هزینه‌ی آلودگی، ارزش زمانی.

saffar_m@modares.ac.ir
bmirbaha@gmail.com

۱. مقدمه

شناسایی و اجرای شیوه‌های حل تراکم ترافیک همواره مشکل بوده است. راه‌حل‌هایی که مستلزم صرف هزینه‌های اولیه‌ی زیادی هستند، مانند توسعه‌ی ظرفیت از طریق ساخت راه‌های جدید، اگرچه در برخی شرایط مطلوب و مناسب‌اند متضمن هزینه‌های سنگینی هستند و غالباً تأثیرات منفی زیادی بر محیط زیست و کیفیت زندگی می‌گذارند. برای کاهش تراکم ترافیک، دولت و تصمیم‌گیران شهری باید بین ساخت زیرساخت‌های جدید و کلیدی و بهره‌گیری از روش‌های مدیریت ترافیک تعادل برقرار کنند.[۱]

یکی از اجزای کلیدی سیاست‌گذاری حمل‌ونقل کارآمد، تخمین صحیحِ هزینه‌های کلیِ سفر است. این اطلاعات قطعاً می‌تواند در زمان تخصیص منابع بسیار مؤثر باشد. در سرمایه‌گذاری برای بهبود حمل‌ونقل، شناسایی هزینه‌ها و منافع آن‌ها با توجه به چندبعدی بودن‌شان مستلزم فرایند پیچیده‌یی است.[۲] هدف اصلی سرمایه‌گذاری در حمل‌ونقل، بهبود شرایط سفر است که به‌صورت چندبعدی (کاهش زمان سفر، ایمنی، قابلیت دسترسی و قابلیت اتکا) بیان می‌شود. اما منافع حاصل از تخصیص این هزینه‌ها بیشتر و وسیع‌تر از آن چیزی است که بدان اشاره شد.[۳] بهبود وضعیت تجارت و تأثیر غیرمستقیم آن بر رشد اقتصادی ازجمله‌ی این منافع است.

شهر تهران با حدود هشت میلیون نفر جمعیت ساکن، و بیش از یک میلیون نفر جمعیت شناور، بزرگ‌ترین شهر ایران و پرجمعیت‌ترین شهر خاورمیانه به شمار می‌آید. روزانه بیش از دومیلیون وسیله‌ی نقلیه در معابر این شهر تردد می‌کنند و بیش از پانزده‌میلیون سفر در آن انجام می‌شود. در حال حاضر سهم طول بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها در شهر تهران ۱۳/۷٪، مسیرهای شریانی ۲۸/۲٪، دسترسی محلی و جمع‌کننده ۵۱/۵٪ و رمپ و لوپ‌ها ۶/۶٪ است که براساس طرح تفصیلی شهر تهران این مقادیر در سال افق (۱۴۰۴) می‌بایست به ۲۰٪ برای بزرگراه‌ها، ۲۶٪ برای مسیرهای شریانی، ۴۴٪ دسترسی محلی و جمع‌کننده و ۱۰٪ برای رمپ و لوپ‌ها برسد. سرعت هم‌سنگ سواری در بزرگراه‌ها ۳۵/۵ کیلومتر بر ساعت و در مسیرهای شریانی برابر ۱۷ کیلومتر بر ساعت تعیین شده است. اطلاعات و آمار ارائه‌شده بیان می‌دارند که سهم عمده‌یی از معابر مواصلاتی شهر در حالت بحرانی یا در آستانه‌ی ظرفیت قرار دارند.[۴]

یکی از بارزترین مشکلات فعلی، عدم تناسب ظرفیت معابر موجود با تقاضای جابه‌جایی روزانه است. به‌طور مثال، بزرگراه‌های همت، رسالت-حکیم، صدر-بابایی جزو معدود معابر شریانی شهر تهران‌اند که جابه‌جایی‌های شرقی-غربی شهر تهران را به عهده دارند. استقرار شهر یا شهرک‌هایی همچون کرج، رودهن، پردیس در غرب یا شرق شهر تهران، و نیز استقرار پرجمعیت‌ترین مناطق شهر تهران ــ مناطق ۴ و

تاریخ: دریافت ۱۳۹۰/۷/۳۰، اصلاحیه ۱۳۹۰/۹/۱، پذیرش ۱۳۹۰/۹/۳۰.

۵ شهرداری ــ در شرقی‌ترین و غربی‌ترین نقطه‌ی تهران مولد بیشترین مقدار سفر در شهر تهران‌اند، و از این‌رو عرضه‌ی تسهیلات جابه‌جایی در راستای شرق به غرب ضرورت می‌یابد. اما همواره نحوه‌ی عرضه‌ی این تسهیلات مورد سؤال بوده است. قطعاً در محدوده‌ی شهری به‌دلیل توسعه‌ی مناطق مسکونی و تجاری، ایجاد یک مسیرِ جدید امری است بسیار مشکل و پرهزینه که بعضاً انجام آن به‌دلیل مشکلات عدیده‌ی اجرایی غیرممکن است. از این‌رو لازم است گزینه‌های مطروحه برای رفع چنین مشکلی از دیدگاه‌های مختلف و با توجه به تمامی نکات فنی و اقتصادی در نظر گرفته شود. موضوع اصلی این پژوهش نیز به نحوه‌ی تصمیم‌گیری در ارتباط با چنین مشکلاتی اختصاص دارد.

در ادامه‌ی این پژوهش و پس از مروری بر ادبیات تحقیق، توضیحاتی در ارتباط با روش انجام تحقیق ارائه خواهد شد. سپس یک نمونه‌ی موردی در شهر تهران ــ بزرگراه صدر ــ مورد مطالعه قرار خواهد گرفت؛ برای این منظور پس از تحلیل وضع موجود و تبیین مشکلات و محدودیت‌ها در جهت بهبود شرایط، چند سناریوی امکان‌پذیر تعریف خواهد شد. سپس با رویکرد سود به هزینه و بررسی فرصت‌ها و تهدیدهای هر جهت نسبت به اولویت‌بندی راهکارها اقدام می‌شود.

۲. ادبیات تحقیق

تحلیل سود ـ هزینه یکی از مهم‌ترین دیدگاه‌ها برای تصمیم‌گیران در راستای اندازه‌گیری تأثیرات کلیدی پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل و اولویت‌بندی آن‌ها در مقایسه با سایر گزینه‌های پیشنهادی است.[۵] دیدگاه سود به هزینه، در تعریف کلاسیک آن، با در نظر گرفتن عوامل مختلف سود و هزینه، و با استفاده از پارامترهای ارزش‌گذاری همه‌ی آن‌ها را تبدیل به واحدهای مالی می‌کند.[۶]

علاوه‌بر روش سود ـ هزینه، دیدگاه‌های مختلفی برای ارزیابی پروژه‌های حمل‌ونقلی وجود دارد که روش تحلیل چندمعیاره، تحلیل هزینه‌ی دوره‌ی زندگی، روش‌های مبتنی بر تحلیل شرایط اجتماعی و محیط زیستی از آن جمله‌اند.

بانیستر و برچمن[۱] تشریح کردند که تفاوت بین تحلیل سود ـ هزینه با سایر روش‌ها در نوع روش و دیدگاه آن‌هاست. در تحلیل سود ـ هزینه معیارهایی کاربرد دارند که با اهداف خاص پروژه‌ی پیشنهادی مرتبط‌اند، در حالی که سایر روش‌ها معمولاً از معیارهایی با گستردگی بیشتر و در ارتباط با دیدگاه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی بهره می‌برند. علاوه بر این، تحلیل سود ـ هزینه از معیارهای کمّی مانند افزایش حجم و زمان سفر بهره می‌گیرند، در حالی که روش‌های دیگر معمولاً از معیارهای کیفی‌تر استفاده می‌کنند.

در زمینه‌ی تحلیل سود ـ هزینه چهار روش معمول وجود دارد: روش ارزش فعلی خالص (NPV)[۲]، نسبت سود به هزینه (B/C)، هزینه‌های یکنواخت معادل سالیانه (EUAC) و نرخ داخلی بازگشت (IRR). استفاده از هریک از این روش‌ها عمیقاً به سطح تحلیل و درجه‌ی عدم اطمینانِ برخی پارامترها وابسته است. بانیستر و برچمن نشان دادند که روش نسبت سود به هزینه معمول‌ترین روش برای پروژه‌های حمل‌ونقل است و از همین‌رو، از این روش نیز در تحقیق فعلی استفاده خواهد شد.[۷]

مشکل به‌کارگیری این روش برای پروژه‌های حمل‌ونقل ــ علی‌رغم محلی‌بودن بسیاری از پروژه‌های حمل‌ونقل ــ گستردگی منافع آن‌ها در محدوده‌یی وسیع‌تر از حوزه‌ی تأثیر مستقیم‌شان است. در ارتباط با محدودیت‌های آنالیز تسهیلات و زیرساخت‌ها مطالعات اندکی انجام شده است. به‌طور مثال در مطالعه‌یی صرفاً به این نکته اشاره شد که منظور از منافع وسیع‌تر، منافعی است که خارج از مرز جغرافیایی مطرح می‌شود،[۸] یا درنظرگرفتن تأثیرات شبکه ممکن است موجب کاهش یا افزایش منافع نسبت به تعیین منافع برای یک کمان تکی شود.[۹]

دیگر محققین نیز نشان دادند که زیرساخت‌های حمل‌ونقلی نه‌تنها بر منطقه‌ی خود، بلکه بر مناطق نزدیک یا متصل به آن نیز تأثیر قابل توجهی دارند.[۱۰] همچنین تأثیراتِ احداث این زیرساخت‌ها بر ایجاد یا بهبود شغل‌ها، در بلندمدت قابل محاسبه است.[۱۱]

۳. تعیین متدولوژی و روش انجام تحقیق

یکی از مهم‌ترین مشکلات در تحلیل آثار ساخت یک مسیر جدید، یا بهسازی و تعریض آن، محدودیت‌های مربوط به تعیین تأثیر این پروژه‌ها بر الگوی ترافیک است. از این‌رو لازم است نسبت به پیش‌بینی ترافیک القاییِ ناشی از تغییرات اقدام شود. بنابراین نکته‌ی اصلی در اینجا نحوه‌ی ارزیابی این تغییرات در جهت تعیین منافع ناشی از آن است.

به‌منظور درنظرگرفتن آثار ناشی از تغییرات مورد نظر در شبکه، استفاده از نتایج مدل‌های کلان‌نگرا در جهت تخمین میزان تقاضای ناشی از این تغییرات در شبکه‌ی مورد مطالعه حائز اهمیت است.[۱۲] بنابراین از نتایج گزارش شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران ــ که در سال افق طرح شهر تهران نسبت به تخصیص تقاضای تغییرات مورد نظر در سال افق طرح ۱۴۰۴ اقدام کرده ــ استفاده خواهد شد. نتایج شبکه‌ی مورد مطالعه در دو حالت عدم انجام کار و افزایش ظرفیت به انجام رسیده است که مقایسه آن‌ها نشان‌دهنده‌ی وضعیت تقاضای معابر مورد نظر و همچنین تعیین تقریبی میزان تراکم و طول صف خواهد بود. پس از تعیین این تفاوت‌ها، می‌توان نسبت به تعیین تقریبی هزینه‌ها اقدام کرد.

هزینه‌هایی که در این مطالعه مدنظر قرار خواهد گرفت، عبارت‌اند از: ۱. هزینه‌های تراکم؛ ۲. هزینه‌ی آلودگی وسایل نقلیه. نحوه‌ی تعیین این هزینه‌ها مبتنی بر تحقیقاتی است که محققین براساس اطلاعات حاصل از سازمان حمل‌ونقلِ ایالت نیوجرسی و سایر ایالات آمریکا و منابع بین‌المللی، به دست آورده‌اند.[۱۰و۱۳] نحوه‌ی تعیین هزینه‌های تراکم و آلودگی به‌صورت روابط ۱ الی ۴ است:

$$C_{cong} = Q\frac{d_{a,b}}{V_o}\left(1 + 0/15\left(\frac{Q}{C}\right)^4\right)VOT \quad if\ Q \le C \qquad (1)$$

$$C_{cong} = Q\frac{d_{a,b}}{V_o}\left(1 + 0/15\left(\frac{Q}{C}\right)^4\right)VOT + Q\left(\frac{Q}{C} - 1\right)\frac{VOT}{2}$$
$$if\ Q \succ C \qquad (2)$$

از رابطه‌ی ۱ در شرایطی استفاده می‌شود که میزان جریان وسایل نقلیه هنوز به مرز ظرفیت معبر نرسیده باشد. چنانچه جریان مساوی یا بیشتر از ظرفیت باشد، از رابطه‌ی دوم استفاده می‌شود. هزینه‌های آلودگی ناشی از جابه‌جایی خودروها مطابق رابطه‌ی ۳ تعیین می‌شود:

$$TC_{air} = Q(0/01094 + 0/2155F) \qquad (3)$$

که در آن TC_{air} نشان‌دهنده‌ی هزینه‌ی ناشی از آلودگی است و F عبارت است از:

$$F = 0/0723 - 0/00312V + 5/403 \times 10^{-5}V^2 \qquad (4)$$

Q حجم وسایل نقلیه در ساعت (veh/h)، $d_{a,b}$ مسافت (مایل)، C ظرفیت معبر (veh/h)، VOT ارزش زمانی (\$/h)، V_O سرعت جریان آزاد (mph)، a سن وسایل نقلیه (سال)، F میزان مصرف سوخت (گالن در واحد مایل)، V سرعت متوسط (mph).

با توجه به مواردِ عنوان‌شده، لازم است مفروضاتِ محاسباتِ انجام‌شده در این پژوهش نیز تعیین شود. این مفروضات عبارت‌اند از:

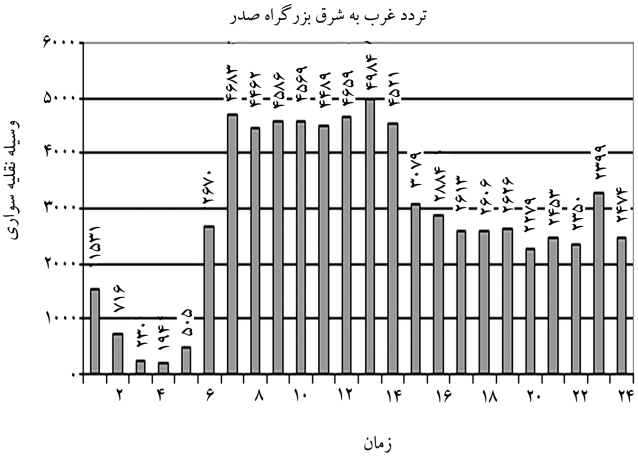
الف) زمان ارزیابی. براساس اطلاعات ارائه‌شده توسط محققین، دوره‌ی زمانی برای ارزیابی پروژه‌های حمل‌ونقل بین ۱۵ تا ۴۰ سال است؛ در این مطالعه دوره‌ی ۱۵ ساله (یعنی حد فاصل سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۴) انتخاب می‌شود.[۱۴]

ب) نرخ بهره‌ی پول. از این عامل برای تبدیل هزینه‌های آتی و منافعی که در سال‌های مختلف روی می‌دهد به‌منظور مقایسه با ارزش سال اول پروژه (ارزش فعلی) استفاده می‌شود. متوسط نرخ تورم در هر سال ۱۰ درصد فرض می‌شود.

ج) ارزش وقت. ارزش وقت براساس متوسط درآمد افراد جامعه تعیین شده است. با توجه به متوسط درآمد افراد جامعه که در حدود پانصدهزار تومان است، می‌توان ارزش وقت افراد در ساعات کاری را حدود ۲۸۰۰ تومان تعیین کرد.

۴. مطالعه موردی

بزرگراه صدر به‌عنوان تنها مسیر شریانی شرقی ـ غربی که معابر شمال و شمال شرقی تهران را از طریق بزرگراه مدرس به مناطق مرکزی و جنوبیِ آن متصل می‌کند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در شکل‌های ۱ و ۲ وضعیت تردد وسایل نقلیه عبوری در ساعات مختلف شبانه روز در بزرگراه صدر نشان داده شده است. براساس آمار موجود، بیشترین ساعات جریان حمل‌و نقل در هر دو جهتِ بزرگراه، در ساعات ابتدایی تا ساعات میانی روز است. با این حال، کاهش جریان در ساعات عصر، نه به‌دلیل کاهش تردد بلکه ناشی از افزایش قابل توجه تقاضا نسبت به عرضه است. افزایش شدید چگالی در این بزرگراه در ساعاتِ عصرگاهی به کاهش سرعت تردد وسایل نقلیه و درنتیجه افت شدید جریان می‌انجامد. با توجه به موقعیت استراتژیک بزرگراه صدر، و این که تاکنون گزینه‌های مختلفی برای افزایش عرضه به‌منظور سهولت دسترسی شمال و شمال شرق تهران به بخش‌های مرکزی مطرح شده، در این تحقیق بزرگراه صدر به‌عنوان یک مطالعه‌ی موردی مناسب انتخاب شده است. لازم به ذکر است که گزینه‌های دوطبقه‌کردن این بزرگراه، به‌صورت تونلی یا روگذر، طی دو سال اخیر نیز مطرح بوده و همواره نیاز به چنین مطالعاتی برای این بزرگراه احساس می‌شد.



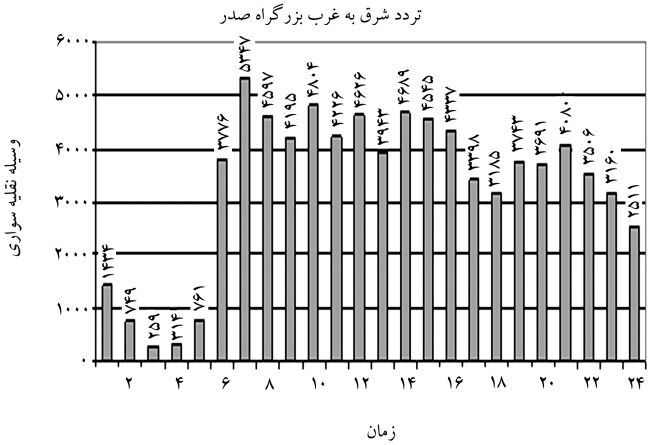
شکل ۱. وضعیت تردد مسیر غرب به شرق بزرگراه صدر در محدوده‌ی مورد مطالعه، طبق آماربرداری سال ۱۳۸۹.[۴]

نتایج حاصل از برداشت آمار مبداء ـ مقصد در ورودی و خروجی‌های بزرگراه صدر عبارت است از:[۴]

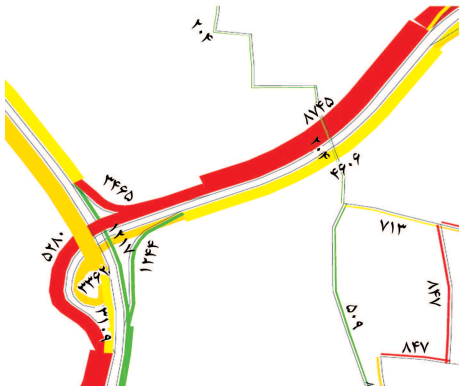
- ۳۳٪ کل خودروهایی که از بزرگراه مدرس (شمال و جنوب) وارد مسیر غرب به شرق بزرگراه صدر می‌شوند، قبل از خروجی کامرانیه از این بزرگراه خارج می‌شوند؛
- ۱۸٪ کل خودروهایی که از بزرگراه مدرس (شمال و جنوب) وارد بزرگراه صدر به سمت شرق می‌شوند از خروجی کامرانیه از مسیر اصلی بزرگراه خارج می‌شوند؛
- ۵۷٪ خودروهایی که در مسیر شرق به غرب وارد بزرگراه صدر می‌شوند از انتهای غربی این بزرگراه خارج می‌شوند و عملاً از بزرگراه صدر صرفاً برای دسترسی به سایر نقاط استفاده می‌کنند، نه برای دسترسی به ورودی‌های و خروجی‌های موجود در بزرگراه.

از نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت بیش از ۵۰٪ خودروهایی که از ابتدای بزرگراه صدر در مسیر غرب به شرق وارد می‌شوند قصد ادامه‌ی مسیر تا کامرانیه و ادامه‌ی مسیر بزرگراه صدر را دارند.

آماری که تاکنون ارائه شد نشان‌دهنده‌ی وضعیت موجود تردد در بزرگراه صدر است.



شکل ۲. وضعیت تردد مسیر شرق به غرب بزرگراه صدر در محدوده‌ی مورد مطالعه، طبق آماربرداری سال ۱۳۸۹.[۴]



شکل ۳. وضعیت برآورد حجم هم‌سنگ سواری بزرگراه صدر در سال ۱۳۸۹.[۱۵]

جدول ۱. شاخص‌های ترافیکی وضعیت موجود در بزرگراه صدر در زمان اوج صبح (مسیر غرب به شرق).

پارامتر	واحد	مقدار
زمان تأخیر	Seconds/km	۴۴٫۹۴
چگالی	Veh/km/ln	۳۵٫۸۰
جریان	Veh/h	۲۲۰۱۷
سرعت	Km/h	۴۱٫۵۹
زمان توقف	Seconds/km	۳۳٫۴۴
کل مسافت طی شده	Km	۶۵۸۳۰٫۲
کل زمان سفر	Hours	۲۰۳۱٫۶
زمان سفر	Seconds/km	۱۱۰٫۹۶۳

در ارتباط با وضعیت تقاضای این معبر در وضعیت موجود، شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی برآورد حجم هم‌سنگ سواری معبر مورد مطالعه در سال ۱۳۸۹ است. بررسی شرایط فعلی نشان می‌دهد که بزرگراه صدر براساس برآورد حجم هم‌سنگ سواری یک ساعت اوج صبح دارای بیش از ۸۷۰۰ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری است؛ مقایسه‌ی این وضعیت با ظرفیت این بزرگراه در شرایط فعلی (۳ خط ترافیکی در مقطع)، حاکی از سرویس‌دهی نامناسب این بزرگراه در مسیر شرق به غرب است.

جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی نتایج شبیه‌سازی خرد انجام‌شده براساس آمار وضع موجود بزرگراه صدر است[۳]. همانطورکه مشخص است زمان تأخیر در حدود ۴۵ ثانیه در کیلومتر است. همچنین چگالی کل مسیر برابر ۳۵ وسیله‌ی نقلیه بر کیلومتر برخط است. میزان چگالی با اتکا به آیین‌نامه‌ی ظرفیت راه‌ها مؤید سطح سرویس F برای کل شبکه خواهد بود و نیاز به اصلاحات ترافیکی به‌منظور افزایش ظرفیت تردد موجود در این بزرگراه برای سال‌های آتی خواهد بود.

در این شبیه‌سازی زمان‌های توقف برابر ۳۳٫۴ ثانیه بر کیلومتر بوده که نشان می‌دهد در خیابان‌ها و محل‌های اطراف بزرگراه (ورودی‌های و خروجی‌ها) مقدار زمان توقف بیشتر از بزرگراه است. زمان سفر برای هر کیلومتر از مسیر نیز برابر ۱۱۰٫۹ ثانیه است که با توجه به تأخیر زیادی که در تردد وسایل نقلیه عبوری وجود دارد، قابل توجه ارزیابی می‌شود.

شکل ۴ نشان‌دهنده‌ی وضعیت تقاضای بزرگراه صدر در سال افق ۱۴۰۴ و در شرایط احداث تونل صدر ـ نیایش (در حال اجرا) است. چنان که مشاهده می‌شود، در این شرایط تقاضای تردد در بزرگراه صدر افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

شکل ۴. وضعیت برآورد حجم هم‌سنگ سواری بزرگراه صدر در سال ۱۴۰۴.[۱۵]

تسهیل انجام حرکات غرب به شرق موجب افزایش تقاضای تردد وسایل نقلیه‌ی شخصی در این معبر خواهد شد. جدول ۲ نتایج مربوط به شبیه‌سازی براساس آمارِ حاصل از ساعت اوج صبح را نشان می‌دهد. پارامترهای ترافیکی در این شرایط با وضعیت بسیار بدتری مواجه‌اند.

جدول ۳ نشان‌دهنده‌ی وضعیت مقایسه‌یی پارامترهای ترافیکی در سال ۱۳۸۹ و سال افق طرح (در شرایط عدم انجام کار) است. با توجه به موارد یادشده، مشکلات ترافیکی مرتبط با بزرگراه صدر را می‌توان چنین خلاصه کرد:

۱. تقاضای بالاتر از ظرفیت تردد به بزرگراه صدر؛

۲. فقر معابر جایگزین شریانی در مناطق شمالی و شمال شرقی تهران؛

۳. تعدد دسترسی‌های معابر شریانی به بزرگراه صدر، و درنتیجه افزایش حرکات تداخلی و تشکیل صف در بزرگراه صدر.

به‌منظور روان‌تر شدن ترافیک و کاهش تأخیر در این بزرگراه و معابر متأثر از آن، فرض شده که با توجه به یکی از روش‌هایی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، نسبت به کاهش تراکم و افزایش کارایی معبر صدر اقدام می‌شود.

۱. افزایش ظرفیت جابه‌جایی با به‌کارگیری روش‌های توسعه‌ی بزرگراه به‌صورت هم‌سطح: در این روش گزینه‌های هم‌سطح برای افزایش عرضه به‌منظور انجام حرکات غربی ـ شرقی مد نظر قرار می‌گیرد.

۲. به‌کارگیری روش‌های غیرهم‌سطح برای افزایش ظرفیت جابه‌جایی: در این راستا، تأمین جابه‌جایی با استفاده از افزایش ظرفیت به‌صورت غیرهم‌سطح با مسیر اصلی بزرگراه مد نظر قرار می‌گیرد.

جدول ۲. شاخص‌های ترافیکی بزرگراه صدر در سال ۱۴۰۴ برای گزینه‌ی عدم انجام کار (مسیر غرب به شرق).[۴]

پارامتر	واحد	مقدار
زمان تأخیر	Seconds/km	۹۲٫۵۸
چگالی	Veh/km	۵۴٫۰۱۶۹
جریان	Veh/h	۲۷۳۴۸
سرعت	Km/h	۳۰٫۵۸
زمان توقف	Seconds/km	۶۳٫۴۷۸
مجموع مسافت طی شده	Km	۷۴۲۱۰٫۴
کل زمان سفر	Hours	۳۰۸۳٫۳۱
زمان سفر	Seconds/km	۱۵۸٫۵۸۱

جدول ۳. مقایسه‌ی پارامترهای ترافیکی در سال افق طرح و سال مبنا در شرایط عدم انجام کار (مسیر غرب به شرق)[۴].

پارامتر	مقدار
زمان تأخیر	↑ ٪۱۰۶
چگالی	↑ ٪۵۱
سرعت	↓ ٪۲۶
زمان سفر	↑ ٪۴۳

۳. احداث خط مترو در خط سیر بزرگراه، با هدف کاهش تقاضای تردد وسایل نقلیه‌ی شخصی و درنتیجه افزایش کارایی بزرگراه.

در ادامه‌ی این پژوهش، منافع و هزینه‌های تخمینی هر یک از روش‌های مذکور بررسی و تحلیل می‌شود.

۵. تحلیل گزینه‌ها

در این قسمت، سه گزینه‌ی اصلی که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد:

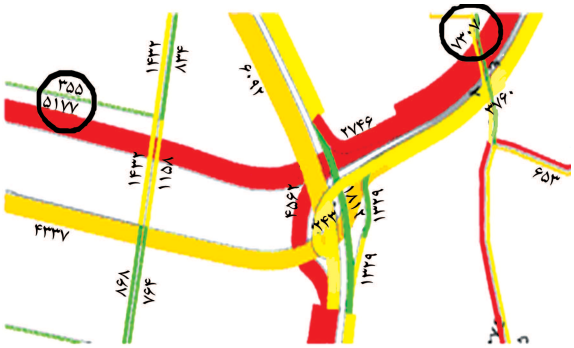
۱.۵. گزینه‌های هم‌سطح

عموماً ایجاد مسیرهای شریانی در شهرهای توسعه‌یافته، به‌دلیل هزینه‌های بالای تملک اراضی، چندان گزینه‌ی منطقی به نظر نمی‌رسد. طرح ایجاد بزرگراهی به‌موازات بزرگراه صدر و در مجاورت آن که مانند این بزرگراه عمل کرده و قابلیت جذب سفر مازاد بزرگراه صدر را داشته و بر ظرفیت بزرگراه صدر تأثیر داشته باشد نیز یکی از سناریوهای محتمل است. بدین‌منظور و با توجه به شرایط منطقه، حوزه‌ی نفوذ بزرگراه صدر در محدوده‌یی قرار دارد که احداث بزرگراه هم‌سطح می‌باید با تملک اراضیِ اکثراً مسکونیِ اطراف این بزرگراه صورت گیرد. با توجه به مسیر طولیِ بزرگراه صدر، طول این بزرگراه باید دست‌کم برابر ۵٫۵ کیلومتر باشد؛ با توجه به حریم‌های راه نیز عرض این مقطع دست‌کم برابر ۴۰ متر است که با توجه به قیمت زمین (درنظر گرفتن قیمت ۵۵ میلیون ریال به ازای هر متر مربع زمین) در این منطقه، مبلغ ۱۲۳۷۰ میلیارد ریال صرفاً برای تملک اراضی معارض مورد نیاز است. بر این مبلغ هزینه‌های راه‌سازی و سایر هزینه‌های اجرایی نیز افزوده می‌شود. علاوه بر این، مشکلات مرتبط با آلودگی‌های زیست‌محیطی و سایر عوارض محیطی ناشی از احداث چنین بزرگراهی نیز امکان‌پذیر بودن این گزینه را زیر سؤال خواهد برد.

۲.۵. گزینه‌های غیرهم‌سطح (طرح دوطبقه‌کردن بزرگراه)

در شهرهایی که برای ساخت راه‌های جدید مشکل کمبود زمین وجود دارد ازگزینه‌های روگذر (یا زیرگذر) استفاده می‌شود. در این گزینه فرض بر آن است که تونل (یا روگذر) نیایش ـ صدر از بزرگراه صدر امتداد یافته و تا بزرگراه صیاد شیرازی ادامه می‌یابد (بزرگراه صدر به‌صورت دوطبقه عمل می‌کند). لازم به ذکر است که در سناریوی فعلی، تونل‌های شمالی و جنوبیِ صدر ـ نیایش مستقیماً به گزینه‌های غیرهم‌سطحِ افزایش ظرفیت بزرگراه صدر متصل شده و هیچ دسترسی به بزرگراه مدرس نخواهند داشت.

در این شرایط و در مقایسه با گزینه‌ی عدم افزایش ظرفیت بزرگراه صدر (شکل ۵)، میزان تقاضای تردد در مسیر شرق به غرب بزرگراه صدر (هم‌سطح) از ۱۰۰۲۶ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری در ساعت (در شکل ۴) به ۷۳۰۷ (در شکل ۵) وسیله‌ی نقلیه کاهش یافته است. با این حال، در مسیر غیرهم‌سطحِ این جهت، ۵۱۷۷ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری (شکل ۵) تقاضا وجود خواهد داشت که در مجموع ۲۴۰۰ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری (تفاضل بین مجموع تقاضای مسیر هم‌سطح صدر و مسیر غیرهم‌سطح درگزینه‌ی غیرهم‌سطح با تقاضای مسیر هم‌سطح صدر درگزینه‌ی عدم انجام کار) در مقایسه با گزینه‌ی عدم افزایش ظرفیت بزرگراه افزایش تقاضا نشان می‌دهد که مؤید تقاضای ایجادشده براثر احداث یک زیرساخت جدید است.



شکل ۵. وضعیت برآورد حجم هم‌سنگ سواری بزرگراه صدر در سال ۱۴۰۴، در شرایط ایجاد مسیر غیرهم‌سطح به موازات بزرگراه صدر.[۱۵]

در جهت غرب به شرق نیز، در حدود ۴۳۳۷ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری از تونل صدر ـ نیایش مستقیماً وارد طرحِ گسترش غیرهم‌سطحِ افزایش بزرگراه صدر می‌شود و از مسیر هم‌سطحِ این جهت نیز حدود ۳۷۶۰ وسیله‌ی نقلیه معادل سواری تقاضای سفر وجود خواهد داشت. درکل، حدود ۱۲۰۰ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری افزایش تقاضای تردد شخصی در ساعت اوج، نسبت به گزینه‌ی عدم انجام کار مشاهده می‌شود.

یادآور می‌شود که از دیدگاه ترافیکی ممکن است دوطبقه‌کردن بزرگراه به‌صورت پل (روگذر) یا تونل تأمین شود (که بر نتایج تحلیل و شبیه‌سازی تأثیری نخواهد داشت). با این حال مزایا و معایب آن، در مقایسه با احداث تونل، عبارت خواهد بود از:

الف) مزایا

مهم‌ترین مزایای دوطبقه کردن یک بزرگراه عبارت است از: عدم نیاز به تملک قابل ملاحظه‌ی اراضی نسبت به گزینه‌ی احداث مسیر هم‌سطح به‌موازات بزرگراه (گفتنی است احداث روگذر نیاز به تملک اراضی مجاور مشرف دارد اما نیازی به تملک اراضی به‌صورت گسترده ندارد)، مشکلات اجرایی کم‌تر با توجه به سرعت اجرایی بیشتر.

ب) معایب

- آلودگی دیداری ایجادشده توسط پل‌های روگذر: از نظر زیبایی‌شناختی هر مانعی که باعث اختلال در میدان دید شود، به‌عنوان عامل آلوده‌کننده دیداری شناخته می‌شود؛
- آلودگی صوتی بسیار زیاد روگذرها برای مناطق اطراف؛
- اشراف مسیر روگذر به مناطق مسکونی حاشیه‌ی بزرگراه؛
- نیاز به تغییر ترافیک عبوری در برخی مقاطع هنگام احداث ستون‌ها؛
- هزینه‌ی تملک مناطقی که با احداث پل در حریم بزرگراه قرار خواهند گرفت؛
- وجود تاسیسات مختلف در محل مسیر احداث روگذر، مانند دکل‌های فشارقوی برق و پست‌های مخابراتی که به‌ویژه خط انتقال نیرو در میانه‌ی بزرگراه صدر بیش از ۴ کیلومتر و تا بزرگراه شهید بابایی امتداد دارد.

۳.۵. احداث خط مترو در امتداد بزرگراه صدر

مترو به‌عنوان یکی از وسایل نقلیه با ظرفیت حمل بالا از اهمیت زیادی در جهت توسعه‌ی حمل‌ونقل همگانی در شهرها برخوردار است. این شیوه‌ی حمل‌ونقل، علاوه بر امکان جابه‌جایی حجم بالای مسافران، به‌دلیل عدم دخالت در ترافیک سطحی، با سرعت بالایی نیز همراه است. در مطالعه‌ی حاضر، فرض بر آن است که در

امتداد بزرگراه صدر و به‌عنوان جایگزین احداث مسیرهای غیرهم‌سطح نسبت به توسعه‌ی خط مترو اقدام می‌شود. با توجه به این مهم که هدف حمل‌ونقل عمومی در سال ۱۴۰۴ تأمین ۳۰درصد جابه‌جایی از طریق مترو است، فرض می‌شود که تقاضایی معادل ۳۰۰۷ وسیله‌ی نقلیه‌ی معادل سواری در جهت شرق به غرب و تقاضایی معادل ۲۰۵۳ وسیله نقلیه معادل سواری در جهت غرب به شرق (که معادل ۳۰درصد تقاضای بزرگراه صدر در یک ساعت اوج صبح سال افق طرح در گزینه‌ی عدم انجام کار است) جذب خط مترو می‌شوند.

برای تعیین ابعاد و منافع احداث خط مترو لازم است ابتدا میزان ظرفیت آن تعیین شود. ظرفیت حمل مسافر یک سیستم حمل‌ونقل ریلیِ شهری عبارت است از تعداد مسافری که آن سیستم می‌تواند در قطعه‌ی مشخصی از یک مسیر در مدت زمان یک ساعت حمل کند. واحد ظرفیت سیستم حمل‌ونقل ریلی به‌صورت مسافر در هر ساعت و در هر جهت طبق رابطه‌ی ۵ بیان می‌شود.[۱۶]

$$P = (۳۶۰۰/h_{\min}) \times N_c \times P_c \times PHF \qquad (۵)$$

که در آن، $h_{\min}$ کمینه سرفاصله‌ی زمانی (ثانیه)؛ N_c تعداد واگن در هر قطار (نفر)؛ P_c تعداد مسافر هر واگن؛ PHF ضریب ساعت اوج ترافیک. در رابطه‌ی ۵، تعداد مسافر در هر واگن با توجه به فرض ایستادن راحت مسافران (نیاز به ۰٫۵ متر مربع به‌ازای هر نفر)، تعداد ۱۰۴ نفر خواهد بود. با درنظرگرفتن سرفاصله‌ی متوسط در حدود ۶ دقیقه و تعداد ۷ واگن به‌ازای هر قطار و ضریب ساعت اوج ۰٫۷۵ برای مترو، میزان ظرفیت خط برابر ۲۳۳۰۰ مسافر به ازای هر ساعت در هر روز خواهد بود.

۶. مقایسه‌ی اقتصادی گزینه‌ها

برای مقایسه‌ی اقتصادی گزینه‌های مطروحه ابتدا با توجه به هزینه‌های ساخت و نگه‌داری نسبت به برآورد هزینه‌ها اقدام می‌شود. سپس با توجه به منافع احتمالی نسبت به محاسبه‌ی سود هر گزینه اقدام می‌شود.

۱.۶. وضع موجود

برای تعیین هزینه‌های گزینه‌ی عدم انجام کار به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی تأثیر سایر گزینه‌ها، نسبت به تعیین آن اقدام می‌شود.

الف) ارزش وقت صرف شده: این هزینه با توجه به رابطه‌ی ۶ که پارامترهای آن در بخش گذشته توضیح داده شد، و به‌صورت جدول ۴ تعیین می‌شود. یادآور می‌شود رابطه‌ی ۶ با توجه به تقاضای بیشتر هر دو مسیر غرب به شرق، و شرق به غربِ بزرگراه صدر نسبت به ظرفیت آن[۴] انتخاب شده است. در شرایطی که این نسبت کم‌تر از ۱ باشد، ازرابطه‌ی ۱ استفاده می‌شود.

$$C_{cong} = Q\frac{d_{a,b}}{V_o}\left(۱ + ۰٫۱۵\left(\frac{Q}{C}\right)^{۴}\right)VOT + Q\left(\frac{Q}{C} - ۱\right)\frac{VOT}{۲} \qquad (۶)$$

در جدول ۴، سرعت جریان آزاد بزرگراه صدر ۹۰ کیلومتر بر ساعت و طول حوزه‌ی مورد مطالعه‌ی بزرگراه برابر با ۵٫۷ کیلومتر در نظرگرفته شده است. ضمناً هزینه‌های تراکم یک روز برابر هزینه‌ی ۱۴ ساعت اوج، و نیز هزینه‌ی سالیانه معادل مجموع روزهای کاری هفته (بدون احتساب تعطیلات رسمی) در نظرگرفته شده است.

جدول ۴. هزینه‌های مربوط به تراکم درگزینه‌ی عدم انجام کار.

هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
۱۸۴۹۶۳۳۶۰	۲۵۸۹۴۸۷۰۴۰	$۶٫۱ \times ۱۰E + ۱۱$

جدول ۵. هزینه‌های مربوط به آلودگی درگزینه‌ی عدم انجام کار.

هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
۴۵۳۵۵۱۰	۶۳۴۹۷۱۴۰	$۱٫۴۹ \times ۱۰E + ۱۰$

ب) هزینه‌ی آلودگی: این هزینه با توجه به رابطه‌ی ۷ تعیین می‌شود که در بخش قبلی توضیحات کافی در ارتباط با آن داده شده است:

$$TC_{air} = Q(۰٫۰۱۰۹۴ + ۰٫۲۱۵۵F) \qquad (۷)$$

میزان هزینه‌های آلودگی با فرض متوسط مصرف ۱۱ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر سوخت با سرعت متوسط ۲۲ کیلومتر در ساعت و با احتساب ۱۴ ساعت در روز، و ۲۳۴ روز در سال به‌صورت جدول ۵ است.

۲.۶. گزینه‌ی تونل

با توجه به وضعیت موجود، براساس فهرست بهای اخذشده در سال جاری برای گزینه‌ی اجرای طرح زیرگذرِ بزرگراه صدر، هزینه‌های آن صرفاً شامل هزینه‌ی عملیات عمرانی این پروژه خواهد شد که براساس طول این تونل و با احتساب هزینه‌ی احداث ۴۶۰ میلیارد ریالی به‌ازای هرکیلومتر تونل، هزینه‌ی نهایی این گزینه برابر با ۲۶۲۲ میلیارد ریال خواهد شد. با توجه به این که برای گزینه‌ی زیرگذر، هزینه‌ی دیگری مانند تملک اراضی معارض وجود ندارد، هزینه‌ی نهایی برای احداث تونل زیرگذر بزرگراه صدر به‌طول ۵٫۷ کیلومتر، برابرِ چهارهزار میلیارد ریال (چهارصد میلیارد تومان) پیش‌بینی می‌شود.

الف) هزینه‌ی تراکم: هزینه‌ی تراکم در این گزینه به‌صورت جدول ۶ تعیین می‌شود.

ب) هزینه‌ی آلودگی: هزینه‌ی آلودگی در این گزینه مطابق جدول ۷ خواهد بود.

ج) هزینه‌ی نگه‌داری: هزینه‌ی نگه‌داری زیرساخت‌های جاده‌یی را می‌توان برای سال‌های ابتدایی برابر ۲درصد هزینه‌ی کل زیرساخت، برای سال‌های میانی برابر ۴درصد، و برای سال‌های پایانی برابر ۶درصد دانست.

جدول ۶. هزینه‌های مربوط به ارزش وقت مصرف‌کنندگان درگزینه‌ی تونل.

زیرساخت	هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
تونل شمالی	۴۰۱۸۸۲۱۰	۵۶۲۶۳۴۹۴۰	$۱٫۳۲E + ۱۱$
صدر شرق به غرب	۴۷۰۴۷۶۱۰	۶۵۸۶۶۶۵۴۰	$۱٫۵۴E + ۱۱$
تونل جنوب	۲۱۹۱۹۱۰۰	۳۰۶۸۶۷۴۰۰	$۷٫۲۱E + ۱۰$
صدر غرب به شرق	۶۸۵۷۱۰۰	۹۵۹۹۹۴۰۰	$۲٫۲۶E + ۱۰$
مجموع			$۳٫۸۲E + ۱۱$

جدول ۷. هزینه‌های مربوط به آلودگی در گزینه‌ی تونل.

زیرساخت	هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
تونل شمالی	۱۳۸۱۸۳۰	۱۹۳۴۵۶۲۰	$۴٫۵۵E+۹$
صدر شرق به غرب	۱۹۶۴۶۰۰	۲۷۵۰۴۴۰۰	$۶٫۴۶E+۹$
تونل جنوب	۱۰۹۵۸۶۰	۱۵۳۴۲۰۴۰	$۳٫۶۱E+۹$
صدر غرب به شرق	۸۶۸۷۸۰	۱۲۱۶۲۹۲۰	$۲٫۸۶E+۹$
مجموع			$۱٫۷۵E+۱۰$

۳.۶. گزینه‌ی مترو

با درنظرگرفتن ۵۵۰ میلیارد ریال برای هزینه‌ی ساخت هر کیلومتر مترو به‌همراه تجهیزات مورد نیاز، هزینه‌ی نهایی احداث خط مترو به‌همراه تجهیزات برابر ۳۱۳۵ هزار میلیارد ریال خواهد بود. سایر هزینه‌ها مانند بخش‌های گذشته، شامل هزینه‌های مربوط به تراکم و آلودگی خواهد بود (جدول‌های ۸ و ۹).

برای تعیین هزینه‌های ناشی از نگه‌داری و بهره‌برداری، با توجه به مطالعات انجام‌شده، هزینه‌یی معادل ۳۸درصد هر دلار به‌ازای هر مسافر ـ کیلومتر در نظر گرفته شده است.[۱۶] با توجه به حجم مسافر پیش‌بینی شده در هر ساعت (تخمین تعداد مسافر با احتساب انتقال تقاضای کاسته‌شده از مسیر هم‌سطح به مترو و فرض ضریب سرنشین ۲٫۲ به‌ازای هر خودروی معادل سواری برای هر جهت) برای معبر مورد مطالعه، هزینه‌ی نگه‌داری و بهره‌برداری، طبق جدول ۱۰ قابل محاسبه است.

۴.۶. مقایسه‌ی گزینه‌ها

با توجه به موارد یادشده، در شکل ۶ مقایسه‌ی هزینه‌های تراکم و آلودگی گزینه‌های مختلف در سال افق طرح ۱۴۰۴ نشان داده شده است. نتایج حاصله

جدول ۸. هزینه‌های مربوط به تراکم در گزینه‌ی احداث مترو.

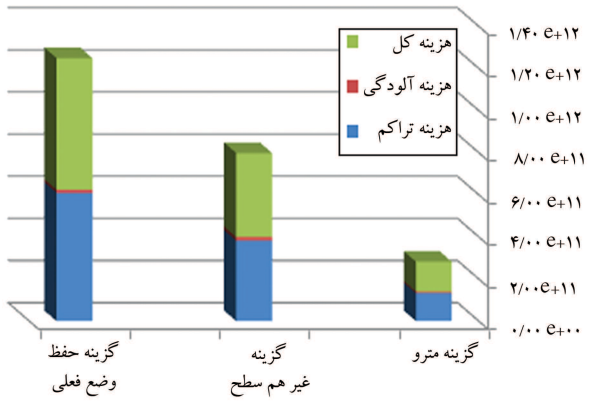
زیرساخت	هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
صدر شرق به غرب	۳۹۴۷۹۱۰۰	۵۵۲۷۰۷۳۹۰	$۱٫۳\times۱۰E+۱۱$
صدر غرب به شرق	۸۲۸۵۷۹۰	۱۱۶۰۰۱۱۹۰	$۲٫۷\times۱۰E+۹$
مجموع			$۱٫۳۲\times۱۰E+۱۱$

جدول ۹. هزینه‌های مربوط به آلودگی در گزینه‌ی احداث مترو.

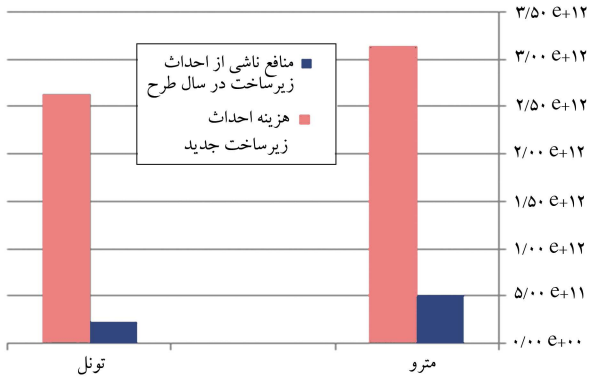
زیرساخت	هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
صدر شرق به غرب	۱۶۲۱۸۰۰	۲۲۷۰۵۲۰۰	$۵٫۳\times۱۰E+۹$
صدر غرب به شرق	۱۰۲۳۵۹۰	۱۴۳۳۰۲۹۰	$۳٫۳\times۱۰E+۹$
مجموع			$۸٫۶\times۱۰E+۹$

جدول ۱۰. هزینه‌های سالیانه مربوط به نگه‌داری و بهره‌برداری در گزینه احداث مترو.

زیرساخت	هزینه‌ی ساعتی (ریال)	هزینه‌ی روزانه (ریال)	هزینه‌ی سالیانه (ریال)
مترو در جهت صدر شرق به غرب	۱۹۴۶۰۰۳۷۰	$۲٫۷۲\times۱۰E+۹$	$۶٫۴۲\times۱۰E+۱۱$
مترو در جهت صدر غرب به شرق	۱۲۲۸۲۰۸۶۰	$۱٫۷۲\times۱۰E+۹$	$۴٫۰۴\times۱۰E+۱۱$
مجموع			$۱۰٫۴۶\times۱۰E+۱۱$



شکل ۶. مقایسه‌ی هزینه‌های ناشی از تراکم و آلودگی در گزینه‌های مختلف مطروحه.



شکل ۷. مقایسه هزینه‌ها و منافع ناشی از احداث تونل و مترو.

نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی قابل توجه هزینه‌های ناشی از آلودگی و تراکم در وضع فعلی با سایر گزینه‌هاست؛ به‌طوری که هزینه‌های وضع موجود معادل ۱٫۶ برابر هزینه‌ی احداث گزینه‌ی غیرهم‌سطح و در حدود ۳ برابر هزینه‌های ناشی از مترو است.

در شکل ۷ میزان بزرگی و اهمیت هزینه‌های مطروحه نشان داده شده است؛ به‌طوری که میزان منفعت حاصله از هزینه‌های تراکم و آلودگی در گزینه‌های تونل و مترو به‌ترتیب ۹ و ۱۵ درصد کل هزینه‌ی ساخت در شرایط فعلی است. با درنظر گرفتن نرخ تورم متوسط ۱۰درصد به‌ازای هر سال و تعدیل هزینه‌های فعلی به سال افق طرح، این مقادیر به‌ترتیب معادل ۳۰ درصد و ۵۳درصد هزینه‌های احداث تونل و مترو است. به‌عبارت ساده‌تر، منافع حاصل ازکاهش آلودگی و تراکم ناشی از احداث

مترو در ۲ سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ تقریباً برابر هزینه‌ی احداث خط مترو در شرایط کنونی است. این مقدار برای گزینه‌ی تونل معادل منافع سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۴ است.

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش نسبت به مطالعه و بررسی منافع و هزینه‌های احداث زیرساخت‌های حمل‌ونقل، و نیز توسعه‌ی خط مترو به‌عنوان روش‌های کاهش تراکم در معابر شهری اقدام شد. برای این منظور سعی شد هزینه‌های نامحسوس، که غالباً در محاسبات اقتصادی مد نظر قرار نمی‌گیرد، مورد توجه قرارگیرد. این هزینه‌ها که غالباً موسوم به «هزینه‌های خارج از جیب[5]» هستند در این تحقیق هزینه‌های ناشی از تراکم و آلودگی را شامل می‌شوند. نتایج برگرفته از این تحقیق و پیشنهادات برای توسعه‌ی تحقیق فعلی عبارت است از:

- هزینه‌های خارج از جیب هزینه‌هایی هستند که اگرچه در نگاه اول چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرند، بسیار حائز اهمیت و قابل توجه‌اند. ضرورت توجه به چنین هزینه‌هایی، دست‌یابی به امکان‌سنجی صحیحی از احداث یا عدم احداث یک زیرساخت حمل‌ونقلی است. به‌طور مثال، در این تحقیق نشان داده شد که منافع حاصل از کاهش تنها دو هزینه‌ی آلودگی و تراکم در شرایط احداث خط مترو سهم عمده‌یی از هزینه‌ی ساخت خط را تشکیل می‌دهد و در ارتباط با مطالعه‌ی موردی انجام شده احداث خط می‌تواند به‌عنوان یک گزینه‌ی زودبازده مد نظر قرار بگیرد.
- در بسیاری شرایط مطالعات صرفاً ترافیکی برای تصمیم‌گیری درخصوص توسعه یا عدم توسعه‌ی یک زیرساخت حمل‌ونقلی کافی نیست. مثلاً در این تحقیق نشان داده شد که احداث گزینه‌ی غیرهم‌سطح برای بزرگراه صدر از مزایای ترافیکی مانند کاهش تراکم و زمان تأخیر در شبکه برخوردار است، اگرچه معیار اقتصادی مناسبی برای تصمیم‌گیریِ مدیران رده‌بالا ارائه نمی‌کند. زیرا همان‌طور که مشاهده شد، تنها هزینه‌ی احداث این زیرساخت‌ها تعیین‌کننده نیست و اطلاعات مربوط به هزینه‌های تراکم، آلودگی و سایر هزینه‌های خارج از جیب نیز ضرورت دارد.
- در این پژوهش تنها هزینه‌های ناشی از آلودگی و تراکم درنظرگرفته شد. هزینه‌هایی مانند تصادف، آلودگی صوتی، هزینه‌ی استهلاک وسایل نقلیه و سایر موارد ازجمله هزینه‌هایی هستند که می‌توان به‌عنوان تحقیق آتی مد نظر قرار داد.
- در این تحقیق با توجه به محدودیت دسترسی به اطلاعات امکان تخمین تقاضای معبر مورد مطالعه در سال‌های مختلف نبود، و به‌همین دلیل امکان تعیین هزینه‌ها و منافع در این سال‌ها وجود نداشت. پیشنهاد می‌شود این موضوع در سال‌های مختلف بررسی و منافع کلی با هزینه ساخت زیرساخت مقایسه شود.

پانوشت

1. Banister and Berechman
2. net present value
۳. شبیه‌سازی خرد انجام‌شده براساس آمارهای جمع‌آوری شده از بزرگراه صدر و استفاده از آن‌ها در نرم‌افزار ترافیکی خردگرای Aimsun توسط نویسندگان به دست آمده است.
۴. ظرفیت بزرگراه صدر با توجه به سه خط عبور (۱۹۰۰ PC/Lane) معادل ۵۷۰۰ وسیله نقلیه معادل سواری در ساعت تخمین زده شده است.
5. out of pocket costs

منابع

1. Berechman, J.; Ozmen, D. and Ozbay, K. “Empirical analysis of transportation investment and economic development at state, county and municipality levels”, *Transportation,* **33**, PP. 537-551 (2006).
2. Forkenbrock, D.J. and Foster, N.S.J. “Economic benefits of a corridor highway investment”, *Transportation Research* 24A, **4**, pp. 303-312 (1990).
3. Banister, D. and Berechman, J., *Transport Investment and Economic Development,* University College London Press (2000).
۴. مرکز تحقیقات حمل‌ونقل طراحان پارسه، «گزارش افزایش بزرگراه صدر»، (۱۳۸۸).
5. Small, K.A. “Project evaluation”, in Gómez-Ibáñez, Tye and Winston, pp. 137-77 (1999).
6. Weisbrod, G. “Incorporating economic impact metrics in transportation project ranking and selection processes”, *Transportation Research Bord,* pp.1-4 (2010).
7. Banister, D. and Berechman, J., *Transport Investment and Economic Development,* University College London Press (2000).
8. Cohen Jeffrey, P. “Wider economic benefits of investment in transportation infrastructure”, Paper prepared for the Roundtable on Macro-, Meso- and Micro-Infrastructure Planning and Assessment Tools, Organization for Economic Co-operation and Development (2007).
9. Vickerman, R. “Cost-benefit analysis and large-scale infrastructure projects: State of the art and challenges”, *Environment and Planning B: Planning and Design,* **34**, pp. 598-610 (2007).
10. Ozbay, K.; Bartin, B.; Yanmaz-Tuzel, O. and Berechman, J. “Alternative methods for estimating full marginal costs of highway transportation”, *Transportation Research A,* **41**, pp.768-786 (2007).

11. Dorantes, L.M. "Transportation infrastructure impacts on firm location: The effect of a new metro line in the suburbs of Madrid", *Transportation Research Board,* pp.1-3 (2010).

12. Boarnet, M.G., *Conducting Impact Evaluations in Urban Transport,* Doing Impact Evaluation Series 5, The WorldBank, USA (2006).

13. Berechman, J.; Bartin, B.; Yanmaz-Tuzel, O. and Ozbay, K. "The full marginal costs of highway travel: Methods and empirical estimation for north America", in Handbook in Transport Economics, Lindsey R. (ed.) (Forthcoming)

14. Bartin, B. and Ozbay, K., *Benefit Cost Analysis of Highway Investment Projects Using Regional Transportation Planning Models,* State University of New Jersey (2011).

۱۵. شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، «شبیه‌سازی طرح تقاطع بزرگراه کردستان ـ بزرگراه نیایش و تونل نیایش ـ صدر»، گزارش شماره ۵۳۰ پ، (۱۳۸۹).

۱۶. گرگانی، حامد و قاسم‌پور، شیما «چگونگی تعیین سیستم ریلی درون شهری مناسب برای کلان‌شهرها»، دهمین کنفرانس ترافیک تهران (۱۳۹۰).