

تحلیل هزینه و فایده محیط زیستی در سامانه اتوبوس تندرو (مطالعه موردی: خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد)

ساره قربانی^۱، مجید رضائی مهران^۲

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰، نوع مقاله: پژوهشی)

چکیده

مطالعه شبکه‌های حمل و نقل در محدوده شهرها، به‌خصوص شهرهای در حال توسعه دارای پیچیدگی‌های ویژه‌ای است. افزایش تعداد وسایل نقلیه و جمعیت در شهرها باعث به‌وجود آمدن مشکلات متعددی همچون تراکم ترافیک، افزایش نرخ تصادفات رانندگی و تلفات ناشی از آن‌ها، آلودگی هوا، افزایش زمان سفر، تلف شدن وقت شهروندان و افزایش استفاده از منابع انرژی شده است. بنابراین استفاده از سامانه اتوبوس تندرو به‌خصوص در شهرهای پرجمعیت ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب مسیر مناسب برای احداث این سامانه براساس معیار و روش مناسب برای موفقیت آن لازم و ضروری است. این در حالی است که در ادبیات موضوع روش‌های مناسبی برای تجزیه و تحلیل و انتخاب مسیر مناسب معرفی نشده است. هدف این مطالعه ارائه روشی برای ارزیابی محیط زیستی مسیرها در سامانه اتوبوس تندرو است. لذا به‌عنوان مطالعه موردی، مسیر پیشنهادی برای احداث خط ۲ سامانه اتوبوس تندروی شهر مشهد انتخاب شده است. در این پژوهش از معیارهایی نظیر افق زمانی پروژه، نرخ تنزیل، هزینه اجتماعی کربن، برآورد اثرات ایمنی جاده، تخمین منافع اقتصادی ناشی از بهبود ایمنی جاده، ارزش زندگی آماری، برآورد اثر افزایش فعالیت فیزیکی شهروندان، برآورد میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثر بر کیفیت هوا جهت تحلیل هزینه فایده این خط اتوبوس تندرو استفاده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، کل منافع حاصل از اجرای خط ۲ اتوبوس تندروی مشهد معادل ۳۳۹۸۵۷۷۰۱ دلار است که ارزش خالص کنونی آن با اعمال نرخ تنزیل ۱۵ درصد برابر با ۸۵۰۵۹۶۰۶ (هشتاد و پنج میلیون و پنجاه و نه هزار و شصت و شش دلار) است. نرخ بازگشت داخلی نیز ۲۹۱۵ درصد برآورد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثرات محیط زیستی، تحلیل هزینه و فایده، انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا، اتوبوس تندرو، مشهد.

۱. دکتری، برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(sareh_ghorbani@ut.ac.ir) نویسنده مسئول

۲. استادیار، گروه مطالعات محیطی، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی (سمت)، تهران، ایران.

Key words: Environmental impacts, cost-benefit analysis, greenhouse gas emissions, air pollution, Bus Rapid transit, Mashhad.

Traffic studies are extremely complicated in developing cities. The increase in the number of vehicles and population has given rise many problems such as traffic congestion, increase in accidents rate and casualties, air pollution, increase in travel time, waste of citizens' time and increase in the use of energy resources in the cities. Therefore, it seems necessary to use the Bus Rapid transit in this city. The purpose of this study is to present a method for evaluating the environmental impacts of Rapid System transit lines. In this research, criteria such as the time horizon of the project, discount rate, social cost of carbon, road safety effects estimation, economic benefits due to improvement of road safety estimation, statistical value of life, the effect of increasing the physical activity of citizens, greenhouse gas reduction, and the air quality effect has been applied to analyze the cost benefit of this system in this research. The results of this study showed that the total benefits from the implementation of Mashhad Bus Rapid transit line 2 is equal to 339857701 dollars, whose net present value by applying a discount rate of 15% is equal to 85059606. The internal of return rate is also estimated at 2915%.

مقدمه

سامانه اتوبوس تندرو (BRT^۱) در کشورهای در حال توسعه به دلیل بهبود سامانه حمل و نقل، بازسازمان دهی مسیرهای تردد و کاهش تردد وسایل نقلیه، توجه سیاستمداران را به خود جلب کرده است (مؤسسه حمل و نقل و سیاست های توسعه^۲، ۲۰۱۹). این سامانه ها به واسطه فناوری به کاررفته در وسایل نقلیه جدید و انتشار کم تر آلاینده به ازای هر کیلومتر مسافر و ظرفیت بالای حمل مسافر به کاهش مسافت سفر شهروندان، کاهش وابستگی به اتومبیل شخصی، افزایش کارآیی مصرف سوخت و افزایش سرعت حمل و نقل منجر می شوند (خان^۳، ۲۰۲۱). مجموعه عوامل مذکور باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده های محلی هوا می شود (سیوندیس^۴، ۲۰۱۷). احداث خطوط اتوبوس های تندرو در کلان شهرها، با اختصاص دادن یک مسیر کاملاً مجزا، ضمن افزایش سرعت این سیستم، می تواند حجم بالایی از مسافران را در مدت زمان کوتاه تری جابه جا کند (نبویان و اسکندری، ۱۳۹۱). خطوط اتوبوس های تندرو تلفیقی از همه روش هایی است که تاکنون برای افزایش سرعت اتوبوس ها استفاده می شد و میانگین سرعت آن در کشورهای مختلف بین ۱۹ تا ۴۹ کیلومتر در ساعت است (باور و همکاران، ۱۳۹۷). از سوی دیگر تحلیل اقتصادی اجتماعی، تلاشی برای بررسی پروژه از نظر تأثیرات اقتصادی در جامعه است. به عبارت دیگر مطالعه اثرات خالص منابع مصرف شده بر تولید کالا و خدمات مدنظر قرار داده می شود. تحلیل هزینه فایده جهت برآورد هزینه ها و منافع عمومی و خصوصی جامعه به کار گرفته می شود (بوردمن^۵، ۲۰۰۶). با توجه به موارد یادشده، هدف از این مطالعه ارائه روشی برای ارزیابی محیط زیستی مسیرها در سامانه اتوبوس تندرو است. لذا به عنوان مطالعه موردی، مسیر پیشنهادی برای احداث خط ۲ سامانه اتوبوس تندروی شهر مشهد انتخاب شده است. علاوه بر هزینه های مالی و بازار، در این تحلیل، هزینه های غیرمستقیم، جانبی و ناملموس، مانند سلامت عمومی و اثرات محیط زیستی نیز مورد توجه قرار می گیرد. تفاوت میان هزینه های مالی و هزینه های اقتصادی در اکثر موارد عامل خطا و سردرگمی است که می بایست در مراحل انجام تحلیل هزینه فایده مورد توجه قرار گیرد.

1. bus rapid transit

2. Institute for Transportation and Development Policy

3. khan

4. Tsivanidis

5. Boardman

منافع و هزینه‌های اجتماعی موجود در سامانه اتوبوس تندرو نسبت به هزینه‌ها و منافع مالی و آنچه در مدل‌های بازار وجود دارد متفاوت است (هاربرگر^۱، ۲۰۰۹). تفاوت هزینه و فایده اقتصادی و مالی یک پروژه در تعدد مؤلفه‌های موردبررسی است. معمولاً هزینه‌ها و فایده‌ها با استفاده از ارزیابی اثرات، پیمایش و دیگر ابزارها برآورد می‌شود. هر کدام از هزینه‌ها و فایده‌ها براساس مطالعات مربوط به برآورد پولی اثرات ناشی از تغییر، کمی‌سازی و ارزش‌گذاری می‌شوند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تحلیل اقتصادی سیستم‌های اتوبوس تندرو در بسیاری از مطالعات با روش‌های گوناگونی انجام شده است از این مطالعات می‌توان به تحلیل اقتصادی و آلودگی هوای خط ۱ اتوبوس تندرو در شهر تهران اشاره کرد که با استفاده از نرم‌افزار ایمسان به میزان کاهش آلاینده‌ها به واسطه استفاده از این سامانه پرداخته است (عباسی و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی اقتصادی احداث خط ۴ اتوبوس‌های تندرو در شهر تهران به کمک آنالیزهای اقتصادی سود-هزینه نیز مطالعه دیگری بوده است که منافع حاصل از این سیستم حمل‌ونقلی را کمی‌سازی کرده است (احمدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی و ارزیابی اثرات اقتصادی خطوط اتوبوس‌های تندرو بر کاربری‌های تجاری کلان‌شهر تبریز مطالعه دیگری بوده است که به تحلیل و بررسی اثرات اقتصادی اتوبوس تندرو فلکه دانشگاه تا چهارراه شریعتی پرداخته است (قنبری و همکاران، ۱۳۹۰). کاستی مطالعات موجود وارد نشدن تمام هزینه‌های محیط زیستی در مطالعات موردبررسی است. درمورد مطالعاتی که در سطح بین‌المللی به ارزیابی اقتصادی خطوط اتوبوس‌رانی تندرو پرداخته‌اند می‌توان به مطالعات ماتوئو و چستر در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که به بررسی به صرفه بودن اتوبوس‌های تندرو و سهم آن در کاهش گاز گلخانه‌ای پرداخته‌اند. مطالعه آن‌ها نشان داد که افزایش استفاده از اتوبوس‌های تندرو رابطه مستقیمی با کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته است (ماتوئو و چستر، ۲۰۱۵). ویزبورد و همکاران به منظور بررسی کارایی اتوبوس‌های تندرو از تلفیق روش ارزیابی اثرات محیط زیستی و ارزیابی هزینه و فایده اقتصادی در سیدنی استرالیا استفاده کرده و نشان دادند استفاده تلفیقی از این دو روش ارزیابی دقیق‌تری از کارایی

1. Harberger

استفاده از اتوبوس‌های تندرو داشته است (ویزبورد^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). نهمی^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۱ به تحلیل ارزیابی هزینه و فایده سامانه اتوبوس‌رانی در لبنان پرداخته‌اند. نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها میزان سود کاهش تصادفات رانندگی و کاهش زمان سفر به دلیل استفاده از سامانه اتوبوس‌رانی تندرو را نشان داد (نهمی و همکاران، ۲۰۲۱). به‌منظور ارزیابی هزینه‌ها و منافع در افق زمانی پروژه (معمولاً بیست سال برای سامانه اتوبوس تندرو)، هزینه‌ها و منافع در تمامی سال‌های حیات پروژه برآورد و آنگاه ارزش پولی به‌دست آمده با استفاده از یک ضریب تعدیل به ارزش فعلی تبدیل می‌شود. برخلاف تحلیل هزینه و فایده مالی، تبادل‌های میان‌بخشی مانند مالیات، یارانه و پرداخت و دریافت‌ها، در تحلیل هزینه و فایده اقتصادی مدنظر نیست، زیرا برآیند اثرات بر جامعه به صورت یک جا موردبررسی است. هر دو هزینه‌های عمومی و خصوصی در تمامی انواع تحلیل‌های هزینه و فایده مدنظر است. هزینه‌های عمومی شامل مطالعات و هزینه‌های مقدماتی پروژه، استملاک و سکونت‌گزینی، فراهم‌سازی زیرساخت‌ها و تأسیسات، هزینه‌های نگهداری تأسیسات و زیرساخت‌ها، پیاده‌سازی و مدیریت مرکز کنترل هستند. هزینه‌های خصوصی شامل تدارک ناوگان اتوبوس، اجرای ناوگان اتوبوس و طرح ریزی و اجرای سیستم جمع‌آوری بلیت و غیره است. برای تحلیل صحیح هزینه و فایده مفروضاتی چند لازم و ضروری است. این مفروضات شامل افق زمانی پروژه، نرخ تنزیل، هزینه اجتماعی کربن و غیره می‌شود. به‌منظور تحلیل هزینه و فایده اتوبوس تندرو در این پژوهش از افق زمانی بیست ساله استفاده شده است، چراکه براساس ادبیات موضوع این دوره زمانی مرسوم و متداول است (گزارش برنامه تحقیق مشترک حمل‌ونقل^۳، ۲۰۱۰). درنظر گرفتن این دوره زمانی، در برآورد هزینه‌ها و فایده‌های پروژه مؤثر است. در این مطالعه طول عمر مفید ناوگان و زیرساخت‌ها کم‌تر از بیست سال است. با تعیین افق زمانی بیست ساله می‌توان اطمینان حاصل کرد که هزینه‌های تعمیر و تعویض ناوگان و زیرساخت‌ها در سال‌های آتی موردبررسی و برآورد قرار گرفته است. نرخ تنزیل پس از افق زمانی یکی از مهم‌ترین مفروضات در این تحلیل به‌شمار می‌رود. مزیت مهم تحلیل‌های هزینه و فایده در این است که هزینه‌ها و درآمدها را براساس ارزش پول رایج کنونی محاسبه کند. این امر به مدیران

1. Wiseboard

2. Nehme

3. Transit Cooperative Research Program (TCRP)

امکان مقایسه هزینه‌ها و منافع و در نتیجه تصمیم‌گیری می‌دهد. برای انجام این مهم، تمامی هزینه‌ها و درآمدها برای تک‌تک سال‌های افق زمانی پروژه محاسبه، آنگاه رقم‌های به‌دست آمده با استفاده از نرخ تنزیل به ارزش خالص کنونی تبدیل می‌شوند؛ نرخ تنزیل بالاتر ارزش خالص فعلی هزینه‌ها و درآمدها را کاهش می‌دهد. از آنجا که هزینه‌ها و درآمدها در پروژه سامانه اتوبوس تندرو مشهد برای یک افق زمانی بیست ساله محاسبه می‌شود، نتایج به نرخ تنزیل حساسیت بالایی دارد. در حالی که براساس استنباط برخی از محققان مبنی بر این که نرخ تنزیل ۱۲ درصد برای انجام تحلیل‌های هزینه و فایده بسیار بالاست (لوپز^۱، ۲۰۰۸)، در این مطالعه با توجه به بهره سود بانکی رایج در کشور نرخ تنزیل ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. هزینه اجتماعی کربن سومین مفروض این تحلیل است که برآورد ارزش پولی خسارات ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد و نشانگر منافع حاصل از کاهش کنونی انتشار گازهای گلخانه‌ای و اجتناب از خسارات در آینده است (گرینسپن بل و کالان^۲، ۲۰۱۱). منفعت یک پروژه سامانه اتوبوس تندرو که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود، از طریق اجتناب از هزینه‌های مربوط به خسارات در آینده حاصل می‌شود (ماتوتو^۳ و چستر^۴، ۲۰۱۵). در زمینه هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار کربن عدم قطعیت چشمگیری وجود دارد و هنوز توافقی همه‌پسند در این مورد صورت نگرفته است. دولت آمریکا مبلغ ۲۱ دلار برای انتشار هر تن دی‌اکسید کربن را به صورت قطعی پیشنهاد داده و طیف ۵ تا ۶۵ دلار را برای آن در نظر گرفته است (یواس دی^۵، ۲۰۰۷). در حالی که انگلستان طیف ۴۱ تا ۱۲۴ دلار را در نظر گرفته و به طور قطعی آن را ۸۳ دلار دانسته است (گرینسپن بل و کالان، ۲۰۱۱) در ادبیات مربوط به موضوع طیف گسترده‌ای از ۰ دلار بر تن تا ۴۰۰ دلار بر تن با میانگین حدود ۳۰ دلار بر تن وجود دارد (استرن^۶، ۲۰۰۷). در این مطالعه رقم ۲۰ دلار بر تن جهت ارزش‌گذاری منافع اجتماعی ناشی از کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در نظر گرفته شده است. نرخ تنزیل کربن منعکس‌کننده هزینه‌ای است که نسل کنونی متحمل می‌شوند تا نسل آینده از منفعت ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بهره‌مند شود، بنابراین هر چه این نرخ تنزیل بالاتر

1. Lopez
2. GreenspanBell and Callan
3. Matute
4. Chester
5. USD
6. Stern

باشد، هزینه‌های آتی مربوط به کربن کم‌تر معنی‌دار خواهد شد (گرینسپن بل و کالان، ۲۰۱۱). معمولاً در مطالعات مشابه نرخ تنزیل هزینه کربن را ۳ درصد در نظر می‌گیرند، این نرخ در دولت آمریکا از ۲٫۵ تا ۵ درصد متغیر است. نرخ تنزیل کربن در نتیجه افزایش حساسیت‌ها نسبت به انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم و با این فرض که احتمالاً نسل‌های آینده ثروتمندتر هستند، متغیر است. نرخ پایین‌تر ضریب تنزیل نشان‌دهنده رویه تدبیر برای کاهش اثرات تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن برای نسل‌های آینده است (گرینسپن بل و کالان، ۲۰۱۱). با اعتقاد به این که مسئله تغییر اقلیم مبحث بسیار مهمی به‌شمار می‌رود و در این پژوهش نیز نگاه اختصاصی به آن شده است، در این مطالعه نرخ تنزیل هزینه کربن ۱/۵ درصد در نظر گرفته شده است. ارزشیابی اثرات ایمنی جاده ناشی از احداث سامانه اتوبوس تندرو شامل برآورد تغییرات ایجادشده در تصادفات و تلفات انسانی بعد از احداث سامانه است. تعداد تصادفات معمولاً دارای انحراف معیار بالایی است (واریانس معمولاً از میانگین بالاتر است) و تعداد تصادفات در یک محل معین بدون حضور یک عامل تأثیرگذار در دوره‌های زمانی متفاوت دارای طیف گسترده‌ای است. از نظر ارزشیابی عوامل تأثیرگذار، این موضوع مشکلاتی از جمله شکست اثر برگشت به میانگین به‌عنوان عامل اریبی در برآورد، را به‌وجود می‌آورد. برگشت به میانگین به وضعیتی گفته می‌شود که در آن تعداد تصادفات یک محدوده مشاهده‌ای که در یک سال فاصله زیادی (پایین‌تر یا بالاتر) از میانگین دارد، در سال بعد تمایل تعداد تصادفات به سمت میانگین (نزدیک‌تر به میانگین) است (بارنت، وندرپلاس و دابسون^۱، ۲۰۰۴). به این دلیل، ترجیحاً روش بیز تجربی برای ارزشیابی اثرات ایمنی عامل مداخله‌گر مانند سامانه اتوبوس تندرو استفاده می‌شود. هور^۲ و همکارانش به بازنگری روش بیز تجربی و کاربردش در ایمنی جاده پرداخته‌اند (هور و همکاران، ۲۰۰۱). گو و همکاران روش بیز تجربی را برای ارزشیابی تأثیر خطوط اتوبوس‌های تندرو برافزایش ایمنی جاده در ملبورن به کار بردند. فرض اساسی در روش بیز تجربی این است که برآورد درجه ایمنی بیشتر بر پایه مؤلفه مدنظر است تا داده‌های مربوط به تصادفات واقعی. بیز تجربی میانگینی وزن‌دار از تعداد تصادفات واقعی و برآورد تعداد تصادفات (براساس تابع عملکرد ایمنی که با استفاده از داده‌های مربوطه در خیابان‌های نزدیک و مشابه) به کار می‌گیرد و معمولاً در این

1. Barnett, van der Pols and Dobson

2. Hauer

راه از مدل دوجمله‌ای منفی استفاده می‌شود. این رویکرد در معادله ذیل ارائه شده است.

$$E_Y \left(m \mid N_Y \right) = \exp \left(a + \sum_{i=1} \beta_i \times X_i \right) \times W + N_Y \times (1 - W) \quad (1)$$

به‌طوری که $EY \cdot m \mid NY$: برآورد تعداد تصادفات در موقعیت m (برای مثال، یک تقاطع، یک خیابان و...)، در سال Y در شرطی که N تصادف در آن موقعیت در سال Y مشاهده شده است؛ NY : تعداد تصادفات واقع شده در موقعیت m در سال Y ؛ Xi : متغیرهای مورد استفاده در برآورد فراوانی تصادف؛ β_i : پارامترهای مدل که با استفاده از توزیع پواسون و یا دوجمله‌ای بسته به درجه انحراف داده‌های تصادف به دست می‌آیند. W : وزنی که به میانگین میان تصادفات واقعی و برآورد شده اختصاص داده می‌شود. وزن تابعی است از تعداد تصادف برآورد شده به وسیله تابع عملکرد ایمنی و واریانس موجود در داده‌های تصادف که تابع عملکرد ایمنی از آن مشتق شده است (هور و همکاران، ۲۰۰۱؛ باربوسا^۱، ۲۰۱۳). روش بیز تجربی برآورد قابل قبولی از اثرات ایمنی در مطالعات این چنینی به دست می‌دهد، اما متأسفانه این روش نیازمند حجم بالایی از داده است که به خصوص اجرای آن در کشورهای در حال توسعه با مشکلات فراوان روبه‌رو است. در این مطالعه نیز تنها بر روی داده‌های مربوط به تعداد تصادفات بسنده شده است. برآورد اثر سامانه اتوبوس تندرو در این مطالعه بر مبنای یک تحلیل قبل و بعد نیست (هنوز سامانه اتوبوس تندرو احداث نشده است)، بلکه براساس مقایسه میان یک سناریوی پایه (این که پروژه سامانه اتوبوس تندرو اجرا نشود) و شرایط منتج شده از احداث سامانه اتوبوس تندرو است. در مورد اثر بر ایمنی جاده، سناریوی پایه براساس داده‌های مربوط به تصادفات قبل از شروع احداث سامانه اتوبوس تندرو و تعمیم آن به سال اول اجرایی شدن پروژه با استفاده از تحلیل روند تعداد تصادفات در سطح شهر، به دست می‌آید. این تعمیم به این سبب انجام می‌شود تا اثر دیگر متغیرهای مداخله‌گر حذف شود، چرا که ممکن است به دلایلی روند تعداد تصادفات در سطح یک شهر در حال افزایش یا کاهش باشد. مهم‌ترین چالش پیش روی برآورد منافع اقتصادی ناشی از بهبود ایمنی مسیر در اثر احداث سامانه اتوبوس تندرو، نبود روش شناسی مناسبی برای ارزش گذاری پولی تصادفات است (دیز روکس و بالا^۲، ۲۰۱۲). در برخی از روش‌های

1. Barbosa

2. Diez Roux and Bhalla

موجود، تنها به مرگ و میر و یا کیفیت طول عمر توجه شده است (اسپاراتو و همکاران، ۲۰۱۲)؛ در حالی که در برخی دیگر از مطالعات به همه هزینه‌ها به جز مرگ و میر و کیفیت زندگی توجه شده است (بلینکو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، حتی میان مطالعاتی که از شاخص‌های یکسانی استفاده کرده‌اند نیز تفاوت‌هایی (از قبیل ارزش آماری یک زندگی) وجود دارد، بر این اساس روش‌های قابل استفاده متفاوت در این زمینه وجود دارد (لو^۲، ۲۰۲۲). مهم‌ترین محدودیت پیش روی برآورد قابل قبول هزینه‌های تصادفات در کشورهای در حال توسعه فقدان داده‌های محلی دقیق است. برای مثال هزینه‌های جراحات، به طور چشمگیری بسته به شدت آسیب متغیر است. در آمریکا از یک مقیاس استاندارد میزان صدمه استفاده می‌شود (از ۰ بدون آسیب تا ۷ جراحات یا آسیب کشنده)؛ این مقیاس تعریف شده کار محققان را در این مورد آسان می‌سازد. در کشورهای در حال توسعه، در غالب موارد در داده‌های مربوط به تصادفات به شدت آسیب اشاره‌ای نشده است. علاوه بر این بی‌دقتی موجود در داده‌ها، در زمینه برآورد میزان هزینه ناشی از تصادفات نیز کمبودهایی وجود دارد. بعد از اجرایی شدن سامانه اتوبوس تندرو منافع اقتصادی فراوانی از طریق کاهش انواع مختلف هزینه‌های تصادف از قبیل مرگ و میر، خسارات مالی و جانی عاید جامعه می‌شود. در جدول ۱ منافع اقتصادی سالانه ناشی از بهبود ایمنی جاده‌ها بعد از احداث سامانه اتوبوس تندرو در چهار کشور، مکزیک، کلمبیا، هند و استرالیا ارائه شده است. در همه این پروژه‌ها منافع اقتصادی چشمگیری عاید جامعه شده است. قسمت عمده این منافع از طریق کاهش خسارات جانی حاصل شده است؛ چراکه نرخ کاهش تصادفات مرگبار بالاتر از دیگر انواع تصادفات بوده و دیگر این که هزینه خسارات جانی خیلی بیشتر از دیگر انواع هزینه‌هاست. برای مثال در پروژه سامانه اتوبوس تندرو شهر مکزیک، علی‌رغم افزایش جزئی اثرات منفی اقتصادی ناشی از افزایش خسارات غیرجانی، به دلیل کاهش چشمگیر مرگ و میر و جراحات، به ازای هر کیلومتر توسعه خط سامانه اتوبوس تندرو منفعت خالص ۴۹۷۰۰۰ دلاری در سال عاید جامعه می‌شود؛ بنابراین به ازای ۹۵ کیلومتر مسیر سامانه اتوبوس تندرو موجود در سطح شهر، منفعت ۴۵ تا ۵۰ میلیون دلاری تنها از طریق بهبود ایمنی عاید جامعه می‌شود.

1. Blincoe

2. lue

جدول ۱ منافع اقتصادی، بهبود ایمنی ناشی از احداث سامانه اتوبوس تندرو در سال به ازای یک کیلومتر مسیر

شهر	حوادث جانی (دلار آمریکا ۲۰۱۲)	جراحات (دلار آمریکا ۲۰۱۲)	خسارت به اموال (دلار آمریکا ۲۰۱۲)	کل (به ازای هر کیلومتر) (دلار آمریکا ۲۰۱۲)
گوادالاخارا (مکزیک)	۱۳۸۳۰۲	۱۳۱۳۱۶	۵۷۳۵۸	۳۲۶۹۷۷
مکزیک (مکزیک)	۲۸۹۱۱۹	۲۱۳۱۵۴	-۵۱۷۱	۴۹۷۱۰۱
احمدآباد (هند)	۱۷۰۱۳۱	۶۸۹۱	۲۷۳	۱۷۷۲۹۵
بوگوتا (کلمبیا)	۵۱۳۲۴۱	۲۳۷۰۰۷	-	۷۵۰۲۴۸
ملبورن (استرالیا)	۹۷۶	۳۲۸۶۸	۹۳۴	۱۳۲۷۷۸

در راستای تخمین منافع حاصل از بهبود ایمنی جاده و شرایط محیط زیستی، تعیین قیمت زندگی انسان امری لازم و ضروری است. ارزش آماری زندگی عبارت است از میزان تمایل به پرداخت افراد جامعه برای کاهش یک مورد مرگ از بین افرادی که می‌میرند. در این روش به وسیله تجزیه و تحلیل پرسش‌نامه‌های جمع‌آوری شده از افراد جامعه در مورد تمایل به پرداخت وجه به منظور کاهش یک مورد مرگ، میزان ارزش آماری زندگی انسان محاسبه می‌شود. این روش برآورد، دارای قابلیت تعمیم از یک کشور به کشور دیگر است که با در نظر گرفتن برابری قوه خرید انجام می‌شود. تعداد زیادی از مطالعات ارزش آماری زندگی را برای کشورهای توسعه یافته تخمین زده‌اند، اما این تخمین برای کشورهای در حال توسعه وجود ندارد (کراپر و سهین^۱، ۲۰۰۹)؛ بنابراین برای محاسبه ارزش آماری زندگی از روش انتقال منافع می‌توان به طور غیرمستقیم متوسط تمایل به پرداخت برآورد شده از کشورهای توسعه یافته (در این مطالعه آمریکا) را به ایران با استفاده از معادله^۲ انتقال داد (اسپراتو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). در راستای اطمینان از نتایج برآورد، در این مطالعه با یک رویکرد محتاطانه کم‌ترین رقم برآوردی ارزش آماری زندگی در

1. Cropper & Sahin

2. Esperato

آمریکا معادل ۳,۸۱ میلیون دلار استفاده شد (اسپراتو و همکاران، ۲۰۱۲)، با این فرض که این رقم تمامی جنبه‌های اقتصادی ازدست رفته زندگی هر فرد از قبیل، هزینه‌های پزشکی، تأثیر بر خانواده و دوستان و... را دربر گرفته است.

$$VSL_i = 3810000 \times \eta \times \frac{GNI_i}{GNI_{US}} \quad (2)$$

به طوری که VSL_i : ارزش یک زندگی آماری در کشور i ؛ GNI_i : سرانه درآمد ناخالص ملی در کشور i ؛ GNI_{US} : سرانه درآمد ناخالص ملی آمریکا؛ η : کشش درآمد در ارزش زندگی آماری که ۱ تا ۱/۵ توصیه می‌شود (اسپراتو و همکاران، ۲۰۱۲). با در نظر گرفتن سرانه درآمد ناخالص ملی کشورمان در سال مبدأ شروع این مطالعه (۲۰۱۷) (معادل ۶۵۵۰ دلار) و کشور آمریکا (۵۵۹۸۰) و همچنین کشش درآمد یک، ارزش آماری زندگی در ایران ۴۴۷۱۹۱ دلار برآورد می‌شود. در آمریکا شدت جراحات در یک مقیاس استاندارد هفت درجه‌ای بیان می‌شود. در شرایط فقدان داده مکفی از شدت جراحات، در این مطالعه ما برای تمامی جراحات شدت درجه ۳ (شدت میانه) را در نظر گرفته‌ایم. همچنین برای برآورد هزینه ناشی از تصادفاتی که به جراحات و یا خسارات صرفاً مالی منجر می‌شود نیز داده‌ای وجود ندارد. بنابراین در این راستا از معادله ۳ برای تعمیم هزینه‌های مربوطه در کشور آمریکا به شرایط ایران استفاده شد. در این روش فرض بر این است که نسبت هزینه‌ها در کشورهای مختلف به هزینه در کشور آمریکا با نسبت درآمد ملی ناخالص دو کشور برابر است.

$$C_j = C_{US}^j \times \frac{GNI_j}{GNI_{US}} \quad (3)$$

به طوری که C_{US} ، C_{nj} : هزینه مؤلفه n (مانند هزینه‌های درمان) در کشور j و کشور آمریکا؛ GNI_j ، GNI_{US} : سرانه درآمد ملی ناخالص در کشور j و کشور آمریکا است.

در این رویکرد به احتمال زیاد رقم برآورد در حوادث صرفاً مالی (آسیب به ماشین و...) از میزان واقعی هزینه‌ها کم‌تر است، چرا که در این نوع هزینه‌ها کشش قیمت نسبت به درآمد معمولاً کم‌تر از ۱ است. جدول ۲ و ۳ هزینه را در کشورهای، مکزیک، هند، کلمبیا و ترکیه نشان می‌دهد.

جدول ۲ هزینه تصادفات جانی (که منجر به جراحت شود) در کشورهای مختلف

کشور	هزینه هر آسیب بدنی (جراحت) ناشی از تصادفات (دلار آمریکا)
مکزیک	۳۱۸۷۶
کلمبیا	۱۹۶۴۸
ترکیه	۵۲۹۴۸
هند	۴۴۸۴

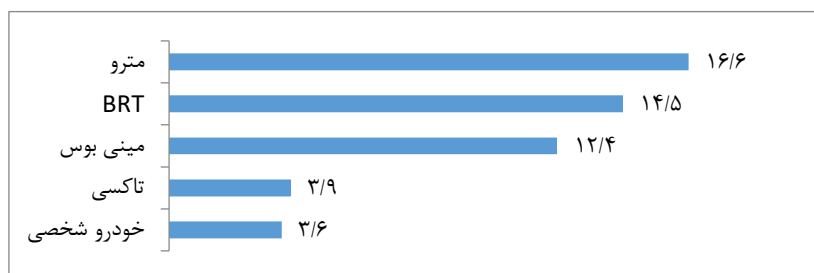
جدول ۳ هزینه تصادفات غیرجانی (که به آسیب به وسایط نقلیه و معابر منجر شود) در کشورهای مختلف

کشور	هزینه ناشی از تصادفات (دلار آمریکا)
مکزیک	۶۸۹
کلمبیا	۴۲۶
ترکیه	۷۹۰
هند	۹۷

در این مطالعه براساس توضیحات ارائه شده هزینه متوسط هر نفر آسیب (جراحت) معادل ۳۴۸۵۵ دلار در نظر گرفته شده است. برآورد تغییر سطح فعالیت فیزیکی کاربران سامانه اتوبوس تندرو دارای برخی عدم قطعیت هاست. در حال حاضر درمورد میزان پیاده روی کاربران سامانه اتوبوس تندرو در قبل و بعد از احداث آن داده ای موجود نیست. باوجوداین، در این زمینه در حالت های مختلف رفتار حمل و نقلی داده هایی وجود دارد (برای مثال: میانگین زمان پیاده روی هر فرد در صورت استفاده از انتخاب های مختلف طریق سفر). دیگر مؤلفه های مورد نیاز در این تحلیل عبارت اند از: منافع سلامت ناشی از افزایش میزان پیاده روی و ارزش اقتصادی جلوگیری از مرگ زودرس. در این مطالعه از ابزارهای ارزیابی اقتصادی و سلامت سازمان بهداشت جهانی و همچنین ارزش برآوردی زندگی آماری (تشریح شده در بخش های پیشین) استفاده شده است. با استفاده از داده های مربوط به تغییر طریق سفر و زمان پیاده روی اختصاص یافته به هر کدام (شکل ۱) می توان برآوردی از تغییر کل زمان پیاده روی در هر سفر (که با سامانه اتوبوس تندرو انجام شود) به دست آورد. هم بستگی معنی داری میان طریق سفر (خودروی شخصی، تاکسی، اتوبوس، مترو) و سطح فعالیت فیزیکی وجود دارد (بررسی سفر در شهر مکزیکو^۱، ۲۰۰۷). این هم بستگی به ویژگی های طریق سفر مختلف مربوط می شود. سفر با استفاده از خودروی

1. Mexico City Household Travel survey

شخصی کم‌ترین میزان پیاده‌روی را می‌طلبد، درحالی‌که استفاده از تاکسی نیاز به کمی پیاده‌روی دارد. استفاده از حمل‌ونقل عمومی مانند سامانه اتوبوس تندرو و مترو مطمئناً نیاز به پیاده‌روی بیشتری نسبت به استفاده از تاکسی دارد. میزان پیاده‌روی در زمان استفاده از سامانه اتوبوس تندرو و مترو به میانگین فاصله میان ایستگاه‌ها وابسته است؛ بنابراین می‌توان گفت استفاده از مترو تا حدودی نیاز به پیاده‌روی بیشتر مسافر دارد. شکل ۱ میانگین زمان پیاده‌روی در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد. سامانه اتوبوس تندرو بعد از مترو از وسایط نقلیه موتوری است که نیاز به پیاده‌روی بالایی دارد.



شکل ۱ میانگین زمان پیاده‌روی (دقیقه در روز) شهروندان مکزیکوسیتی در حالت‌های مختلف استفاده از وسایط نقلیه^۱

روش

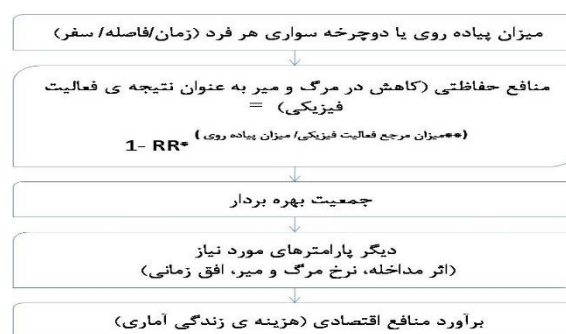
خط ۲ اتوبوس‌های تندرو مشهد با عبور از راستای اصلی و مهم شمالی-جنوبی شهر (خواجه ربیع-عبادی-امام خمینی) بار سنگینی از جابه‌جایی‌های درون‌شهری این بخش را به عهده خواهد گرفت (شکل ۳). در حال حاضر نیز تعداد زیادی خطوط اتوبوس معمولی شهر مشهد در این معابر در حال سرویس‌دهی هستند. این مسیر از میدان انقلاب - خیابان امام خمینی - میدان شهدا - خیابان عبادی - خیابان خواجه ربیع می‌گذرد و در انتها به آرامگاه خواجه ربیع ختم می‌شود. به‌منظور ارزش‌گذاری اثر احداث خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد، بر سلامت جامعه از طریق افزایش فعالیت فیزیکی شهروندان، بعد از تعیین مؤلفه‌های مطرح‌شده و همچنین تخمین تعداد مسافر و نحوه تغییر طریق سفر در شهر، از مدل فراهم‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان «HEAT tool» برآوردهای پولی

1. Source: Mexico City household travel survey 2007

انجام شد. ابزار ارزیابی اقتصادی سلامت (HEAT)، نرم افزاری کاربردی است که ارزیابی اقتصادی سلامت در کشورها را تسهیل می کند. از این ابزار در کشورهای مختلف جهت بررسی سلامت شهرها استفاده می شود (اسپرتو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). از این ابزار جهت ارزیابی سلامت ناشی از پیاده روی در شهرهای ایران مطالعه ای انجام نشده است. در شکل ۲ فرایند مورد استفاده در این مدل ارائه شده است. به منظور کمی سازی و ارزش گذاری میزان تأثیر سامانه اتوبوس تندرو بر انتشار گازهای گلخانه ای روشی باید اتخاذ شود که به صورت جامع این موارد را در برگیرد. یکی از جامع ترین روش ها برای ارزیابی و ارزش گذاری اثر سامانه اتوبوس تندرو بر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مدل ارائه شده توسط صندوق محیط زیست جهانی، تحت عنوان مدل ارزیابی انتشار حمل و نقل است که در این مطالعه از آن بهره برده شده است.

یافته ها

اطلاعات پایه مربوط به پروژه سامانه اتوبوس تندرو خط ۲ مشهد در جدول ۴ ارائه شده است. از آنجا که افق زمانی طرح بیست سال در نظر گرفته شده است با احتساب سال ۲۰۱۷ به عنوان سال افتتاح پروژه، هزینه ها و فایده های پروژه تا سال ۲۰۳۶ در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تعداد روزهای عملیاتی پروژه در سال ۳۶۵ روز (در تمامی طول سال) فرض شده است.



شکل ۲ فرایند مورد استفاده در مدل «HEAT tool»؛*: ریسک نسبی مرگ (۷۸ درصد برای پیاده روی و ۷۲ درصد برای دوچرخه سواری)،*: ۲۹ دقیقه پیاده روی در روز با سرعت ۴٫۸ کیلومتر بر ساعت.



شکل ۳ موقعیت مسیر سامانه اتوبوس تندرو

جدول ۴ اطلاعات توصیفی پروژه

نام پروژه	خط ۲ BRT مشهد
موقعیت	مشهد - بلوار امام خمینی - بلوار خواجه ربیع
سال اولیه	۲۰۱۷
سال میانه	۲۰۲۶
سال افق طرح	۲۰۳۶
تعداد روزهای بهره‌برداری از طرح	۳۶۵

از مهم‌ترین داده‌های ورودی برای انجام تحلیل هزینه-فایده داده‌های مربوط به طول مسیر سامانه اتوبوس تندرو و همچنین تعداد روزانه مسافر جابه‌جا شده و چگونگی تغییر رفتار حمل‌ونقلی بعد از احداث سامانه اتوبوس تندرو است. در جدول ۵ این داده‌ها ارائه شده است. کل مسیر یک‌طرفه سامانه اتوبوس تندرو در این پروژه براساس محاسباتی که در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد برابر ۲۳ کیلومتر است؛ و این رقم در طول افق زمانی پروژه ثابت خواهد ماند. طول مسیر احداث شده به‌خصوص برای

محاسبه دی اکسید کربن منتشر شده در فرایند ساخت مسیر مورد نیاز است. در این پروژه روزانه ۳۸۴ سرویس سامانه اتوبوس تندرو از پایانه های خط عازم خواهد شد. با فرض محتاطانه، اگر هر سرویس در مدت زمان سفر خود از ابتدا تا انتهای خط ۱۰۰ مسافر را جابه جا کند. تعداد روزانه ۳۸۴۰۰ مسافر جابه جا خواهد شد. البته این رقم طی محاسباتی در مراحل اولیه تحلیل به نسبت امتیاز کیفی سامانه اتوبوس تندرو تعدیل خواهد شد. تغییر مد سفر از دیگر وسایط نقلیه به سامانه اتوبوس تندرو به صورت درصد از مسافر به تفکیک دیگر وسایط خصوصی و عمومی عنوان می شود که برآورد کلی در این زمینه برای خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد در جدول ۵ ارائه شده است. از آنجا که هدف تخمین تغییرات و ارزیابی آن است و هر نوع رفتار حمل و نقلی هزینه های متفاوتی برای جامعه دارد باید نسبت های تغییر مد در نظر گرفته شود.

جدول ۵ اطلاعات مربوط به طول مسیر و تعداد روزانه مسافر و درصد تغییر مد از دیگر وسایط نقلیه به در مسیر خط ۲

نوع وسیله	طول تجمعی BRT ساخته شده (کیلومتر)	۲۰۱۷	۲۰۲۶	۲۰۳۶
		۲۳	۲۳	۲۳
-	تعداد سواره در روز	۲۰۱۷	۲۰۲۶	۲۰۳۶
		۴۰.۳۸	۴۰.۳۸	۴۰.۳۸
-	تغییر مد به BRT	۲۰۱۷	۲۰۲۶	۲۰۳۶
شخصی	سواری	%۱۵	%۱۵	%۱۵
	دو چرخه	%۵	%۵	%۵
	تاکسی	%۳۵	%۳۵	%۳۵
عمومی	چرخنده ها	%۰	%۰	%۰
	اتوبوس	%۴۵	%۴۵	%۴۵
	مینی بوس	%۰	%۰	%۰
کل	مجموع	%۰.۱۰۰	%۰.۱۰۰	%۰.۱۰۰

امتیاز کیفی سامانه اتوبوس تندرو براساس جدولی تحت عنوان اسکور کارد^۱ بررسی می شود. در این جدول نمره مؤلفه های کیفیت سامانه اتوبوس تندرو در حال ساخت با وضع موجود مقایسه و در نهایت امتیاز هر کدام در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ تعیین می شود.

براساس درجه اختلاف میان وضع موجود و سامانه اتوبوس تندرو، ضربی تحت عنوان فاکتور جذب مسافر^۱ به سامانه اتوبوس تندرو مورد مطالعه اختصاص می‌یابد. با ضرب این ضرب در این مطالعه ۱/۱ براساس جدول شماره ۵ در تعداد مفروض روزانه مسافر (در این مطالعه ۳۸۴۰۰ مطابق جدول شماره ۵)، برآوردی تعدیل شده از تعداد سفر روزانه (در این مطالعه ۴۲۲۴۰، جدول شماره ۶) به دست خواهد آمد که در محاسبات بعدی ملاک عمل قرار خواهد گرفت. سهم هر کدام از بخش‌های حمل و نقل در تأمین مسافران خط اتوبوس تندروی ۲ مشهد در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶ امتیاز مربوط به خط ۲ خط تندروی اتوبوس مشهد

امتیاز	سیستم	سیستم	اجزا
هر جز	اتوبوس تندرو	موجود	
ارکان اتوبوس تندرو			
۸	۸	۲	مسیر ویژه اختصاص یافته برای مسیر اتوبوس تندرو
۸	۸	۲	تراز اتوبوس رانی
۸	۸	۰	محل جمع آوری کرایه‌ها
۷	۸	۷	تقاطع‌ها
۷	۸	۵	سکوی سوار شدن
برنامه ریزی خدمات			
۴	۴	۳	مسیرهای متعدد
۳	۳	۲	خدمات اکسپرس، محدود و محلی
۳	۳	۱	مرکز کنترل
۲	۲	۱	راهروها
۳	۳	۲	مشخصات تقاضا
۲	۲	۱	ساعات عملکرد
۲	۲	۱	شبکه چند راهروی
زیرساخت			
۴	۴	۳	خطوط عبور در ایستگاه‌ها
۳	۳	۲	به حداقل رساندن آلایندگی اتوبوس
۳	۳	۲	ایستگاه‌های دور از تقاطع
۲	۲	۱	ایستگاه‌های مرکزی
۲	۱	۱	کیفیت روسازی

ادامه جدول ۶

امتیاز	سیستم	سیستم	اجزا
هر جز اتوبوس تندرو موجود	موجود	موجود	
ایستگاه			
۲	۲	۲	فاصله بین ایستگاه‌ها
۳	۳	۲	ایستگاه‌های امن و پرآسایش
۳	۳	۲	تعداد درهای اتوبوس
۱	۱	۱	اسکله‌ها و ایستگاه‌های فرعی
۱	۱	۰	درهای کشویی در ایستگاه‌های BRT
ارتباطات			
۳	۲	۲	نام تجاری
۲	۱	۱	اطلاعات مسافران
دسترسی و یکپارچگی			
۳	۲	۲	دسترسی جهانی
۳	۲	۲	ادغام با سایر وسایل حمل و نقل عمومی
۳	۲	۳	دسترسی عابر پیاده
۲	۱	۱	پارکینگ امن دوچرخه
۲	۰	۰	خط ویژه دوچرخه
۱	۰	۰	ادغام اشتراک دوچرخه
کسر امتیاز			
-۱۰	۰	-۴	سرعت‌های تجاری
-۵	-۲	-۲	اوج مسافر در ساعت در هر جهت
-۵	۰	-۲	عدم اجرای حق تقدم
-۵	۰	-۵	فاصله قابل توجهی بین طبقه اتوبوس و سکوی ایستگاه
-۵	-۲	-۲	ازدحام بیش از حد
-۱۰	-۱	-۲	اتوبوس‌ها، ایستگاه‌ها و سیستم‌های فناوری که ضعیف نگهداری می‌شوند
-۳	۰	۰	فرکانس پایین
-۲	۰	۰	فرکانس خارج از پیک پایین
۱۰۰	۸۷	۳۷	امتیاز کل

جدول ۷ تعداد مسافر روزانه (اصلاح شده) به همراه سهم هر کدام از بخش های حمل و نقل در تأمین مسافران برآوردی برای خط ۲ خط تندروی اتوبوس مشهد

سفرهای سواره	۲۰۱۷	۲۰۲۶	۲۰۳۶
تنظیم سفرهای سواره	۲۴۰,۴۲	۲۴۰,۴۲	۲۴۰,۴۲
ماشین سواری	۳۳۶,۶	۳۳۶,۶	۳۳۶,۶
دوچرخه	۱۱۲,۲	۱۱۲,۲	۱۱۲,۲
تاکسی	۷۸۴,۱۴	۷۸۴,۱۴	۷۸۴,۱۴
اتوبوس	۰۰۸,۱۹	۰۰۸,۱۹	۰۰۸,۱۹
کل	۲۴۰,۴۲	۲۴۰,۴۲	۲۴۰,۴۲

کمی سازی کاهش میزان انتشار دی اکسید کربن به عنوان گاز گلخانه ای و دیگر آلاینده ای مهم هوا، علاوه بر کمی سازی تغییر رفتار حمل و نقلی بعد از احداث سامانه اتوبوس تندرو، به داده های کمی دیگری نیاز دارد. این داده ها شامل درصد نوع سوخت مصرفی به تفکیک انواع وسایط نقلیه، نوع فناوری به کار رفته در وسایل نقلیه به تفکیک نوع سوخت، کارایی مصرف سوخت به تفکیک نوع وسیله نقلیه و سوخت مصرفی آن، میانگین سرعت حرکت، تعداد سرنشین و میانگین مسافت سفر به تفکیک وسایط نقلیه عمومی و خصوصی، فاکتور انتشار دی اکسید کربن و دیگر آلاینده های مدنظر با واحد (گرم/ وسیله کیلومتر) برای انواع وسایط نقلیه در محدوده مطالعاتی است. تمامی این داده ها برای محدوده مورد مطالعه محاسبه شده است. با انجام عملیات جبری میان داده های ارائه شده می توان علاوه بر کمی سازی میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق، شاخص های دیگر نظیر میزان کاهش کیلومتر مسافت سفر وسایط نقلیه^۱، کاهش زمان سفر^۲ و میزان صرفه جویی در مصرف سوخت^۳ را نیز به دست آورد. در فرایند اجرای پروژه به ازای مواد مورد استفاده (سیمان، فولاد و آسفالت) مقداری دی اکسید کربن تولید می شود که این میزان باید محاسبه شود و در محاسبات نهایی مورد توجه قرار گیرد. برای محاسبه این اثر از داده های ارائه شده در جدول ۸ استفاده شده است. در این جدول مقدار میانگین انتشار دی اکسید کربن به ازای هر تن از مواد مصرفی و همچنین میانگین مصرف هر کدام از مواد را در ایجاد هر کیلومتر از مسیر سامانه اتوبوس تندرو، نشان می دهد.

1. Vkt

2. Time Travel Savings

3. Fuel Savings

جدول ۸ انتشار دی اکسید کربن به دنبال ساخت و ساز هر کیلومتر از مسیر اتوبوس تندرو

انتشار دی اکسید کربن	کمیت (تن / کیلومتر)			CO ₂ تن / تن مواد
سال	۲۰۱۷	۲۰۲۶	۲۰۳۶	۲۰۱۷
سیمان	۸.۷۳۷	۸.۷۳۷	۸.۷۳۷	۹۹.۰
قیر	۵.۴۰۳	۵.۴۰۳	۵.۴۰۳	۰۳.۰
آهن	۲.۱۴۳	۲.۱۴۳	۲.۱۴۳	۵.۲

اثر سامانه اتوبوس تندرو بر کاهش تصادفات ترافیکی و در نتیجه کاهش هزینه های تحمیلی به جامعه از قبیل هزینه مرگ و میر و درمان جراحات با استفاده از دو مؤلفه کاهش کیلومتر مسافت سفر و سبک تر حمل و نقل از طریق سامانه اتوبوس تندرو و میزان استاندارد تأثیر این فاکتور بر کاهش مرگ و میر (ارائه شده در جدول ۱۳) محاسبه شده است. گفتنی است که در مطالعات تعداد صدمات را ضریبی از تعداد مرگ و میر برآورد می کنند (معمولاً تعداد صدمات ۱۵ برابر تعداد مرگ و میر است). به منظور ارزیابی میزان تأثیر سامانه اتوبوس تندرو بر افزایش تحرک فیزیکی شهروندان، ابتدا با استفاده از داده های ارائه شده در شکل شماره ۲ در زمینه میانگین زمان پیاده روی در هر کدام از حالت های سفر درون شهری (تفاوت در نوع وسیله نقلیه) و همچنین داده های موجود در جدول ۷ در مورد تعداد مسافر سامانه اتوبوس تندرو و تغییر مد حمل و نقلی از دیگر وسایل نقلیه به سامانه اتوبوس تندرو میانگین افزایش پیاده روی در ۴۲۲۴۰ نفر کاربر سامانه اتوبوس تندرو (روزانه) تعیین شد. این میزان معادل ۷/۶۷ دقیقه در روز برای هر نفر بود. تأثیر این میزان افزایش پیاده روی در کاهش ریسک مرگ و میر و در نتیجه بهبود سلامت جامعه مورد ارزشیابی قرار گرفت؛ و نهایتاً با توجه به فاکتورهای اقتصادی ارزشیابی شد. به منظور تعیین ارزش پولی هر کدام از منافع حاصله از اجرای پروژه سامانه اتوبوس تندرو به فاکتورهای اقتصادی از قبیل هزینه انتشار هر تن دی اکسید کربن^۱، ذرات معلق^۲ و اکسیدهای نیتروژن^۳، هزینه اتلاف زمان (با توجه به سطح درآمدی جامعه مورد مطالعه)، هزینه آماری زندگی (هزینه مرگ و میر در اثر بروز حادثه)، هزینه صدمات (درمان جراحات در اثر بروز تصادفات ترافیکی در سطح شهر)، نرخ تورم سالانه در

1. CO₂
2. PM
3. NO_x

جامعه، ضریب تنزیل و قیمت سوخت نیاز است. در پایان برای مقایسه منافع با هزینه‌ها باید هزینه احداث و راه‌اندازی و همچنین هزینه سالانه مدنظر قرار گیرد.

جدول ۹ فاکتورهای اقتصادی

هزینه ساخت طرح (دلار)	۵,۲۰۰,۰۰۰.۰۰
هزینه CO ₂ (دلار بر تن)	۲۰.۰۰
هزینه PM (دلار بر تن)	۱۵,۰۰۰.۰۰
هزینه Nox (دلار بر تن)	۳,۵۰۰.۰۰
هزینه زمان (دلار بر ساعت)	۱/۲۵
هزینه مرگ‌ومیر (دلار بر نفر)	۴۴۷,۱۹۱.۰۰
هزینه صدمات (دلار بر نفر)	۳۴,۸۵۵.۰۰
تورم سالیانه (درصد)	۱۴.۰%
نرخ تنزیل (درصد)	۱۵.۰%
هزینه نگهداری سالیانه نسبت به درصد ساخت	۱۰.۰۰%

جدول ۱۰ قیمت سوخت

CNG	دیزل (لیتر)	گازوئیل (لیتر)	سوخت
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۴۷	قیمت/ واحد (دلار)

بحث و نتیجه‌گیری

جهت برآورد اثر کاهش زمان سفر، با میانگین‌گیری از سرعت دیگر وسایط نقلیه و تفریق آن با میانگین سرعت سامانه اتوبوس تندرو تفاوت در سرعت محاسبه شد. با قرارگیری مجموع کیلومتر سفر مسافران (تعداد کاربر سامانه اتوبوس تندرو) در کنار این داده‌ها می‌توان زمان سفر کاهش‌یافته یا همان زمان صرفه‌جویی‌شده را به‌دست آورد. میزان اثر بر کاهش کیلومتر سفر وسایط نقلیه برای خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد به‌دست آمد. با توجه به نرخ معمول تعداد مرگ‌ومیر و جراحات به ازای کیلومتر سفر وسایط نقلیه تعداد کاهش مرگ‌ومیر و جراحات بر اثر احداث سامانه اتوبوس تندرو نیز (به‌عنوان یکی از اثرات سامانه اتوبوس تندرو بر سلامت جامعه) به‌دست آمد. این ارقام براساس داده‌های ارائه‌شده در زمینه نوع سوخت، کاهش کیلومتر مسافت و... در کنار اعمال ضرایب انتشار

جدول ۱۱ درصد نوع سوخت به تفکیک انواع وسایط نقلیه

نوع وسیله نقلیه	۲۰۱۷						۲۰۲۶						۲۰۳۶								
	بنزین	دیزل	LPG	CNG	الکتریکی	اتانول	مجموع	بنزین	دیزل	LPG	CNG	الکتریکی	اتانول	مجموع	بنزین	دیزل	LPG	CNG	الکتریکی	اتانول	مجموع
خودرو	۷۵	۰	۰	۲۵	۰	۰	۱۰۰	۷۰	۰	۰	۳۰	۰	۰	۱۰۰	۶۰	۰	۰	۴۰	۰	۰	۱۰۰
دوچرخه - شخصی	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
تاکسی	۶۵	۰	۰	۳۵	۰	۰	۱۰۰	۶۰	۰	۰	۴۰	۰	۰	۱۰۰	۵۵	۰	۰	۴۵	۰	۰	۱۰۰
اتوبوس	۰	۷۵	۰	۲۵	۰	۰	۱۰۰	۰	۷۰	۰	۳۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۷۰	۰	۳۰	۰	۰	۱۰۰
سیستم اتوبوس تندرو	۰	۷۵	۰	۲۵	۰	۰	۱۰۰	۰	۷۰	۰	۳۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۷۰	۰	۳۰	۰	۰	۱۰۰

جدول ۱۲ نوع فناوری در وسایل نقلیه محدوده مطالعاتی (گازسوز، بنزین سوز و گازوئیل سوز)

		۲۰۱۷					۲۰۲۶					۲۰۳۶				
		قبل از یورو ۴	یورو ۴	یورو ۵	یورو ۶	مجموع	قبل از یورو ۴	یورو ۴	یورو ۵	یورو ۶	مجموع	قبل از یورو ۴	یورو ۴	یورو ۵	یورو ۶	مجموع
نوع فناوری	نوع وسیله نقلیه	درصد														
وسایل نقلیه بنزین سوز	سواری	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰	۸۵	۱۵	۰	۰	۱۰۰
	خودروی چند چرخ	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰
	تاکسی	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰		۱۰۰
وسایل نقلیه گازوئیل سوز	اتوبوس	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۸۵	۱۵	۰	۰	۱۰۰
	سامانه اتوبوس تندرو	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۸۵	۱۵	۰	۰	۱۰۰
وسایل گازسوز	سواری	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰
	تاکسی	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰
	اتوبوس	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰
	BRT	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵	۵	۰	۰	۱۰۰	۹۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰

جدول ۱۳ کارایی مصرف سوخت در سرعت حرکت ۵۰ کیلومتر بر ساعت

BRT	اتوبوس	شخصی			نوع نقلیه
		تاکسی	خودرو چند چرخ	سواری	
		۵۰.۱۲	۵۶.۵۵	۵۰.۱۲	بنزین (کیلومتر بر لیتر)
۵۷.۳	۵۷.۳				گازوئیل
					(کیلومتر بر لیتر)
					LPG (کیلومتر بر لیتر)
۰۰.۳۹	۰۰.۳۹	۰۰.۱۳۰		۰۰.۱۳۰	CNG
					الکتریکی کیلومتر بر کیلووات ساعت
					وات ساعت
۴۳.۱۲	۴۳.۱۲	۶۳.۵۳	۵۶.۵۵	۸۸.۴۱	اتانول (کیلومتر بر لیتر)
		۵۰.۱۲	۵۶.۵۵	۵۰.۱۲	میانگین
۵۷.۳	۵۷.۳				بنزین (کیلومتر بر لیتر)
					گازوئیل
					(کیلومتر بر لیتر)
					LPG (کیلومتر بر لیتر)
۰۰.۳۹	۰۰.۳۹	۰۰.۱۳۰		۰۰.۱۳۰	CNG (کیلومتر بر کیلوگرم)
					الکتریکی کیلومتر بر کیلووات ساعت
					وات ساعت
					اتانول (کیلومتر بر لیتر)
۲۰.۱۴	۲۰.۱۴	۵۰.۵۹	۵۶.۵۵	۷۵.۴۷	میانگین
		۵۰.۱۲	۵۶.۵۵	۵۰.۱۲	بنزین (کیلومتر بر لیتر)
۵۷.۳	۵۷.۳				گازوئیل
					(کیلومتر بر لیتر)
					LPG (کیلومتر بر لیتر)
۰۰.۳۹	۰۰.۳۹	۰۰.۱۳۰		۰۰.۱۳۰	CNG (کیلومتر بر کیلوگرم)
					الکتریکی کیلومتر بر کیلووات ساعت
					وات ساعت
۲۰.۱۴	۲۰.۱۴	۳۸.۶۵	۵۶.۵۵	۵۰.۵۹	اتانول (کیلومتر بر لیتر)
					میانگین

جدول ۱۵ فاکتور انتشار برای وسایط نقلیه مختلف براساس بنزین سوز و گازوئیل سوز در محدوده مطالعاتی

فاکتور انتشار	نوع وسیله نقلیه	۲۰۱۷						۲۰۲۶						۲۰۳۶					
		گازوئیل	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین	گازوئیل	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین	گازوئیل	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین	بنزین
دی اکسید کربن گازوئیل سوز (کیلوگرم بر لیتر)	اتوبوس	۵۸.۲					۵۸.۲	۵۸.۲	۵۸.۲				۵۸.۲	۵۸.۲	۵۸.۲			۵۸.۲	
	BRT	۵۸.۲					۵۸.۲	۵۸.۲	۵۸.۲				۵۸.۲	۵۸.۲	۵۸.۲			۵۸.۲	
دی اکسید کربن بنزین سوز (کیلوگرم بر لیتر)	سواری	۴۲.۲	۴۲.۲				۴۲.۲	۴۲.۲	۴۲.۲				۴۲.۲	۴۲.۲	۴۲.۲			۴۲.۲	
	دوچرخه	۴۲.۲					۴۲.۲	۴۲.۲					۴۲.۲	۴۲.۲	۴۲.۲			۴۲.۲	
	تاکسی	۴۲.۲					۴۲.۲	۴۲.۲	۴۲.۲				۴۲.۲	۴۲.۲	۴۲.۲			۴۲.۲	
اکسیدهای نیتروژن گازوئیل سوز (g/vkm ^۱)	اتوبوس	۴۵۹.۱۱					۴۶.۱۱	۴۵۹.۱۱	۹۳۷.۵				۱۸.۱۱	۴۵۹.۱۱	۹۳۷.۵			۶۳.۱۰	
	BRT	۴۵۹.۱۱					۴۶.۱۱	۴۵۹.۱۱	۹۳۷.۵				۱۸.۱۱	۴۵۹.۱۱	۹۳۷.۵			۶۳.۱۰	
اکسیدهای نیتروژن بنزین سوز (g/vkm)	سواری	۹۵۰.۰	۲۰۰.۰				۹۱.۰	۹۵۰.۰	۲۰۰.۰				۸۸.۰	۹۵۰.۰	۲۰۰.۰			۸۴.۰	
	دوچرخه	۰۵۰.۰					۰۵.۰	۰۵۰.۰					۰۵.۰	۰۵۰.۰	۰۳۰.۰			۰۵.۰	
	تاکسی	۹۵۰.۰					۹۵.۰	۹۵۰.۰	۲۰۰.۰				۹۱.۰	۹۵۰.۰	۲۰۰.۰			۸۸.۰	
ذرات معلق وسایل نقلیه گازوئیل سوز (g/vkm)	اتوبوس	۲۱۳.۱					۲۱.۱	۲۱۳.۱	۷۷۹.۰				۱۹.۱	۲۱۳.۱	۷۷۹.۰			۱۵.۱	
	BRT	۲۱۳.۱					۲۱.۱	۲۱۳.۱	۷۷۹.۰				۱۹.۱	۲۱۳.۱	۷۷۹.۰			۱۵.۱	
ذرات معلق وسایل نقلیه بنزین سوز (g/vkm)	ماشین	۰۰۸.۰	۰۰۳.۰				۰۱.۰	۰۰۸.۰	۰۰۳.۰				۰۱.۰	۰۱.۰	۰۰۳.۰			۰۱.۰	
	دوچرخه	۰۲۰.۰					۰۲.۰	۰۲۰.۰					۰۲.۰	۰۲.۰	۰۰۹.۰			۰۲.۰	
	تاکسی	۰۰۸.۰					۰۱.۰	۰۰۸.۰	۰۰۳.۰				۰۱.۰	۰۱.۰	۰۰۳.۰			۰۱.۰	

1. vehicle-kilometer

انواع آلاینده به دست آمده است (جدول ۱۸). تغییرات در میزان انتشار آلاینده‌ها در طی گذر زمان (در سال‌های مختلف از افق زمانی پروژه) به دلیل تغییرات پیش‌بینی شده در نسبت انواع سوخت‌های مصرفی و همچنین ارتقای کیفیت فناوری به وجود آمده است. میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت با استفاده از برآوردهای مربوط به دست آمد (جدول ۱۹). کاهش کیلومتر سفر انواع مختلف وسایط نقلیه به تفکیک نوع سوخت در مسیر خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد محاسبه و نتایج آن در جدول ۱۷ ارائه شده است. ارزش پولی این میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت با استفاده از با اعمال قیمت سوخت و در نظر گرفتن تورم (تورم سالانه ۱۴ درصد فرض شد) برآورد شده است (جدول ۲۰). تأثیر بر سلامت عمومی از طریق افزایش فعالیت فیزیکی شهروندان، مطابق توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبل با استفاده از سامانه طراحی شده توسط سازمان بهداشت جهانی انجام شد و نتایج آن در شکل شماره ۲ ارائه شده است. در این ارزیابی مطابق آخرین آمار ارائه شده توسط نهادهای دولتی، نرخ مرگ و میر معادل ۵/۶ نفر در هر ۱۰۰ نفر در نظر گرفته شد. با اعمال فاکتورهای اقتصادی برای تمام مؤلفه‌ها نتایج نهایی در جدول ۲۱ ارائه شده است.

کل منافع حاصل از اجرای پروژه خط ۲ سامانه اتوبوس تندرو مشهد معادل ۳۳۹۸۵۷۷۰۱ دلار است که ارزش خالص کنونی آن با اعمال نرخ تنزیل ۱۵ درصد برابر است با ۸۵۰۵۹۶۰۶ (هشتاد و پنج میلیون و پنجاه و نه هزار و شصت و شش دلار). نرخ بازگشت داخلی^۱ نیز ۲۹۱۵ درصد برآورد می‌شود. با مقایسه این مطالعه و سایر مطالعات در جهان و ایران می‌توان به راحتی به روز بودن و تفاوت این روش را با سایر مطالعات درک کرد. به علاوه این مطالعه، شکاف مطالعات قبل را با درگیر کردن شاخص‌های اجتماعی و سلامتی بیشتر در تحلیل هزینه و فایده را پر کرده است. در مطالعات مختص ایران (عباسی و همکاران، ۲۰۲۰؛ احمدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵؛ باور و همکاران، ۱۳۹۷) بخش هزینه کاهش گازهای گلخانه‌ای وارد ارزیابی هزینه و فایده نشده بود. در مطالعات ایران فقط هزینه‌های اجتماعی در طول یک بازه زمانی کوچک صورت گرفته، در حالی که ارزش افزوده این روش تخمین این هزینه‌ها با فرمول‌های به روزتر و در افق زمانی بیشتری است. در مطالعات جهانی مورد بررسی در این مقاله (هور و همکاران، ۲۰۰۱؛ باربوسا، ۲۰۱۳؛ خان، ۲۰۲۱؛ سیوندیس، ۲۰۱۷) نیز نحوه ارزیابی هزینه و فایده به‌طوری ارائه شده بود که از شاخص‌های کم‌تر و تنها یک یا دو شاخص برای این ارزیابی استفاده شده بود،

1. (IRR)

در صورتی که در این مطالعه هزینه اجتماعی کربن، برآورد اثرات ایمنی جاده، تخمین منافع اقتصادی ناشی از بهبود ایمنی جاده، ارزش زندگی آماری، برآورد اثر افزایش فعالیت فیزیکی شهروندان، برآورد میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثر بر کیفیت هوا همگی در تحلیل هزینه و فایده گنجانیده شده است. پیشنهاد می‌شود نتایج حاصل از این مطالعات و ارائه این روش ارزیابی در کنار روش ارزیابی اثرات در پروژه‌های توسعه‌ای در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان شهری جهت کاهش اثرات محیط زیست طرح‌های توسعه‌ای قرار گیرد. همچنین استفاده از مدل‌های به روز تحلیل هزینه و فایده در مطالعات حمل و نقل شهری شهرداری‌ها توصیه می‌شود تا نتایج مطالعات به صورت اجرایی و عملی در تصمیمات شهرداری‌ها اجرایی شود. پیشنهاد می‌شود ارزیابی اثرات محیط زیستی طرح‌های توسعه‌ای از این دست به همراه ارزیابی اثرات اقتصادی پروژه‌های شهری در دستور کار شهرداری‌ها قرار گیرد.

جدول ۱۷ میزان کاهش کیلومتر سفر وسایط نقلیه، میزان کاهش مرگ و میر و صدمات ناشی از تصادفات در سال های افق زمانی خط ۲ اتوبوس تندرو مشهد

سال	کاهش کیلومتر سفر (میلیون/سال)	نرخ های مرگ و میر پیش بینی شده	تعداد تلفات کاهش یافته	تعداد جراحات کاهش یافته
۲۰۱۷	۳۲/۲۱	۱۵۵/۲۲	۵/۰۰	۷۵/۰۰
۲۰۱۸	۳۲/۲۱	۱۵۰/۴۰	۴/۸۴	۲۷/۶۷
۲۰۱۹	۳۲/۲۱	۱۴۵/۷۳	۴/۶۹	۷۰/۴۱
۲۰۲۰	۳۲/۲۱	۱۴۱/۲۰	۴/۵۵	۶۸/۲۲
۲۰۲۱	۳۲/۲۱	۱۳۶/۳۶	۴/۳۹	۶۵/۸۸
۲۰۲۲	۳۲/۲۱	۱۳۱/۶۸	۴/۲۴	۶۳/۶۲
۲۰۲۳	۳۲/۲۱	۱۲۲/۱۶	۴/۱۰	۶۱/۴۴
۲۰۲۴	۳۲/۲۱	۱۲۲/۸۰	۳/۹۶	۵۹/۳۳
۲۰۲۵	۳۲/۲۱	۱۱۸/۵۹	۳/۸۲	۵۷/۳۰
۲۰۲۶	۳۲/۲۱	۱۱۴/۵۲	۳/۶۹	۵۵/۳۳
۲۰۲۷	۳۲/۲۱	۱۱۰/۵۹	۳/۵۶	۵۳/۴۴
۲۰۲۸	۳۲/۲۱	۱۰۶/۸۰	۳/۴۴	۵۱/۶۰
۲۰۲۹	۳۲/۲۱	۱۰۳/۱۴	۳/۳۲	۴۹/۸۳
۲۰۳۰	۳۲/۲۱	۹۹/۶۰	۳/۲۱	۴۸/۱۲
۲۰۳۱	۳۲/۲۱	۹۵/۶۷	۳/۰۸	۴۶/۲۲
۲۰۳۲	۳۲/۲۱	۹۱/۹۰	۲/۹۶	۴۴/۴۰
۲۰۳۳	۳۲/۲۱	۸۸/۲۷	۲/۸۴	۴۲/۶۵
۲۰۳۴	۳۲/۲۱	۸۴/۷۹	۲/۷۳	۴۰/۹۷
۲۰۳۵	۳۲/۲۱	۸۱/۴۵	۲/۶۲	۳۹/۳۵
۲۰۳۶	۳۲/۲۱	۷۸/۲۳	۲/۵۲	۳۷/۸۰
کل	۶۴۴/۲۲	۲۲۸۴/۱۱	۷۳/۵۷	۱۱۰۳/۶۰

جدول ۱۹ میزان صرفه جویی در مصرف سوخت در سال‌های افق زمانی خط ۲ اتوبوس تندرو مشهد به تفکیک نوع سوخت

سال	بنزین (لیتر)	گازوئیل (لیتر)	LPG (لیتر)	CNG (کیلوگرم)	الکترونیک (کیلو وات ساعت)	اتانول (لیتر)
۲۰۱۷	۲۴۵۴۰۴۸	۳۵۷۵۳۰	۰	۱۱۶۴۸۹	۰	۰
۲۰۱۸	۲۴۳۴۷۵۳	۳۵۴۸۸۲	۰	۱۱۵۵۸۷	۰	۰
۲۰۱۹	۲۴۱۵۴۵۷	۳۵۲۲۳۳	۰	۱۲۰۶۸۵	۰	۰
۲۰۲۰	۲۳۹۶۱۶۱	۳۴۹۵۸۵	۰	۱۲۲۷۸۳	۰	۰
۲۰۲۱	۲۳۷۶۸۶۵	۳۴۶۹۳۷	۰	۱۲۴۸۸۱	۰	۰
۲۰۲۲	۲۳۵۷۵۷۰	۳۴۴۲۸۸	۰	۱۲۶۹۷۸	۰	۰
۲۰۲۳	۲۳۳۸۲۷۴	۳۴۱۶۴۰	۰	۱۲۹۰۷۶	۰	۰
۲۰۲۴	۲۳۱۸۹۷۸	۳۳۸۹۹۲	۰	۱۳۱۱۷۴	۰	۰
۲۰۲۵	۲۲۹۹۶۸۲	۳۳۶۴۴۳	۰	۱۳۳۲۷۲	۰	۰
۲۰۲۶	۲۲۸۰۳۸۷	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۳۵۶۹	۰	۰
۲۰۲۷	۲۲۵۷۱۴۰	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۳۹۰۵۹	۰	۰
۲۰۲۸	۲۲۳۳۸۹۴	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۴۳۱۱۳	۰	۰
۲۰۲۹	۲۲۱۰۶۶۸	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۴۷۶۸۶	۰	۰
۲۰۳۰	۲۱۸۷۴۰۲	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۵۳۰۳۸	۰	۰
۲۰۳۱	۲۱۶۴۱۵۶	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۵۹۶۳۷	۰	۰
۲۰۳۲	۲۱۴۰۹۰۹	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۶۸۴۱۷	۰	۰
۲۰۳۳	۲۱۱۷۶۶۳	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۸۱۵۶۲	۰	۰
۲۰۳۴	۲۰۹۴۴۱۷	۳۳۳۶۹۵	۰	۲۰۵۶۱۶	۰	۰
۲۰۳۵	۲۰۷۱۱۷۱	۳۳۳۶۹۵	۰	۲۷۳۳۰۶	۰	۰
۲۰۳۶	۲۰۴۷۹۲۵	۳۳۳۶۹۵	۰	۱۴۴۶۳۰	۰	۰
کل	۴۵۱۹۷۵۰۱	۶۷۹۳۰۷۳	۰	۲۹۷۵۳۵۷	۰	۰

جدول ۲۰ ارزش پولی صرفه جویی در مصرف سوخت در سال‌های افق زمانی خط ۲ اتوبوس تندرو مشهد به تفکیک نوع سوخت و ضریب اعمال تورم

تورم	مجموع	اتانول	الکتریکی	CNG	LPG	دیزل	بنزین	سال
۱,۰۰	۱۳۳۸۱۲۶	۰	۰	۲۰۹۶۸	۰	۶۴۳۵۵	۱۱۵۳۴۰۳	۲۰۱۷
۱۱,۱۴۰	۱۴۰۱۶۹۶	۰	۰	۲۴۳۳۴	۰	۷۲۸۲۲	۱۳۰۴۵۴۱	۲۰۱۸
۱۳,۰۰	۱۵۸۶۰۱۹	۰	۰	۲۸۲۳۲	۰	۸۱۳۹۷	۱۴۷۵۳۹۰	۲۰۱۹
۱۴,۸۲	۱۷۹۴۴۷۹	۰	۰	۳۲۷۴۳	۰	۹۳۲۲۷	۱۶۶۸۵۰۹	۲۰۲۰
۱۶,۸۹	۲۰۳۰۲۲۱	۰	۰	۳۷۹۶۵	۰	۱۰۵۴۷۳	۱۸۸۶۷۸۳	۲۰۲۱
۱/۹۲۵	۲۲۹۶۸۰۰	۰	۰	۴۴۰۰۷	۰	۱۱۹۳۲	۲۱۳۳۴۷۱	۲۰۲۲
۲/۱۹۵	۲۵۹۸۲۲۸	۰	۰	۵۰۹۹۷	۰	۱۳۴۹۸۰	۲۴۱۲۲۵۰	۲۰۲۳
۲/۵۰۲	۲۹۳۹۰۳۹	۰	۰	۵۹۰۸۲	۰	۱۵۲۶۵۸	۲۷۲۷۲۷۲	۲۰۲۴
۲/۸۵۳	۳۳۲۴۳۵۱	۰	۰	۶۸۴۳۰	۰	۱۷۲۷۰۱	۳۰۸۳۲۲۰	۲۰۲۵
۳/۲۵۲	۳۷۵۹۹۴۶	۰	۰	۷۹۲۳۹	۰	۱۹۵۳۲۸	۳۴۸۵۳۷۹	۲۰۲۶
۳/۷۰۷	۴۲۴۸۲۹۷	۰	۰	۹۲۷۹۴	۰	۲۲۲۶۷۴	۳۹۳۲۸۲۸	۲۰۲۷
۴/۲۲۶	۴۷۹۹۹۶۷	۰	۰	۱۰۸۸۶۹	۰	۲۵۳۸۴۹	۴۴۳۷۲۴۹	۲۰۲۸
۴/۸۱۸	۵۴۲۳۲۸۹	۰	۰	۱۲۸۰۷۶	۰	۲۸۹۳۸۸	۵۰۰۵۸۲۵	۲۰۲۹
۵/۴۹۲	۶۱۲۷۸۳۳	۰	۰	۱۵۱۲۹۸	۰	۳۲۹۹۰۲	۵۶۴۶۶۶۳۲	۲۰۳۰
۶/۵۶۱	۶۹۲۴۷۵۷	۰	۰	۱۷۹۹۱۷	۰	۳۷۶۰۸۸	۶۳۶۸۷۵۱	۲۰۳۱
۷/۱۳۸	۷۸۲۷۵۱۷	۰	۰	۲۱۶۳۸۸	۰	۴۲۸۷۴۱	۷۱۸۲۳۸۹	۲۰۳۲
۸/۱۳۷	۸۸۵۳۷۱۷	۰	۰	۲۶۵۹۳۵	۰	۴۸۷۸۶۴	۸۰۹۹۰۱۸	۲۰۳۳
۹/۲۷۶	۱۰۰۳۲۰۵	۰	۰	۳۴۳۳۲۹	۰	۵۵۷۱۹۷	۹۱۳۱۵۲۹	۲۰۳۴
۱۰/۵۷۵	۱۱۴۴۹۸۴	۰	۰	۵۲۰۷۴۷	۰	۶۳۵۱۹۸	۱۰۲۹۴۴۰۲	۲۰۳۵
۱۲/۰۵۶	۱۲۴۴۱۸۷۹	۰	۰	۳۱۳۸۵۲	۰	۷۲۴۱۲۶	۱۱۶۰۳۹۰۱	۲۰۳۶
	۱۰۱۲۹۸۶۵	۰	۰	۲۷۶۶۷۰۳	۰	۵۴۹۹۲۱۲	۹۳۰۳۲۷۴۲	کل

HEAT estimate

25 December 2016 - 19:53 (v2.3)

Reduced mortality as a result of changes in walking behaviour

The walking data you have entered corresponds to an average of **7.76** minutes per person per day.

This level of walking provides an **estimated** protective benefit of: **4 %** (compared to persons not walking regularly)

From the data you have entered, the number of individuals who benefit from this level of walking is: **42,240**

Out of this many individuals, the number who would be expected to die if they were not walking regularly would be: **236.54**

The number of deaths per year that are prevented by this level of walking is: **8**

Economic value of walking

Currency: USD, rounded to 1000

The value of statistical life in your population is:	447,000 USD
The annual benefit of this level of walking, per year, is:	3,762,000 USD
The total benefits accumulated over 20 years are:	75,245,000 USD
When future benefits are discounted by 15 % per year:	
the current value of the average annual benefit, averaged across 20 years is:	1,177,000 USD
the current value of the total benefits accumulated over 20 years is:	23,549,000 USD

Please bear in mind that HEAT does not calculate risk reductions for individual persons but an average across the population under study. The results should not be misunderstood to represent individual risk reductions. Also note that the VSL not assign a value to the life of one particular person but refers to an average value of a "statistical life".

It is important to remember that many of the variables used within this HEAT calculation are estimates and therefore liable to some degree of error.

You are reminded that the HEAT tools provide you with an approximation of the level of health benefits. To get a better sense for the possible range of the results, you are strongly advised to rerun the model, entering slightly different values for variables where you have provided a "best guess", such as entering high and low estimates for such variables.



© World Health Organization,
Regional Office for Europe, 2014

شکل ۲ نتایج به دست آمده از ارزش گذاری تأثیر خط ۲ اتوبوس تندروی مشهد بر سلامت عمومی از طریق افزایش میزان تحرک فیزیکی شهروندان (افزایش پیاده روی) با استفاده از مدل HEAT Tool (ابزار ارزیابی اقتصادی سلامت)

جدول ۲۱ نتایج نهایی تحلیل هزینه و فایده اجرای خط ۲ اتوبوس تندروی مشهد

کشته‌شدگان در نتیجه تغییر نرخ تصادفات	تولید Nox	تولید PM	تولید CO2	پیامدهای محیط زیستی
۲۲۳۵۸۹۷	۱۳۰۶۰۱	۱۸۰۶۶	۱۳۹۵۴۴	۲۰۱۷
۲۱۶۶۴۳۱	۱۲۹۰۹۰	۱۷۹۰۳	۱۳۸۵۲۶	۲۰۱۸
۲۰۹۹۱۲۲	۱۲۷۵۸۶۱	۱۷۷۴۰	۱۳۷۴۹۷	۲۰۱۹
۲۰۳۳۹۰۵	۱۲۶۰۹۰	۱۷۵۷۸	۱۳۶۴۶۸	۲۰۲۰
۱۹۶۴۱۴۳	۱۲۴۶۰۲	۱۷۴۱۷	۱۳۵۴۴۰	۲۰۲۱
۱۸۹۶۸۷۴	۱۲۳۱۲۲	۱۷۲۵۶	۱۳۴۴۱۱	۲۰۲۲
۱۸۳۱۷۱۶	۱۲۱۶۵۰	۱۷۰۹۶	۱۳۳۳۸۳	۲۰۲۳
۱۷۶۸۸۸۹	۱۲۰۱۸۶	۱۶۹۳۶	۱۳۲۳۵۴	۲۰۲۴
۱۷۰۸۲۱۷	۱۱۸۷۲۹	۱۶۷۷۷	۱۳۱۳۲۵	۲۰۲۵
۱۶۴۹۶۲۶	۱۱۷۲۸۱	۱۶۶۱۸	۱۳۰۲۹۷	۲۰۲۶
۱۵۹۳۰۴۴	۱۱۵۹۸۸	۱۶۵۳۳	۱۲۹۲۴۵	۲۰۲۷
۱۵۳۸۴۰۴	۱۱۴۷۰۲	۱۶۴۴۷	۱۲۸۲۰۱	۲۰۲۸
۱۴۸۵۶۳۷	۱۱۳۴۲۲	۱۶۳۶۲	۱۲۷۱۶۸	۲۰۲۹
۱۴۳۴۶۸۱	۱۱۲۱۴۸	۱۶۲۷۷	۱۲۶۱۵۰	۲۰۳۰
۱۳۷۸۰۸۷	۱۱۰۸۸۲	۱۶۱۹۲	۱۲۵۱۵۷	۲۰۳۱
۱۳۲۳۷۲۷	۱۰۹۶۲۱	۱۶۱۰۷	۱۲۴۲۰۷	۲۰۳۲
۱۲۷۱۵۱۰	۱۰۸۳۶۸	۱۶۰۲۲	۱۲۳۳۴۵	۲۰۳۳
۱۲۲۱۳۵۳	۱۰۷۱۲۰	۱۵۹۳۸	۱۲۲۷۰۱	۲۰۳۴
۱۱۷۳۱۷۵	۱۰۵۸۸۰	۱۵۸۵۴	۱۲۲۹۲۹	۲۰۳۵
۱۱۲۶۸۹۷	۱۰۴۶۴۵	۱۵۷۷۰	۱۱۹۲۳۱	۲۰۳۶
۳۲۹۰۱۳۴	۲۳۴۱۷۱۵	۳۳۴۸۸۶	۲۵۹۷۵۸۹	کل

ادامه جدول ۲۱

کاهش مرگ و میر در نتیجه تغییر رفتار پیاده‌رو	سوخت	زمان سفر	مصدومان به‌عنوان تغییر در نرخ تصادفات	پیامدهای محیط زیستی
۳۷۶۲۰۰۰	۱۲۳۸۷۲۶	۵۱۳۹۲۰۰	۲۶۱۴۰۵۸	۲۰۱۷
۳۷۶۲۰۰۰	۱۴۰۱۶۹۶	۵۱۳۹۲۰۰	۲۵۳۲۸۴۲	۲۰۱۸
۳۷۶۲۰۰۰	۱۵۸۶۰۱۹	۵۱۳۹۲۰۰	۲۴۵۴۱۴۹	۲۰۱۹
۳۷۶۲۰۰۰	۱۷۹۴۴۷۹	۵۱۳۹۲۰۰	۲۳۷۷۹۰۲	۲۰۲۰
۳۷۶۲۰۰۰	۲۰۳۰۲۲۱	۵۱۳۹۲۰۰	۲۲۹۶۳۴۱	۲۰۲۱
۳۷۶۲۰۰۰	۲۲۹۶۸۰۰	۵۱۳۹۲۰۰	۲۲۱۷۵۷۸	۲۰۲۲
۳۷۶۲۰۰۰	۲۵۹۸۲۲۸	۵۱۳۹۲۰۰	۲۱۴۱۵۱۶	۲۰۲۳
۳۷۶۲۰۰۰	۲۹۳۹۰۳۹	۵۱۳۹۲۰۰	۲۰۶۸۰۶۳	۲۰۲۴
۳۷۶۲۰۰۰	۳۳۲۴۳۵۱	۵۱۳۹۲۰۰	۱۹۹۷۱۳۰	۲۰۲۵
۳۷۶۲۰۰۰	۳۷۵۹۹۴۶	۵۱۳۹۲۰۰	۱۹۲۸۶۲۹	۲۰۲۶
۳۷۶۲۰۰۰	۴۲۴۸۲۹۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۸۶۲۴۷۸	۲۰۲۷
۳۷۶۲۰۰۰	۴۷۹۹۹۶۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۷۹۸۵۹۶	۲۰۲۸
۳۷۶۲۰۰۰	۵۴۳۲۸۹	۵۱۳۹۲۰۰	۱۷۳۶۹۰۵	۲۰۲۹
۳۷۶۲۰۰۰	۶۱۲۷۸۳۳	۵۱۳۹۲۰۰	۱۶۷۷۳۰	۲۰۳۰
۳۷۶۲۰۰۰	۶۹۲۴۷۵۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۶۱۱۱۶۵	۲۰۳۱
۳۷۶۲۰۰۰	۷۸۲۷۵۱۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۵۴۷۶۱۰	۲۰۳۲
۳۷۶۲۰۰۰	۸۵۳۷۱۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۴۸۶۵۶۲	۲۰۳۳
۳۷۶۲۰۰۰	۱۰۰۳۲۰۵۰	۵۱۳۹۲۰۰	۱۴۲۷۹۲۲	۲۰۳۴
۳۷۶۲۰۰۰	۱۱۴۴۹۸۴۷	۵۱۳۹۲۰۰	۱۳۷۱۵۹۵	۲۰۳۵
۳۷۶۲۰۰۰	۱۲۶۴۱۸۷۹	۵۱۳۹۲۰۰	۱۳۱۷۴۹۱	۲۰۳۶
۲۳۵۴۹۰۰۰	۱۰۱۲۹۸۶۵۷	۱۰۲۷۸۴۰۰۰	۳۸۴۶۵۸۶۳	کل

جدول ۲۱ نتایج نهایی تحلیل هزینه و فایده اجرای خط ۲ اتوبوس تندروی مشهد

جمع کل	میزان دی اکسید کربن ناشی از ساخت و ساز	هزینه ساخت	هزینه نگهداری	پایامدهای محیط زیستی
۹۰۵۱۸۶۰	-۵۰۶۲۴۲	-۵۲۰۰۰۰۰	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۱۷
۱۴۷۶۷۶۸۷	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۱۸
۱۴۸۰۳۳۱۴	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۱۹
۱۴۸۶۷۶۲۲	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۰
۱۴۹۴۹۳۶۴	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۱
۱۵۰۶۷۱۴۱	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۲
۱۵۲۲۴۷۸۸	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۳
۱۵۲۶۶۶۶۶	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۴
۱۵۶۷۷۷۲۹	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۵
۱۵۹۸۳۵۹۷	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۶
۱۶۳۴۶۷۸۵	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۷
۱۶۷۷۵۱۷	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۸
۱۷۱۸۳۹۸۳	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۲۹
۱۷۸۷۵۶۱۸	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۰
۱۸۵۴۷۴۳۹	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۱
۱۹۳۲۹۹۸۹	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۲
۲۰۲۴۰۷۲۴	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۳
۲۱۳۰۸۲۸۴	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۴
۲۲۶۲۰۴۸۰	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۵
۲۳۷۰۷۱۱۲	.	.	-۵۲۰۰۰۰	۲۰۳۶
۳۳۹۸۵۷۷۰۱	-۵۰۶۲۴۲	-۵۲۰۰۰۰۰	-۱۰۴۰۰۰۰	کل

منابع

- احمدی نژاد، م.، جعفری کنگ، م.، خدادادی فرد، م.، و سلیمانی امیری، س. (۱۳۹۴). ارزیابی اقتصادی احداث خط ۴ اتوبوس‌های تندرو در شهر تهران (فاز اول) به کمک آنالیزهای اقتصادی سود-هزینه. پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.
- باور، م.ص.، و حدیقه جوانی، م. (۱۳۹۷). ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم حمل‌ونقل سریع اتوبوس‌رانی (BRT) در کلان‌شهرها توسط نرم‌افزار AIMSUN. دهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک.
- قنبری، ا.، صفریور، م.، و قهرمان، ک. (۱۳۹۰). بررسی و ارزیابی اثرات اقتصادی BRT بر کاربری‌های تجاری کلانشهر تبریز؛ فلکه دانشگاه تا چهارراه شریعتی. *مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای*، ۱۶، ۱۳۱-۱۴۴.
- نبویان، س.م.، و شجاعی، ل. (۱۳۹۱). شناسایی عوامل موثر بر تبدیل خطوط عادی اتوبوس‌رانی شهر تهران به سامانه تندرو BRT دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی ترافیک، تهران.
- Abbasi, M., Hosseini, M. H., & JafarzadehFadaki, S. (2020). An investigation of Bus Rapid Transit System (BRT) based on economic and air pollution analysis (Tehran, Iran). *Case Studies on Transport Policy*, 8(2), 553-563.
- Barbosa, H. et al. (2013). Perspectives on the Development of Safety Performance Models for Brazilian Roads. Paper presented at the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro.
- Barnett, A.G., van der Pols, J.C., & Dobson, A.J. (2004). Regression to the Mean: what it is and how to deal with it. *International Journal of Epidemiology*, 34 (1), 215-220.
- Blincoe L. A., Seay, E., Zaloshnja, T., Miller, E., Romano, S., Luchter, R., Spicer. (2022). the Economic Impact of Motor Vehicle Crashes. Report No. DOT HS 809 446. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., & Weimer, D.L. (2006). Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice, Third Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Cropper, M., & Sahin, S. (2009). Valuing Mortality and Morbidity in the Context of Disaster Risks. Background paper for the joint World Bank – UN Assessment on Disaster Risk Reduction, Washington DC.
- Esperato, A., Bishai, D., & Hyder, A. (2012). Projecting the Health and Economic Impact of Road Safety Initiatives: A Case Study of a Multicountry Project. *Traffic Injury Prevention*, 13, sup1, 82-89.
- Estimating the Benefits and Costs of Public Transit Projects: A Guidebook for Practitioners, Transportation Research Board, TCRP Report 78, (2002).
- Greenspan Bell, R., & Callan, D. (2011). More than Meets the Eye: The Social Cost of Carbon in U.S. Climate Policy, in Plain English. Environmental Law Institute and World Resources Institute. Washington, D.C. July 2011.
- Harberger, A. C. (2009). Introduction to Cost- Benefit Analysis Applications To Highway Projects, University of California, Los Angeles
- Hauer, E., Harwood, D. Council, F.M., & Griffith, M. S. (2001). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: a Tutorial. Paper presented at the Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington DC.
- Institute for Transportation and Development Policy, <https://www.itdp.org/our-work/publictransport/>
- Khan, A. B. R. (2021). Measuring survey-based trip satisfaction of feeder modes for bus rapid transit in Rawalpindi Islamabad, Pakistan. *Urban and Regional Planning Review*, 8, 147-164.

- Lopez, H. (2008). The Social Discount Rate: Estimate for Nine Latin American Countries. World Bank Working Paper, accessible at: <http://elibrary.worldbank.org/content/workingpaper/10.1596/1813-9450-4639>.
- Lu, M. (2022, December). Comprehensive Benefit Analysis of Urban BRT System. In 2022 2nd International Conference on Public Management and Intelligent Society (PMIS 2022) (pp. 128-134). Atlantis Press.
- Matute, J. M., & Chester, M. V. (2015). Cost-effectiveness of reductions in greenhouse gas emissions from High-Speed Rail and urban transportation projects in California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 104-113.
- Mexico City Government, and the Mexican National Institute of Statistics and Geography (INEGI) (2007). Mexico City Metropolitan Area Household Travel Survey. Mexico City, Mexico.
- Nehme, N., Ghayad, N., & Massaad, Z. (2021). Benefit-Cost Analysis of a Low Capital Cost Bus Rapid Transit System under Default Rating: Case of Lebanon. In IIE Annual Conference. Proceedings (pp. 782-787). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
- Nelson, N., Nelson, D., & Bakker Kruijne, E. (2012). The Use of Carbon Credit Mechanisms to Finance Transportation Improvements in the Developing World. In CODATU XV: "The Role of Urban Mobility in (Re) Shaping Cities". Addis Ababa, Ethiopia.
- Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change. In The Stern Review: Cambridge University Press.
- Tsivanidis, N. (2017). Ticket to Ride? Building Efficient and Equitable Cities with Bus Rapid Transit, World Bank (<https://worldbank.org>); at https://blogs.worldbank.org/impactevaluations/ticket-ridebuilding-efficient-and-equitable-cities-bus-rapid-transit-guest-post-nicktsivanidis?cid=tai_tt_transport_en_ext.
- Weisbrod, G., Mulley, C., & Hensher, D. (2016). Recognising the complementary contributions of cost benefit analysis and economic impact analysis to an understanding of the worth of public transport investment: A case study of bus rapid transit in Sydney, Australia. *Research in Transportation Economics*, 59, 450-461.