Archive of SID

ارزیابی سناریوهای بازسازی یا تغییر عملکرد پل با شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار و ملاحظه هزینه‌های احداث و نگهداری (مطالعه موردی: پل فلزی شهر اصفهان)

صالحه بیرژندی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
حسین حق شناس*، استادیار، گروه حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
علیرضا قاری قرآن، استادیار، گروه حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
بهنام طهماسبی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ho_hagh@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰٤/۰٤- پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۲۵۲-۲۳۹

چکیده

پل‌های شهری از مهمترین زیرساخت‌های حمل‌و نقل شهری هستند که نقش به‌سزایی در عملکرد آنها دارند. شبکه حمل‌و نقل شهر اصفهان پل‌های زیادی دارد که نقش مهمی در این شبکه ایفا می‌کنند. یکی از پل‌های مهم شهر اصفهان، پل فلزی است که از سال ۱۳۳۸ تا به‌حال مورد بهره‌برداری بوده‌است. این پل با موقعیت خاص خود نقش مهمی در انتقال جریان ترافیک سبک و سنگین از شمال شهر به جنوب آن و بالعکس دارد. در این پژوهش ابتدا محدوده تاثیر این پل با تغییر ۱۰ درصدی ترافیک اوج صبح در سال ۹۳تعیین و سناریوهای مناسب و شاخص‌های ارزیابی اجرای آن‌ها تعریف شده‌اند. سپس ضمن ارائه نتایج تخصیص ترافیک در سناریوها، شاخص‌ها محاسبه، به مقادیر ریالی معادل تبدیل و از دیدگاه گروه‌های پرداخت‌کننده (استفاده‌کنندگان، گردانندگان، عموم مردم) با هم مقایسه شده‌اند. بر این اساس، افزایش عرضه باعث کاهش هزینه زمان سفر استفاده‌کنندگان شده اما با توجه افزایش کیلومتر پیموده شده که ناشی از افزایش عرضه است، در این سناریوها هزینه سوخت، عملکرد خودرو و تصادفات افزایش یافته و باعث گردیده این سناریوها از منظر استفاده‌کنندگان هزینه بیشتری نسبت به سناریوهای مدیریت تقاضا داشته باشند. از سوی دیگر هزینه‌های تحمیل شده به عموم مردم رفتار متفاوتی دارد. در این بخش، سناریوهای افزایش عرضه هزینه تحمیل شده کمتری نسبت به اغلب سناریوهای مدیریت تقاضا دارند و اجرای هر یک از سناریوها وضعیت بهتری نسبت به شرایط فعلی ایجاد کرده‌است. از این منظر، هزینه ناشی از آلودگی هوا و تصادفات با اجرای سناریوهای افزایش عرضه، کاهش و هزینه ناشی از آلودگی صوتی به علت افزایش کیلومتر پیموده شده بیشتر، افزایش نشان می‌دهد. واضح است که هزینه‌های تحمیل شده به گرداننده در سناریوهای مدیریت تقاضا نسبت به افزایش عرضه کمتر خواهدبود.

واژه‌های کلیدی: پل‌ها، تعمیر و نگهداری، حمل‌ونقل پایدار، مسئله خستگی، هزینه

۱-مقدمه

تاثیر خستگی ایجاد شده ناشی از بارگذاری مازاد در پل‌ها یکی از مهم‌ترین اجزای هزینه‌ای در طول عمر آن‌ها به حساب می‌آید. در حقیقت می‌توان گفت بارهای زنده‌ای که پل‌ها برای آن طراحی می‌شوند حد بالای ترافیک معمول در راه‌های کشور است. زمانی که قوانین حمل‌ونقل کالاها توسط وسایل نقلیه سنگین تغییر کند یا بی توجهی از جانب متصدیان روی دهد و به طور پیوسته بارهای وارد بر پل افزایش یابد، این سازه‌ها در معرض خطر بارگذاری مازاد و در نتیجه پدیده خستگی قرار خواهند گرفت. این بارگذاری

www.SID.ir

Archive of SID

مازاد می‌تواند منجر به افزایش آسیب‌ها، شکست کلی سازه و هزینه‌های مستقیم استفاده‌کنندگی و گردانندگی شود.

عملکرد زیرساخت‌های شبکه حمل‌ونقل تاثیر چشمگیری بر پایداری شبکه حمل‌ونقل دارند که معمولا در سه دسته شاخص‌های عملکردی اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی طبقه‌بندی می‌شوند [Padgett ,Tapia, 2013]. به منظور محاسبه این هزینه‌ها، شاخص‌های تداوم بهره‌برداری موثر در شبکه‌ی حمل‌و نقل به کار می‌رود. هزینه‌های استفاده کنندگان هزینه‌هایی هستند که توسط استفاده کنندگان پل‌ها و به علت فاصله داشتن پل با شرایط ایده‌آل اتفاق می‌افتد [Bai et.al, 2013]. و به طور مستقیم تابع حجم ترافیک، وضعیت ترافیک و ترکیب آن است. با افزایش حجم ترافیک،کل هزینه‌های استفاده کنندگان افزوده می‌شود. معایب پل و تعمیر آن جریان ترافیک را بر هم می‌زند و باعث تراکم ترافیک می‌شود. وضعیت ترافیک توزیع شده باعث می‌شود که تاخیر در ترافیک زیاد شود و سرعت عادی خودروها تغییر کند. افزایش و کاهش سرعت معمول خودروها زمان سفر، فرسایش خودروها، مصرف سوخت، آلودگی هوا و احتمال بروز تصادف را افزایش می‌دهد. این هزینه‌ها بخش کلانی از هزینه‌های حمل‌ونقلی سرمایه‌گذاری‌های بزرگراهی را تشکیل می‌دهند. هم‌چنین منفعت استفاده کنندگان به عنوان هزینه کاهش یافته استفاده کننده در نتیجه اجرای یک گزینه تعریف می‌شود. هزینه‌های گردانندگی نیز شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری، بازسازی اجزا و تعویض آنها و هزینه‌های تعویض پل است. به طور کلی این هزینه‌ها شامل موارد زیر هستند [Fwa,2006]، [Chen ،[Transportation Research Board,2003] [Spickova and Myskova, ،and Duan,, 2014] :2015]

- هزینه‌های تعمیر و نگهداری معمول: این هزینه‌ها شامل اقدامات دوره‌ای مورد نیاز برای نگه داشتن شرایط پل بالاتر از یک حد قابل قبول است. این هزینه‌ها شامل آب بندی درزها، نگهداری از زهکشی صحیح عرشه، تعویض تکیه‌گاه‌های پل، تعمیر قسمت انتهایی تیرهای پل و سطوح تکیه‌گاهی پل است. این هزینه‌ها می‌توانند به عنوان تابعی از نوع مواد، شرایط، موقعیت، ترافیک روزانه سالیانه[1] و طبقه بندی راه توسعه داده شوند.
- هزینه‌های بازسازی اجزا: این هزینه‌ها برای اقدامات دائمی نظیر تعمیر اجزای اساسی مثل عرشه و رو بنا و زیر بناست.
- هزینه‌های تعویض اجزا: که مربوط به تعویض اجزای آسیب دیده پل است. معمول‌ترین آنها تعویض عرشه پل است.
- هزینه بازسازی پل: این هزینه ها مربوط به ساخت یک پل جدید برای تعویض پل موجود است که به زیر سطح قابل قبول تنزل کرده است و شامل طراحی مهندسی تجهیزات و ساخت خواهد بود. این هزینه‌ها بستگی به طول، عرض و ارتفاع پل، تعداد و طول دهانه‌های منفرد، مواد روساخت و زیرساخت، نوع سازه، موقعیت پل و ویژگی‌های مقطعی که پل از روی آن رد شده است (جاده، ریل، یا رودخانه) دارد.

کاینی و همکارانش در سال ۲۰۰۶ روابطی را توسعه دادند که بین شرایط زوال تسهیلات بزرگراهی مانند پل‌ها و روسازی‌ها با بارگذاری ترافیکی و عوامل غیر باری و هزینه‌های مورد نیاز برای بهبود شرایط تسهیلات ارتباط برقرار می‌کنند. این روابط می‌توانند به طور مستقیم منافع پروژه‌ها را به صورت مالی اندازه‌گیری کنند. آنها هزینه‌های استفاده‌کنندگان بزرگراهی را شامل هزینه عملکردی خودرو، زمان سفر، تصادفات و آلودگی هوا دانسته‌اند. به منظور محاسبه این هزینه‌ها در یک پروژه خاص، هزینه‌های ذکر شده برای سال ابتدایی به صورت جداگانه بر اساس میزان مسافت پیموده شده[2] و میزان زمان صرف شده[3] محاسبه می‌شوند؛ سپس اجزای هزینه استفاده کننده کمی شده جداگانه به ارزش دلاری تبدیل شده و برای رسیدن به کل هزینه استفاده کننده سالانه همفزون می‌شوند [Kaini and Li, 2006]. بررسی عملکرد پل‌ها از منظر مباحث سازه‌ای (شامل مباحث خستگی، وجود ترک‌ها، تحلیل ریسک و...) و مباحث ترافیکی (شامل بررسی تاثیر پل‌ها در شبکه حمل-ونقل، محاسبه شاخص‌ها و...) از جمله موضوعاتی است که تاکنون در پژوهش‌ها به طور گسترده مورد توجه محققان قرار گرفته‌است؛ هدف این پژوهش بررسی تاثیرگذاری پل‌ها در شبکه حمل‌ونقل با در نظرگرفتن وضعیت خستگی آنها به عنوان زیرساخت‌های مهم و تاثیرگذار است. در این مطالعه ضمن معرفی پل فلزی شهر اصفهان و بررسی وضعیت

www.SID.ir

Archive of SID

خستگی آن، محدوده تاثیر پل در شبکه حمل‌ونقل اصفهان با استفاده از تخصیص در نرم‌افزار ترنسکد[۴] تعیین خواهد شد. سپس سناریوها و شاخص‌های ارزیابی آنها توضیح داده خواهند شد و در نهایت با استفاده از تخصیص سناریوها در نرم‌افزار یاد شده مقادیر شاخص‌ها محاسبه و با تبدیل به ارزش ریالی هزینه تحمیلی آنها نیز مشخص خواهد شد.

۲-شاخص‌های ارزیابی وضعیت پل‌ها

در زمینه بررسی وضعیت پل‌ها با استفاده از شاخص‌ها مطالعات گوناگونی انجام شده‌است. محمد عابد الفتاح صفی در پایان نامهء خود هزینه های حمل و نقلی را در سه بخش طبقه‌بندی کرده است که شامل هزینه های تاخیر زمانی[۵]، هزینه های افزایش استفاده از وسیله نقلیه[۶] و هزینه های تصادفات[۷] است[Elfatah Safi, 2009]. هزینه TDC به عواملی از قبیل درصد و ارزش زمان سفر[۸] انواع وسایل نقلیه (شامل کامیون و سواری)، زمان تاخیر، سرعت ترافیک در حالت عادی و در حین اجرای پروژه بستگی دارد. هزینه VOC نیز مربوط به افزایش هزینه استفاده از وسیله نقلیه به علت ترافیک منطقه یا ازدحام است و به میانگین سرعت ترافیک در حالت عادی و در حین اجرای پروژه و ارزش زمان سفر افراد بستگی دارد. هزینه AC نیز مربوط به هزینه افزایش خطر تصادفات، مراقبت پزشکی و مرگ و میر ناشی از افزایش ازدحام است. سالکانگاس در سال ۲۰۰۹ هزینه‌های چرخه عمر را به سه دسته کلی هزینه های بهره برداری، استفاده کننده و اجتماعی تقسیم بندی نموده است [Salkangas, 2009]. در این مطالعه، هزینه های بهره برداری شامل طراحی، ساخت، نگهداری و پایان عمر می باشد. هزینه های استفاده کنندگان نیز شامل تاخیر زمانی، راحتی و افزایش ریسک (به عنوان تابعی از ضرب انواع هزینه‌ها شامل هزینه‌های استفاده‌کنندگان، هزینه‌های بازسازی در احتمال وقوع رخدادها) است. هزینه های تصادفات و اثرات محیط زیستی هم در رده هزینه های اجتماعی قرار می‌گیرند. در ایالت هامپشیر واقع در جنوب انگلستان در سال ۲۰۱۰ بر روی پل مموریال[۹] مطالعه‌ای انجام ونتیجه آن به صورت گزارشی منتشر شده است [HDR, 2010]. به عقیده پژوهشگران این طرح در بیشتر پروژه‌های حمل‌ونقلی، منفعتی که از به کارگیری ابرسازه‌ها نشئت می‌گیرد کاهش هزینه‌های مربوط به فعالیت‌های حمل ونقلی است. این کاهش هزینه‌ها ممکن است به صورت متوسط زمان صرفه جویی شده توسط استفاده کنندگان، کاهش مخارج عملکردی خودروی آن‌ها، کاهش آلودگی یا به شکل کلی‌تر ترکیبی از آنها باشد. در سال ۲۰۱۱ در ایالات متحده سناریوهای ادامه عملکرد فعلی پل و جمع‌آوری آن از مسیر مورد نظر برای پل Maine Kennebec که از رودخانه‌ای با همین نام می‌گذرد صورت گرفته است [Maine Department of Transportation 2011]. هزینه استفاده کنندگان در این پروژه شامل هزینه سفر (مسافت و زمان افزوده شده)، هزینه عملکردی خودرو، هزینه تصادفات، هزینه ناشی از آلودگی هوا، هزینه ناشی از کاهش زیست‌پذیری (پیاده‌روی، دوچرخه سواری) بوده است. هزینه گرداننده نیز شامل هزینه ساخت، بازسازی و تعمیر و نگه‌داری بوده‌است. در این مطالعه منافع و هزینه‌ها با نرخ‌های تنزیل ۳ و ۷ درصد برای یک دوره ۵۰ ساله مورد محاسبه قرار گرفته است. دپارتمان حمل‌ونقل بزرگراهی ایالات متحده نیز در سال ۲۰۱۱ در گزارشی هزینه‌های استفاده کنندگان در محدوده تحت تاثیر اجرای یک پروژه را به هزینه‌های قابل محاسبه غیرقابل محاسبه از نظر مالی تقسیم نموده است [FHWA, 2011]. هزینه‌های قابل محاسبه شامل هزینه تاخیر زمانی، هزینه عملکردی خودرو، هزینه تصادفات، هزینه آلودگی هوا و هزینه‌های غیرقابل محاسبه شامل هزینه آلودگی صوتی، اثرات اقتصادی و عدم آسایش عمومی عنوان شده است. ایمون و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به منظور محاسبه هزینه‌های استفاده کنندگان در حین اجرای یک پروژه روابطی را ارائه کردند که شاخص‌های مورد استفاده در آن‌ها شامل هزینه زمان سفر، هزینه عملکرد خودرو، هزینه تصادفات هستند [Eamon et.al, 2012]. عوامل تاثیرگذار در محاسبه هر یک از شاخص‌ها در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱. عوامل تاثیرگذار در محاسبه شاخص‌ها

	هزینه زمان سفر	هزینه عملکرد خودرو	هزینه تصادفات
طول تحت تاثیر مسیر تردد خودروها از پروژه	✓	✓	✓
سرعت ترافیک در حین پروژه	✓	✓	
تعداد روزهای اجرای پروژه	✓	✓	✓
ارزش زمان سفر ساعتی رانندگان	✓		
حجم ترافیک روزانه	✓		✓
هزینه ساعتی عملکرد خودرو		✓	
نرخ تصادف در حالت عادی و در حین اجرای پروژه		✓	✓

سایدام و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به توسعه روشی کلی برای محاسبه خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم سناریوهای خرابی پل پرداختند [Saydam, Bocchini and Frangopol, 2013]. از دیدگاه آن‌ها عواقب خارج شدن تسهیلات از شبکه حمل‌ونقل شامل هزینه اضافی عملکرد خودروها، هزینه زمان اضافه مسافران، هزینه بازگردانی کامل یک پل بعد از شکست، هزینه تصادفات از جمله هنگام وقوع شکست، هزینه سلامتی انسان، هزینه‌های مربوط به آسیب‌های زیست محیطی و هزینه‌های اثرات روی عموم مردم است. این هزینه‌ها بر اساس شاخص‌های زمان سفر کل[10] و مسافت طی شده کل[11] که به ترتیب برابر با مجموع زمان صرف شده و مسافت طی شده استفاده کنندگان شبکه برای رسیدن به مقاصدشان است محاسبه می‌شوند. سپس این شاخص‌ها را برای سناریوی فعالیت تمام پل‌های موجود و غیرفعال شدن پل‌های مورد نظر با فرض تقاضای ثابت در بازه‌های زمانی مشخص محاسبه نمودند. بای و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳ به توسعه روشی برای تخمین هزینه‌های استفاده‌کنندگان پل‌ها حین انجام عملیات‌های تعمیر و نگه‌داری و اعمال محدودیت تردد بر روی آن‌ها پرداخته‌اند [Bai et.al, 2013]. در این پژوهش، هزینه‌های استفاده‌کنندگان به چهار دسته هزینه استفاده از مسیر جایگزین، هزینه تصادفات، هزینه تاخیر و هزینه عملکرد عملکردی خودروها تقسیم شده است.

به منظور محاسبه هزینه تاخیر به وجود آمده در زمان انجام عملیات تعمیر و نگه‌داری و یا ممنوعیت تردد در قسمتی از پل، با توجه به کاهش عرض تردد پل و حجم ترافیک ثابت، از سرعت خودروها کاسته می‌شود و در نتیجه زمان سفر افزایش می‌یابد. هارمادهیکاری و همکاران در سال ۲۰۱۶ منافع ترکیب مدل‌های تقاضای سفر و تحلیل هزینه چرخه عمر پل‌ها را بررسی کردند [Dharmadhikari, Lee and Kayabas, 2016]. آنها با استفاده از فراخوانی اطلاعات در محیط GIS و مدل‌سازی ترافیک در محیط CUBE Voyager دو سناریوی وجود یا عدم وجود پل میسوری واقع در ایالت داکوتای شمالی ایالات متحده را تحلیل نمودند. در این پژوهش هزینه‌های بازسازی و تعمیر و نگه‌داری منظور گردیده اما سایر هزینه‌ها مانند هزینه‌های زیست محیطی، هزینه آلودگی صوتی نیز در نظر گرفته نشده است. آگبلی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به ارائه روشی برای تخمین هزینه تعمیر و نگه‌داری پل‌ها بر اساس نوع خودروی عبوری دارای وزن مازاد[12]، نوع پل، نوع مصالح به کار رفته و سن پل پرداختند [Agbelie, Labi and Sinha, 2017].

بر اساس مطالعات آن‌ها برای پل‌های فلزی بر حسب سن و نوع وسیله نقلیه عبوری، بین ۰/۰۰۷ تا ۳/۵ دلار سال ۲۰۱۰ به ازای هر فوت طول پل هزینه آسیبی است که به پل وارد می‌شود. در جدول (۲) خلاصه‌ای از شاخص‌های معرفی شده در تعدادی از منابع مورد مطالعه مشاهده می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. شاخص‌های معرفی شده در تعدادی از منابع

	هزینه عملکردی خودرو	زمان سفر	تصادفات	آلودگی هوا	هزینه سلامتی انسان	آسیب‌های زیست محیطی	هزینه‌های اثرات روی عموم مردم
کاینی ۲۰۰٦	■	■	■	■			
مطالعه پل مموریال ۲۰۱۰	■	■		■			
ایمون ۲۰۱۲	■	■	■				
سایدام ۲۰۱۳	■	■	■		■	■	■
صفی ۲۰۰۹	■	■	■				
پل مین کبک ۲۰۱۱	■	■	■	■	■		
ESTI 2009		■	■			■	
FHWA 2011	■	■	■	■		■	■
بای ۲۰۱۳	■	■	■				

۳-معرفی پل مورد مطالعه و بررسی وضعیت خستگی آن

پل فلزی یکی از مهم‌ترین پل‌های شبکه حمل‌و نقل شهر اصفهان است که ساخت آن در سال ۱۳۲۷ آغاز شد و ۱۱ سال به طول انجامید. قبل از ساخت این پل، پل مارنان وظیفه عبور دادن کامیون‌های سنگین از عرض رودخانه زاینده رود را بر عهده داشته‌است. پل مارنان در سال ۱۳۱۰ آغاز به کار کرده بود و در آن زمان در اثر تردد کامیون‌ها مرتب نیاز به عملیات تعمیر و مرمت داشت. وزن پل فلزی حدود ۳۷۵ تن طول آن ۱۳٦ متر و عرض آن ١٦ متر و شامل دو پیاده رو هر یک به عرض ۲/۵ متر و عرض سواره رو ۱۱ متر است. این پل دارای پنج دهانه است که برای حرکت همزمان ۹ وسیله نقلیه در کنارهم که هرکدام ٤٥ تن وزن داشته باشند محاسبه گردیده است و هزینه ساخت آن ۵۵ میلیون ریال بوده است. به منظور ارزیابی وضعیت خستگی-های پل‌های فلزی می‌توان از روش ارائه شده توسط علیرضا رهایی و همکاران استفاده کرد [Rahaei, Hejazi and Akbari, 2005 in persian]. این روش قبلا در پژوهش دیگری برای پل فلزی شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفته-است و بر اساس نتایج آن این پل آستانه خستگی را گذرانده و در حال حاضر نیازمند ارزیابی سناریوهای عمرانی (ساخت پل جدید، تعمیر سازه فعلی پل و...) و سناریوهای حمل‌و نقلی تا پایان عمر بهره برداری (کاهش بار ترافیک کامیون از طریق ممنوعیت عبور یا کاهش ساعات تردد، ادامه‌ی وضع موجود، کاهش ترافیک سواری و ...) است تا با در نظر گرفتن منافع شبکه حمل‌ونقل شهری بهترین راهکار ارائه گردد [Birzhandi, Hagh shenas and Ghari Ghoran, 2015 in persian].

۳-۱-تعیین محدوده تاثیر پل و تعریف سناریوها

به منظور تعیین محدوده اثر پل مورد مطالعه ، با استفاده از روش تخصیص چند دسته‌ای[۱۳] و ماتریس مبدا- مقصد ساعت ۷ صبح روز کاری شامل ۹ ماتریس جداگانه برای انواع مختلف وسایل نقلیه، کمان‌های مربوطه از شبکه حذف شدند. مقادیر همسنگ سواری معادل[۱٤] و ارزش زمان سفر وسایل نقلیه مطابق جدول (۳) است [Isfahan municipality,2000 in Persian] [Isfahan municipality, 2012 in Persian].

توابع زمان سفر- حجم مورد استفاده در تخصیص

www.SID.ir

Archive of SID

برای کمان‌هـا تـابع BPR و بـرای تقـاطع‌هـای چراغـدار و بی چراغ به ترتیب بر اساس روابط (۱) و (۲) است.

جدول ۳. مقادیر همسنگ سواری و ارزش زمان سفر برای گونه‌های مختلف

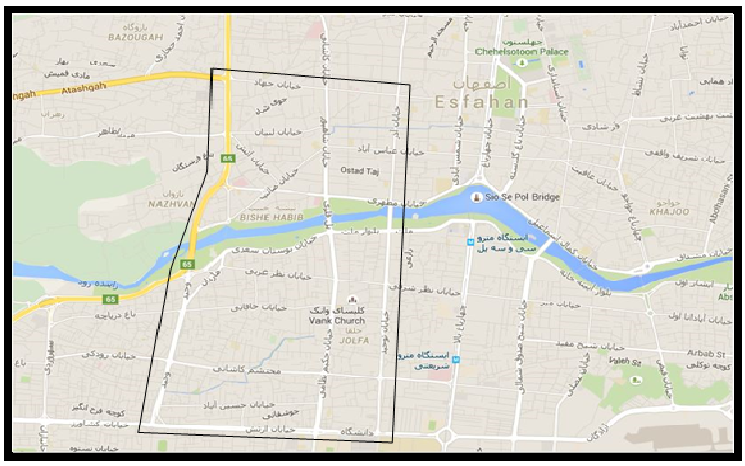
نوع	مقدار همسنگ سواری (PCE)	ارزش زمان سفر (ریال بر ساعت)
سواری شخصی	۱	۷۵۰۰۰
تاکسی	۲	۹۰۰۰۰
وانت	۱	۱۲۰۰۰۰
مینی‌بوس	۲	۲٤۰۰۰۰
اتوبوس واحد استاندارد	۵	۱۵۰۰۰۰۰
اتوبوس واحد مفصلی	۷	۱۵۰۰۰۰۰
اتوبوس غیر واحد	۲/۵	۱۵۰۰۰۰۰
موتور	۰/۵	٤۸۰۰۰
دوچرخه	۰/۵	٤۰۰۰۰
باری سنگین	۲/۵	۸۰۰۰۰

$$d_1(V)=\frac{(c-g)^2}{2c(1-2V/s)}+32\left(\frac{V}{(g/s)}\right)^2+5 \qquad (۱)$$

که در آن $d_1(V)$ متوسط زمان تأخیر برای عبور از تقاطع در خیابان مورد نظر ورودی به تقاطع (ثانیه)، V حجم جریان ترافیک در خیابان مورد نظـر ورودی بـه تقـاطع (بـر حسـب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عـرض عبور)، s نرخ تخلیه در حالت اشباع (بر حسب وسـیله نقلیـه همسنگ سواری در ساعت برای یک متـر عـرض عبـور)، g مدت زمان سبز در جهت خیابان مورد نظر (ثانیه) و c مـدت زمان دوره تناوب در تقاطع (ثانیه) است.

$$d_2(V)=d_0\left[2.5+2\left(\frac{V}{Q}\right)^2\right] \qquad (۲)$$

که در آن $d_2(V)$ متوسط زمان تأخیر برای عبور از تقاطع در خیابان مورد نظر ورودی به تقاطع (ثانیه)، V حجم جریان ترافیک در خیابان مورد نظـر ورودی بـه تقـاطع (بـر حسـب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عـرض عبور) و d_0 ضریب ثابت زمان تأخیر در تقاطع بدون چـراغ برای خیابان ورودی به تقاطع (بر حسب ثانیه) اسـت. سـپس کمان‌های شبکه بر اساس درصد تغییر حجم ترافیک همسنگ سـواری معـادل در سـه حالـت ۵ ، ۱۰ و ۱۵ درصـد تغییـر دسته‌بندی شدند. از میان سه حالت فوق، سناریوی تغییر ۱۰ درصدی ترافیک همسنگ سواری به عنوان محـدوده اثـر پـل فلـزی در نظـر گرفتـه شـد. ناحیـه بـه دسـت آمـده در ایـن تخصیص به عنوان محدوده تاثیر این پل در نظر گرفتـه شـده است، شکل ۱.



شکل ۱. نقشه محدوده تاثیر پل فلزی

www.SID.ir

Archive of SID

از آن‌جایی که اطلاعاتی درباره نحوه زوال و شرایط آن برای این پل در دست نیست، بنابراین نمی‌توان به طور قطع زمانی برای خارج شدن این سازه از سطح قابل قبول عملکردی از شبکه معابر شهری پیشنهاد نمود. لذا ضروری به نظر می‌رسد که همزمان با اعمال تمهیدات تعمیر و نگه‌داری با اجرای سناریوهای کاهش بار ترافیکی سعی در بهبود شرایط موجود آن و به تعویق انداختن شرایط عملکردی پایین‌تر از حد استاندارد باشد. بر این اساس، سناریوهای موجود در جدول (٤) در دو دسته ترافیکی و سازه‌ای جهت بهبود شرایط پل ارائه می‌شوند. لازم به ذکر است که تمامی سناریوهای ترافیکی پیشنهاد شده با فرض اعمال همزمان عملیات تعمیر و نگه‌داری تعریف شده‌اند. هم‌چنین سناریوهای ترافیکی تعریف شده با کمک کارشناسان شهرداری اصفهان به دست آمده‌اند.

جدول ٤. سناریوهای پیشنهادی جهت بهبود شرایط عملکردی پل فلزی

شماره	سناریو
١	ادامه وضع موجود تا پایان عمر بهره برداری پل
٢	ممنوعیت عبور کامل و احداث پل جدید (مدت ساخت ٢ سال)
٣	ممنوعیت عبور کامیون
٤	فقط تردد وسایل نقلیه همگانی (تاکسی+اتوبوس)
٥	فقط تردد اتوبوس همگانی
٦	احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد دو طرفه سواری)
٧	احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد سواری فقط به سمت شمال)

٣-٢-تعیین شاخص های مقایسه سناریو

به منظور مقایسه سناریوها لازم است شاخص‌های مناسبی معرفی شود تا با کمی‌سازی مقادیر این شاخص‌ها، راهکارها به صورت ریالی با هم مقایسه شوند.

بر اساس مطالعات صورت گرفته، جهت مقایسه سناریوهای پیشنهادی از شاخص‌های از زمان سفر، آلودگی هوا، مصرف سوخت، هزینه‌های عملکردی، آلودگی صوتی، خدمات ترافیکی و تسهیلات، تصادفات و هزینه تعمیر و نگهداری و ساخت پل استفاده خواهد شد. در ادامه، مفاهیم مرتبط با هزینه‌های ایجاد شده بر اثر آنها توضیح داده خواهند شد و روش محاسبه مقادیر شاخص‌ها و هزینه‌های آنها نیز در جداول (٥) تا (٨) مشاهده می‌شود. به منظور محاسبه هزینه زمان سفر استفاده کنندگان شبکه حمل‌ونقل، از مقادیر ریالی ارزش زمان سفر آنها که قبلا توضیح داده شده است استفاده خواهد شد. جهت محاسبه هزینه ناشی از آلودگی هوا از مفهوم هزینه اجتماعی استفاده شده است؛ هزینه‌های اجتماعی یا هزینه‌های تخریب زیر مجموعه هزینه‌های استفاده کنندگان در شبکه حمل‌و نقل هستند که اثرات مخرب یک آلاینده یا فعالیت را بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان برآورد می‌کنند. در واقع به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید هزینه‌های اجتماعی یا تخریب گفته می‌شود [The ministry of Energy, [2011, in Persian. این هزینه‌ها بر اساس مطالعات بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران محاسبه شده است [World Bank group, 2002]. از آن‌جایی که در پژوهش حاضر تمامی قیمت‌ها بر اساس سال انجام پژوهش (١٣٩٣) محاسبه می‌شوند لذا این هزینه‌ها با در نظر گرفتن متوسط نرخ تورم ١٥ درصد برای سالهای میانی مطابق جدول (٦) محاسبه شده‌اند. شاخص خدمات ترافیکی نشانگر هزینه های لجستیکی و جاری در حمل‌و نقل مانند راهنمایی و رانندگی، معاونت حمل‌و نقل و ترافیک و غیره است که با اعمال سناریوهای مختلف در شبکه متغیر خواهد بود. سیاست‌های ایجاد تغییر در بخش عرضه یا در بخش مدیریت تقاضای شبکه حمل‌و نقل همواره باعث تغییراتی در حجم ترافیک بخش‌های متفاوت شبکه خواهد شد. این مسئله سبب می‌شود بخش‌های دیگر شبکه بیشتر در معرض آسیب دیدگی قرار گیرند؛ لذا شاخص تسهیلات نشانگر تاثیر اعمال سیاست‌های مختلف حمل‌و نقلی در سایر قسمت‌های شبکه است و تردد انواع مختلف وسایل نقلیه تاثیر متفاوتی در این زمینه دارند [Khashaei poor, [Abedini and Babaei,2012, in Persian.

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول (۵) هزینه عملکردی انواع وسایل نقلیه (شامل هزینه تعمیرات، استهلاک و...)، هزینه آلودگی صوتی و هزینه خدمات ترافیکی و تسهیلات بر اساس مطالعات پیشین برای سال ۱۳۹۳ و با در نظر گرفتن نرخ تورم مربوطه برآورد شده اند [Khashaei poor, Abedini and Babaei, 2012, in Persian]. در ارتباط با هزینه عملکردی کامیون با فرض قیمت تقریبی ۲۵۰ میلیون تومان در سال ۱۳۹۳ متناسب با هزینه عملکردی مینی‌بوس با قیمت تقریبی ۵۰ میلیون تومان در همین سال تخمین زده شده‌است. هم‌چنین بر اساس نظر کارشناسان معادل ۲/۵ برابر هزینه آلودگی صوتی مینی بوس و هزینه خدمات ترافیکی کامیون ۲/۵ برابر هزینه خدمات ترافیکی مینی بوس و هزینه تسهیلاتی کامیون ۱/۵ برابر هزینه تسهیلاتی اتوبوس در نظر گرفته شده است.

جدول ۵. هزینه‌های عملکردی، آلودگی صوتی و خدمات ترافیکی و تسهیلات بر اساس نوع وسیله نقلیه در سال ۱۳۹۳

نوع وسیله نقلیه	هزینه عملکردی	هزینه آلودگی صوتی	هزینه خدمات ترافیکی و تسهیلات
سواری شخصی	۵۵۱۰	۲۷٤	۲۱۰
وانت	٤۳۳۵	۱۸۰	۱۳۷
تاکسی	٤٤٦۳	۲۷۵	۲٤۳
مینی بوس	۸۹۹۱	۱۸۳۰	۲۰۵
اتوبوس	۲۸۸٤۸	۹٤۰	۲٦٤٦
موتور	۱۲۵۵	۳٦٦۰	۲۰٤
دوچرخه	٤۵۲	۰	۳٦۸
کامیون	٤٤۹٦۰	٤۵۸۰	۳۹۵۱

به منظور ارزیابی شاخص تصادفات از راهنمای ایمنی معابر استفاده شده‌است [Kolody et.al, 2014]. در این روش متوسط تناوب تصادفات بر حسب نوع برخورد و شدت تصادف برای مکان‌های مختلف شامل قطعات راه و تقاطع‌ها در یک بازه زمانی، طرح هندسی، شرایط کنترل ترافیک و AADT تخمین زده می‌شود. فرم کلی مدل‌های ارائه شده در رابطه (۳) آمده‌است که بر حسب نوع تسهیلات و مکان آن، پارامترهای مربطه در این رابطه جایگزین می گردد. که در آن $N_{predicted}$ متوسط تناوب تصادف پیش‌بینی شده برای یک سال مشخص در مکان مشخص x، N_{spf} متوسط تناوب تصادف پیش‌بینی شده برای شرایط پایه بر حسب تابع عملکرد ایمنی[۱۵] در نوع سایت x، N_{pedx} متوسط تصادفات وسیله نقلیه- عابر پیش‌بینی شده برای یک سال مشخص در سایت مشخص x، N_{bikex} متوسط تصادفات وسیله نقلیه- دوچرخه پیش‌بینی شده برای یک سال مشخص در سایت مشخص x، AMF_{yx} ضرایب اصلاح تصادفات برای سایت نوع x و ویژگی‌های طرح هندسی و شرایط کنترل ترافیک نوع y و C_x ضریب کالیبراسیون تعدیل تابع عملکرد ایمنی برای شرایط محلی سایت نوع x است.

(۳)

$$N_{predicted} = (N_{spf} \times (AMF_{1x} \times AMF_{2x} \times ... \times AMF_{yx}) + N_{pedx} + N_{bikex}) \times C_x$$

در رابطه محاسبه مقدار مصرف سوخت $q^m(v)$ میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه نوع m در سرعت v (کیلومتر بر ساعت) است که بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر محاسبه می‌شود. P^m میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه m در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت است که بر حسب لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر محاسبه می‌شود. مقدار این پارامتر برای هر یک از انواع وسایل نقلیه در جدول (۷) آمده است. لازم به ذکر است که در محاسبه این مقادیر سوخت سواری شخصی، تاکسی، وانت و موتور بنزین و سوخت مینی بوس، اتوبوس و کامیون گازوئیل در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦. روش محاسبه شاخص‌های زمان سفر، آلودگی هوا و مصرف سوخت

	محاسبه مقدار شاخص			مرجع	نحوه تبدیل به هزینه ریالی						مرجع
زمان سفر	خروجی فرآیند تخصیص سناریوها (زمان سفر صرف شده)			–	هزینه زمان سفر	مقادیر ریالی ارزش زمان سفر که در فرآیند تخصیص استفاده شد					–
آلودگی هوا	$CO_{motor\ cycle} = 75.75 - 1.61v + 0.0095v^2 + \frac{95.91}{v}$			[Isfahan municipality,2000 in Persian], [Research Institute of Applied Basic Sciences of Jahad]	هزینه‌های اجتماعی بر اساس قیمت‌های ثابت سال ١٣٩٣ (هزار ریال بر تن)	NO_x	CO	PM	CO_2	HC	[World Bank group, 2002]
	$CO_{car,taxi,vanet} = 127.64 - 2.68v + 0.016v^2 + \frac{160.12}{v}$										
	$HC_{car,taxi,vanet} = 6.06/0.1v + 0.00056v^2 + \frac{42.57}{v}$										
	$NO_{x_{car,taxi,vanet}} = 0.7 + \frac{1.92}{1+93.54e^{-0.049v}}$										
	$NO_{x_{bus,truck}} = 19.63 - 0.32v + 0.0037v^2 + \frac{21.13}{v}$										
	$NO_{x_{mini\ bus}} = 0.64 \times (NO_{x_{bus}})$										
	نوع سوخت	نوع آلاینده	ضریب انتشار (گرم/ لیتر)			٤٢٨٠٠	١٣٣٧٥	٣٠٦٧١٥	٧١٥	١٥٠٠٠	
	بنزین	CO_2	١٩٢٨/٦١								
		PM	١/٣٤								
	گازوئیل	CO_2	٢٥٨٥/١٥								
		PM	١٣/٦١								
مصرف سوخت	$q^m(v) = 16.57\ \mathrm{P^m} \times V^{-1} \times e^{0.0195v}$			[Isfahan municipality,2000 in Persian] , [Clarkson, Oglesby and Hicks, 1982]	هزینه سوخت	سواری شخصی، تاکسی، وانت و موتور برابر با لیتری ١٠ هزار ریال، وسایل نقلیه گازوییل سوز شامل مینی بوس، کامیون و انواع اتوبوس برابر با لیتری ٣ هزار ریال					

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. مقدار P^m برای هر یک از انواع وسایل نقلیه

نوع وسیله نقلیه	مقدار P^m
سواری شخصی	۱۰
تاکسی	۱۰
وانت	۱۲
مینی بوس	۲۵
اتوبوس	٤٠
موتور	۵
کامیون	٤٥

به منظور محاسبه هزینه تعمیر و نگهداری و ساخت پل، طبق گزارش عملکرد اداره نگهداری و تعمیرات ابنیه فنی شهرداری اصفهان در سال ۹۳ بودجه‌ای بالغ بر یک میلیارد و ٤٤٢ میلیون تومان صرف هزینه تعمیر و نگهداری پل‌های شهر اصفهان شده‌است. مطالعات نشان می‌دهد چنانچه در یک پل حجم ترافیک روزانه و حجم ترافیک کامیون عبوری زیاد باشد، قضاوت مهندسی تعیین می‌کند که نرخ زوال و هزینه تعمیر و نگه‌داری در چه حدی فرض شود و آیا لازم است برنامه‌ریزی ویژه‌ای برای آن پل در نظر گرفته شود یا خیر [Hurt and Schrock, 2016].

از آن جایی که اطلاعاتی درباره نحوه زوال پل مورد مطالعه موجود نیست بنابراین می‌توان هزینه تعمیر و نگهداری در تمامی سناریوها بر اساس قضاوت مهندسی فرض شود. بر همین اساس با توجه به مستندات بررسی شده و قضاوت مهندسی، جهت حفظ کیفیت خدمت این پل تا پایان عمر بهره برداری آن هزینه‌ای معادل ۵۰ هزار تومان بر متر مربع بر اساس قیمت سال انجام پژوهش،۵۰ درصد این مقدار معادل ۲۵ هزار تومان بر متر مربع برای سناریوهای کاهش بارگذاری و ۵ هزار تومان برای تعمیر و نگهداری پل بعد از اجرای سناریوهای تعریض و ساخت در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبه هزینه ساخت یک پل بر اساس نظر کارشناسان مقدار دو میلیون تومان بر متر مربع در سال ۱۳۹۳ در نظر گرفته شد.

به منظور کمی‌سازی هزینه‌ای شاخص تصادفات از جدول (۸) استفاده شده است. اعداد مندرج در این جدول بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعه آیتی بر اساس سال ۱۳۹۳ تغییر یافته است . در این مطالعه هزینه تصادفات برون شهری مورد مطالعه قرار گرفته است و در عین حال با استناد به هزینه تصادفات درون شهری و برون شهری کل کشور در سال ۱۳۷۷، هزینه یک تصادف برون شهری ۳/٤۷ برابر یک تصادف درون شهری در نظر گرفته شده است [Ayati, Esmaeel, 2009].

جدول ۸. هزینه تصادفات بر حسب میلیون ریال و نوع تصادف در سال ۱۳۹۳

عنصر هزینه / نوع تصادف	فوتی	جرحی	خسارتی
درمان مجروحان	۳۳/۰۷	٤۷/۱۱	۰
افراد کشته شده، معلولیت دائم،کاهش کیفیت زندگی و آثار فرهنگی و اجتماعی	۲۵۹۳۳/۷	۲۹/۹	۰
اوقات تلف شده، مصرف شده و تاخیرها	۵۷/٤	۹	۰/۸۵۵
وسایل نقلیه، سایر اشیا و اداری	۳۲۵۱/٦۳	٥٦٦	۳۰/٦۹
کاهش ظرفیتهای عملکردی	۰	۰/۸۳۷	۰
اختلال در محیط کار و هزینه‌های تربیتی و اصلاحی	۹٥٤/٥٤	۱٦۳/۲۲	۰
هزینه کل	۳۰۲۳۰	۸۰٦/۰۹	۳۱/٥٥

٤-مدل‌سازی

سناریوهای مورد نظر در نرم افزار ترنسکد تحلیل شدند و در ادامه نتایج مربوط به هر شاخص در تمامی سناریوها ارائه شده‌است. لازم به ذکر است در محاسبه سرعت متوسط انواع وسایل نقلیه جهت در نظر گرفتن توقف های متعدد در مسیر یا بزرگی انواع مختلف وسایل نقلیه از ضریب تصحیح استفاده شد. این ضریب برای تاکسی، مینی بوس، اتوبوس واحد و غیر واحد، موتور، دوچرخه و کامیون برابر با ۰/٦ در نظر گرفته شد [Isfahan municipality,2000 in Persian]. نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها برای سال ۹۳ در جدول (۹) آمده است. گروه‌های پرداخت کننده هزینه و عناصر هزینه پرداختی آن‌ها به شرح زیر هستند:

۱) استفاده کنندگان: زمان سفر، هزینه سوخت، هزینه عملکردی وسایل نقلیه

www.SID.ir

Archive of SID

۲) عموم مردم: هزینه ناشی از تصادفات، آلودگی هوا و آلودگی صوتی
۳) گرداننده: هزینه تعمیر و نگهداری، ساخت، خدمات ترافیکی و تسهیلات

به منظور تحلیل نتایج به دست آمده لازم است هزینه‌های پرداخت شده توسط استفاده کنندگان، عموم مردم و گرداننده‌ها در صورت اجرای هر یک از سناریوها برای سال‌های مورد ارزیابی محاسبه شوند. تقسیم‌بندی شاخص‌ها بر اساس پرداخت‌کننده آن‌ها در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود. با توجه به پیشینه ترافیکی این پل و با بررسی اطلاعات ارائه شده، نرخ رشد ترافیک برای این پل ٤ درصد محاسبه شد. به منظور تحلیل هزینه‌های استفاده کنندگان و عموم مردم در ۱۵ سال آینده که پل به پایان عمر بهره برداری ۷۰ ساله خود می‌رسد و با فرض این نرخ رشد ترافیک در پل، هزینه‌های استفاده کنندگان و عموم مردم رشد داده شد. هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ساخت پل نیز بر اساس نرخ سود اعلام شده در سال ۹۳ برابر با ۲۰ درصد محاسبه گردید. از آن‌جا که در سال ۹۳ هیچ بودجه‌ای صرف تعمیر و نگهداری این پل نشده است، بنابراین شروع محاسبه هزینه در سناریوها بر اساس سال ١٣٩٤ خواهد بود.

بر اساس پژوهش جونز و همکاران، با استناد به مطالعات برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها نرخ ارزش اسقاطی پل‌ها در طول ۳۰ سال برابر با ۵۰ درصد خواهد بود [Jones et.al, 2014]. بنابراین به منظور تحلیل ارزش اسقاطی پل‌ها بعد از ٦٠ سال عملا این ارزش از محاسبات حذف خواهد شد. جهت تحلیل اجرای سناریوهای تعریف شده، لازم است تمامی هزینه‌ها به مقدار معادلشان در سال پایه تبدیل شوند؛ بدین منظور با فرض نرخ تورم ۱۵ درصد در سال ۹۳ مقادیر موجود به ارزش معادل در این سال تبدیل شدند، جدول (۱۱).

جدول ۹. هزینه شاخص‌ها در اجرای سناریوهای پیشنهادی بر حسب میلیون ریال بر ساعت در سال ۹۳

سناریو	زمان سفر	مصرف سوخت	عملکردی وسایل نقلیه	آلودگی صوتی	خدمات ترافیکی و تسهیلات	تعمیر و نگهداری	ساخت	تصادفات
ادامه وضع موجود	۱۹۵/۰۹۳	۸۰/٦۱۱	٤٦۰/٦۸۷	٦۸/۷۷٦	۲۷/٥٥٤	۱۰/۸۸	۰	۲٤/۰۳
ممنوعیت عبور کامیون	۱۹٥/۱۲۳	۸۰/٦۳۱	٤٦۱/۸۰۱	٦۸/۸۸۹	۲۷/٦٥۲	٥٤٤	۰	۲٤/٦
ممنوعیت عبور کامل و احداث پل جدید	۱۹٦/۲٦٤	۸۲/۷٦۷	٤٦٦/۲۹۰	٦۹/۷٤۸	۲۷/۹	٤۳٥۲۰	۰	۲۳/۲
فقط تردد وسایل نقلیه همگانی (تاکسی+اتوبوس)	۱۹٥/۸۲٦	۸۱/٤	٤٦٥/٤٤۳	٦۹/۷۰۹	۲۷/۸۳۷	٥٤٤	۰	۲۳/٤٥
فقط تردد اتوبوس همگانی	۱۹٥/۹۷٦	۸۱/٥	٤٦٥/۸۳۱	٦۹/۷۳۳	۲۷/۸٥۸	٥٤٤	۰	۲۳/٤٦
احداث پل جدید برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد دو طرفه سواری)	۱۹۳/٤۲	۸۳/٦۲٦	٤۷٥/٦٥	۷۱/۳۳	۲۸/۳۳	۰	۲۱۷٦۰	۲۲/۳۳
احداث پل جدید برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد سواری فقط به سمت شمال)	۱۹٤/٦	۸٤/۷٥	٤۸٦/۰۷	۷۲/۷٦	۲۹/۰٦	۰	۲۱۷٦۰	۲۲/٦٤

جدول ۱۰. عناصر هزینه‌های پرداختی توسط گروه‌های سه گانه

	استفاده کنندگان	عموم مردم	گرداننده
عنصر هزینه	زمان سفر	آلودگی هوا	تعمیر و نگهداری
	عملکردی خودرو	آلودگی صوتی	ساخت
	سوخت	تصادفات	خدمات ترافیکی و تسهیلات

www.SID.ir

Archive of SID

۵-نتیجه‌گیری

بررسی مسئله خستگی در ارزیابی طول عمر مفید پل ها و نقش آن‌ها در شبکه حمل‌و نقل مسلتزم آن است که بارهای ترافیکی اعمال شده بر پل به طور دقیق مورد ارزیابی قرار بگیرند. با استفاده از تحلیل سابقه ترافیکی پل و مدل‌سازی بار استاندارد خستگی روی آن مشخص شد که این پل از آستانه خستگی مجاز عبور نموده است؛ بنابراین لازم است سناریوهای مناسبی جهت بررسی و تصمیم گیری در رابطه با آن تعریف شوند. جهت ارزیابی و تحلیل سناریوها لازم است محدوده تاثیر این پل مشخص شود؛ لذا محدوده تغییر ترافیک همسنگ سواری بیش از ۱۰ درصد در ترافیک اوج صبح‌گاهی سال ۹۳ در صورت حذف پل به عنوان محدوده تاثیر آن انتخاب شد. سپس سناریوها با کمک کارشناسان خبره شهرداری اصفهان و مشورت با اساتید دانشگاه انتخاب شدند و در نرم افزار ترنسکد مدل سازی شدند. شاخص‌ها بر اساس نوع پرداخت کننده (استفاده کنندگان، گردانندگان، عموم مردم) به سه دسته تقسیم شدند و مقادیر ریالی معادل آن‌ها محاسبه شدند. اولویت‌بندی به دست آمده از تحلیل شاخص‌ها از منظر گروه‌های پرداخت کننده در جدول (۱۲) مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها نشان می‌دهد افزایش عرضه باعث کاهش هزینه زمان سفر استفاده کنندگان می‌گردد اما از طرف دیگر با توجه افزایش کیلومتر پیموده شده که ناشی از افزایش عرضه است، در این سناریوها هزینه سوخت، عملکرد خودرو افزایش می‌یابد و در مجموع باعث می‌شود این سناریوها از منظر استفاده کنندگان هزینه بیشتری نسبت به سناریوهای مدیریت تقاضا داشته باشند. از سوی دیگر هزینه‌های تحمیل شده به عموم مردم رفتار متفاوتی دارد. در این نوع هزینه‌ها، سناریوهای افزایش عرضه هزینه تحمیل شده کمتری نسبت به اغلب سناریوهای مدیریت تقاضا دارند و اجرای هر یک از سناریوها وضعیت بهتری نسبت به شرایط فعلی ایجاد می‌نماید. از این منظر، هزینه ناشی از آلودگی هوا و تصادفات با اجرای سناریوهای افزایش عرضه کاهش و هزینه ناشی از آلودگی صوتی به علت افزایش کیلومتر پیموده شده بیشتر افزایش می‌یابد. واضح است که هزینه‌های تحمیل شده به گرداننده در سناریوهای مدیریت تقاضا به نسبت افزایش عرضه کمتر خواهد بود و این مسئله باعث خواهد شد سناریوهای افزایش عرضه در رتبه های پایین‌تری قرار بگیرند.

جدول ۱۱. مجموع هزینه‌ها در ۱۵ سال آینده تبدیل شده به ارزش سال ۱۳۹۳ برای سناریوها به تفکیک پرداخت کننده

سناریو / پرداخت کننده	استفاده کنندگان	عموم مردم	گرداننده	جمع کل
ادامه وضع موجود	٥٣٩٤١٥٣٢	١٢٤١٧٣٢٥	٢٠٤٠٧١٣	٦٦٣٨١٢١٤
ممنوعیت عبور کامل و احداث پل جدید	٥٤٢١٢٣٠٣	١٢٣٨٣٧١٦	٢٠٧٤٢٦٣	٦٧٨٢٤٢٠٥
ممنوعیت عبور کامیون	٥٤٠٢٦٧٧٠	١٢٢٩٢٩٠٦	٢٠٣٦٧٠٣	٦٦٣٣٠٨٥٥
فقط تردد وسایل نقلیه همگانی(تاکسی+اتوبوس)	٥٤٤٠١٤١٤	١٢٣٢٨٤٨٤	٢٠٥٠٢٩٩	٦٦٧٤١٠٧٧
فقط تردد اتوبوس همگانی	٥٤٤٤٨٠٧١	١٢٣٢٥٥٠١	٢٠٥١٨٤٣	٦٦٧٨٤٧٥٠
احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد دو طرفه سواری)	٥٥١٣٥٩١٨	١٢١٠٩٠٨٩	٢٠٩٨٨١٢	٦٧٢٦٨٦٦٢
احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد سواری فقط به سمت شمال)	٥٦٠٦٨٣٠٨	١٢٢٢٩٠٥٦	٢١٥٢٧٥١	٦٨٣٢١٠١٨

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲. اولویت بندی اجرای سناریوها از منظر گروه‌های پرداخت کننده

سناریو	اولویت از منظر استفاده کنندگان	اولویت از منظر عموم مردم	اولویت از منظر گرداننده	اولویت از منظر مجموع هزینه‌ها
ادامه وضع موجود	۱	۷	۲	۲
ممنوعیت عبور کامل و احداث پل جدید	٤	٦	٥	٦
ممنوعیت عبور کامیون	۳	۳	۱	۱
فقط تردد وسایل نقلیه همگانی(تاکسی+اتوبوس)	۲	٥	۳	۳
فقط تردد اتوبوس همگانی	٥	٤	٤	٤
احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد دو طرفه سواری)	٦	۱	٦	٥
احداث پل جدید (تعریض پل) برای سواری و کاربرد پل فعلی فقط برای اتوبوس (تردد سواری فقط به سمت شمال)	۷	۲	۷	۷

٦-پی‌نوشت‌ها

1. ADT, Annual Daily Traffic
2. VMT, Vehicle Miles Traveled
3. VHT, Vehicle Hour Traveled
4. Trans CAD
5. TDC, Traffic Delay cost
6. VOC, Vehicle Operation Cost
7. AC, Accident Cost
8. VOT, Value Of Time
9. Memorial Bridge
10. TTT, Total Travel Time
11. TTD, Total Travel Distance
12. OW, Overweight Vehicles
13. MMA, Multi modal-Multi class Assignment
14. PCE, Passenger Car Equivalent
15. SPF, Safety Performance Function

۷-مراجع

-آیتی، الف.، (۱۳۸۸)، "هزینه تصادفات، تئوری و کاربرد" وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل‌ونقل.

-بیرژندی، ص.، قاری قرآن، ع.ر.، و حق‌شناس، ح. (۱۳۹٤)، "بررسی و ارزیابی وضعیت خستگی پل فلزی شهر اصفهان تحت اضافه بار ترافیکی" پنجمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان، ص. ۲٦-۲۸.

-پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی (۱۳۸۹)، "اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور سال ۱۳۸۹".

-خشایی‌پور، م. عابدینی، م. و بابایی، ش.، (۱۳۹۰)، "تعیین هزینه سیستمی سفر با هر یک از مدهای حمل‌ونقل شهر تهران در سال ۱۳۹۰" دوازدهمین کنفرانس بین المللی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران: ص.۱- ۲.

-رهایی، ع.، حجازی، س.، و اکبری پاکدامن، د. (۱۳۸٤)، "ارزیابی عملکرد و بررسی خستگی در پل‌های فلزی" پژوهشنامه حمل و نقل، سال دوم، شماره دوم، ص. ۸۳-۹۳.

-شهرداری اصفهان (۱۳۷۹)، "مطالعات جامع حمل‌و نقل شهری اصفهان".

-شهرداری اصفهان (۱۳۹۱)، "مطالعات جامع حمل‌و نقل شهری اصفهان".

-وزارت نیرو (۱۳۹۰)، "ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰"، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق.

-Agbelie, B. R., Labi, S. and Sinha, K. C. (2017), "Estimating the marginal costs of bridge damage due to overweight vehicles using a modified equivalent-vehicle methodology and in-service data on life-cycle costs and usage," Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 95, pp: 275–288.

www.SID.ir

Archive of SID

analysis: improvements to valuing the asset through residual value—a case study," in Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC.

-Kaini, P. and Li, Z. (2006), "A Methodology for Risk-Based Highway Project Benefit-Cost Analysis" MRUTC Project 07-10: Optimal Investment Decision-Making for Highway Transportation Asset.

-Kolody, K., Perez-Bravo, D., Zhao, J., Neuman, T.R (2014), "Highway Safety Manual User Guide" Transportation Research Board, Washington, DC.

-Maine Department of Transportation (2011), "Federal Project AC-BH-1267(400).

- Padgett, J. E and Tapia, C. (2013), "Sustainability of Natural Hazard Risk Mitigation: Life Cycle Analysis of Environmental Indicators for Bridge Infrastructure" Journal of Infrastructure systems,Vol. 19, No. 4, pp. 395-408.

-Salkangas, L.(2009), "Bridge Life Cycle Optimisation, ESTI PROJECT (Stage 2)", "Helsinki University of Technology, Department of Structural Engineering and Building Technology".

-Saydam, D., Bocchini, P. and Frangopol, D. M. (2013), "Time-dependent risk associated with deterioration of highway bridge networks" Journal of Engineering Structures, Vol.54, pp. 221-233.

-Spickova, M. and Myskova, R. (2015), "Costs Efficiency Evaluation using Life Cycle Costing as Strategic Method" in Procedia Economics and Finance, Vol.34, pp.337 – 343, Business Economics and Management (BEM) Conference, Turkey.

-Transportation Research Board. (2003), "NCHRP Report 483: Bridge Life-Cycle Cost Analysis". Washington, D.C.

-World Bank group (2002), "Enviromental Energy Review (EER): Iran, Environment Strategy for the Energy Sector: Fuel for thought , MOE, 511191/ZR/EER-Iran. Final Report".

-Bai, Q., Labi, S., Sinha, K. and Thompson, P. (2013), "Bridge user cost estimation – a synthesis of existing methods and addressing the issues of multiple counting, workzones and traffic capacity limitation" Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 9, No.9, pp. 849–859.

-Chen, W.-F. and Duan, L., (2014), "Bridge Engineering Handbook construction and maintenance", Taylor & Francis Group, CRC Press.

-Clarkson, H., Oglesby, R. and Hicks,R. G. (1982), "Highway engineering" New York:Wiley.

-Dharmadhikari, N., Lee, E. and Kayabas, P. (2016), "The Lifecycle Benefit–Cost Analysis for a Rural Bridge Construction to Support Energy Transportation," Journal of infrastructures, Vol.1, No.1.

-Eamon, C.D., Jensen, E.A., Grace, N.F. and Shi, X. (2012), "Life-cycle cost analysis of alternative reinforcement materials for bridge superstructures considering cost and maintenance uncertainties" Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.24, No.4, pp. 373-380.

-Elfatah Safi, M. A. (2009), "Bridge Life Cycle Cost Optimization Analysis: Evaluation, & Implementation"Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology.

-FWA, F. (2006), "Handbook of highway engineering", Taylor & Francis, CRC Press.

-FHWA (2011), "Work zone road user costs: concepts and application" U.S Department of transportation Federal Highway Administration.

-HDR (2010), "Portsmouth/Kittery Memorial Bridge Replacement Project Benefit-Cost Analysis", New Hampshire Department of Transportation.

-HURT, M. and SCHROCK, S. (2016), "Highway bridge maintenance planning and scheduling", Elsevier.

-Jones, H., Domingos, T., Moura, F. and Sussman, J. M. (2014), "Transport infrastructure evaluation using cost-benefit

www.SID.ir