Archive of SID

اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی شبکه معابر شهری
مطالعه موردی : شبکه معابر شهر اصفهان

محمد علی رهگذر (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

حسین حق شناس، استادیار، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

شیرین رحیمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

صالحه بیرژندی، دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: rahgozar@eng.ui.ac.ir

دریافت: ۱۳۹٤/۰۹/۳۰ پذیرش: ۱۳۹٦/۰٦/۱۳

چکیده

شبکه‌های حمل و نقل، عناصر ضروری زندگی روزمره در جامعه‌های مدرن هستند. اختلال شبکه راه می‌تواند به طور جدی به بهره‌وری اقتصادی جامعه خسارت وارد کرده و زندگی روزانه بشر را بسیار دشوار نماید. در این میان نقش پل‌های بزرگراهی به عنوان بخشی از شبکه با ویژگی‌های منحصر به فرد بسیار حایز اهمیت است. پل‌ها از زیرساخت‌های حیاتی شبکه حمل و نقل محسوب می‌شوند که در اثر بسته شدن آن‌ها، شبکه حمل و نقل با مشکلات زیادی از جمله ترافیک شدید در شبکه، راه‌بندان و ... مواجه می‌شود. بنابراین لازم است، مسئولین و برنامه‌ریزان همواره هزینه‌های قابل توجهی به تعمیر و نگهداری پل‌ها اختصاص دهند. شهر اصفهان، از جمله شهرهایی است که به علت عبور رودخانه از داخل شهر، بهره مندی از عملکرد صحیح پل‌ها در شبکه حمل‌و نقل آن بسیار ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه، اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی شبکه معابر شهر اصفهان است. روش ارائه شده اهمیت پل‌ها را بر اساس تغییر زمان سفر کل شبکه مشخص می‌کند. روش پیشنهادی بر روی ۸۷ پل شبکه حمل و نقل شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات مورد نیاز نظیر شبکه حمل و نقل اصفهان، ماتریس تقاضای سفر و توابع هزینه – حجم با استفاده از مطالعات جامع حمل و نقل شهر اصفهان جمع آوری شده است. مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی نشان می‌دهد حیاتی ترین پل‌ها لزوما پر حجم‌ترین پل‌ها نیستند. در حقیقت می‌توان گفت، اهمیت یک پل یا معبر بیش از آن‌که وابسته به حجم ترافیک آن باشد، به تعداد مسیرهای جایگزین عبور دهنده ترافیک آن پل یا معبر در زمان بسته بودن آن دارد.

واژه کلیدی: حمل و نقل، آنالیز آسیب‌پذیری، شبکه حیاتی، پل، زمان سفر، اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

همزمان با توسعه اقتصاد، سیستم حمل و نقل به ویژه سیستم راه، نقش مهمی را در جامعه ایفا می‌کند. اکثر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی از شبکه‌های حمل و نقل استفاده می‌کنند و موفقیت این فعالیت‌ها به طور چشمگیری به عملکرد سیستم‌های حمل و نقل وابسته هستند. بنابراین از یک سو، وجود شبکه راه مرتبط، برای فعالیت‌های کل جامعه ضروری است و از سوی دیگر، هر اختلالی که باعث کاهش بهره وری مطلوب شود، می‌تواند منجر به تأثیرات منفی اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی شود. خسارت‌های ایجاد شده شامل تأخیر ایجاد شده جهت تغییر مسیر، تأخیر ناشی از تراکم ترافیک در مسیر جایگزین و تأخیرات دیگر هستند که منجر به اختلال حمل و نقل مسافر و بار می‌شوند. بنابراین به منظور کاهش زیان‌های ناشی از اختلال در شبکه حمل و نقل، لازم است که عملکرد شبکه پس از ایجاد اختلال حتی الامکان حفظ و یا در صورت مخدوش شدن، هر چه سریعتر عملکرد آن به حالت عادی بازگردد.

پل‌ها از زیرساخت‌های حیاتی شبکه حمل و نقل محسوب می‌شوند که در اثر تخریب و بسته شدن آن‌ها، شبکه حمل و نقل با مشکلات زیادی از جمله ترافیک شدید در شبکه، راه‌بندان و ... مواجه می‌شود. بنابراین لازم است، مسئولین و برنامه‌ریزان همواره هزینه‌های قابل توجهی را به تعمیر و نگهداری پل‌ها اختصاص دهند. با توجه به محدودیت بودجه و منابع، لازم است آنالیزهای آسیب‌پذیری انجام گیرد تا به وسیله آن، پل‌های حیاتی و مهم که در صورت عدم حضور آن‌ها در شبکه، شبکه حمل و نقل با مشکلات متعددی مواجه می‌شود، شناسایی و براساس اهمیت آن‌ها، منابع و بودجه‌های موجود جهت تعمیر و نگهداری به آن‌ها اختصاص یابد. بدین منظور در این مطالعه بررسی می‌شود که:

- چه شاخص‌هایی برای اولویت‌بندی زیرساخت‌های حیاتی شبکه حمل و نقل در شرایط ترافیک عادی وجود دارند؟
- از بین شاخص‌های موجود کدامیک بهترین شاخص برای اولویت‌بندی پل‌ها در شبکه معابر است؟
- آیا حیاتی‌ترین پل‌ها در شبکه حمل و نقل لزوما پر حجم‌ترین آن‌ها هستند؟

مطالعات مربوط به آسیب پذیری زیر ساخت‌های شبکه حمل و نقل، دربعضی از کشورها نظیر آمریکا، استرالیا و سوئد انجام شده است اما تاکنون در ایران مطالعاتی در مورد شناسایی حیاتی ترین عناصر شبکه حمل و نقل و اولویت‌بندی آنها انجام نشده است. بنابراین در این مطالعه، تلاش شده است پل‌های شهر اصفهان در شرایط ترافیک عادی رتبه بندی شوند تا برنامه ریزان شهری با آگاهی کامل از این عناصر بحرانی، بتوانند تصمیم-گیری‌های مؤثرتر و کارآمدتری داشته باشند.

اولویت بندی پلها به منظور بهسازی، بودجه تعمیر و نگهداری، سرمایه گذاری جهت تجهیزات هوشمند پایش سلامت و خرابی ناشی از زوال عمر مفید پل لازم است. با توجه به محدودیت بودجه و منابع، لازم است پلهای حیاتی و مهم که در صورت عدم وجود عملکرد موردانتظار از آن‌ها در شبکه، شبکه حمل و نقل با مشکلات متعددی مواجه می‌شود شناسایی و براساس اهمیت آن‌ها، منابع و بودجه‌های موجود جهت تعمیر و نگهداری به آن‌ها اختصاص یابد. پرسش مهمی که در این مطالعه برای اولین بار مورد بررسی قرار خواهد گرفت آن است که آیا حجم عبوری از هر پل الزاما معرف میزان اهمیت آن است یا عوامل دیگری نیز در تعیین اهمیت یک پل نقش دارند؟

۲. مرور بر منابع و انتخاب معیار اولویت بندی عملکرد ترافیکی پل‌ها

حذف یا بسته شدن یک یا چند کمان شبکه، به ویژه کمان‌هایی که تعداد مسافر زیادی از آن‌ها می‌گذرد یا آن‌هایی که شامل پل‌ها می‌شوند، دارای عواقب اقتصادی جدی و مستقیمی از جهت افزایش زمان سفر کل سیستم است [Smith, Qin and Venkatanarayana 2003]. بنابراین شاخص زمان سفر می‌تواند به خوبی وضعیت بهره وری شبکه حمل‌ونقل را نمایش دهد. در این صورت نه تنها مسیرهای عرضه و برنامه‌های تقاضا مختل می‌شود، بلکه اقدامات مرتبط به برنامه‌ریزی مجدد و تغییر مسیر برای عرضه کنندگان و متقاضیان نیز نیازمند صرف هزینه‌های گزافی خواهد بود. تغییر مسیر ترافیک می‌تواند منجر به خطرهای امنیتی و تراکم در بخش‌های دیگر تقاطع شود، به خصوص اگر حجم زیادی از وسایل نقلیه به کمانی تغییر مسیر دهند که خود آن کمان از قبل حجمی نزدیک به ظرفیتش داشته

www.SID.ir

Archive of SID

باشد. انواع مختلف ترافیک در شبکه، بسته به طرح بندی مکانی شبکه (برای مثال، توپولوژی شبکه) شرایط سختی را برای تغییر مسیر در زمان تخریب کمان ایجاد می‌کنند. موضوع کلیدی در آنالیز آسیب پذیری، معرفی زیرساخت‌ها (کمان‌ها و گره‌ها)ی بحرانی یا حیاتی شبکه است، به طوری‌که تخریب این زیرساخت‌ها تأثیر قابل توجهی بر روی کل شبکه دارد [Chen , 2012].

بل در سال ۲۰۰۰ ضمن معرفی مفهوم اتصال در شبکه به عنوان یکی از ابعاد قابلیت اعتماد، به این نکته اشاره می‌کند که در یک شبکه کاملا متصل نیز امکان کاهش سطح خدمت به پایین‌تر از حد قابل قبول وجود دارد. به طور مثال، زمانی که رویدادها در شبکه باعث ایجاد تغییرات غیر قابل قبول در زمان سفر گردد به طوری که رسیدن به مقصد طبق برنامه زمانی مورد نظر به سختی حاصل شود. بر این اساس، او معتقد است که انتخاب زمان سفر به عنوان شاخص اولویت‌بندی معابر حیاتی کامل‌تر و جامع‌تر از معیار دسترسی در شبکه است [Bell, 2000].

بردیکا معتقد بوده است که آنالیز آسیب‌پذیری آنالیزی است که در آن، نقاط ضعیف شبکه (مثل کمان‌ها یا گره‌ها) معرفی می‌شوند و تأثیرات ناشی از تخریب یا شکست شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد[Berdica, 2002]. لواتپ بیان کرده است که ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه نیازمند احتمال تخریب شبکه نیست و همچنین معتقد است که آنالیز آسیب‌پذیری عمدتا معرفی عناصر حیاتی(بحرانی) شبکه است که در اثر تخریب تأثیر نامطلوبی بر عملکرد شبکه دارند و با افزایش ظرفیت شبکه و ساخت مسیرهای موازی می‌توان آسیب‌پذیری کلی شبکه را کاهش داد [Luathep, 2011].

جنلیوس در سال ۲۰۰۶، شاخص‌هایی برای معرفی لینک‌ها و گره‌های بحرانی براساس هزینه سفر تعمیم یافته در زمانی که لینک بسته می‌شود، از دو دیدگاه فرصت و امکانات برابر و بهره وری اقتصادی ارائه داده‌اند. آنها از قسمت شمالی شبکه راه سوئد برای بررسی نتایج استفاده کرده‌اند و شبکه در نرم‌افزار Arc GIS ارائه شده است[Jenelius , 2006].

اسکات و همکارانش در سال ۲۰۰۶، از شاخص NRI (شاخص استحکام شبکه) برای ارزیابی اهمیت لینک‌های بحرانی بزرگراه نسبت به کل شبکه استفاده کرده‌اند که این ارزیابی، با استفاده از تغییر در هزینه سفر ناشی از تغییر مسیر به علت بسته شدن لینک محاسبه شده است. آنها ادعا کرده‌اند که این شاخص جریان در شبکه، ظرفیت لینک و توپولوژی شبکه را درنظر می‌گیرد[Scott, 2006].

ناگرنی و کیانگ در سال ۲۰۰۷، یک معیار کارایی برای شبکه‌های شلوغ پیشنهاد داده‌اند که تقاضاها، هزینه‌ها، جریان‌ها و رفتار را منعکس می‌کند [Nagurney and Qiang , 2007].

در گزارش NCHRP 618 معیار زمان سفر جهت اولویت‌بندی عملکردی، برنامه‌ریزی سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی، افزایش رضایت‌مندی کاربران و بهبود وضعیت عملیاتی در شبکه پیشنهاد شده و در این گزارش آمده است، در حالی که تمامی انواع معیارهای عملکرد که توسط ارگان‌های مسئول ارائه می‌شوند، مفید هستند. اما معیارهایی که بر پایه زمان سفر هستند، بیش از سایرین، مورد توجه تصمیم سازان و مسئولین است. این مسئله بدین خاطر است که این معیارهابه طور مستقیم به دیدگاه کاربر نسبت به سیستم مربوط می‌شود. بر اساس این معیارها پرسش‌های زیر در ذهن کاربران پاسخ داده می‌شود:

- یک سفرخاص چه مقدار طول خواهد کشید؟
- تاثیر میزان زمان حرکت از مبدا بر زمان رسیدن به مقصد چه‌قدر است؟

هم‌چنین این معیارها پاسخگوی سئوالات تصمیم سازان نیز خواهند بود. این سئوالات می‌تواند مشابه موارد زیر باشد:

- اگر یک روند مشخص ادامه یابد، یک سفر خاص چه‌قدر طول خواهد کشید؟
- کدام‌یک از پروژه‌های رقابتی بهبود شبکه تاثیر بیشتری بر میزان تراکم در سیستم یا قابلیت اعتمادپذیری دارد؟

در حقیقت می‌توان گفت، کاربران شبکه‌های حمل ونقل حساسیت فزاینده ای در زمینه تاخیر در شبکه حمل‌ونقل وکاهش سطح قابلیت اعتماد دارند. بنابراین، با استفاده از معیار زمان سفر مسئولان به برنامه ریزی بهتری برای شبکه حمل‌و نقل دست پیدا می‌کنند. هم‌چنین کاربران شبکه نیز اطلاعات بهتری برای برنامه‌ریزی خود جهت استفاده از سیستم خواهند داشت.

در واقع فرآیندی که توسط کاربران برای تصمیم‌گیری انتخاب طریقه و مسیر سفر و توسط برنامه ریزان حمل‌ونقل استفاده می‌شود، تحت تاثیر عواملی مانند زمان سفر، آسایش، هزینه کاربر و دسترسی به مسیرهای جایگزین است. لیکن معیار زمان سفر برای بهبود اجرایی و ظرفیتی نیز به کار برده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

به طور خلاصه در این گزارش معیار زمان سفر به عنوان بهترین معیار برای تامین اطلاعات مورد نیاز در زمینه قابلیت اعتماد معرفی شده است[TRB, 2008]. یوکوسری و همکاران در سال ۲۰۰۹، یک روش ابتکاری که از مفهوم شبکه‌های پیچیده برای بررسی اهمیت بزرگراه‌ها در شبکه‌های حمل و نقل استفاده می‌کند پیشنهاد داده‌اند و از زمان سفر به عنوان معیار اندازه‌گیری عملکرد بهره برده‌اند[Ukkusuri and Yushimito, 2009].

یین و همکارش در سال ۲۰۱۰، مطالعه‌ای انجام داده‌اند که هدف از آن، معرفی بخش‌های بحرانی راه و تقاطع‌ها در شبکه راه، که تأثیر به‌سزایی بر عملکرد نرمال حمل و نقل شبکه راه دارند و بهینه سازی ساختارشبکه راه به وسیله کاهش آسیب پذیری آن، بوده است. آن‌ها از مدل کارایی شبکه برای تعریف آسیب‌پذیری ساختار شبکه راه استفاده کرده‌اند[Yin, 2010].

در ایالت هامپشایردرجنوب انگلستان بر روی پل MEMORIAL مطالعه‌ای انجام شده‌است که نتیجه آن به صورت گزارشی منتشر شده است[HDR, 2010]. در این گزارش آمده‌است که در بیشتر پروژه‌های حمل‌ونقلی، منفعتی که از بکارگیری ابرسازه‌ها نشئت می‌گیرد، کاهش در 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 بررسی هزینه‌های بازسازی پل در این مطالعه روشن شده‌است که ترتیب اهمیت منافع به دست آمده به شرح زیر بوده است:

۱) کاهش زمان سفر
۲) کاهش هزینه‌های عملکردی خودرو
۳) کاهش تصادفات
٤) افزایش سلامتی استفاده کنندگان
٥) کاهش آلودگی
٦) کاهش هزینه‌های بهبود روسازی

لیوتپ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، یک رویکرد براساس آنالیز حساسیت برای بهبود بهره‌وری محاسباتی ارائه داده‌اند، که برای آنالیزهای حساسیت شبکه راه بزرگ مقیاس کاربرد دارد. در این مطالعه، شاخص دسترسی نسبی که شاخص دسترسی هنسن را دنبال می‌کند اتخاذ شده است. لینک‌های بحرانی مطابق با تفاوت در شاخص دسترسی شان در دو حالت شبکه نرمال و تخریب شده رتبه‌بندی شده‌اند. این تکنیک پیشنهاد شده بار محاسباتی را کاهش می‌دهد و احتیاج به حافظه ذخیره سازی کمتری نسبت به روش‌های قدیمی دارد. آن‌ها در این مطالعه فرض کرده‌اند که مسافران زمان سفرشان را به عنوان هزینه سفر در نظر می‌گیرند و برای محاسبه دسترسی در حالت تخریب نیز از بسط سری تیلور مرتبه اول استفاده کرده‌اند [Luathep, 2011].

چن و همکارانش در سال ۲۰۱۲ بحث کرده‌اند که برای ارزیابی آسیب پذیری شبکه‌های راه شلوغ، رویکرد معمول در نظر گرفتن کل شبکه برای ارزیابی تمام سناریوهای بسته شدن لینک است. این رویکرد بار محاسباتی سنگینی دارد و برای شناسایی بحرانی‌ترین لینک‌ها در شبکه‌های بزرگ مقیاس مناسب نیست. بنابراین آن‌ها رویکرد آنالیز منطقه تحت تأثیر را برای ارزیابی عواقب بسته شدن لینک در منطقه تحت تأثیر به جای کل شبکه پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها با این رویکرد، فضای جستجو را برای تعیین بحرانی‌ترین لینک‌ها در شبکه‌های بزرگ مقیاس کاهش دادند و تأثیر تقاضای نامعین و رفتار همراه با ریسک مسافران نیز در مطالعه خود در نظر گرفته‌اند [Chen, 2012].

سایدام و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به توسعه روشی کلی برای محاسبه خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم سناریوهای خرابی پل پرداختند [Saydam, Bocchini and Frangopol, 2013]. آن‌ها عواقب شکست یک جزء در یک شبکه را به دو دسته عواقب مستقیم و غیر مستقیم تقسیم‌بندی کردند. به عبارت دیگر، آن‌ها عواقب مستقیم را عواقب مربوط به شکست سازه‌ای می‌دانند و آن را به پنج دسته تقسیم می‌کنند:

۱) هزینه بازگردانی کامل یک پل بعد از شکست: C_R
۲) هزینه تصادفات از جمله هنگام وقوع شکست: C_A
۳) هزینه سلامتی انسان و زندگی: C_H
٤) هزینه‌های مربوط به آسیب‌های زیست محیطی: C_E
٥) هزینه‌های اثرات روی عموم مردم: C_P

عواقب غیر مستقیم شکست پل به طور اساسی شامل هزینه اضافی حرکت وسایل نقلیه روی شبکه و هزینه زمان اضافه مسافران روی شبکه است. این هزینه‌ها بر اساس شاخص‌های

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد شبکه محاسبه می‌شوند. این شاخص‌ها به شرح زیر هستند:

۱) زمان سفر کل برابر است با مجموع زمان سپری شده توسط استفاده کنندگان روی شبکه برای رسیدن به مقاصدشان (بر اساس سفرهایی که از یک زمان واحد شروع می‌شوند).
۲) مسافت طی شده کل: برابر است با مسافتی که توسط تمام مسافران که در زمان واحد سفر خود را شروع می‌کنند پیمموده می‌شود.

بالیچپالی و اوپونگ در سال ۲۰۱٤ شاخصی به عنوان شاخص آسیب‌پذیری شبکه معرفی کرده‌اند که قابلیت استفاده و نوع کمان را در نظر می‌گیرد و بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن r_i قابلیت استفاده از کمان i که از حاصل تقسیم کل ظرفیت موجود کمان بر حداکثر ظرفیت استاندارد ساعتی کمان بر هر خط آن نوع کمان به دست می‌آید، A تعداد کل کمان‌های شبکه، x_i و t_i نیز به ترتیب حجم ترافیک و زمان سفر کمان i هستند [Balijepalli and Oppong,2014]:

$$NVI=\sum_{i=1}^{|A|}[(\frac{x_i^{before}}{r_i^{before}})\, t_i^{before}]-\sum_{i=1}^{|A|}[(\frac{x_i^{after}}{r_i^{after}})\, t_i^{after}] \quad (۱)$$

اولیویرا و همکارانش در سال ۲۰۱٦ شاخص NRI را به عنوان تفاوت هزینه یا زمان بین وضعیت‌های وجود یا حذف کمان معرفی و به صورت تفاضل حاصل ضرب زمان یا هزینه کمان در حجم ترافیک در دو حالت محاسبه کردند. از آن‌جایی که همواره حاصل ضرب زمان یا هزینه در حجم ترافیک برای وضعیت عادی شبکه از همین مقدار برای حالت حذف کمان کاسته می‌شود، این شاخص همواره مقداری بزرگتر از صفر دارد [Oliveira, Portugal, and Junior, 2016]. آن‌ها مقدار این شاخص را برای ۱۲٦٦ کمان با استفاده از ماتریس تقاضای سفر خودروهای سواری در ساعت اوج در شبکه حمل‌ونقل شهر ریودوژانیرو محاسبه کردند.

همان‌طور که در بررسی منابع مشاهده گردید تاکنون شاخص‌های متعددی جهت اولویت بندی و ارزیابی عملکرد ترافیکی پل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص‌ها در جدول (۱) به طور خلاصه مشاهده می‌شوند. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود شاخص زمان سفر در اکثر مطالعات مورد استفاده قرار گرفته و در بسیاری از مطالعات نیز به این مسئله اذعان شده است که از منظر برنامه‌ریزان، مردم و مسئولین اجرایی شاخص زمان سفر مهم‌ترین شاخص کاربردی در زمینه عملکرد ترافیکی شبکه معابر است و شاخص های دیگر به نوعی با این شاخص وابستگی دارند. به نظر می‌رسد از این رو در پژوهش حاضر برای اولویت بندی پل ها از شاخص زمان سفر استفاده است.

جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده در منابع پژوهشی جهت اولویت بندی عملکرد ترافیکی پل‌ها

شاخص	منابع پژوهشی مورد مطالعه									
	بل ۲۰۰۰	جنلیوس ۲۰۰٦	اسکات ۲۰۰٦	گزارش NCHRP 618 ۲۰۰۸	یکوسری ۲۰۰۹	مطالعه پل MEMORIAL ۲۰۱۰	لیوتپ۲۰۱۱	فرانگوپل ۲۰۱۳	بالیچپالی و اوپونگ ۲۰۱٤	اولیویرا ۲۰۱٦
زمان سفر	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓
هزینه سفر		✓	✓			✓				
دسترسی							✓			
تصادفات						✓		✓		
مسافت طی شده								✓		
آلودگی هوا						✓		✓		

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه‌های عموم مردم	✓	✓

۳. روش اولویت بندی پل‌ها

به منظور اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی، فرض می‌شود که در اثر یک اتفاق (به طور مثال عملیات تعمیر و نگه‌داری، غیر قابل بهره برداری بودن بخشی از معبر و...) پل‌های شبکه معابر از عملکرد مطلوب خود فاصله می‌گیرند. در نتیجه مسافرانی که در انتخاب مسیر خود از این هر یک از این پل‌ها استفاده می‌کردند مجبور به تغییر مسیر و انتخاب مسیرهایی با مطلوبیت کمتر می‌شوند.

مطابق با فلوچارت ترسیم شده در شکل (۱) با داشتن شبکه حمل و نقل، ماتریس تقاضا، توابع عملکرد هزینه – حجم، حجم بارگذاری شده روی کمان‌های شبکه به‌دست می‌آید و سپس زمان سفر کل شبکه در حالتی که تمام پل‌های شبکه قابل بهره-برداری است، محاسبه می‌شود. سپس در هر تکرار، یک پل از شبکه معابر حذف می‌شود (پل غیر قابل بهره‌برداری است) و با استفاده از ورودی‌های مورد نیاز و اعمال تخصیص ترافیک، زمان سفر کل شبکه، در حالتی که یک پل از شبکه با کاهش عملکرد روبرو شده است، محاسبه می‌شود. این عملیات، برای همه پل-های مستقر در شبکه معابر انجام شده و به این ترتیب با مقایسه زمان سفر کل شبکه در حالت عادی که تمام پل‌ها قابل بهره-برداری هستند با حالت عدم وجود عملکرد مورد انتظار، اهمیت پل مشخص می‌شود.

زمان سفر کل شبکه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Total VHT} = \sum_i Flow(i) \times Time(i) \quad (۲)$$

Total VHT = کل زمان سفر شبکه،

Flow (i) = جریان ترافیک لینک iام

Time (i) = زمان سفر لینک iام

بدین ترتیب اهمیت پل‌ها در شبکه حمل و نقل در شرایط ترافیک عادی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\text{Important}_{\text{bridge}_i} = \text{Total VHT}\big(G(N,A)\big) - \text{Total VHT}\big(G(N,A-\text{bridge}_i)\big) \quad (۳)$$

$\text{important}_{\text{bridge}}$ = اهمیت پل iام،

$G(N,A)$ = شبکه ای با N گره و A کمان،

$G(N,A\text{-bridge}_i)$ = شبکه G پس از حذف لینک‌های تشکیل دهنده پل iام.

برای محاسبه رابطه ۳، در هرمرحله برای بررسی تاثیر هر پل در شبکه، تخصیص ترافیک شبکه یکبار با در نظر گرفتن پل و یکبار با حذب پل، بر اساس تعادل استفاده کننده، انجام می شود و تفاوت زمان سفر این دوحالت مقایسه می گردد. از طرفی در روش تعادل استفاده کننده، حجم ترافیک به گونه ای به شبکه تخصیص می یابد که در نهایت زمان سفر بین مبادی مقاصد مختلف یکسان باشد. چون تخصیص براساس تعادل استفاده کننده بر مبنای یکسان نمودن زمان سفر بین مبادی و مقاصد مختلف صورت می گیرد، این پرسش به ذهن برسد که آیا حجم ترافیک به تعادل رسیده روی پل، نشان دهنده اهمیت پل در شبکه از لحاظ شاخص زمان سفر نیست؟ به عبارت دیگر اولویت بندی پل ها بر اساس حجم ترافیک به تعادل رسیده چقدر با اولویت بندی پل ها براساس رابطه ۳ (تفاوت زمان سفر) منطبق است. برای پاسخ به این سوال در ادامه پژوهش نتایج حاصل از این دو اولویت بندی با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

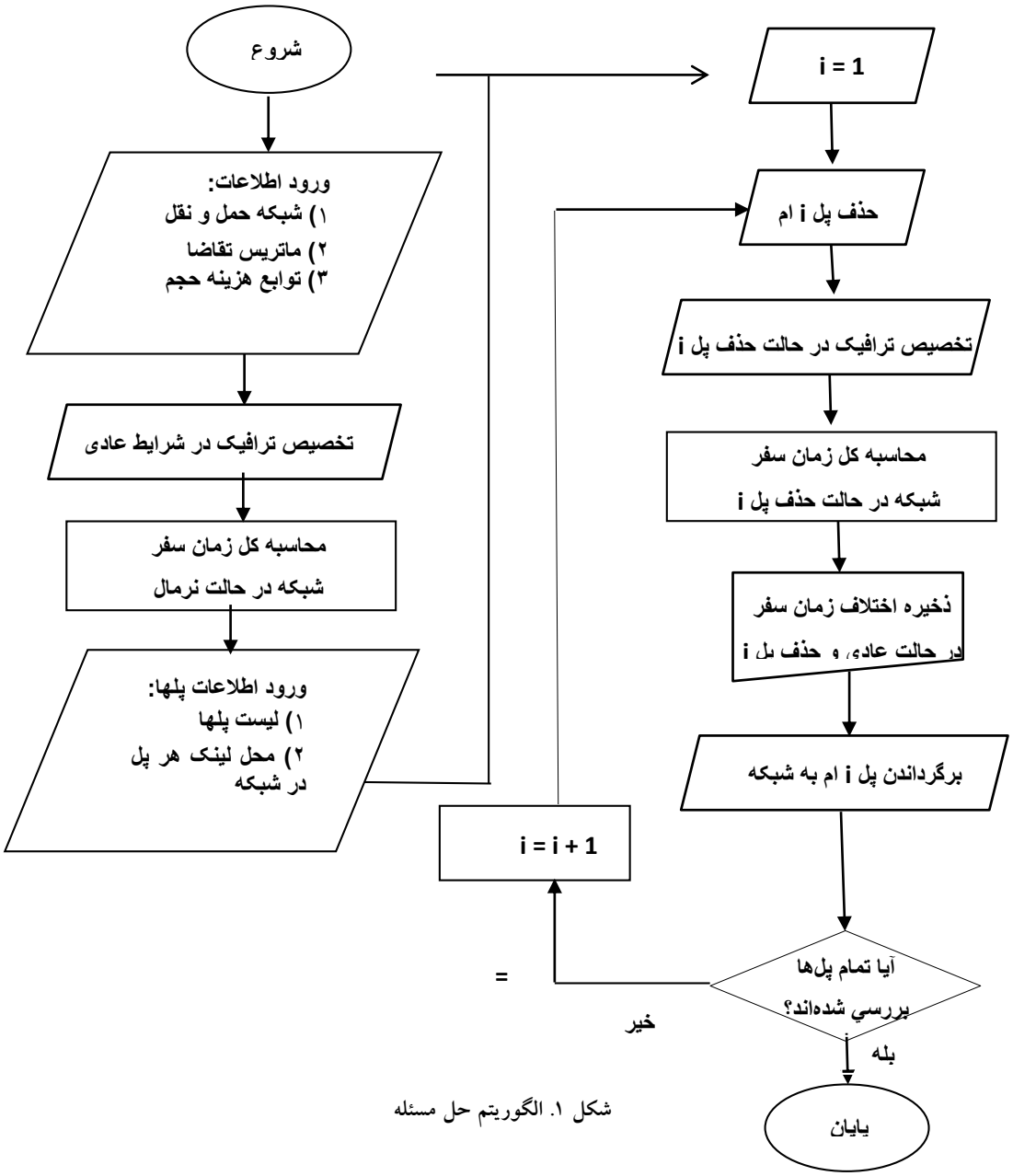
در این پژوهش در هر مرحله از محاسبه شاخص زمان سفر، فقط یک پل از شبکه حذف می شود. فرض حذف جداگانه پل ها از شبکه به دو دلیل انجام می شود: اولا پل ها در این پژوهش با هدف تعیین اولویت بهسازی، بودجه تعمیر و نگهداری و سرمایه گذاری جهت تجهیزات هوشمند پایش سلامت و خرابی پل اولویت بندی می شوند و برای رسیدن به این هدف باید تاثیر هر پل را جداگانه بررسی نمود. ثانیا در واقع علت اصلی که برای خرابی پل و حذف کارایی آن در شبکه در نظر گرفته می شود زوال عمر مفید پل است که با توجه به پراکندگی سنی پل های شهر اصفهان، معمولا برای هر پل جداگانه اتفاق می افتد.

www.SID.ir

Archive of SID

٤. شبکه معابر و مجموعه پل‌های شهراصفهان

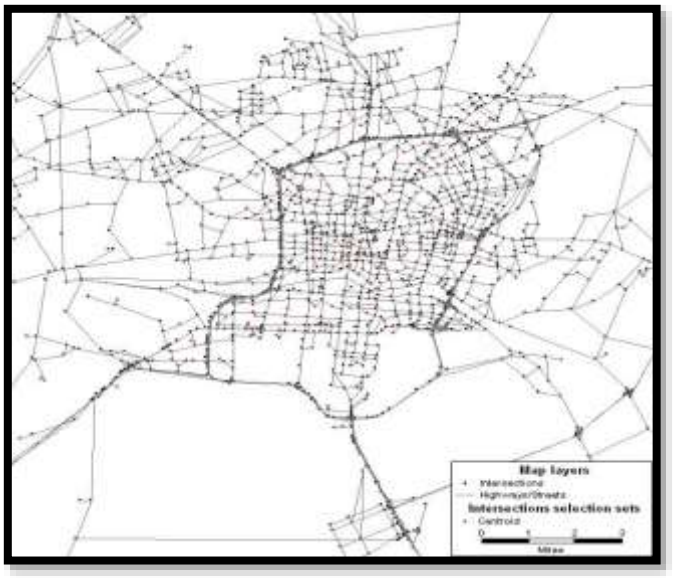
شهر اصفهان با مساحت ۳۰۰ کیلومتر مربع به عنوان مرکز استان اصفهان و سومین شهر پرجمعیت ایران بعد از تهران و مشهد، یکی از قطب‌های مهم فرهنگی، تجاری و صنعتی ایران است. جمعیت این شهر در سرشماری سال ۱۳۹۰ حدود یک میلیون و ۷۵۰ هزار نفر بوده است. این شهر به جهت داشتن موقعیت جغرافیایی ویژه دارای اهمیت استراتژیک در ابعاد اقتصادی و سیاسی است. این مسئله موجب می‌شود این شهر در کانون تجاری و ارتباطی کشور قرار گیرد که بدین واسطه وجود یک شبکه‌ی معابر کارآمد و مطلوب ضروری خواهد بود. از سوی دیگر، به دلیل عبور رودخانه از داخل شهر اصفهان پل‌های شبکه‌ی معابر شهری نقش بسیار مهمی در ایجاد پیوستگی بین بخش شمالی و جنوبی شهر ایفا می‌کنند. هم‌چنین توسعه شبکه معابر این شهر و احداث بزرگراه‌های رینگ سوم میزان تاثیرگذاری پل‌ها در این شبکه را افزایش داده‌است. شبکه حمل‌ونقل شهر اصفهان به ۱۸٦ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است که در شکل (۲) مشاهده می‌شود. هم‌چنین نقشه جانمایی ۷۸ پل‌های این شهر در شکل (۳) آمده‌است.



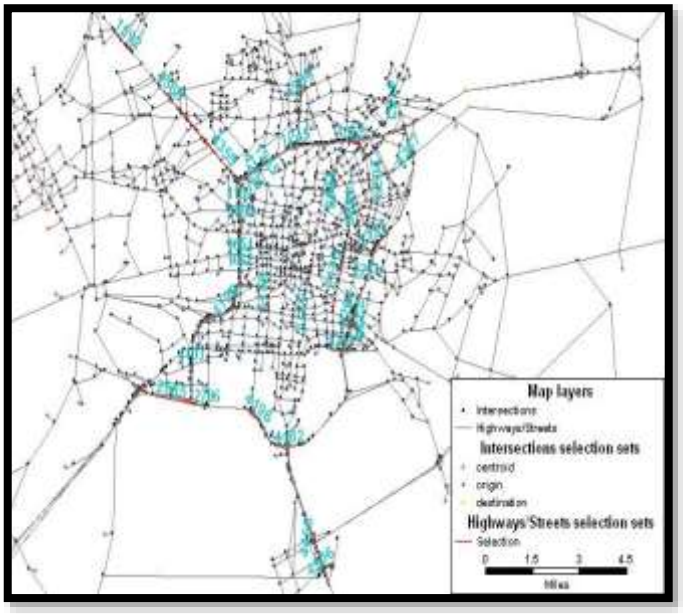
شکل ۱. الگوریتم حل مسئله

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. شبکه معابر شهر اصفهان



شکل ۳. مکان فیزیکی پل‌ها در شبکه معابر اصفهان

۵. معرفی توابع زمان سفر- حجم مورد استفاده

در این مطالعه زمان سفر تابعی از حجم لینک است و از مجموع تابع هزینه حجم BPR و زمان تأخیر در گره‌ها استفاده شده است. در حقیقت زمان سفر در هر مسیر بین یک مبدأ و یک مقصد، از حاصل جمع زمان‌های سفر در کمان‌های مسیر برای پیمودن طول آن‌ها و زمان‌های تأخیر در گره‌های آن برای عبور از تقاطع‌ها بدست می‌آید. شکل عمومی تابع زمان سفر – حجمی که در این مطالعه برای برآورد زمان سفر وسیله نقلیه همسنگ سواری در کمان‌های شبکه مورد استفاده قرار گرفته است، به صورت زیر است:

$$t(V) = t_0\left[1 + 0.15(\frac{V}{Q})^4\right] \quad (۴)$$

که در آن،

www.SID.ir

Archive of SID

t(V) = متوسط زمان سفر برای طی یک کیلومتر از طول راه (بر حسب دقیقه)،

t0 = متوسط زمان سفر آزاد برای طی یک کیلومتر از طول راه (بر حسب دقیقه).

V = حجم جریان ترافیک (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عرض عبور).

Q = ظرفیت عملی (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عرض عبور).

همچنین برای برآورد زمان تأخیر برای عبور از یک تقاطع با چراغ راهنمایی تابع زیر پیشنهاد شده است:

$$d_1(V) = \frac{(c-g)^2}{2c(1-V/s)} + 32\left(\frac{V}{(g/s)}\right)^2 + 5 \qquad (۵)$$

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 نظر ورودی به تقاطع (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عرض عبور).

s = نرخ تخلیه در حالت اشباع (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عرض عبور).

g = مدت زمان سبز در جهت خیابان مورد نظر (ثانیه).

c = مدت زمان دوره تناوب در تقاطع (ثانیه).

برای تقاطع‌های بدون چراغ راهنمایی، براساس مطالعات انجام شده از تابع زیر برای برآورد زمان تأخیر برای عبور از یک تقاطع پیشنهاد شده است.

$$d_2(V) = d_0\left[2.5 + 2\left(\frac{V}{Q}\right)^2\right] \qquad (٦)$$

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 نظر ورودی به تقاطع (بر حسب وسیله نقلیه همسنگ سواری در ساعت برای یک متر عرض عبور)

d0 = ضریب ثابت زمان تأخیر در تقاطع بدون چراغ برای خیابان ورودی به تقاطع (بر حسب ثانیه).

لازم به ذکر است که این توابع از مطالعات جامع حمل‌ونقل اصفهان استخراج شده‌است.

در این مطالعه از نرم افزار ترنسکد جهت اجرای تخصیص و حذف و اضافه کردن لینک‌های تشکیل دهنده پل‌ها استفاده شده است. همچنین در این مطالعه فرض بر این است که مسافران طبق الگوی تعادل استفاده کننده رفتار می‌کنند و مسیرهایی راانتخاب می‌کنند که کمترین زمان سفر را داشته باشند.

٦. تحلیل نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از آنالیز آسیب پذیری پل‌های شبکه معابر ارائه می‌شود. پس از تخصیص اولیه ماتریس تقاضای سفر به شبکه حمل و نقل، حجم ترافیک روی پل‌ها مشخص شده است و سپس پل‌ها براساس حجم ترافیک حاصل از تقاضای سفر کاری در یک روز عادی در نقطه اوج صبح رتبه‌بندی شده‌اند، شکل (٤).

در مرحله بعد در یک روند تکراری (طبق فلوچارت بخش سوم) هر پل حذف می‌شود، تقاضای سفر موجود به شبکه معابر تخصیص داده می‌شود و زمان سفر کل شبکه در حالت حذف پل محاسبه می‌شود. سپس پل‌ها براساس تفاوت زمان سفر کل شبکه در حالت عادی و در زمان حذف پل، اولویت‌بندی می‌شوند. نتایج حاصل از اولویت‌بندی پل‌ها براساس شاخص زمان سفر کل شبکه در نمودار شکل (۵) آمده است. همچنین مقایسه نتایج حاصل از اولویت‌بندی پل‌ها بر اساس حجم و زمان سفر کل شبکه با یکدیگر در جدول (۲) به طور خلاصه آمده است و در نمودار شکل (٦) هم ارتباط میان حجم ترافیک و اولویت پل‌ها بر اساس زمان سفر مشاهده می‌شود. جانمایی پل‌های با

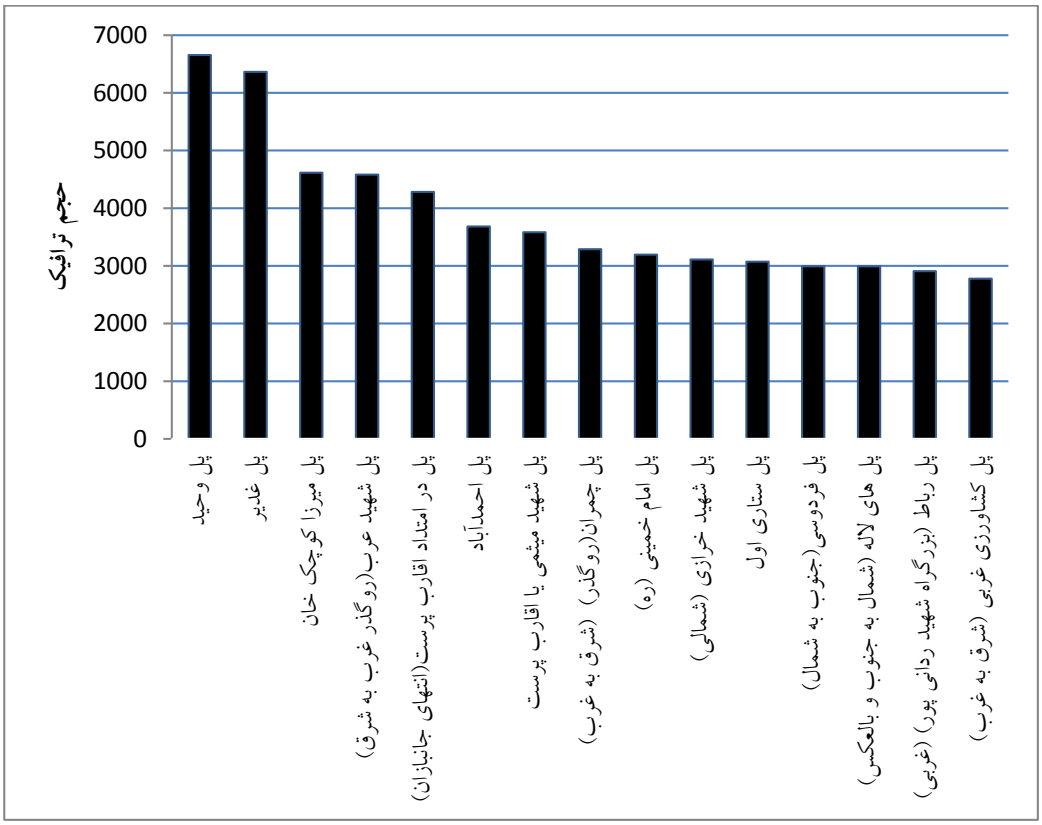
www.SID.ir

Archive of SID

اولویت نیز در شکل (۷) مشاهده می‌شود. اولویت بندی تمام پل‌ها نیز در جدول پیوست آمده است.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

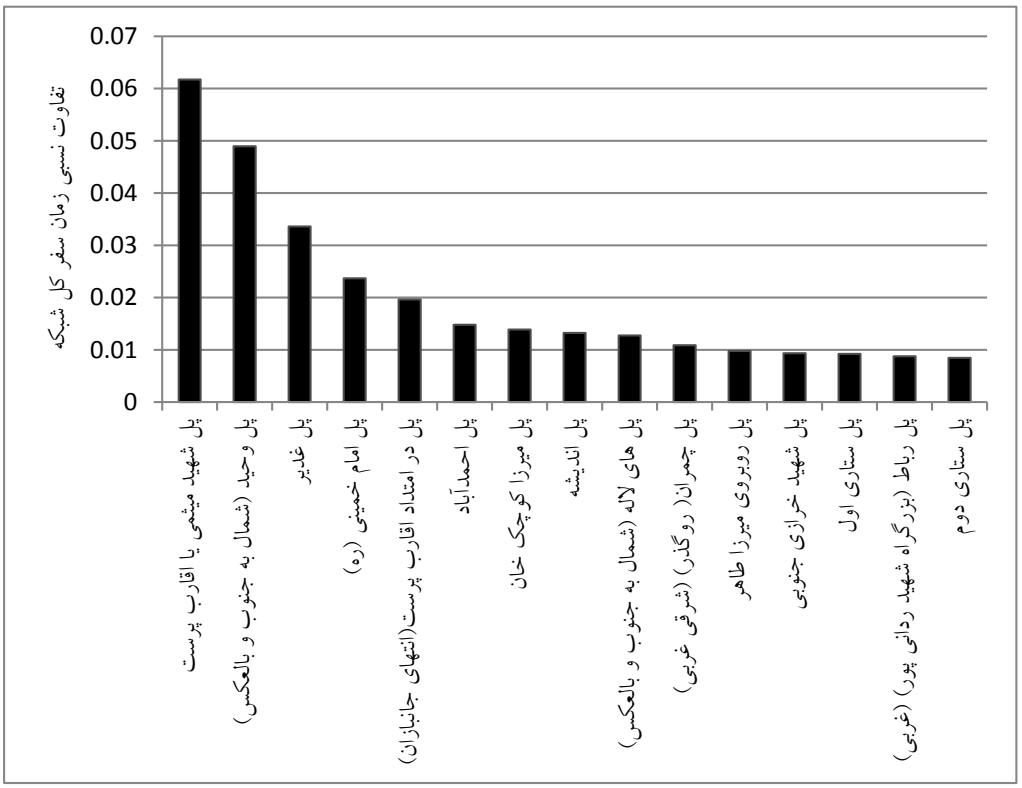
اولویت بندی پلها در شبکه حمل و نقل برای تعیین اولویت بهسازی، بودجه تعمیر و نگهداری و سرمایه گذاری جهت تجهیزات هوشمند پایش سلامت و خرابی پل اهمیت دارد که در این مطالعه، اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی شبکه معابر شهر بررسی گردید. به این منظور زمان سفر کل شبکه به عنوان معیاری برای تعیین کارایی و بهره‌وری شبکه حمل ونقل استفاده شد. براساس منابع مرور شده مهم‌ترین شاخصی که اولویت بندی پلها باید براساس آن صورت گیرد، شاخص تفاوت زمان سفر شبکه در حالت وجود و حذف پل است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که که نتایج آن با اولویت بندی پلها براساس حجم ترافیک حاصل از تخصیص به روش تعادل استفاده کننده متفاوت است. طبق نتایج به دست آمده مشاهده شد که در شرایط عادی، پل‌های وحید، غدیر، میرزاکوچک خان، شهید عرب و در امتداد اقارب پرست به عنوان پرحجم‌ترین پل‌ها از لحاظ حجم ترافیک و پل‌های شهید میثمی، وحید، غدیر، امام خمینی و در امتداد اقارب پرست مهم‌ترین پلها از لحاظ تغییر زمان سفر کل شبکه هستند. حجم ترافیک روی پل نمی‌تواند به صورت دقیق نشان دهنده اهمیت پل از لحاظ شاخص زمان سفر در شبکه باشد زیرا مسیرهای جایگزین پل پس از تخریب هستند که بر شاخص تفاوت زمان سفر تاثیر می‌گذارند. به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت، تنها معابری که روزانه حجم زیادی از آن‌ها عبور می‌کنند حیاتی نیستند و عامل دیگری که حیاتی بودن یک عضو از شبکه را مشخص می‌کنند، زمان سفر در مسیرهای جایگزین هر کمان پس از تخریب آن است.



شکل ٤. اولویت بندی پل‌ها بر اساس حجم ترافیک

www.SID.ir

Archive of SID



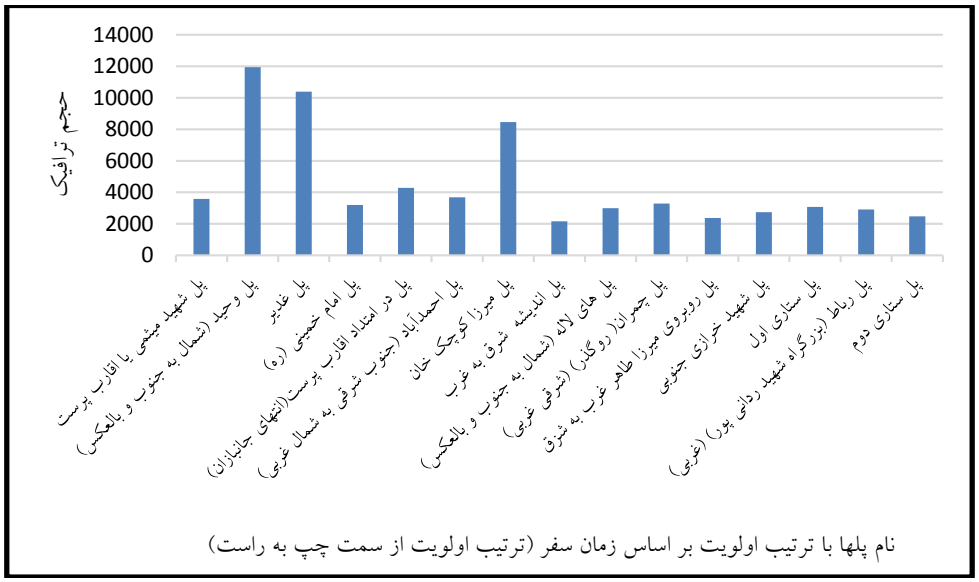
شکل ۵. اولویت‌بندی پل ها بر اساس تفاوت نسبی زمان سفر کل شبکه

جدول ۲. مقایسه اولویت‌بندی پل‌ها براساس حجم ترافیک و تغییر زمان سفر کل شبکه

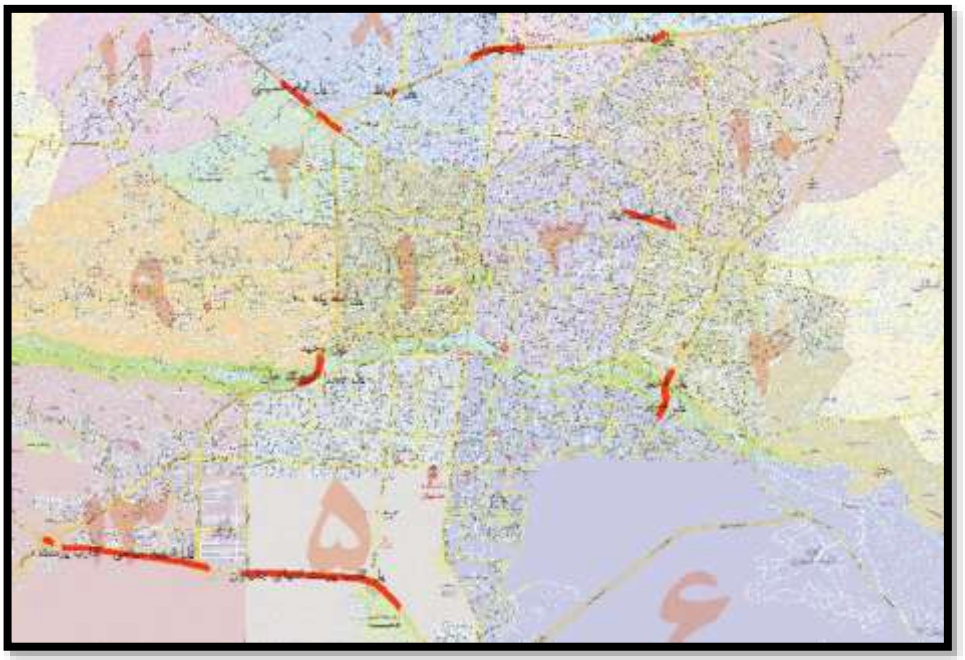
اولویت‌بندی براساس تغییر زمان سفر کل شبکه	اولویت‌بندی براساس حجم ترافیک
پل شهید میثمی یا اقارب پرست	پل وحید
پل وحید (شمال به جنوب و بالعکس)	پل غدیر
پل غدیر	پل میرزا کوچک خان
پل امام خمینی (ره)	پل شهید عرب(روگذر غرب به شرق)
پل در امتداد اقارب پرست(انتهای جانبازان)	پل در امتداد اقارب پرست(انتهای جانبازان)
پل احمدآباد	پل احمدآباد
پل میرزا کوچک خان	پل شهید میثمی یا اقارب پرست
پل اندیشه	پل چمران(روگذر) (شرق به غرب)
پل های لاله (شمال به جنوب و بالعکس)	پل امام خمینی (ره)
پل چمران(روگذر) (شرقی غربی)	پل شهید خرازی (شمالی)
پل روبروی میرزا طاهر	پل ستاری اول
پل شهید خرازی جنوبی	پل فردوسی(جنوب به شمال)
پل ستاری اول	پل های لاله (شمال به جنوب و بالعکس)
پل رباط (بزرگراه شهید ردانی پور) (غربی)	پل رباط (بزرگراه شهید ردانی پور) (غربی)
پل ستاری دوم	پل کشاورزی غربی (شرق به غرب)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦. رابطه بین حجم ترافیک پل‌ها با اولویت بر اساس زمان سفر



شکل ۷. جانمایی پل‌ها با اولویت بالا در شبکه حمل‌ونقل شهر اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

۸. سپاسگزاری

با سپاس فراوان از شهرداری اصفهان که با حمایت مالی خود در قالب طرح پژوهشی" قرارداد شماره ۱۰٤٦۷٤ مورخ ۱۳۹۱/۹/۲۲" از این تحقیق حمایت نمود.

۹. پی نوشت‌ها

1. TTT, Total Travel Time
2. TTD, Total Travel Distance
3. NVI: Network Vulnerability Index
4. Serviceabilit

۱۰. مراجع

-Balijepalli, C. and Oppong, O. (2014) "Measuring vulnerability of road network considering the extent of serviceability of critical road links in urban areas", Journal of Transport Geography, Vol. 39, pp. 145-155.

-Bell, M. G. (2000) "A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 34, No. 6, pp. 533-545.

-Berdica, K. (2002) "An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done", Transport Policy Vol. 9, pp. 117–127.

-Chen, B. Y., Lam, W. H., Sumalee, A., Li, Q. and Li, Z. C. (2012) "Vulnerability analysis for large-scale and congested road networks with demand uncertainty" Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 46 No. 3 pp.501-516.

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

-Jenelius, E. P (2006) "Importance and exposure in road network vulnerability analysis", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 40, No. 7 pp. 536-570.

-Luathep, P., Sumalee, A., Ho, H. W. and Kurauchi, F. (2011) "Large-scale road network vulnerability analysis: a sensitivity analysis based approach", Transportation, Vol. 38 No. 5 pp.799-817.

-Nagurney, A. and Qiang, Q. (2007) "A network efficiency measure for congested networks. EPL (Europhysics Letters), Vol. 79 No. 3 pp. 38005.

-Oliveira, E. L. d., Portugal, L. D. S. and Junior, W. P. (2016) "Indicators of reliability and vulnerability: Similarities and differences in ranking links of a complex road system", Transportation Research Part A, Vol. 88, pp. 195–208.

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

-Scott, D. M., Novak, D. C., Aultman-Hall, L. and Guo, F. (2006) "Network robustness index: a new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks", Journal of Transport Geography, Vol. 14, No. 3, pp. 215–227.

-Smith, B. L., Qin, L. and Venkatanarayana, R. (2003) "Characterization of freeway capacity reduction resulting from traffic accidents", Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 4, pp. 362-368.

-Transportation Research Board (2008) "NCHRP, Report 618: cost effective performance measures for travel time delay variation and reliability", ISBN: 978-0-309-11741-8.

Ukkusuri, S. V. and Yushimito, W. F. (2009) "A methodology to assess the criticality of highway transportation networks", Journal of Transportation Security, Vol. 2, Nos. 1-2, pp. 29-46.

Yin, Hong-ying and Li-qun Xu (2010) "Measuring the structural vulnerability of road network: A network efficiency perspective" Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), Vol. 15, No. 6, pp. 736-742.

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست‌ها

جدول . اولویت‌بندی پل‌ها براساس شاخص زمان سفر کل شبکه

ردیف	نام	زمان سفر کل شبکه در حالت حذف لینک	زمان سفر کل شبکه در شرایط عادی	درصد تفاوت زمان سفر کل شبکه
1	پل وحید (شمال به جنوب و بالعکس)	315595.7	300865.25	0.049
2	پل غدیر	310981.18	300865.25	0.034
3	پل شهید محسنیان(زرین کوب منطقه ۱۰)	309753.42	300865.25	0.03
4	پل دکتر حسابی	309248.04	300865.25	0.028
5	دوربرگردان خیابان خلیل آباد	308632.17	300865.25	0.026
6	پل امام خمینی (ره)	307986.42	300865.25	0.024
7	پل تمدن	307815.75	300865.25	0.023
8	پل میرزا کوچک خان	305038.73	300865.25	0.014
9	پل اندیشه	304844.27	300865.25	0.013
10	پل های لاله (شمال به جنوب و بالعکس)	304704.42	300865.25	0.013
11	پل چمران(همسطح) (شرق به غرب)	304136.75	300865.25	0.011
12	پل روبروی میرزا طاهر	303806.69	300865.25	0.01
13	پل شهید خرازی جنوبی	303674.67	300865.25	0.009
14	پل ستاری اول	303639.35	300865.25	0.009
15	پل رباط (بزرگراه شهید ردانی پور) (غربی)	303502.27	300865.25	0.009
16	پل ستاری دوم	303405.58	300865.25	0.008
17	پل آذر	303165.89	300865.25	0.008
18	پل زنده یاد منصور معافی جی	303077.87	300865.25	0.007
19	پل شهید خرازی (شمالی)	302919.16	300865.25	0.007
20	پل شهیدخرازی جنوبی(از خیابان امام به ردانی پور)	302882.94	300865.25	0.007
21	پل چمران(همسطح) (غرب به شرق)	302641.2	300865.25	0.006
22	پل بزرگمهر	302541.73	300865.25	0.006
23	پل فردوسی	302513.76	300865.25	0.005
24	پل رباط (بزرگراه شهید ردانی پور) (شرقی)	302479.47	300865.25	0.005
25	پل میدان لاله (ورودی و خروجی خیابان پروین) (خروجی)	302296.46	300865.25	0.005
26	پل اشرفی اصفهانی کهندژ	302236.34	300865.25	0.005
27	پل شهید میثمی یا اقارب پرست	302236.34	300865.25	0.005
28	پل صارمیه	302149.8	300865.25	0.004
29	پل نیرو	302128.84	300865.25	0.004

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی شبکه معابر شهری مطالعه موردی : شبکه معابر شهر اصفهان

ردیف	نام	زمان سفر کل شبکه در حالت حذف لینک	زمان سفر کل شبکه در شرایط عادی	درصد تفاوت زمان سفر کل شبکه
30	آزادگان(سرهنگ)	302098.38	300865.25	0.004
31	پل شهید مطهری	302072.29	300865.25	0.004
32	پل رکن الدوله (روبروی خیابان رکن الدوله)	301971.34	300865.25	0.004
33	پل میدان قدس (طوقچی)	301928.99	300865.25	0.004
34	پل دفاع مقدس (غرب به شرق)	301687.55	300865.25	0.003
35	پل فلزی	301640.63	300865.25	0.003
36	پل هشت بهشت	301626.67	300865.25	0.003
37	پل شهدای غزه	301621.35	300865.25	0.003
38	پل شهید عرب(زیرگذر شمال جنوب)	301538.68	300865.25	0.002
39	پل میدان لاله (ورودی و خروجی خیابان پروین) (ورودی)	301516.55	300865.25	0.002
40	پل عسگریه(زیرگذر)	301458.84	300865.25	0.002
41	پل دفاع مقدس (جنوب به غرب)	301416.12	300865.25	0.002
42	پل در امتداد بزرگراه شهید لاوی(ر روی بزرگراه شهید همت)	301387.32	300865.25	0.002
43	پل دوم سپاهان شهر	301344.47	300865.25	0.002
44	پل شهیدان امینی	301295.9	300865.25	0.001
45	پل صمدیه(خرم خیام)	301242.01	300865.25	0.001
46	پل میدان لاله بر روی بزرگراه شرق به غرب(از شمال به صورت دوربرگردان و به طرف خیابان پروین)	301210.02	300865.25	0.001
47	عاشق اصفهانی (غربی)	301207.23	300865.25	0.001
48	مجموعه پل های دوربرگردان صمدیه غربی (شمالی)	301159.11	300865.25	0.001
49	پل اول سپاهان شهر	301130.66	300865.25	0.001
50	پل دفاع مقدس (شرق به غرب)	301129.7	300865.25	0.001
51	پل پنجم سپاهان شهر(پل پنجم اتوبان دستجردی)	301123.02	300865.25	0.001
52	پل گلستان(از خیابان گلستان به سمت کاوه)	301114	300865.25	0.001
53	پل گلستان(شاهمرادی) جنوب به شمال	301083.63	300865.25	0.001
54	شهید سیدمحمود موسوی زاده(سپهسالار)	301069.09	300865.25	0.001
55	تونل شهید آقاخانی	301048.15	300865.25	0.001

www.SID.ir

Archive of SID

ردیف	نام	زمان سفر کل شبکه در حالت حذف لینک	زمان سفر کل شبکه در شرایط عادی	درصد تفاوت زمان سفر کل شبکه
56	پل سوم سپاهان شهر	301039.11	300865.25	0.001
57	عاشق اصفهانی (شرقی)	301016.27	300865.25	0.001
58	دوربرگردان خیابان شهیدان (محل: منطقه ۲ روی بزرگراه خرم خیام)	301004.8	300865.25	NA
59	دور برگردان خواجه عمید	301000.8	300865.25	NA
60	پل در امتداد اقارب پرست(انتهای جانبازان)	300974.44	300865.25	NA
61	پل احمدآباد	300971.89	300865.25	NA
62	پل چمران(روگذر) (غربی شرقی)	300965.94	300865.25	NA
63	پل میدان لاله (بر روی بزرگراه غرب به شرق و بالعکس)	300941.83	300865.25	NA
64	دوربرگردان خیابان بعثت (ضلع غربی میدان لاله روی اتوبان چمران)	300937.32	300865.25	NA
65	پل گلستان(شاهمرادی) جنوب به غرب	300921.48	300865.25	NA
66	دوربرگردان اشرفی اصفهانی-کهندژ	300913.25	300865.25	NA
67	پل لاله (ضلع شمالی شرقی)	300909.29	300865.25	NA
68	دور برگردان های پل عسگریه(زیرگذر) (شرقی)	300900.49	300865.25	NA
69	مجموع پل های سهروردی(پل شرقی،پل غربی،پل جنوبی) (غربی)	300897.62	300865.25	NA
70	مجموع پل های سهروردی(پل شرقی،پل غربی،پل جنوبی) (شرقی)	300896.96	300865.25	NA
71	پل کشاورزی	300895.87	300865.25	NA
72	مجموعه پل های دوربرگردان صمدیه غربی جنوبی)	300892.67	300865.25	NA
73	پل چمران(روگذر) (شرقی غربی)	300889.4	300865.25	NA
74	پل شهید باهنر(روی بزرگراه ردانی)	300888.08	300865.25	NA
75	مجموع پل های سهروردی(پل شرقی،پل غربی،پل جنوبی) (جنوبی)	300877.8	300865.25	NA
76	دور برگردان جنوبی پل زنده یاد منصور معافی	300877.38	300865.25	NA
77	پل چهارم سپاهان شهر	300875.53	300865.25	NA
78	پل شهید عرب(روگذر شرق به غرب)	300873.42	300865.25	NA

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت بندی پل‌ها در عملکرد ترافیکی شبکه معابر شهری مطالعه موردی : شبکه معابر شهر اصفهان

محمد علی رهگذر، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳٦٦ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۳ از دانشگاه کارلتون (اتاوا-کانادا) اخذ نمود. در سال ۱۳۷۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران از دانشگاه کارلتون (اتاوا-کانادا) گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی عمران بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه اصفهان است.

صالحه بیرژندی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه‌ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ارزیابی سیاست‌های عرضه و تقاضا است.

حسین حق شناس، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۵ از همان دانشگاه اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل ونقل، تقاضا در حمل و نقل و ایمنی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.

www.SID.ir