فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

بررسی اثر ملاحظات پایداری شبکه در اولویت‌بندی پروژه‌های حمل و نقل شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

زهرا نصیریان[۱]، میثم اکبرزاده[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار، دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پایداری شبکه معابر بمعنی توانایی آن برای حفظ وضعیت کارکردی مطلوب در صورت انسداد یا از بین رفتن کمان‌های متعدد است. علت بروز آسیب در شبکه ممکن است وقوع بحران برونزا و یا صرفا ازدحام ترافیکی منجر به افزایش زمان سفر باشد. در حال حاضر انتخاب پروژه‌های توسعه شبکه معابر شهری بر اساس شاخص‌هایی مانند اثر هر پروژه بر زمان سفر کلی شبکه، سرعت متوسط، میزان تولید آلاینده‌ها و مصرف سوخت انجام می‌شود. مقاله حاضر با معرفی شاخص همبندی، روشی برای لحاظ نمودن اثر انجام هر پروژه بر میزان پایداری شبکه توسعه می‌دهد. در قسمت دوم مقاله، پنج پروژه در دست مطالعه شهر اصفهان به ترتیب شامل پروژه یک احداث پل، زیرگذر و گردش به راست در میدان استقلال، پروژه دو تغییر وضعیت میدان ۲۵ آبان با ساخت یک پل و چهار مسیر گردش به راست، پروژه سه امتداد خیابان فرشادی، پروژه چهار احداث خیابان آذرمهر در امتداد خیابان صاحب روضات و پروژه پنج امتداد بزرگراه ردانی‌پور مورد ارزیابی قرار گرفت. این پروژه‌ها یک بار صرفا با درنظر گرفتن شاخص‌های ترافیکی و یک بار با در نظر گرفتن شاخص‌های ترافیکی و پایداری رتبه‌بندی شدند. برای رتبه‌بندی از روش TOPSIS استفاده شد. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن شاخص پایداری باعث تغییر معنی‌دار اولویت‌بندی پروژه‌های در دست بررسی شده است. اولویت‌بندی پروژه‌ها از حالت چهار، سه، دو، یک و پنج به حالت سه، چهار، دو، یک و پنج تغییر یافت.

واژگان کلیدی: همبندی، آسیب‌پذیری، پایداری شبکه حمل و نقلی، اطمینان‌پذیری

۱- مقدمه

نیاز به احداث یک زیر ساخت جدید و اجرای پروژه‌های حمل و نقلی به دلیل مشکلاتی است که در شبکه معابر کنونی موجود است. مشکلاتی از قبیل آلودگی هوا، آلودگی صوتی، وجود نقاط حادثه خیز، نبود ایمنی کافی، حجم ترافیک بالا، تأخیر، نبود دسترسی و ... منجر به تصمیم گیری برای اجرای یک پروژه حمل و نقلی جدید می‌شود. غالبا برای کاهش مشکلات مجموعه‌ای از اقدامات و پروژه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ اما به دلیل محدودیت بودجه و مشکلاتی مانند تملک اراضی تعداد محدودی از مجموعه پروژه‌ها برای اجرا انتخاب می‌شوند.

انتخاب پروژه‌های حمل و نقلی از حساسیت زیادی برخوردار است و به همین دلیل بسیار مهم است که ارزیابی و انتخاب پروژه‌ها و برنامه‌های حمل و نقلی بر اساس معیارهای درستی انجام شود. علت نخست این حساسیت فوق‌العاده تأثیر گسترده این پروژه‌ها بر زندگی شهروندان است. در بسیاری از موارد احداث زیرساخت‌های حمل و نقلی منجر به جابجایی افراد از محل سکونت خود و باعث عوارض اجتماعی است. علت دوم این حساسیت آن است که کلیه فعالیت‌های حیاتی شهری از طریق شبکه معابر انجام می‌شود و هرگونه اختلال در این شبکه تأثیر مستقیم و گاهی حیاتی بر سایر عرصه‌ها می‌گذارد.

شبکه معابر شهری از مجموعه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها تشکیل شده است. گره‌ها می‌توانند چهارراه‌ها، ترمینال‌ها و یا ایستگاه‌ها باشند و کمان‌ها نمایانگر خیابان‌ها هستند. هدف از تشکیل و طراحی شبکه معابر جابه جایی انسان‌ها و کالاها با کیفیت مناسب است. شبکه معابر آسیب پذیر است و ممکن است بر اثر عوامل گوناگونی دچار اختلال شود. اگر تعداد کمی از کمان‌ها و

گره‌ها بر اثر عوامل درونی (حجم ترافیک بالا) یا عوامل بیرونی (خرابی سازه) آسیب ببیند و با مختل شدن آنها، تردد در شهر بصورت معنی‌داری دشوارتر شود و یا ارتباط بعضی از اجزاء شبکه به کلی مسدود شود، اطمینان‌پذیری کلی شبکه پایین است. این تعریف از اطمینان‌پذیری کلی که نه ناظر به زمان سفر بلکه ناظر به امکان‌پذیری سفر می‌باشد با استفاده از مفاهیم گراف مانند هم بندی شبکه قابل بیان و محاسبه است.

معیار هم‌بندی، معیار جدیدی است که با توجه به آن می‌توان زیر ساختی را انتخاب کرد که باعث تقویت اطمینان‌پذیری کلی شبکه معابر شهری شود. در این صورت چنانچه کمانی در شبکه مختل شود و تردد را دچار مشکل کند به علت افزایش پایداری، می‌توان انتظار داشت که شبکه‌ی حمل و نقلی به کار خود ادامه دهد و شهر همچنان یکپارچه عمل کند.

در این پژوهش ابتدا فهرستی از معیارهای موجود ارایه گردیده است. برای تحقیق در رابطه با شاخص هم‌بندی، مطالعاتی درباره آسیب‌پذیری شبکه انجام شد. سپس میزان تاثیر معیار هم‌بندی در یک مطالعه موردی در شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور مجموعه‌ای از پروژه‌های قابل اجرا یک بار بر اساس معیارهای موجود و بار دیگر با افزودن معیارهای حاصل از این پژوهش ارزیابی و رتبه‌بندی خواهند شد. پنج سناریوی احداث زیرساخت در شهر اصفهان یک‌بار در نرم‌افزار TransCAD بر اساس معیارهای موجود مانند زمان سفر، متوسط سرعت سفر، نسبت حجم به ظرفیت و هزینه عملیات بررسی و اولویت‌بندی شد. سپس در نرم‌افزار Gephi بر اساس شاخص‌های بدست آمده در رابطه با معیار هم‌بندی شامل شاخص بتا، پی، عدد چرخه و درجه هم‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که اولویت‌بندی بر اساس معیار جدید و بر اساس مجموعه هر دو معیار فعلی و جدید متفاوت خواهد بود.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

در این پژوهش، ابتدا مطالعه جامعی در خصوص معیارهای بررسی عملکرد شبکه معابر شهری انجام شد. این معیارها شامل محافظت از زیرساخت‌ها و امکانات موجود، حفاظت از منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، ارتقاء ایمنی، بهره‌وری، میزان دسترسی، جابجایی‌پذیری (تحرک) در شبکه، افزایش رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی در محدوده مرتبط می‌باشد[۱].

۲-۱-زمان سفر

زمان سفر یکی از مهم‌ترین معیارها در ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل است و برابر حاصل‌جمع زمان سفر در شرایط ترافیک هموار و تاخیر ناشی از حجم بالای ترافیک می‌باشد. تأخیر بصورت مستقیم باعث اتلاف زمان و آثار نامطلوب روانی برای استفاده‌کنندگان و بصورت غیرمستقیم باعث استهلاک خودروها و تولید آلاینده‌ها می‌گردد. هزینه زمان سفر از حاصل ضرب زمان سفر در ارزش پولی واحد زمان محاسبه می‌شود. ارزش پولی واحد زمان معادل هزینه فرصت آن است و در نتیجه ارزش زمان سفر در ساعات کاری بیشتر از ساعات غیرکاری است. زمان سفر شامل زمان داخل وسیله[1] و زمان خارج وسیله[2] می‌باشد[۱].

۲-۲- کیفیت هوا

سیستم‌های حمل و نقلی از طریق گازهایی مانند کربن مونوکسید و کربن دی‌اکسید، هیدروکربن، ذرات معلق باقطر کمتر از ۲،۵ میکرون ($pm_{2.5}$) و با قطر بیشتر از ۲،۵ و کمتر از ۱۰ میکرون (pm_{10})، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، ترکیبات آلی فرار[3]، سرب، ترکیبات سمی که به وسیله هوا انتقال می‌یابد، اوزون، اکسیدهای سولفور (SO_x)، کلروفلوروکربن‌ها(CFC)و گرد و غبار هوا را آلوده می‌کنند.

عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی از وسایل حمل و نقل به شش دسته کلی طبقه بندی می‌شودکه عبارتند از: عوامل مرتبط با سفر، عوامل مرتبط با زیرساخت، عوامل مرتبط با راننده، عوامل مرتبط با وسیله، نوع سوخت و عوامل محیطی.

عوامل مرتبط با سفر با توجه به نوع سرعت بررسی می‌شود. انتشار هیدروکربن و کربن مونوکسید بیشترین مقدار را در سرعت کم دارد. تغییرات سرعت هم بر میزان تولید آلاینده‌ها مؤثر است. عوامل مرتبط با زیرساخت شامل ویژگی‌های طراحی راه مانند شیب، باندهای افزایش و کاهش سرعت و همچنین علایم راهنمایی می‌باشد. رفتار هر راننده می‌تواند بر نرخ انتشار آلودگی مؤثر باشد. برای مثال راننده پرخاشگر شتابگیری و ترمزگیری بیشتری نسبت به بقیه رانندگان خواهد داشت بنابرین سطح بالاتری از آلودگی توسط وسیله نقلیه تولید می‌شود. عوامل مرتبط با وسیله مانند سن، مقدار مسافتی که در طول یک ساعت

1 In-Vehicle Travel Time
2 Out-of-Vehicle Travel Time
3 Volatile Organic Components(VOC)

یا روز طی می‌کند، شرایط نگهداری، سیستم سوخت‌رسانی و نوع سوخت (سرب، سولفور، ترکیبات فرار)، سیستم کنترل انتشار آلودگی و عوامل محیطی مانند دمای منطقه، ارتفاع و رطوبت همه بر تولید آلاینده‌ها از طریق سیستم‌های حمل و نقلی تأثیر دارد[۱].

۲-۳- آلودگی صوتی

تردد خودروها در سطح شبکه معابر شهری سبب تولید آلودگی صوتی می‌گردد. سر و صدای تولید شده باعث اختلال در آرامش ساکنان و کسبه منطقه، عابران پیاده و سرنشینان خودروها می‌شود. این موضوع برای مکان‌های خاصی مانند بیمارستان‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابرین بسیار مهم است با توجه به این معیار در انتخاب پروژهای حمل و نقلی به کاربری‌های اطراف با توجه به طرح‌های جامع شهری توجه شود[۱].

۲-۴- ایمنی

تصادفات از نظر شدت آسیب به سه دسته فوتی، جرحی و خسارتی تقسیم می‌شوند. عوامل مؤثر بر تصادفات حمل و نقلی شامل عوامل محیطی(میدان دید ضعیف، بادهای شدید، برف و باران، یخ زدن آب روی سطح مسیر)، عوامل مهندسی(هندسه نامطلوب مسیر، توپوگرافی نامطلوب مانند شیب تند یا محیط کوهستان، روسازی ضعیف مسیر، نبود گاردریل)، عوامل مربوط به سیاستگزاری راه(حداکثر سرعت مجاز، ابعاد مجاز ماشین‌های بزرگ، باند حرکت‌های مدیریت شده)، مشخصات راننده(آشنایی با مسائل ایمنی در رانندگی، سن، هوشیاری، ناتوانی، خستگی)، مشخصات وسیله (عمر وسیله، ویژگی‌های ایمنی وسیله، ابعاد وسیله) و عوامل اجرایی که باعث افزایش ایمنی می‌شود(گشت‌زنی مکرر پلیس، آموزش به رانندگان، اعمال جریمه) می‌باشد.

ارزیابی ایمنی راه‌ها بر اساس تعداد و شدت تصادفات انجام می‌شود. شاخص‌های مورد توجه در این زمینه شامل تعداد تصادفات خودروها در هر صد میلیون مسافت خودروی پیموده شده، نرخ فوت یا جراحت در هر صد میلیون مسافت خودروی پیموده شده، تعداد تصادفات جرحی در هر هزار ساکن در منطقه به تفکیک عابر و سرنشین می‌باشد[۱].

سپس معیارهای ارزیابی پروژه‌ها به صورت اجرایی مورد بحث قرار گرفت. گهرپور و حسینی طالقانی (۱۳۹۰) برای برآورد سود و هزینه یک پروژه حمل و نقلی، منافع شامل کاهش زمان سفر کاربران سیستم ترابری، کاهش زمان سفر دیگر خودروها برگرفته از کاهش شلوغی ترافیک در حوزه اثر سیستم ترابری، افزایش بهای املاك در حوزه اثر سیستم، افزایش رفاه کاربران سیستم و دیگر هزینه‌ها شامل هزینه‌های آلودگی‌های صوتی و هوایی، تصادف‌های شدیدتر در سرعتهای بالاتر مورد تحلیل قرار دادند[۲]. احمدی (۱۳۹۲) معیارهای تصمیم گیری در مسائل حمل و نقلی را به هفت دسته کلی شامل امکان پذیری اقتصادی، امکان پذیری مالی، امکان پذیری فنی، مسائل زیست محیطی، مقبولیت فرهنگ-اجتماعی، دستیابی به اهداف استراتژیک، سطح سرویسی دهی تقسیم نموده است[۳]. به طور خلاصه می‌توان معیارهای اولویت‌بندی پروژه‌های حمل و نقلی را زمان سفر، آلودگی، تأخیر، سرعت متوسط سفر، ایمنی و راحتی بیان کرد.

۳- پیش مطالعات معیار هم‌بندی

برای معرفی شاخص همبندی نیاز است مطالعاتی درباره آسیب‌پذیری، پایداری و اطمینان‌پذیری شبکه معابر شهری صورت گیرد.

۳-۱- آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری[1] عبارت است از تأثیرپذیری کارکرد شبکه معابر از حوادث. آسیب‌پذیری با چهار مفهوم ستبری، بازگشت‌پذیری، افزونگی و اطمینان‌پذیری مرتبط است. ستبری[2] به معنی ادامه کار شبکه در صورت بروز اختلال در بخشی از آن است. در واقع ستبری نقیض آسیب‌پذیری است. بازگشت‌پذیری[3] بمعنی توانایی سیستم در بازگشت به وضعیت عادی پس از بروز اختلال است. همچنین برگشت‌پذیری به عنوان توانایی انتقال به نقطه تعادلی متفاوت از حالت اولیه نیز قابل تعریف است.افزونگی[4] به معنای وجود مسیرهای متعدد برای حرکت از یک مبدا به یک مقصد است. تعدد مسیر باعث کاهش اثر اختلال در شبکه می‌شود. اطمینان‌پذیری در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت[۴].

1 Vulnerability
2 Robustness
3 Resilience
4 Redundancy

۳-۲- پایداری

شبکه حمل و نقل در صورتی پایدار است که اگر یکی از کمان‌ها آسیب ببیند بتواند با افزایش مقدار ناچیزی در زمان سفر کل شبکه ، آسیب جبران شود. اگر زمان به طور اساسی افزایش یابد شبکه پایدار (مستحکم) نیست. حوادثی که باعث فروپاشی شبکه در کوتاه مدت می‌شوند می‌تواند شامل کاهش دید، تغییرات سطح روسازی و یا انواع تصادفات و حوادث طولانی مدت مانند فروپاشی پل یا تصادفات بزرگتر که باعث صفر شدن ظرفیت کمان می‌گردد[۵].

۳-۳- اطمینان‌پذیری

اطمینان‌پذیری عبارتند از احتمال عملکرد مناسب یک شبکه برای اجرای اهداف مورد نظر در یک دوره زمانی مشخص و تحت شرایطی که با آن مواجه می‌شود، است[۴]. در سیستم حمل و نقل اطمینان‌پذیری به صورت امکان سفر موفق از یک مکان به مکان دیگر بیان می‌گردد. در این تعریف به سه جنبه اطمینان‌پذیری اتصالات، اطمینان‌پذیری زمان سفر، اطمینان‌پذیری ظرفیت توجه می‌شود. اطمینان‌پذیری اتصالات، بیانگر احتمال اینکه یک جفت گره در شبکه هم‌چنان متصل باقی بماند؛ در حالی که یک یا چند کمان در شبکه قطع شده‌اند. اطمینان‌پذیری زمان سفر توجه می‌کند به احتمال این‌که سفر بین یک جفت مبدأ مقصد به طور موفقیت‌آمیزی در یک زمان مشخص انجام شود که می‌تواند تحت تأثیر نوسان جریان کمان و آگاه نبودن رانندگان موقع انتخاب مسیر باشد[۶]. اطمینان‌پذیری ظرفیت عبارتند از احتمال اینکه شبکه تا چه حد توانایی پذیرش حجم معینی از ترافیک را دارد[۴].

۴- تعریف معیار هم‌بندی

بررسی پایداری شبکه مستلزم توجه به تعداد و کیفیت اتصالات شبکه است. به هر اندازه تعداد اتصالات بیشتر و هم چنین کیفیت آن‌ها بهتر باشد شبکه مستحکم‌تر و پایدارتر است. برای ارزیابی اتصالات می‌بایست به دنبال شاخص‌هایی باشیم که همبندی شبکه را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۴-۱- شاخص بتا[1]

این شاخص برای اندازه‌گیری معیار همبندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص برابر نسبت تعداد کمان‌ها به تعداد گره‌های شبکه است[۷].

$$\beta = \frac{e}{v} \quad (۱)$$

e برابر تعداد کمان‌ها و v برابر تعداد گره‌هاست. محدوده تغییرات $\hat{a}$ از صفر تا مقادیر بزرگتر از یک خواهند بود به طوریکه هراندازه مقدار $\hat{a}$ بیشتر باشد شبکه همبند تر است ($\hat{a} \geq 0$ از طرفی هراندازه شبکه حمل و نقلی گسترش یابد و کارآمدتر باشد $\hat{a}$ نیز افزایش می‌یابد[۸].

۴-۲- شاخص پی[2]

این شاخص بیانگر نسبت مجموع طول کل کمان‌های شبکه به شاخص قطر در آن شبکه می‌باشد. هرچه مقادیر این شاخص بیشتر باشد شبکه گسترده‌تر و پیچیده‌تر است. قطر بیشترین تعداد کمان بین هر دو گره در شبکه از طریق کوتاه‌ترین مسیر است. شاخص قطر برای هر زوج گره حساب می‌شود و در کل شبکه میانگین گرفته می‌شود[۹].

$$\pi = \frac{L(G)}{D(d)} \quad (۲)$$

۴-۳- شاخص درجه هم‌بندی[3]

این شاخص شرایط فعلی شبکه را با وضعیت حداکثر و حداقل همبندی مقایسه می‌کند. حداکثر تعداد کمان ممکن برای یک شبکه در حالت غیر صفحه‌ای برابر رابطه زیر است:

$$e_{max} = \frac{v(v-1)}{2} \quad (۳)$$

درجه همبندی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D.C. = \frac{e_{max}}{e} = \frac{v(v-1)/2}{e} \quad (۴)$$

بنابرین نسبت حداکثر همبندی[4] (کران پایین درجه همبندی) برابر یک خواهد شد $\frac{v(v-1)/2}{v(v-1)/2} = 1$. برای برقراری ارتباط همه گره‌ها حداقل به تعداد $v-1$ مان نیاز است. بنابرین نسبت حداقل همبندی(کران بالای درجه همبندی) طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

1 Beta Index

2 Pi index

3 Degree of Connectivity(Prihar Index)

4 Maximum Connectivity Ratio

$$\frac{v(v-1)/2}{(v-1)} \quad (۵)$$

بنابرین درجه هم‌بندی در صورتی قابل قبول است که $1 \le D.C. \le \frac{v}{2}$ باشد[۱۰].

۴-۴- عدد چرخه (μ_1)

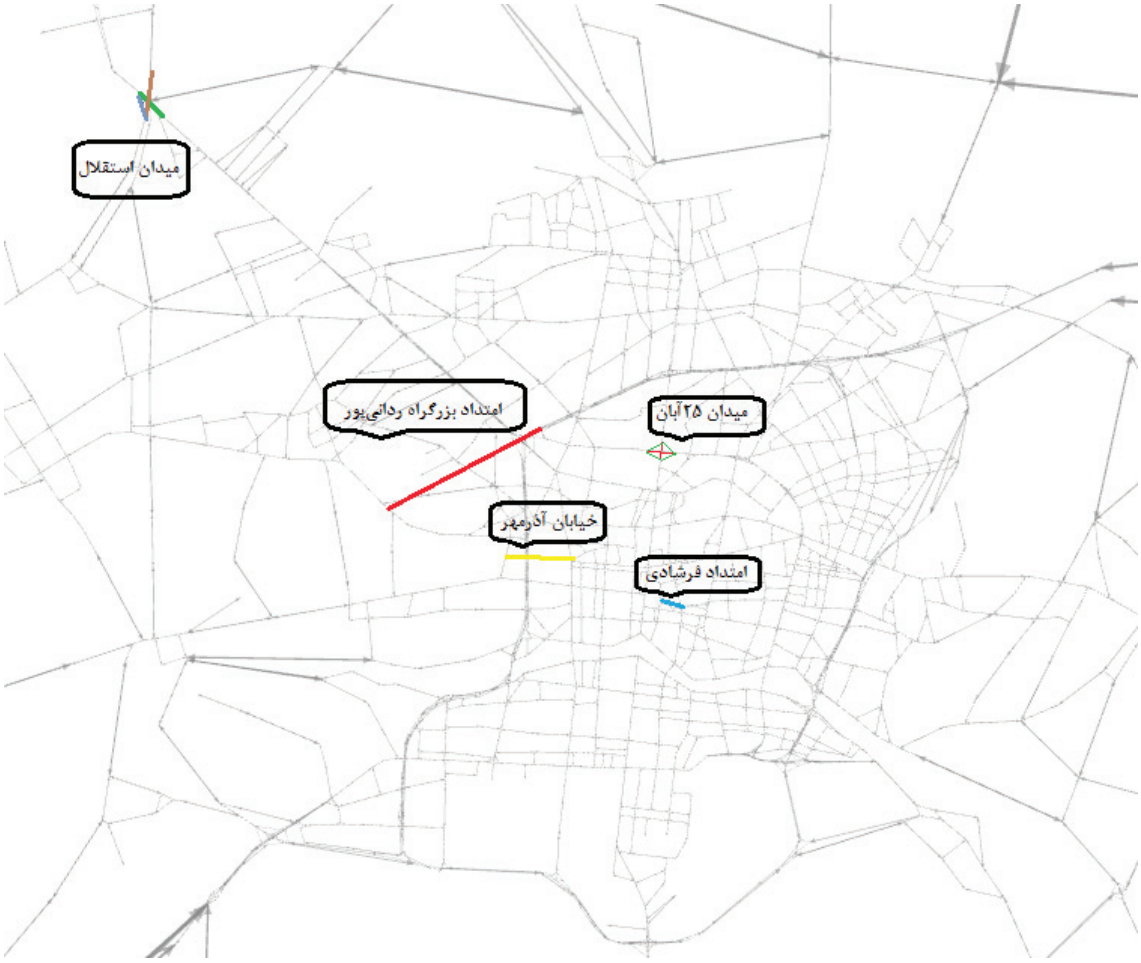
این شاخص حداکثر تعداد ممکن چرخه مستقل در شبکه را تعیین می‌کند و بیانگر تفاوت تعداد کمان‌ها و گره‌ها در شبکه است[۷].

$$\mu = e - v + p \quad (۶)$$

در رابطه فوق عدد p رابر تعداد گراف‌ها یا زیرگراف‌هاست که معمولاً یک در نظر گرفته می‌شود. محدوده تغییرات μ صفر تا بینهایت است[۱۱].

۵- سناریوهای انتخابی در شهر اصفهان

برای ارزیابی و بررسی معیار موجود در یک مطالعه موردی، پنج سناریوی احداث زیرساخت در شهر اصفهان انتخاب گردید. سناریوی اول مربوط به میدان استقلال می‌باشد. احداث یک پل هوایی از خیابان امام خمینی به شاهین‌شهر در دو جهت رفت و برگشت، یک مسیر گردش به راست یک جهته از شاهین‌شهر به خیابان دانشگاه صنعتی اصفهان، یک مسیر زیرگذر از خیابان دانشگاه صنعتی اصفهان به خیابان شهدای محمودآباد در امتداد رینگ چهارم در دو جهت رفت و برگشت جزئیات مربوط به این پروژه است. سناریوی دوم، تغییر وضعیت میدان ۲۵آبان که در مسیر میدان شهدا به ترمینال مسافربری کاوه قرار دارد؛ است. در نظر است یک پل شرقی غربی بین دو خیابان آیت‌الله ادیب و شهید دکتر باهنر در دو جهت رفت و برگشت واقع می‌شود. چهار گردش به راست در یک جهت نیز در پروژه قرار می‌گیرد و تقاطع



شکل ۱: سناریوهای انتخابی در شهر اصفهان

1 Cyclomatic Number

حذف می‌گردد و تنها خیابان کاوه در دو جهت رفت و برگشت از زیر پل عبور می‌کند. سناریوی سوم امتداد خیابان فرشادی است که یک خیابان یک طرفه از سمت باغ گلدسته به خیابان فرشادی به عنوان پروژه در حال ساخت در نظر گرفته می‌شود. سناریوی چهارم احداث خیابان آذرمهر می‌باشد. به این منظور خیابان صاحب روضات تا خیابان احمد حجازی در دو جهت رفت و برگشت امتداد داده می‌شود. درسناریوی پنجم بزرگراه ردانی‌پور تا خیابان قدس در بلوار اشرفی اصفهانی در دو جهت رفت و برگشت امتداد داده می‌شود. هزینه‌های عملیاتی از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان دریافت شد.

۶- اولویت‌بندی پروژه‌ها بر اساس معیارهای موجود

برای بررسی سناریوها بر اساس معیارهای موجود از نرم‌افزار TransCAD استفاده شد. خروجی نرم‌افزار جدول (۱) آمده است. متوسط زمان سفر از حاصل‌ضرب زمان سفر هر کمان برای یک خودرو در حجم آن کمان و سپس تقسیم آن بر حجم جریان کل بدست می‌آید.

۷- اولویت‌بندی پروژه‌ها بر اساس معیار هم‌بندی

برای ارزیابی سناریوها و شرایط پایه با توجه به شاخص‌های بدست آمده در رابطه با معیار هم‌بندی در قسمت (۴) از نرم‌افزار Gephi استفاده شد. تعدادی از شاخص‌ها به طور مستقیم و تعدادی به طور غیر مستقیم با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه گردید. نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

۸- اولویت‌بندی سناریوها

برای تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای چندگانه روش سازشی TOPSIS انتخاب گردید. در این روش تعداد m گزینه و n شاخص به صورت m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفته می‌شوند. گزینه ایده‌آل از ساختن برداری با مؤلفه‌های معادل بهترین ارقام موجود و گزینه ضد ایده‌آل نیز با استفاده از ضعیف‌ترین ویژگی‌ها تشکیل می‌شود. گزینه‌ای که کمترین فاصله از ایده‌آل و بیشترین فاصله از ضد ایده‌آل را داشته باشد، انتخاب می‌گردد. برای هریک از سناریوها فاصله تا ایده‌آل با

جدول ۶: نتایج بررسی سناریوها در نرم‌افزار TransCAD

معیارها / پروژه‌ها	متوسط زمان سفر (دقیقه)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	حجم به ظرفیت	هزینه عملیات (میلیارد تومان)
شرایط پایه	۱.۲۸۵	۴۴.۸۲۲	۰.۴۰۶	-
پروژه یک	۱،۲۶	۴۴.۹۶۷	۰.۳۹۵	۱۲۰
پروژه دو	۱،۲۶۱	۴۴.۹۳۸	۰.۳۹۸	۲۱
پروژه سه	۱.۲۸۳	۴۴.۸۲۵	۰.۴۰۵	۱
پروژه چهار	۱.۲۷۶	۴۴.۸۷۴	۰.۴۰۵	۱
پروژه پنج	۱.۲۸۱	۴۴.۸۷۵	۰.۴۰۱	۱۸۰

جدول ۷: نتایج بررسی سناریوها در نرم‌افزار Gephi

معیارها / پروژه‌ها	تعداد کمان	تعداد گره	شاخص بتا	شاخص پی	درجه همبندی	عدد چرخه	قطر شبکه
شرایط پایه	۷۲۵۰	۲۶۶۴	۲.۷۲۲	۶۵.۶۳۸	۴۸۹.۲۵۷	۴۵۸۷	۶۴
پروژه یک	۷۲۶۳	۲۶۶۸	۲.۷۲۲	۶۵.۷۱۵	۴۸۹.۸۵	۴۵۹۶	۶۴
پروژه دو	۷۲۵۸	۲۶۶۷	۲.۷۲۱	۶۵.۶۵۲	۴۸۹.۸۲	۴۵۹۲	۶۴
پروژه سه	۷۲۵۱	۲۶۶۴	۲.۷۲۲	۶۵.۶۴۴	۴۸۹.۱۹	۴۵۸۸	۶۴
پروژه چهار	۷۲۵۲	۲۶۶۵	۲.۷۲۱	۶۵.۶۷۸	۴۸۹.۴۹	۴۵۸۸	۶۴
پروژه پنج	۷۲۵۲	۲۶۶۴	۲.۷۲۲	۶۵.۷۵۳	۴۸۹.۱۲۳	۴۵۸۹	۶۴

جدول ۸: گزینه ایده‌آل و ضدایده‌آل در معیارهای موجود

	متوسط زمان سفر (دقیقه)	هزینه عملیات (میلیارد تومان)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	حجم به ظرفیت
ایده آل	۱.۲۶	۱	۴۴.۹۶۷	۰.۳۹۵
ضد ایده ال	۱.۲۸۱	۱۸۰	۴۴.۸۲۵	۰.۴۰۵

جدول۴: گزینه ایده‌آل و ضدایده‌آل در معیار هم‌بندی

	درجه همبندی	عدد چرخه	شاخص بتا	شاخص پی
ایده آل	۴۸۹.۱۲۳	۴۵۹۶	۲.۷۲۲	۶۵.۷۵۳
ضد ایده ال	۴۸۹.۸۵	۴۵۸۸	۲.۷۲۱	۶۵.۶۴۴

جدول۵: گزینه ایده‌آل و ضدایده‌آل در مجوعه معیارهای موجود و معیار هم‌بندی

	متوسط زمان سفر (دقیقه)	هزینه عملیات (میلیارد تومان)	درجه همبندی	عدد چرخه	شاخص پی
ایده آل	۱.۲۶	۱	۴۸۹.۱۲۳	۴۵۹۶	۶۵.۷۵۳
ضد ایده ال	۱.۲۸۵	۱۸۰	۴۸۹.۸۵	۴۵۸۸	۶۵.۶۴۴

d_{i+} و فاصله تا ضدایده‌آل با d_{i-} بدست می‌آید. سپس cl حساب می‌شود. هراندازه مقدار cl به یک نزدیک‌تر باشد، گزینه مورد نظر گزینه بهتری است.

$$d_{i+} = \left[\sum_{j=1}^{n} (r_{ij} - r_{j+})^2\right]^{0.5} \quad (7)$$

$$d_{i-} = \left[\sum_{j=1}^{n} (r_{ij} - r_{j-})^2\right]^{0.5} \quad (8)$$

$$cl = \frac{d_{i-}}{d_{i-} + d_{i+}} \quad (9)$$

۹- نتیجه‌گیری

۱-برای ارزیابی معیار هم‌بندی پنج پروژه در دست مطالعه در شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. پروژه یک شامل احداث یک پل هوایی از خیابان امام خمینی به شاهین‌شهر ، یک مسیر گردش به راست از شاهین‌شهر به خیابان دانشگاه صنعتی اصفهان، یک مسیر زیرگذر از خیابان دانشگاه صنعتی اصفهان به خیابان شهدای محمودآباد است. سناریوی دوم، احداث یک پل شرقی غربی بین دو خیابان آیت‌الله ادیب و شهید دکتر باهنر، چهارگردش به راست و حذف تقاطع در میدان ۲۵ آبان می‌باشد. سناریوی سوم امتداد خیابان فرشادی به صورت یک طرفه از سمت باغ گلدسته به خیابان فرشادی است. سناریوی چهارم احداث خیابان آذرمهر می‌باشد. به این منظور خیابان صاحب روضات تا خیابان احمد حجازی امتداد داده می‌شود. درسناریوی پنجم احداث یک بزرگراه در غرب اصفهان با امتداد بزرگراه ردانی‌پور تا خیابان قدس در بلوار اشرفی اصفهانی می‌باشد.

۲-سناریوها در اولویت‌بندی بر اساس معیارهای موجود و با روش TOPSIS به ترتیب سناریوی چهار، سه، دو،یک و پنج اولویت‌بندی شدند.

۳- هرچه شاخص‌های بتا، پی و عدد چرخه بیشتر و درجه هم‌بندی کمتر باشد؛ شبکه از هم‌بندی بیشتری برخوردار خواهد بود.

۴- سناریوها در اولویت‌بندی بر اساس معیار هم‌بندی و با

روش TOPSIS به ترتیب سناریوی یک، دو، پنج، سه و چهار اولویت‌بندی شدند.

۵-برای اولویت‌بندی توأمان هردو معیار موجود و معیار هم‌بندی، معیارهای متوسط زمان سفر و هزینه عملیات از معیارهای موجود و درجه همبندی، عدد چرخه و شاخص پی از معیار هم‌بندی انتخاب شدند.

۶- سناریوها در اولویت‌بندی توأمان هردو معیار موجود و معیار هم‌بندی و با روش TOPSIS به ترتیب سناریوی سه، چهار، دو، یک و پنج اولویت‌بندی شدند.

۷-اولویت‌بندی با افزودن معیار هم‌بندی تغییر کرد لذا در نظر گرفتن این معیار که ما را به سمت پایداری بیشتر شبکه‌های حمل و نقلی می‌رساند؛ حائز اهمیت است.

۱۰– منابع

1. Sinha. K . Labi .S ،Transpirtatiom Decision Making: Principles of Project Evaluation and Programing, John Wiley and Sons Inc., Hoboken New Jersey، Published simultaneously Canada، (2007).

۲. گهرپور.ع، حسینی طالقانی.ن ، ارزیابی پروژه‌های حمل و نقل، یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، برج میلاد. (۱۳۹۰).

۳. احمدی. ا، به کارگیری فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی برای تعیین تکنولوژی مناسب حمل و نقل همگانی شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۹۲).

4. Berdica K., An introduction to road vulnerability: what has been done. is done and should be done, Transport policy. .(2002)

5. Sullivan, J. L., Novak, D. C., Aultman-Hall, L., & Scott, D. M. Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: A link-based capacity-reduction approach. Transportation Research Part A: Policy and Practice,) (2010

6. Iida.Y, Basic Concepts And Future Directions Of Road Network Reliability Analysis, Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No2. (1999)

7. Morgado, P., Costa, N. Graph-based Model to Transport Networks Analysis through GIS. In Proceedings of European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography (pp. 2-5). . (2011, September)

8. Sarkar, D. Structural Analysis of Existing Road Networks of Cooch Behar District, West Bengal, India: A Transport Geographical Appraisal. Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management,(2013).

9. Kansky, K., & Danscoine, P. Measures of network structure. Flux, (1989)

10. Pritchard, A. L. A. N.On the structure of information transfer networks. M. Phil. ThesisSchool of Librarianship, Polytechnic of North London. (1984).

11. Black, W. R. Transportation: a geographical analysis. Guilford Press. (2003).

Investigation of the Impacts of Network Resiliency Consideration in Prioritization of Urban Transportation Projects

Zahra Nassirian , Meisam Akbarzadeh

1- M.Sc. student, Transportation Planning, Faculty of Transportation, Isfahan University of Technology
2- Assistant Professor, Faculty of Transportation, Isfahan University of Technology

Abstract

Urban street network is vulnerable in the sense that may be impaired as a result of various factors. This disorder may significantly affect movement in some parts of the city. In order to analyze the vulnerability of street network and efforts to reduce it, that is necessary to define the criterion for evaluation and priority of transportation projects and to set criteria to be added. Connective criterion, a new one, that enhances the reliability and stability of the overall urban street network. As a result, resistance against blocking part of the road network increases. Connective criterion makes effective connections increase and urban street network to be interconnected together. In this research, existing criteria and connective ones have been studied and five scenarios in Esfahan based on existing standards and again with the addition of new criterion are prioritized. The purpose isn't the change of the valuation method but it is to add new criterion. The results show that priorities will be changed with the addition of connective criterion. Therefore, it is important to pay attention to it.

Keyword: Connectivity, vulnerability, stability in transportation network, reliability