

ارزیابی پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری (مطالعه موردی: شهر رشت)

رضا اسماعیل پوراشکاء¹

محمد رحیم رمضانیان²

ساره نبی‌زاده^{3*}

چکیده

امروزه، بروز یا تشدید اثرات زیانبار در حوزه حمل‌ونقل شهری؛ همچون آلودگی هوا و افزایش تصادفات، ضرورت حمل‌ونقل پایدار را آشکارتر می‌سازد. کلان‌شهر رشت با رشد سالانه 1/9 درصدی جمعیت، با حجم ترافیکی بسیار شدیدی مواجه است. برای برنامه‌ریزی بهتر در مبحث حمل‌ونقل پایدار، ابتدا لازم است وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم‌های حمل‌ونقل موجود یا برنامه‌ریزی شده، بررسی شود. لذا هدف این مقاله، ارزیابی پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شهری رشت می‌باشد. از این‌رو بیست معیار مهم پایداری، از طریق مصاحبه با متخصصان و مرور مطالعات و پنج سیستم حمل‌ونقل شهری، از میان سیستم‌های موجود و برنامه‌ریزی شده آتی برای شهر رشت انتخاب شدند. با توزیع پرسشنامه میان خبرگان و به کمک روش Fuzzy TOPSIS، قطار شهری و پس از آن دوچرخه، به عنوان پایدارترین سیستم‌های حمل‌ونقل شهری تعیین شدند. نهایتاً برای نشان دادن تأثیر وزن معیارها بر فرایند تصمیم‌گیری، تحلیل حساسیت انجام شد که نتایج فوق را تأیید کرد. بدین ترتیب، لزوم توسعه هرچه سریعتر قطار شهری به عنوان بهترین سیستم حمل‌ونقل عمومی و نیز ضرورت پرداختن به دوچرخه به عنوان یک وسیله نقلیه غیرموتوری پاک به ویژه برای مسیرهای کوتاه شهری، در برنامه‌ریزی شهری رشت، دارای اهمیت بسزایی است.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل پایدار، سیستم‌های حمل‌ونقل شهری، معیارهای پایداری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، شهر

رشت

طبقه‌بندی JEL : R48, R42, N95, D81, Q01

1- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

2- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

3* - کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، مسئول مکاتبات:

nabizadeh.sareh@gmail.com

1- مقدمه

داکمن¹ و ساکاموتو² (2011) حمل و نقل شهری را فصل مشترک توسعه انسانی و محیط می دانند که به حرکت رو به جلو در یک مسیر متوازن نیاز دارد اما وضعیت فعلی، این گونه نیست. الگوی فعلی، به ناکارآمدی در جابه جایی مسافر و بار، هزینه های لجستیک بالا، ازدحام، آلودگی هوا، تلفات و جراحات حوادث جاده ای، مصرف بالای انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه ای منتج می شود و این اثرات منفی، عموماً در آسیب پذیرترین گروه های جمعیتی؛ یعنی کودکان، افراد سالخورده، جمعیت ناتوان و کم درآمد، تشدید می شود (Hidalgo & Huizenga, 2013). شاید یکی از دلایل این ناکارآمدی، تغییر روش جابه جایی مردم در سال های اخیر باشد. در گذشته، افراد به وسیله دوچرخه، پیاده روی، تراموا و اتوبوس جابه جا می شدند؛ چون تعداد کمی از آنها اتومبیل داشتند، اما امروزه به واسطه قدرت خرید بالاتر مردم، تغییرات سبک زندگی، رشد شهرها و لزوم سفر طولانی به مسافت های دور، تعداد سفر با وسایل نقلیه شخصی، به شدت افزایش یافته است. این تراکم فراوان وسایل نقلیه در معابر شهری، سبب بدتر شدن شرایط ترافیکی، رشد موانع حمل و نقل و انتشار آلودگی ها در نواحی شهری می شود (Beltran et al., 2010).

بروز یا تشدید چنین آثار زیانباری در حوزه حمل و نقل، در سالیان اخیر مورد توجه اکثر کارشناسان و برنامه ریزان قرار گرفته است (استادی جعفری و رصافی، 1392).

کاندیراکسی³ (2009) بر این باور است که مشکلات حمل و نقل در کشورهای در حال توسعه که تحت الگوی فعلی حمل و نقل و فشارهای برخاسته از رشد اقتصادی سریع هستند، بهبود نخواهند یافت. در نتیجه، پیش بینی می شود که شلوغی، آلودگی، تأثیرات منفی بر سلامت، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای، افزایش یابد.

سازمان بهداشت جهانی⁴ (2004) پیش بینی کرد که تصادفات جاده ای با بیش از دو میلیون مرگ و میر در سال، پنجمین علت مرگ و میر در سال 2030 خواهد بود. آژانس بین المللی انرژی⁵ (2010) نیز پیش بینی کرد که مصرف انرژی در بخش حمل و نقل، تحت شرایطی که رایج است، تا 50 درصد در سال 2030 و تا 80 درصد در سال 2050 افزایش خواهد یافت (Hidalgo & Huizenga, 2013). بانک جهانی⁶ (1996) در نشریه خود بیان می کند که سه معضل، پیش روی بخش حمل و نقل در کشورهای مختلف وجود دارد: افزایش پاسخ دهی به نیازهای مشتری، مطابقت با الگوهای تجارت جهانی و کنار آمدن با موتورهای شدن سریع (Zhou, 2012).

شهر رشت که مرکز استان گیلان می باشد، چند سالی است که به عنوان کلان شهر، معرفی شده است. به گفته مدیران شهری، جمعیت شهر رشت بیش از هفتصد هزار نفر است که با مهاجرت های روزانه از اطراف شهر، این عدد به یک میلیون و دویست هزار نفر می رسد و با داشتن رشد سالانه 1/9 درصدی جمعیت، این شهر یکی از مهم ترین شهرهای شمالی کشور به شمار می رود. اما شهر رشت امروزه با حجم ترافیکی بسیار شدیدی مواجه است و رانندگان در بیشتر ساعات روز برای تردد در معابر درون شهری، وقت خود را بیهوده تلف می کنند. قدمت و پیچیدگی معابر شهری، کم عرض بودن معابر، کمبود سامانه های حمل و نقل عمومی، افزایش خودروهای شخصی در سطح شهر، کثرت آثار تاریخی و فرهنگی در مرکز شهر و توسعه روزافزون شهر، بر شدت ترافیک آن می افزاید.

برای غلبه بر این بحران باید سیستم های حمل و نقل شهری به سمت سیستم های حمل و نقل عمومی با کارایی بالا حرکت کنند. در این راه، شهرداری ها در سیستم های حمل و نقل پایدار، سرمایه گذاری می کنند که نه تنها کارآمد، توانمند و اقتصادی بلکه موافق و مقارن با محیط زیست نیز هستند (Awasthi et al., 2011).

4 - World Health Organization (WHO)

5 - International Energy Agency (IEA)

6 - World Bank

1 - Dalkmann

2 - Sakamoto

3 - Candiracci

پایدار شهری با رویکرد بهینه‌سازی پویا»، از مدل بهینه‌سازی پویا برای یافتن راه‌حل بهینه تحت محدودیت‌های اهداف اجتماعی، اقتصادی و محیطی استفاده کرده است (Zuidgeest, 2005).

ریچاردسون² در مقاله‌ای تحت عنوان «حمل‌ونقل پایدار» با استفاده از چارچوب‌های تحلیلی، در ارزیابی حمل‌ونقل پایدار، از مدل‌های پویایی سیستم که روابط بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند استفاده کرده و در این مدل‌ها با استفاده از تحلیل علت و معلول، تعامل بین عوامل تأثیرگذار بر حمل‌ونقل پایدار را مشخص کرده است (Richardson, 2005).

جانسون³ در پژوهش خود تحت عنوان «تحلیل پایداری در سیستم زمین پایه و حمل‌ونقل» با استفاده از تحلیل هزینه-فایده (به معنای در نظر گرفتن معادل پولی تمام اثرات مثبت و منفی یک پروژه) برای ارزیابی قابلیت پایداری استفاده کرده است که البته در آن، تخمین هزینه‌های محیطی و اجتماعی، تقریباً مشکل است (Jonsson, 2008).

آواستی و چوهان⁴ در مقاله‌ای با عنوان «استفاده از نظریه دمستر- شافر⁵ و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP⁶ برای ارزیابی راه‌حل‌های پایداری حمل‌ونقل» از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، تحت اطلاعات ناقص (عدم اطمینان) و ارزیابی معیارهای حمل‌ونقل پایدار استفاده کرده‌اند (Awasthi & Chauhan, 2011).

جیون⁷ و همکارانش در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی پایداری طراحی حمل و نقل در سطوح: عملکرد، اندازه‌ها و شاخص‌ها» در ارزیابی راهکارهای حمل‌ونقل پایدار، بعد اثربخشی سیستم را نیز در نظر گرفته‌اند (Jeon et al., 2013).

سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، شرایطی را فراهم می‌کنند تا همه مردم به فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی برابر برای یک زندگی معنادر دسترس داشته باشند (Richardson, 2005). مسائل و مشکلات پیش آمده برای شهروندان ساکن شهرها به ویژه شهرهای بزرگ، جای هیچ شک‌ی برای ضرورت حمل‌ونقل پایدار نمی‌گذارد (زندى آتشبارى و خاکسارى، 1391). برای برنامه‌ریزی بهتر در این حوزه لازم است ابتدا وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم‌های حمل‌ونقل موجود یا برنامه‌ریزی شده، ارزیابی شود. تاکنون ارزیابی‌های بسیار متفاوتی توسط کارشناسان حمل‌ونقل شهری در کشورهای مختلف جهان برای دستیابی به مناسب‌ترین سیستم حمل‌ونقل به عمل آمده است. سیاست‌های ترافیک و حمل‌ونقل، معمولاً از شهری به شهر دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت هستند؛ زیرا الگوهای سفر مردم در این شهرها و کشورها به دلیل تفاوت در زمینه‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی، متفاوت است. با توجه به رویکردهایی که تاکنون در ارزیابی‌های پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل استفاده شده است، این مقاله، با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS که یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در یک محیط فازی است، سعی می‌کند تا پایدارترین سیستم حمل‌ونقل شهری را برای شهر رشت براساس معیارهای مورد نظر تصمیم‌گیران آن، مشخص کند. در این راستا، ابتدا پیشینه و مبانی موضوع، بررسی شد، سپس در قسمت ارزیابی، معیارهای سنجش پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل شناسایی و براساس آن، ارزیابی و اولویت‌بندی سیستم‌ها برای شهر رشت انجام شد.

2- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه حمل‌ونقل پایدار و ارزیابی ابعاد و سیستم‌های آن، صورت گرفته است. زویدگست¹ در پژوهشی تحت عنوان «توسعه حمل‌ونقل

2 - Richardson

3 - Jonsson

4 - Awasthi and Chauhan

5 - Dempster-Shafer-Theory

6 - Analytical Hierarchy Process

7 - Jeon

1 - Zuidgeest

هیلداگو و هوینزگا¹ در پژوهشی تحت عنوان «اجرای حمل و نقل پایدار در آمریکای لاتین» برای توسعه برخی از سیستم‌های حمل و نقل و جلوگیری از اثرات منفی رشد بی‌رویه موتوری شدن حمل و نقل شهرها، اصول سه‌گانه اجتناب-تغییر-بهبود را پیشنهاد کرده‌اند (Hidalgo & Huizenga, 2013).

3- مبانی نظری تحقیق

حمل و نقل پایدار

نظریات بسیاری درباره چگونگی تعریف و اندازه‌گیری پایداری ارائه شده است. انجمن جهانی سازمان ملل متحد در زمینه محیط و توسعه² (1987) در گزارشی با عنوان «آینده مشترک ما» پایداری را به عنوان توسعه‌ای تعریف می‌کند که منطبق با نیازهای کنونی است؛ بدون آنکه امکان توسعه نسل‌های آینده را برای رفع نیازهایشان به مخاطره بیفکند (Awasthi et al., 2011). در واقع توسعه پایدار، مفهومی است که پس از بروز نگرانی‌های فزاینده در مورد تبعات منفی توسعه لجام‌گسیخته، ظاهر شد که نشان‌دهنده عدالت میان نسل‌ها، تلاش انسان برای پیشرفت و توسعه، به موازات حفظ محیط‌زیست و منابع موجود است (رصاصی و زرآبادی پور، 1388).

مفاهیم پایداری، از طریق سه حوزه محیطی، اجتماعی و اقتصادی، نشان داده می‌شوند. موضوعات پایداری اغلب در تعارض با یکدیگرند؛ برای مثال؛ ساخت یک بزرگراه جدید می‌تواند در کوتاه‌مدت با برنامه‌ریزی و مشاغل ساختمانی در بلندمدت با توسعه زمین، رشد اقتصادی را افزایش دهد اما می‌تواند اثرات منفی محیطی و اجتماعی نیز داشته باشد. لاو³ (2003) تعارض اهداف پایداری را با عنوان «پارادوکس پایداری»⁴ توصیف می‌کند (Zheng et al., 2013). به عبارت دیگر، توسعه پایدار تلاش می‌کند تا توازن بهینه‌ای بین اهداف اقتصادی،

اجتماعی و محیطی برقرار کند (Zuidgeest, 2005). اقتصاد در موضوع پایداری، منابع در دسترس و چگونگی سازماندهی این منابع برای تأمین نیازها و اهداف انسان را توصیف می‌کند. منظور از جامعه در این مفهوم، مجموعه‌ای از فعل و انفعالات انسانی و چگونگی سازماندهی آنهاست. محیط نیز فضای پیرامون انسان‌هاست و فعالیت‌های آنها را طبق قوانین خود محدود می‌سازد. عوامل محیطی در رفاه کنونی، تأثیر می‌گذارند و میراث نسل‌های آینده را مشخص می‌کنند (زندی آتشباری و خاکساری، 1391).

با تعدیل تعریف کمیسیون براتلند⁵ از پایداری، می‌توانیم حمل و نقل پایدار را به عنوان توانایی رفع نیازهای حمل و نقل امروز بدون از بین بردن توانایی نسل‌های آینده در رفع نیازهای حمل و نقلی‌شان تعریف کنیم (Richardson, 2005). بانک جهانی (1996) حمل و نقل پایدار را در قالب سه رکن بیان می‌کند (Zhou, 2012):

- پایداری اقتصادی و مالی: استفاده از منابع و حفظ سرمایه‌ها به طور مؤثر و صحیح صورت گیرد.
- پایداری محیطی و اکولوژیکی: اثرات بیرونی حمل و نقل همچون مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، هنگام تصمیم‌گیری به طور کامل مورد توجه قرار گیرند.
- پایداری اجتماعی: منافع حمل و نقل در دسترس همه اقشار جامعه قرار گیرد.

سازمان حمل و نقل کانادا⁶ (1997) در تعریف حمل و نقل پایدار، از تعریف توسعه پایدار استفاده کرد؛ یعنی سیستم و فعالیت حمل و نقل به طور کلی باید دارای سه بعد اقتصادی، محیطی و اجتماعی باشد. همچنین مرکز حمل و نقل پایدار⁷ تعریفی از حمل و نقل پایدار ارائه داده است؛ یک سیستم حمل و نقل پایدار، سیستمی است که (Haghshenas & Vaziri, 2012):

5 - Brundtland Commission's

6 - Transport Canada

7 - Center for Sustainable Transportation (CST)

1 - Hidalgo and Huizenga

2 - United Nations Forum on Environment and Development

3 - Low

4 - Stability-Instability Paradox

ایمن‌ترین حالت، اختلاط کاربری‌ها یا یکپارچه‌سازی مردم با فعالیت‌ها، ساختمان‌ها و فضاها، متراکم‌سازی ساختمان‌ها، حمل‌ونقل عمومی و پیاده‌محور، افزودن امتیازات طبیعی، فرهنگی، اجتماعی و تاریخی، مستقیم کردن مسیرهای پیاده‌رو با کوچک کردن بلوک‌های شهری، بادوام ساختن و پایداری‌سازی (زندی آتشباری و خاکساری، 1391).

بنابراین یکی از راه‌های غلبه بر بحران موجود این است که سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به سمت سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی با کارایی زیاد حرکت کنند. حمل‌ونقل عمومی، کلید حل مسائل ازدحام شهری است و همچنین کیفیت زندگی شهری و محیط را افزایش می‌دهد. از لحاظ گازهای گلخانه‌ای، یک اتوبوس فقط یک‌سوم خودروی شخصی به ازای هر مسافر در هر کیلومتر، دی‌اکسید کربن ایجاد می‌کند. برای ارتقای حمل‌ونقل عمومی، فعالان آن باید راهکارهای چندگانه خدمات از درب تا درب را ارائه دهند که به قدر کافی در مقایسه با حمل‌ونقل خصوصی مؤثر باشند. نکته اصلی این است که کارایی و اثربخشی هر شبکه حمل‌ونقل عمومی، بستگی به این دارد که چقدر استفاده از آن آسان باشد؛ در نتیجه خدمات ارائه شده باید منسجم و جامع باشند (Beltran et al., 2010).

دوچرخه نیز نقش مهمی در برنامه حمل‌ونقل شهری دارد و به کاهش ازدحام و آلودگی هوای منطقه و همچنین کاهش انتشار آلاینده‌ها کمک می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد که امروزه سهم دوچرخه از سفرهای محلی هلند 30 درصد، دانمارک 20 درصد، آلمان 12 درصد و سوئد 10 درصد است. در این کشورها افراد نه از روی ناچاری، بلکه به انتخاب خویش این وسیله نقلیه سالم، مفید و باصرفه را انتخاب می‌کنند (مختاری ملک‌آبادی، 1390). استفاده از دوچرخه علاوه بر کاهش ازدحام و آلودگی، به این موارد نیز کمک می‌کند: ذخیره انرژی، محیطی بدون آلودگی و سروصدا، حفظ فضای شهری، ذخیره هزینه‌ها، ارتقای سلامت و رفاه، لذت‌بخش‌تر کردن سفر افراد، کاهش زمان‌های از دست‌رفته و افزایش سرعت کلی.

■ اجازه دستیابی به نیازهای اساسی افراد و جوامع را به طور ایمن و با روشی منطبق با سلامت انسان و اکوسیستم و با عدالت درون و بین نسلی می‌دهد.

■ قابل اجراست، به‌طور مؤثر عمل می‌نماید، گزینه‌های حمل‌ونقل را پیشنهاد و از اقتصاد پویا حمایت می‌کند.

■ انتشار گازهای گلخانه‌ای و ضایعاتی که جذب آنها برای سیاره زمین ممکن نیست را کاهش می‌دهد، مصرف منابع غیرقابل تجدید را به حداقل می‌رساند، مصرف منابع تجدیدپذیر را تا سطح بازده پایدار محدود می‌کند، اجزای آن را مجدداً استفاده و بازیافت می‌کند و استفاده از زمین و ایجاد سروصدا را به حداقل می‌رساند.

از نظر انجمن تحقیقات حمل‌ونقل¹ (2005)، حمل‌ونقل پایدار باید سنجش این پدیده‌های مرتبط به هم یا تأثیرگذار بر بخش حمل‌ونقل را در نظر بگیرد: کاهش ذخایر بنزین، تأثیرات جوی در جهان، تلفات و جراحات، تأثیرات کیفی بر هوای منطقه، ازدحام، سروصدا، تأثیرات بیولوژیکی و عدالت (Zhou, 2012). بنابراین حمل‌ونقل پایدار، مجموعه‌ای از سیاست‌ها و دستورالعمل‌های یکپارچه و در بر دارنده اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که توزیع عادلانه و استفاده مؤثر از منابع جهت رفع نیازهای حمل‌ونقل جامعه و نسل‌های آتی را به همراه دارد (استادی‌جعفری و رصافی، 1392).

سیستم‌های مورد ارزیابی

والتر هوک² (2010) از محققان مؤسسه سیاست‌گذاری و توسعه حمل‌ونقل (ITDP)³ در کتاب «شهرهای ما متعلق به ماست»، ده اصل را به عنوان ملزومات حمل‌ونقل پایدار در زندگی شهری بیان کرده است که عبارتند از: ایجاد فضاهای مناسب پیاده‌روی، ایجاد محیطی مناسب برای دوچرخه‌سواران و سایر وسایل نقلیه غیرموتوری، حمل‌ونقل عمومی کم‌هزینه و گسترده، مدیریت سفرها با ایجاد دسترسی برای پیاده‌روی پاک با کاهش تعداد وسایل نقلیه و با سرعت ایمن، حمل‌ونقل بار و کالا در پاک‌ترین و

1 - Transport Research Board

2 - Walter Hook

3 - Institute for Transportation and Development Policy

4- روش تحقیق

این پژوهش براساس هدف، کاربردی و از حیث روش، توصیفی-تحلیلی است؛ زیرا به کمک توصیف شرایط موجود و تحلیل وضعیت، پایدارترین سیستم حمل و نقل شهری که با توسعه شهری و رفاه و آسایش جامعه، سازگار می باشد را مشخص می کند. بخشی از تحقیق جهت مطالعه مبانی نظری و سوابق مسئله، در قالب مطالعات کتابخانه ای انجام گرفت. همچنین برای گردآوری اطلاعات برحسب نیاز، از مطالعات میدانی؛ همچون مصاحبه و پرسشنامه استفاده شد.

همچنین این پژوهش، نیازمند نظرات تخصصی صاحب نظران و خبرگان بوده است. برخی از ویژگی های اساسی برای انتخاب خبرگان عبارتند از: با مسئله مورد نظر درگیر باشند، از مسئله اطلاعات مداوم داشته باشند، دارای انگیزه برای شرکت در فرایند پژوهش باشند و همچنین احساس کنند اطلاعات حاصل از یک توافق گروهی برای خود آنها نیز ارزشمند خواهد بود. لذا جامعه آماری این پژوهش، از میان خبرگان و صاحب نظران دانشگاهی شهر رشت در رشته های مدیریت، عمران و حمل و نقل، شهرسازی، اقتصاد و محیط زیست و همچنین برخی از کارشناسان و صاحب نظران شهرداری و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر رشت، انتخاب شدند. سپس با استفاده از نظرات آنها و براساس رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)¹، مهم ترین معیارهای پایداری، شناسایی، ارزش گذاری و نهایتاً پایدارترین سیستم حمل و نقل شهری برای شهر مورد مطالعه، انتخاب شد.

مسائل تصمیم گیری، فرایند یافتن بهترین گزینه از میان تمام راهکارهای عملی است. تقریباً در چنین مسائلی، تعدد معیارها برای قضاوت در مورد راهکارها فراگیر است. به عبارت دیگر، برای بسیاری از چنین مسائلی، تصمیم گیرنده می خواهد یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM) را حل کند. یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره به طور خلاصه در قالب ماتریس زیر بیان می شود:

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$W = [w_1 w_2 \cdots w_n]$$

$$X = \{X_{ij} | i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n\}$$

$A_1, A_2, \dots, A_m$ گزینه های امکان پذیری

هستند که تصمیم گیران باید از میان آنها انتخاب کنند، $C_1, C_2, \dots, C_n$ معیارهایی هستند که با آنها عملکرد گزینه ها سنجیده می شود، X ، نرخ ارزیابی A_i براساس معیار C_j است و W_j وزن معیار C_j می باشد (Chen, 2000).

مسائل MCDM به دو نوع تقسیم می شوند. یکی از آنها مسائل MCDM کلاسیک است که در آنها نرخ ها و وزن معیارها به صورت قطعی اندازه گیری می شود. تکنیک TOPSIS² یکی از تکنیک های معروف برای MCDM کلاسیک می باشد. منطق اصولی TOPSIS تعریف راه حل ایده آل و ضداً ایده آل است. راه حل ایده آل، معیارهای سود را حداکثر و معیارهای هزینه را حداقل می کند و شامل تمام بهترین مقادیر معیارهای در دسترس می باشد، در حالی که راه حل ضداً ایده آل، ترکیبی از بدترین مقادیر معیارهای در دسترس است. گزینه بهینه، گزینه ای است که کوتاه ترین فاصله از راه حل ایده آل و بیشترین فاصله را از راه حل ضداً ایده آل دارد (ساعتی و همکاران، 1386).

نوع دوم، مسائل تصمیم گیری چندمعیاره فازی (FMCDM)³ هستند که در آنها نرخ ها و اوزان به صورت غیرقطعی، گنگ و مبهم، ارزیابی شده اند و معمولاً به صورت مقیاس های گفتاری و به تبع آن، اعداد فازی، بیان می گردند. تحت شرایط متعددی، داده های قطعی برای مدل سازی وضعیت های واقعی، ناکافی هستند؛ زیرا قضاوت های انسانی شامل ترجیحاتی هستند که اغلب مبهم اند و نمی توانند اولویت شان را با یک ارزش عددی دقیق، تخمین بزنند.

2 - Technique of Order of Preference by Similarity of Ideal Solution
3 - Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

1 - Mulplie Criteria Decision Making

باشند که در آنها $i = 1, 2, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, n$ باشد؛
آنگاه وزن اهمیت و نرخ فازی مجموع برای هر معیار به
این صورت محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{W}_j &= (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}), \quad w_{j1} = \min_k (w_{jk1}) \\ w_{j2} &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{jk2}, \quad w_{j3} = \max_k (w_{jk3}) \quad (1) \\ \tilde{X}_{ij} &= (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \quad a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{k} \\ &\sum_{k=1}^k b_{ijk}, \quad c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \quad (2) \end{aligned}$$

مرحله سوم: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

ماتریس تصمیم فازی برای گزینه‌ها و معیارها به
صورت زیر است:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \vdots & A_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{matrix} \end{matrix} \quad (3)$$

$$W = [w_1 w_2 \cdots w_n] \quad (4)$$

مرحله چهارم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم فازی

در مسائل تصمیم‌گیری، اغلب معیارها با یکدیگر در
تعارض هستند؛ یعنی عده‌ای از آنها از نوع هزینه و برخی
دیگر از نوع سود هستند. بنابراین برای بی‌مقیاس کردن،
ماتریس تصمیم‌گیری فازی را به صورت زیر نرمال می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \tilde{R} &= [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \\ \tilde{r}_{ij} &= \left(\frac{a_{ij}}{c_{j+}}, \frac{b_{ij}}{c_{j+}}, \frac{c_{ij}}{c_{j+}} \right), \quad c_{j+} = \max_i c_{ij} \quad (\text{معیارهای سود}) \quad (5) \end{aligned}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}^-}{c_{ij}^-}, \frac{b_{ij}^-}{c_{ij}^-}, \frac{c_{ij}^-}{a_{ij}^-} \right), \quad a_{ij}^- = \min_i a_{ij} \quad (\text{معیارهای هزینه}) \quad (6)$$

مرحله پنجم: محاسبه ماتریس نرمال موزون

ماتریس نرمال موزون به این صورت به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \\ \tilde{v}_{ij} &= \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (7) \end{aligned}$$

مرحله ششم: محاسبه راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی

(FPIS) و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی (FNIS)²

$$\begin{aligned} A^+ &= (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+), \quad \tilde{v}_j^+ = \max_i (v_{ij3}) \\ i &= 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A^- &= (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \quad \tilde{v}_j^- = \min_i (v_{ij1}) \\ i &= 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9) \end{aligned}$$

یک رویکرد واقع‌گرایانه‌تر می‌تواند از تخمین‌های زبان‌شناسی
به جای ارزش‌های عددی استفاده کند؛ یعنی فرض کنیم که
نرخ، وزن و معیارهای مسئله توسط مقیاس‌های زبان‌شناسی
سنجیده شوند (Chen, 2000). بنابراین در این مقاله از
روش TOPSIS برای حل مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره
در محیط فازی استفاده شده است. وزن اهمیت معیارهای
گوناگون و نرخ این معیارها برای گزینه‌های موجود، براساس
مقیاس‌های زبان‌شناسی بیان می‌شوند. این مقیاس‌های
زبان‌شناسی در قالب اعداد فازی مثلثی مطابق جداول 1
و 2 ارائه می‌شوند. مراحل این روش عبارتند از:

مرحله اول: انتخاب وزن و نرخ هر گزینه از نظر هر

معیار براساس مقیاس‌های زبان‌شناسی

اگر k تصمیم‌گیرنده داشته باشیم، هر تصمیم‌گیرنده
 $D_k (k=1, 2, \dots, k)$ می‌تواند نظر خود را در مورد وزن
هر معیار و نرخ هر گزینه از نظر آن معیار به صورت یکی
از مقیاس‌های زبان‌شناسی اعلام کند.

جدول 1- مقیاس‌های زبان‌شناسی وزن اهمیت معیارها

(1,1,3)	بسیار کم (VL)
(5,3,1)	کم (L)
(7,5,3)	متوسط (M)
(9,7,5)	زیاد (H)
(9,9,7)	بسیار زیاد (VH)

منبع: (یافته‌های نگارندگان)

جدول 2- مقیاس‌های زبان‌شناسی نرخ معیارها در گزینه‌ها

(1,1,3)	بسیار ضعیف (VP)
(5,3,1)	ضعیف (P)
(7,5,3)	متوسط (F)
(9,7,5)	خوب (G)
(9,9,7)	بسیار خوب (VG)

منبع: (یافته‌های نگارندگان)

مرحله دوم: محاسبه نرخ فازی مجموع برای

معیارها و گزینه‌ها

اگر نرخ و وزن اهمیت فازی k مین تصمیم‌گیرنده به

ترتیب $\tilde{W}_{ijk} = (w_{1jk}, w_{2jk}, w_{3jk})$ و $\tilde{X}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$

1 - Fuzzy Poaitive Ideal Solution

2 - Fuzzy Negative Ideal Solution

مرحله هفتم: محاسبه فاصله هر گزینه از FPIS و

FNIS

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i=1,2,\dots,m \quad (10)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i=1,2,\dots,m \quad (11)$$

$d_v(\tilde{a}, \tilde{b})$ فاصله بین دو عدد فازی $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$ است.

مرحله هشتم: محاسبه ضریب نزدیکی (CC_i) هر

گزینه

ضریب نزدیکی، فاصله راه حل ایده آل مثبت فازی

(A^+) و راه حل ایده آل منفی فازی (A^-) را به طور

همزمان نشان می دهد. ضریب نزدیکی هر گزینه به این

صورت محاسبه می شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1,2,\dots,m \quad (12)$$

مرحله نهم: رتبه بندی گزینه ها

در نهایت گزینه های مختلف، مطابق نزدیکی (CC_i)

به صورت کاهشی، رتبه بندی می شوند. بهترین گزینه،

نزدیکترین به FPIS و دورترین از FNIS می باشد.

5- یافته های تحقیق

انتخاب معیارهای پایداری و سیستم های حمل و نقل

در گام اول، معیارهای پایداری از طریق مطالعه

منابع مربوط به موضوع و گفتگو با استادان و کارشناسان و

مسئولان این حوزه در سطح شهر رشت جمع آوری شدند.

در نهایت 20 معیار به عنوان مهمترین معیارهای پایداری

برای شهر رشت با استفاده از تکنیک دلفی¹ تعیین شد

که در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- معیارهای پایداری سیستم های حمل و نقل

معیارها	قلمرو
1- مصرف بهینه انرژی سیستم حمل و نقل 2- کاهش انتشار آلاینده های هوا؛ مانند CO , CO_2 , VO , NO_x از سیستم حمل و نقل 3- کاهش پسماندهای جاده ای؛ مانند میزان فرسودگی ها و تاپرهایی به کار رفته در سیستم حمل و نقل 4- کاهش استفاده از سوخت های فسیلی؛ مانند بنزین و گازوئیل در سیستم حمل و نقل 5- کاهش آلودگی صوتی ایجاد شده از سیستم حمل و نقل 6- کاهش استفاده از زمین برای احداث و توسعه زیرساخت های سیستم حمل و نقل	محیطی
7- ایمنی سیستم حمل و نقل در برابر سوانح 8- دسترسی مناطق مسکونی و تجاری به سیستم حمل و نقل 9- امنیت سیستم حمل و نقل در برابر سرقت و خرابکاری 10- قابلیت اطمینان (انجام دقیق تعهدات) سیستم حمل و نقل 11- تقویت تعاملات اجتماعی کاربران در سیستم حمل و نقل 12- امکان گسترش سرویس سیستم حمل و نقل در صورت نیاز 13- عدالت سیستم حمل و نقل بین جنسیت، گروه های سنی و افراد معلول 14- محسوسات؛ همچون امکانات فیزیکی، تجهیزات و ظاهر پرسنل سیستم حمل و نقل 15- نرخ تصرف (میزان ظرفیت به کار گرفته شده) در سیستم حمل و نقل 16- سهولت استفاده از سرویس های سیستم حمل و نقل 17- پویایی سیستم حمل و نقل (توانایی خدمت در سراسر حوزه حمل و نقل) 18- افزایش سهم سیستم از حمل و نقل عمومی	اجتماعی
19- کاهش هزینه های عملیاتی اجرای سیستم حمل و نقل؛ شامل هزینه های راه اندازی، تعمیر و نگهداری 20- کاهش هزینه های سفر بین ایستگاه های معین برای سیستم حمل و نقل؛ مانند هزینه سوخت و کرایه	اقتصادی

منبع: (یافته های نگارندگان)

در این جدول، شاخص‌های محیطی و اقتصادی از نوع هزینه‌اند: هرچه مقدارشان کمتر باشد، پایداری بیشتری ایجاد می‌کنند و شاخص‌های اجتماعی، از نوع سود هستند: هرچه مقدارشان بیشتر باشد، پایداری گزینه مورد نظر، بیشتر خواهد بود. از میان سیستم‌های حمل‌ونقل موجود و برنامه‌ریزی شده در شهر رشت، قطار شهری، منوریل، اتوبوس، تاکسی و دوچرخه برای این ارزیابی انتخاب شدند.

انتخاب سیستم پایداری با روش Fuzzy TOPSIS

در این گام، خبرگان میزان اهمیت معیارهای پایداری و وضعیت گزینه‌های موردنظر را براساس معیارهای

محیطی، اقتصادی و اجتماعی با استفاده از متغیرهای زبانی جداول 1 و 2 مشخص کرده‌اند. سپس وزن فازی هر معیار و نرخ فازی هر گزینه با استفاده از فرمول (1) و (2) محاسبه شده که نتایج آن در جداول 4 و 5 ارائه شده است. درگام بعد، ماتریس تصمیم فازی با استفاده از فرمول‌های (5) و (6) نرمال شده است. سپس براساس فرمول (7) ماتریس تصمیم نرمال موزون، محاسبه شده است (جدول 6).

جدول 5- ماتریس تصمیم فازی

معیارها	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	(1, 3, 7)	(1,4/25,9)	(1,3/25,7)	(1,6/25,9)	(1,1,3)
C ₂	(1,1/75,5)	(1,4/5,9)	(1,1/75,9)	(3,6/75,9)	(1,1/5,5)
C ₃	(1,2/5,5)	(1,5/5,9)	(1,2/25,5)	(1,5/25,9)	(1,1/25,5)
C ₄	(1,2,5)	(1,5/5,9)	(1,2/25,5)	(1,6,9)	(1,1,3)
C ₅	(1,1/5,5)	(1,4/5,9)	(1,2/25,9)	(3,6/75,9)	(1,1/25,5)
C ₆	(1,3/25,9)	(1,4,9)	(1,4/5,9)	(1,4/5,9)	(1,2,7)
C ₇	(5,7/75,9)	(1,5/5,9)	(5,8,9)	(1,4/75,9)	(1,4/5,9)
C ₈	(1,5/25,9)	(1,5/75,9)	(1,4/25,9)	(3,6/75,9)	(1,6,9)
C ₉	(1,7/5,9)	(1,5/25,9)	(1,6/5,9)	(1,5/25,9)	(1,3/25,9)
C ₁₀	(1,6/875,9)	(1,5/5,9)	(1,7,9)	(1,5/5,9)	(1,4/25,9)
C ₁₁	(1,7,9)	(1,5/25,9)	(3,7,9)	(1,4/25,9)	(1,5,9)
C ₁₂	(1,6,9)	(1,6/5,9)	(1,5/25,9)	(1,5/5,9)	(1,6/25,9)
C ₁₃	(1,6/5,9)	(1,5/75,9)	(1,5/75,9)	(1,6,9)	(1,5/25,9)
C ₁₄	(1,6/75,9)	(1,5/75,9)	(1,5/25,9)	(1,6,9)	(1,6,9)
C ₁₅	(3,7/75,9)	(1,5/5,9)	(1,6,9)	(1,3/375,9)	(1,3/5,9)
C ₁₆	(1,6/75,9)	(1,6,9)	(1,5,9)	(3,6/5,9)	(1,6/75,9)
C ₁₇	(1,5/5,9)	(1,5/25,9)	(1,4/75,9)	(1,4/75,9)	(1,6,9)
C ₁₈	(1,7/75,9)	(3,7,9)	(1,5/25,9)	(1,5/5,9)	(1,4,9)
C ₁₉	(1,4/5,9)	(1,4/5,9)	(1,4,9)	(1,4/75,9)	(1,3/5,9)
C ₂₀	(1,3/25,9)	(1,4/25,9)	(1,3/5,9)	(1,5/25,9)	(1,2/5,7)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

جدول 4- وزن فازی معیارها

معیارها	وزن
C ₁	(5, 8/25, 9)
C ₂	(5, 7, 9)
C ₃	(5, 7/25, 9)
C ₄	(5, 7/75, 9)
C ₅	(5, 7, 9)
C ₆	(5, 5/7, 9)
C ₇	(5, 8/25, 9)
C ₈	(5, 8, 9)
C ₉	(5, 7/5, 9)
C ₁₀	(5, 7/75, 9)
C ₁₁	(5, 7/5, 9)
C ₁₂	(5, 8/25, 9)
C ₁₃	(3, 6, 9)
C ₁₄	(5, 7, 9)
C ₁₅	(5, 7, 9)
C ₁₆	(5, 8/25, 9)
C ₁₇	(5, 8, 9)
C ₁₈	(5, 7/75, 9)
C ₁₉	(3, 6/25, 9)
C ₂₀	(3, 6/25, 9)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

جدول 6- ماتریس تصمیم نرمال

موزون

معیارها	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	(0/72, 2/75, 9)	(0/56, 1/11, 9)	(0/72, 2/53, 9)	(0/56, 1/32, 9)	(1/67, 8/25, 9)

C ₂	(1.4.9)	(0/56.1/55.9)	(0/56.4.9)	(0/56.1/04.3)	(1.4/66.9)
C ₃	(1.2/9.9)	(0/56.1/32.9)	(1.3/22.9)	(0/55.1/35.9)	(1.5/80.9)
C ₄	(1.3/88.9)	(0/56.1/41.9)	(1.3/44.9)	(0/56.1/29.9)	(1/67.7/75.9)
C ₅	(1.4/67.9)	(0/56.1/55.9)	(0/56.3/11.9)	(0/56.1/04.3)	(1.5/60.9)
C ₆	(0/56.2/30.9)	(0/56.1/88.9)	(0/56.1/67.9)	(0/56.1/67.9)	(0/72.3/75.9)
C ₇	(2/78.7/10.9)	(0/56.5/04.9)	(2/78.7/33.9)	(0/56.4/35.9)	(0/56.4/13.9)
C ₈	(0/56.4/66.9)	(0/56.5/11.9)	(0/56.3/78.9)	(1/67.6.9)	(0/56.5/34.9)
C ₉	(0/56.6/25.9)	(0/56.4/37.9)	(0/56.5/42.9)	(0/56.4/37.9)	(0/56.2/71.9)
C ₁₀	(0/56.5/92.9)	(0/56.4/74.9)	(0/56.6/02.9)	(0/56.4/74.9)	(0/56.3/66.9)
C ₁₁	(0/56.5/83.9)	(0/56.4/37.9)	(1/67.5/83.9)	(0/56.3/54.9)	(0/56.4/16.9)
C ₁₂	(0/56.5/50.9)	(0/56.5/96.9)	(0/56.4/81.9)	(0/56.5/04.9)	(0/56.5/73.9)
C ₁₃	(0/33.4/33.9)	(0/33.3/83.9)	(0/33.3/83.9)	(0/33.4.9)	(0/33.3/50.9)
C ₁₄	(0/56.5/25.9)	(0/56.4/47.9)	(0/56.4/08.9)	(0/56.4/67.9)	(0/56.4/67.9)
C ₁₅	(1/67.6/03.9)	(0/56.4/28.9)	(0/56.4/67.9)	(0/56.2/63.9)	(0/56.2/72.9)
C ₁₆	(0/56.6/19.9)	(0/56.5/50.9)	(0/56.4/58.9)	(1/67.5/96.9)	(0/56.6/19.9)
C ₁₇	(0/56.4/89.9)	(0/56.4/66.9)	(0/56.4/22.9)	(0/56.4/22.9)	(0/56.5/34.9)
C ₁₈	(0/56.6/67.9)	(1/67.6/02.9)	(0/56.4/52.9)	(0/56.4/74.9)	(0/56.3/44.9)
C ₁₉	(0/33.1/39.9)	(0/33.1/39.9)	(0/33.1/56.9)	(0/33.1/31.9)	(0/33.1/78.9)
C ₂₀	(0/33.1/92.9)	(0/33.1/47.9)	(0/33.1/78.9)	(0/33.1/19.9)	(0/43.2/50.9)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

راهحل ایده‌آل مثبت فازی (A^+) و راهحل ایده‌آل منفی فازی (A^-) با استفاده از فرمول‌های (8) و (9) برای پنج گزینه مورد ارزیابی، محاسبه شده است. جدول 7، نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد. فاصله هر گزینه از راهحل ایده‌آل مثبت فازی (d_i^+) و راهحل ایده‌آل منفی فازی (d_i^-) براساس فرمول (10) و (11) محاسبه شد و نتایج آن در جدول 7 ارائه شده است. نهایتاً ضریب نزدیکی هر گزینه با فرمول (12) محاسبه گردید. همان‌طور که در نمودار 1 نشان داده شده است، قطار شهری و دوچرخه، به ترتیب رتبه‌های اول و دوم پایداری را برای شهر رشت کسب نموده‌اند. پس از آنها منوریل، اتوبوس و تاکسی در رده‌های بعدی این ارزیابی قرار می‌گیرند.

تحلیل حساسیت¹

گام نهایی این ارزیابی، تحلیل حساسیت است و هدف آن، مشخص کردن میزان تأثیر وزن هر معیار در فرایند تصمیم‌گیری است. از آنجایی که تعیین وزن هر یک از معیارها براساس نظر خبرگان و در شرایط عدم‌اطمینان صورت می‌گیرد، این تحلیل می‌تواند نتایج باثبات‌تری را فراهم کند. برای این کار 27 حالت مختلف به دست آمد. در 5 حالت اول، وزن همه معیارها به ترتیب (1,1,3)، (1,3,5)، (3,5,7)، (5,7,9) و (7,9,9) انتخاب شد. در هریک از حالت‌های 6 تا 25 یک معیار، بالاترین وزن (7,9,9) و سایر معیارها، کمترین وزن (1,1,3) را دارند. در حالت 26، تمام معیارهای هزینه (معیارهای محیطی و اقتصادی)؛ بیشترین وزن و معیارهای سود (معیارهای اجتماعی)، کمترین وزن را دارند. در آخرین حالت نیز معکوس عمل شد؛ بدین صورت که همه

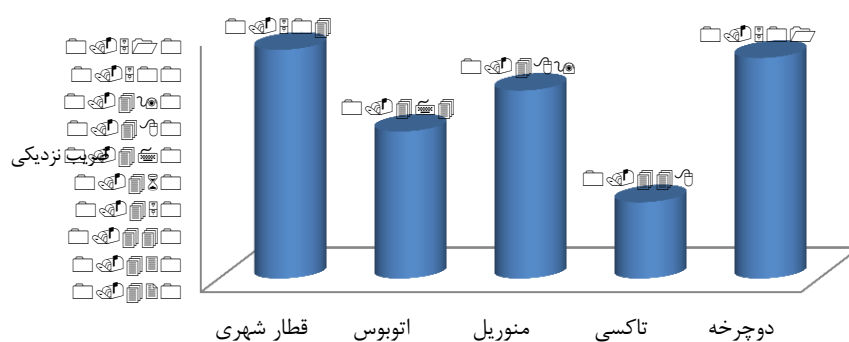
معیارهای سود، بیشترین وزن و همه معیارهای هزینه، کمترین وزن را دارند. نتایج تحلیل حساسیت که در نمودار 2 ارائه شده است بیانگر آن است که قطار شهری در 16 مورد به عنوان پایدارترین سیستم شناخته شده و در سایر موارد، دوچرخه بالاترین امتیاز را کسب کرده است. بنابراین قطار شهری به عنوان بهترین گزینه و پس از آن دوچرخه برای شهر رشت پیشنهاد می‌شود.

جدول 7- راه‌حل‌های ایده‌آل منفی و مثبت و فاصله هر گزینه از آنها

FNIS (A)	FPIS(A ⁺)	d ⁻ (A ₁)	d ⁻ (A ₂)	d ⁻ (A ₃)	d ⁻ (A ₄)	d ⁻ (A ₅)	d ⁺ (A ₁)	d ⁺ (A ₂)	d ⁺ (A ₃)	d ⁺ (A ₄)	d ⁺ (A ₅)
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/04	4/89	5/01	4/90	6/63	5/99	6/67	6/07	6/59	4/26
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/27	4/91	5/27	1/44	5/43	5/45	6/50	5/67	7/54	5/25
/0.55/0.55/55) (0)	(9.9.9)	5/07	4/90	5/12	4/90	5/75	5/81	6/59	5/70	6/57	4/97
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/25	4/90	5/16	4/89	6/44	5/49	6/56	5/62	6/60	4/30
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/43	4/91	5/09	1/44	5/69	5/25	6/50	5/95	7/54	5/02
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	4/98	4/93	4/92	4/92	5/21	6/22	6/38	6/46	6/46	5/66
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	6/30	5/52	6/38	5/34	5/29	3/76	5/38	3/72	5/57	5/63
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/42	5/54	5/22	5/84	5/60	5/48	5/37	5/73	4/58	5/31
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/88	5/35	5/63	5/35	5/03	5/13	5/56	5/30	5/56	6/08
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/78	5/44	5/81	5/44	5/19	5/19	5/46	5/17	5/46	5/77
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/75	5/35	5/78	5/17	5/30	5/21	5/56	4/61	5/81	5/62
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/65	5/79	5/46	5/52	5/72	5/28	5/18	5/44	5/38	5/23
/0.33/0.33/33) (0)	(9.9.9)	5/51	5/40	5/40	5/43	5/33	5/68	5/83	5/83	5/78	5/93
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/58	5/37	5/28	5/42	5/42	5/33	5/53	5/64	5/48	5/48
/0.56/0.56/56) (0)	(9.9.9)	5/85	5/33	5/42	5/02	5/03	4/57	5/59	5/48	6/11	6/08

(0											
/0.56/0.56/56)	(9.9.9)	5/86	5/65	5/40	5/82	5/86	5/14	5/28	5/50	4/58	5/14
(0											
/0.56/0.56/56)	(9.9.9)	5/48	5/42	5/31	5/31	5/60	5/42	5/48	5/60	5/60	5/31
(0											
/0.56/0.56/56)	(9.9.9)	6/02	5/84	5/39	5/44	5/15	5/06	4/57	5/52	5/46	5/84
(0											
/0.33/0.33/33)	(9.9.9)	5/04	5/04	5/05	5/04	5/07	6/66	6/66	6/59	6/69	6/51
(0											
/0.33/0.33/33)	(9.9.9)	5/09	5/05	5/07	5/03	5/16	6/46	6/63	6/51	6/74	6/21
(0											

منبع: (محاسبات نگارندگان)

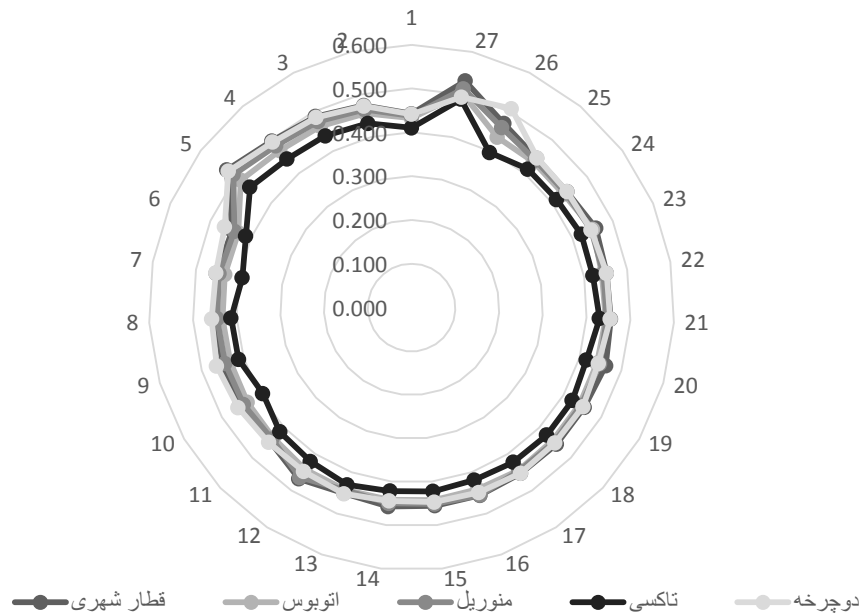


سیستم‌های حمل و نقل شهری

ضریب نزدیکی

نمودار 1- اولویت‌بندی سیستم‌ها

منبع: (محاسبات نگارندگان)



نمودار 2- تحلیل حساسیت

منبع: (محاسبات نگارندگان)

6- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

بروز یا تشدید آثار منفی و زیانبار در حوزه حمل‌ونقل، در سالیان اخیر مورد توجه اکثر کارشناسان و برنامه‌ریزان قرار گرفته است. کلان‌شهر رشت با رشد سالانه $1/9$ درصدی جمعیت، با حجم ترافیکی بسیار شدیدی مواجه می‌باشد. مسائل و مشکلات پیش آمده برای شهروندان ساکن شهرها به ویژه شهرهای بزرگ، جای هیچ شکی را برای ضرورت حمل‌ونقل پایدار، باقی نمی‌گذارد. سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، شرایطی را فراهم می‌کنند تا همه مردم به فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی برابر برای یک زندگی معنادار دسترسی داشته باشند. اما برای برنامه‌ریزی بهتر در این حوزه لازم است ابتدا وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم‌های حمل‌ونقل موجود یا برنامه‌ریزی شده، ارزیابی شود. تاکنون ارزیابی‌های متفاوتی توسط کارشناسان حمل‌ونقل شهری در کشورهای مختلف جهان برای دستیابی به مناسب‌ترین سیستم حمل‌ونقل به عمل آمده است؛ اما مزیت و تفاوت پژوهش صورت گرفته، توانایی اجرای ارزیابی پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل با اطلاعات ناقص و جزئی است. در واقع مسئولان شهرها می‌توانند برای ارزیابی و انتخاب سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، این

رویکرد را به کار گیرند؛ از آنجا که این فرایند تصمیم‌گیری، به تعداد شرکت‌کنندگان درگیر و متخصصان آن حساس است؛ لذا باید آنها را با دقت انتخاب کرد.

این مقاله تلاش نموده تا پایدارترین سیستم حمل‌ونقل شهری را برای شهر رشت براساس معیارهای مورد نظر تصمیم‌گیران آن با یک رویکرد تصمیم‌گیری مناسب، مشخص کند. در این راستا، ابتدا معیارهای پایداری حمل‌ونقل، شناسایی شد. سپس براساس نظر کارشناسان و تصمیم‌گیران حمل‌ونقل، 20 معیار مهم برای شهر رشت، انتخاب و در سه حوزه محیطی، اجتماعی و اقتصادی، طبقه‌بندی شدند. معیارهای محیطی؛ شامل کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌های هوا، کاهش پسماندهای جاده‌ای، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش آلودگی صوتی و استفاده از زمین، معیارهای اجتماعی؛ شامل ایمنی، دسترسی، امنیت، قابلیت اطمینان، تقویت تعاملات اجتماعی، امکان گسترش عدالت، سهولت استفاده، پویایی و سهم سیستم از حمل‌ونقل عمومی، معیارهای اقتصادی نیز شامل کاهش هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های سفر می‌باشد. همچنین پنج سیستم حمل‌ونقل شهری موجود یا برنامه‌ریزی شده، انتخاب شد که عبارتند از: قطار

شهری، اتوبوس، منوریل، تاکسی و دوچرخه. با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS که یکی از روش‌های MCDM در شرایط مبهم و ناکافی بودن اطلاعات است، ابتدا معیارها ارزیابی شدند و سپس براساس آنها بهترین سیستم حمل‌ونقل پایدار برای شهر رشت انتخاب شد. قطار شهری و پس از آن دوچرخه با فاصله بسیار کم به عنوان پایدارترین سیستم‌های حمل‌ونقل شهری برای شهر رشت تعیین شدند. به علاوه برای نشان دادن تأثیر وزن معیارها بر فرایند تصمیم‌گیری، تحلیل حساسیت انجام شد که نتایج این مقاله را تأیید کرد. بدین ترتیب، لزوم توسعه هرچه سریع‌تر قطار شهری به عنوان بهترین سیستم حمل‌ونقل عمومی و همچنین ضرورت پرداختن به دوچرخه به عنوان یک وسیله نقلیه غیرموتوری پاک به ویژه برای مسیرهای کوتاه شهری در ترکیب با حمل‌ونقل عمومی شهری در برنامه‌ریزی شهری رشت، دارای اهمیت بسزایی است. قطار شهری، از جمله سیستم‌های حمل‌ونقل شهری است که مطالعات امکان‌سنجی آن، یکی از اجزای طرح جامع حمل‌ونقل شهری رشت می‌باشد و در حال بررسی در کمیته‌های فنی است. ناوگان قطار شهری با داشتن کیفیت بالا و امکانات رفاهی قابل توجه برای مسافران، به عنوان جاذبه‌ای برای پاسخ به تقاضای سفرهای شهری عمل می‌کند که البته همانند دیگر سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی، نسبتاً پرهزینه است. قطار شهری در هر ساعت، قابلیت حمل‌ونقل هزاران نفر را دارد و مسیرهای مناسب برای احداث آن در رشت از فرودگاه بین‌المللی رشت تا میدان شهرداری، از محل احداث مسکن مهر در جاده تهران-رشت تا میدان شهرداری و از دخیات تا آج‌بیشه می‌باشد که زمان احداث آن را پنج سال پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین در زمینه گسترش دوچرخه‌سواری، اقداماتی در سطح شهر رشت انجام شده؛ به طوری که در حد فاصل میدان مصلی تا میدان گیل، مسیرهای مناسب دوچرخه‌سواری فراهم گردیده است؛ اما با توجه به نتایج این بررسی و جایگاه دوچرخه در پایداری حمل‌ونقل شهری و نیز تمام منافعی که به عنوان یکی از وسایل حمل‌ونقل

برای جامعه شهری به همراه دارد، نیاز به توسعه هرچه بیشتر مسیرهای دوچرخه‌سواری و تسهیلات مورد نیاز آن، در برنامه‌ریزی امروز شهر رشت کاملاً محسوس می‌باشد. بنابراین پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌گردد:

■ ایجاد محیط مناسبی برای دوچرخه‌سواران و سایر وسایل غیرموتوری

■ فراهم نمودن سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی کم هزینه و گسترده

■ افزایش ایمنی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی در برابر سوانح

■ افزایش دسترسی مناطق مسکونی و تجاری به سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی

■ توجه بیشتر سازمان حمل‌ونقل عمومی به خواسته‌ها، نیازها و ترجیحات طیف متفاوتی از مسافران برای ارتقای سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی.

7- منابع

استادی جعفری، مهدی؛ رصافی، امیرعباس. (1392). ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، *دو فصلنامه مدیریت شهری*، 11(31)، 281-294

رصافی، امیرعباس؛ زرابادی‌پور، شیما. (1388). بررسی توسعه پایدار حمل‌ونقل در ایران با استفاده از تحلیل چندهدفی، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، 11(2)، 32-46.

زندآتشباری، امیرحسین؛ خاکساری، علی. (1391). حمل‌ونقل پایدار و سیاست‌هایی برای رسیدن به آن با معرفی استراتژی ASI، *یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک / ایران*، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک، اسفند، تهران، ایران.

ساعتی، صابر؛ حاتمی‌ماربینی، عادل؛ ماکوئی، احمد. (1386). تصمیم‌گیری گروهی به کمک TOPSIS فازی، *مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان*، 4(13)، 21-34.

مختاری ملک‌آبادی، رضا. (1390). تحلیلی جغرافیایی بر نقش دوچرخه در سیستم حمل‌ونقل پایدار شهر

Zhou, J. (2012). Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000. *Frontiers of Architectural Research*, 1(2), 150-165.

Zuidegeest, M. H. P. (2005). *Sustainable urban transport development: A dynamic optimisation approach*. PhD Thesis, University of Twente, Den Helder, 290.

اصفهان، فصلنامه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، 3(9)، 101-122.

Awasthi, A., Chauhan, S. S. (2011). Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. *Environmental Modelling & Software*, 26(6), 787-796.

Awasthi, A., Chauhan, S. S., Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in Evaluating Sustainable Transportation Systems. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12270-12280.

Beltran, S. G., Coakley, T., Duffy, N., Finta, D., Kern, H., Iancu, M. (2010). Sustainable transport & mobility. In K. Barzev (Ed.), *transport handbook*, 1(1), 290.

Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision-making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9.

Haghshenas, H., Vaziri, M. (2012). Urban Sustainable transportation indicators for global comparison, *Ecological Indicators*, 15(1), 115-121.

Hidalgo, D., Huizenga, C. (2013). Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 66-77.

Jeon, C. M., Amekudzi, A. A., Guensler, R. L. (2013). Sustainability assessment at the transportation planning level: Performance measures and indexes. *Transport Policy*, vol.25, 10-21.

Jonsson, R. D. (2008). Analysing sustainability in a land-use and transport system. *Journal of Transport Geography*, 16(1), 28-41.

Richardson, B. C. (2005). Sustainable transport: analysis frameworks. *Journal of Transport Geography*, 13(1), 29-39.

Zheng, J., Garrick, N. W., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., Marshall, W. (2013). Guidelines on developing performance metrics for evaluating transportation sustainability. *Research in Transportation Business & Management*, vol.7, 4-13.