تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱
تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۸
صفحات: ۳۰-۱۷

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

رضا اسماعیل‌پوراشکاء[۱]
محمدرحیم رمضانیان[۲]
ساره نبی‌زاده*[۳]

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 ۱/۹ 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

۱- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲ - دانشیار گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳* - کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، مسئول مکاتبات:
nabizadeh.sareh@ymail.com

۱- مقدمه

داکمن[1] و ساکاموتو[2] (۲۰۱۱) حمل‌ونقل شهری را فصل مشترک توسعـه انسانی و محیط می‌دانند که به حرکت رو به جلو در یک مسیر متوازن نیاز دارد اما وضعیت فعلی، این‌گونه نیست. الگوی فعلی، به ناکارآمدی در جابه‌جایی مسافر و بار، هزینه‌های لجستیک بالا، ازدحام، آلودگی هوا، تلفات و جراحات حوادث جاده‌ای، مصرف بالای انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منتج می‌شود و این اثرات منفی، عموماً در آسیب‌پذیرترین گروه‌های جمعیتی؛ یعنی کودکان، افراد سالخورده، جمعیت ناتوان و کم‌درآمد، تشدید می‌شود (Hidalgo & Huizenga, 2013). شاید یکی از دلایل این ناکارآمدی، تغییر روش جابه‌جایی مردم در سال‌های اخیر باشد. در گذشته، افراد به وسیله دوچرخه، پیاده‌روی، تراموا و اتوبوس جابه‌جا می‌شدند؛ 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 مسافت‌های 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 حمل‌ونقل و انتشار آلودگی‌ها در نواحی شهری می‌شود (Beltran et al., 2010).

بروز یا تشدید چنین آثار زیانباری در حـوزه حمل‌ونقل، در سالیان اخیر مورد توجه اکثر کارشناسان و برنامه‌ریزان قرار گرفته است (استادی‌جعفری و رصافی،۱۳۹۲).

کاندیراکسی[3] (۲۰۰۹) بر این باور است که مشکلات حمل‌ونقل در کشورهای در حال توسعه که تحت الگوی فعلی حمل‌ونقل و فشارهای برخاسته از رشد اقتصادی سریع هستند، بهبود نخواهند یافت. در نتیجه، پیش‌بینی می‌شود که شلوغی، آلودگی، تأثیرات منفی بر سلامت، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش یابد. سازمان بهداشت جهـانی[4] (۲۰۰۴) پیش‌بینی کرد که تصادفات جاده‌ای با بیش از دو میلیون مرگ‌ومیر در سال، پنجمین علت مرگ‌ومیر در سال ۲۰۳۰ خواهد بود. آژانس بین‌المللی انرژی[5] (۲۰۱۰) نیز پیش‌بینی کرد که مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل، تحت شرایطی که رایج است، تا ۵۰ درصد در سال ۲۰۳۰ و تا ۸۰ درصد در سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت (Hidalgo & Huizenga, 2013). بانک جهانی[6] (۱۹۹۶) در نشریه خود بیان می‌کند که سه معضل، پیش‌روی بخش حمل‌ونقل در کشورهای مختلف وجود دارد: افزایش پاسخ‌دهی به نیازهای مشتری، مطابقت با الگوهای تجارت جهانی و کنار آمدن با موتوری شدن سریع (Zhou, 2012).

شهر رشت که مرکز استان گیلان می‌باشد، چند سالی است که به عنوان کلان‌شهر، معرفی شده است. به گفته مدیران شهری، جمعیت شهر رشت بیش از هفتصدهزار نفر است که با مهاجرت‌های روزانه از اطراف شهر، این عدد به یک میلیون و دویست هزار نفر می‌رسد و با داشتن رشد سالانه ۱/۹ درصدی جمعیت، این شهر یکی از مهم‌ترین شهرهای شمالی کشور به شمار می‌رود. 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 می‌کنند. قدمت و پیچیدگی معابر شهری، کم عرض بودن معابر، کمبود سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی، افزایش خودروهای شخصی در سطح شهر، کثرت آثار تاریخی و فرهنگی در مرکز شهر و توسعه روزافزون شهر، بر شدت ترافیک آن می‌افزاید.

برای غلبه بر این بحران باید سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به سمت سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی با کارایی بالا حرکت کنند. در این راه، شهرداری‌ها در سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، سرمایه‌گذاری می‌کنند که نه تنها کارآمد، توانمند و اقتصادی بلکه موافق و مقارن با محیط‌زیست نیز هستند (Awasthi et al., 2011). سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، شرایطی را فراهم می‌کنند

1 - Dalkmann
2 - Sakamoto
3 - Candiracci
4 - World Health Organization (WHO)
5 - International Energy Agency (IEA)
6 - World Bank

تا همه مردم به فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی برابر برای یک زندگی معنادار دسترسی 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 (زندی‌آتشباری و خاکساری، ۱۳۹۱). 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.

۲- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه حمل‌ونقل پایدار و ارزیابی ابعاد و سیستم‌های آن، صورت گرفته است. زویدگست[1] در پژوهشی تحت عنوان «توسعه حمل‌ونقل 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).

ریچاردسون[2] 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 حمل‌نقل پایدار را مشخص کرده است (Richardson, 2005).

جانسون[3] 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 چوهان[4] در مقاله‌ای با عنوان «استفاده از نظریه دمستر- شافر[5] و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP[6] 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).

جیون[7] 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).

1 - Zuidgeest

2 - Richardson
3 - Jonsson
4 - Awasthi and Chauhan
5 - Dempster-Shafer-Theory
6 - Analytical Hieraechy Process
7 - Jeon

هیلداگو و هویزنگا[1] در پژوهشی تحت عنوان «اجرای حمل‌ونقل پایدار در آمریکای لاتین» برای توسعه برخی از سیستم‌های حمل‌ونقل و جلوگیری از اثرات منفی رشد بی‌رویه موتوری شدن حمل‌ونقل شهرها، اصول سه‌گانه اجتناب-تغییر-بهبود را پیشنهاد کرده‌اند (Hidalgo & Huizenga, 2013).

۳- مبانی نظری تحقیق

حمل‌ونقل پایدار

نظریات بسیاری درباره چگونگی تعریف و اندازه‌گیری پایداری ارائه شده است. انجمن جهانی سازمان ملل متحد در زمینه محیط و توسعه[2] (۱۹۸۷) 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 (رصافی و زرآبادی پور، ۱۳۸۸).

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. لاو[3] (۲۰۰۳) 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،۱۳۹۱).

با تعدیل تعریف کمیسیون براتلند[5] از پایداری، می‌توانیم حمل‌ونقل پایدار را به عنوان توانایی رفع نیازهای حمل‌ونقل امروز بدون از بین بردن توانایی نسل‌های آینده در رفع نیازهای حمل‌ونقلی‌شان تعریف کنیم (Richardson, 2005). بانک جهانی (۱۹۹۶) حمل‌ونقل 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 حمل‌ونقل همچون مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، هنگام تصمیم‌گیری به طور کامل مورد توجه قرار گیرند.

-پایداری اجتماعی: منافع حمل‌ونقل در دسترس همه اقشار جامعه قرار گیرد.

سازمان حمل‌ونقل کانادا[6](۱۹۹۷) در تعریف حمل‌ونقل پایدار، از تعریف توسعه پایدار استفاده کرد؛ یعنی سیستم و فعالیت حمل‌ونقل به طورکلی باید دارای سه بعد اقتصادی، محیطی و اجتماعی باشد. همچنین مرکز حمل‌ونقل پایدار[7] تعریفی از حمل‌ونقل پایدار ارائه داده است؛ یک سیستم حمل‌ونقل پایدار، سیستمی است که (Haghshenas & Vaziri, 2012):

1 - Hidalgo and Huizenga
2 - United Nations Forum on Environment and Develpment
3 - Low
4 - Stability-Instability Paradox
5 - Brundtland Commission's
6 - Transport Canada
7 - Center for Sustainable Transportation (CST)

- 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 حمل‌ونقل[1] (۲۰۰۵)، 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،۱۳۹۲).

سیستم‌های مورد ارزیابی

والتر هوک[2] (۲۰۱۰) 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 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 پایدارسازی (زندی آتشباری و خاکساری، ۱۳۹۱).

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، دی‌اکسیدکربن 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 ۳۰ درصد، دانمارک۲۰ درصد، آلمان ۱۲ درصد و سوئد ۱۰ 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، ۱۳۹۰). استفاده از دوچرخه علاوه‌بر 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.

1 - Transport Research Board
2 - Walter Hook
3 - Institute for Transportation and Development Policy

۴- 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 حمل‌ونقل شهری که با توسعه شهری و رفاه و آسایش جامعه، سازگار می‌باشد را مشخص می‌کند. بخشی از تحقیق جهت مطالعه مبانی نظری و سوابق مسئله، در قالب مطالعات کتابخانه‌ای انجام گرفت. همچنین برای گردآوری اطلاعات برحسب نیاز، از مطالعات میدانی؛ همچون مصاحبه و پرسشنامه استفاده شد.

همچنین این پژوهش، نیازمند نظرات تخصصی صاحب‌نظران و خبرگان بوده است. برخی از ویژگی‌های 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 صاحب‌نظران دانشگاهی شهر رشت در رشته‌های مدیریت، عمران و حمل‌ونقل، شهرسازی، اقتصاد و محیط‌زیست و همچنین برخی از کارشناسان و صاحب‌نظران شهرداری و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر رشت، انتخاب شدند. سپس با استفاده از نظرات آنها و براساس رویکـرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1]، مهم‌ترین معیارهای پایداری، شناسایی، ارزش‌گذاری و نهایتاً پایدارترین سیستم حمل‌ونقل شهری برای شهر مورد مطالعه، انتخاب شد.

مسائل تصمیم‌گیری، فرایند یافتن بهترین گزینه از میان تمام راهکارهای عملی است. تقریباً در چنین مسائلی، تعدد معیارها برای قضاوت در مورد راهکارها فراگیر است. به‌عبارت دیگر، برای بسیاری از چنین مسائلی، تصمیم‌گیرنده می‌خواهد یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) را حل کند. یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره به طور خلاصه در قالب ماتریس زیر بیان می‌شود:

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

$W = [w_1 w_2 \cdots w_n]$

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

A_1 , A_2 ,..., A_m گزینه‌های امکان‌پذیری هستند که تصمیم‌گیران باید از میان آنها انتخاب کنند، C_n, C_{n-1}, ..., C_1 معیارهایی هستند که با آنها عملکرد گزینه‌ها سنجیده می‌شود، X، نرخ ارزیابی A_i براساس معیار C_j است و W_j وزن معیار C_j می‌باشد (Chen, 2000).

مسائل MCDM به دو نوع تقسیم می‌شوند. یکی از آنها مسائل MCDM کلاسیک است که در آنها نرخ‌ها و وزن معیارها به صورت قطعی اندازه‌گیری می‌شود. تکنیک TOPSIS[2] یکی از تکنیک‌های معروف برای MCDM کلاسیک می‌باشد. منطق اصولی TOPSIS تعریف راه‌حل ایده‌آل و ضدایده‌آل است. راه‌حل ایده‌آل، معیارهای سود را حداکثر و معیارهای هزینه را حداقل می‌کند و شامل تمام بهترین مقادیر معیارهای در دسترس می‌باشد، در حالی که راه‌حل ضدایده‌آل، ترکیبی از بدترین مقادیر معیارهای در دسترس است. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کوتاه‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و بیشترین فاصله را از راه‌حل ضدایده‌آل دارد (ساعتی و همکاران، ۱۳۸۶).

نوع دوم، مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (FMCDM)[3] هستند که در آنها نرخ‌ها و اوزان به صورت غیرقطعی، گنگ و مبهم، ارزیابی شده‌اند و معمولاً به صورت مقیاس‌های گفتاری و به تبع آن، اعداد فازی، بیان می‌گردند. تحت شرایط متعددی، داده‌های قطعی برای مدل‌سازی وضعیت‌های واقعی، ناکافی هستند؛ زیرا قضاوت‌های انسانی شامل ترجیحاتی هستند که اغلب مبهم‌اند و نمی‌توانند اولویت‌شان را با یک ارزش عددی دقیق، تخمین بزنند.

1 - Mulplie Criteria Decision Making

2 - Technique of Order of Prefarence by Similarity of Ideal Solution

3 - Fuzzy Multi-Criteria Decision Making

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 ۱ و ۲ 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 $D_k(k=1, 2, ..., k)$ 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.

جدول۱- مقیاس‌های زبان‌شناسی وزن اهمیت معیارها

بسیارکم (VL)	(۱،۱،۳)
کم (L)	(۵،۳،۱)
متوسط (M)	(۷،۵،۳)
زیاد (H)	(۹،۷،۵)
بسیار زیاد (VH)	(۹،۹،۷)

منبع: (یافته‌های نگارندگان)

جدول۲- مقیاس‌های زبان‌شناسی نرخ معیارها در گزینه‌ها

بسیار ضعیف (VP)	(۱،۱،۳)
ضعیف (P)	(۵،۳،۱)
متوسط (F)	(۷،۵،۳)
خوب (G)	(۹،۷،۵)
بسیار خوب (VG)	(۹،۹،۷)

منبع: (یافته‌های نگارندگان)

مرحله دوم: محاسبه نرخ فازی مجموع برای معیارها و گزینه‌ها

اگر نرخ و وزن اهمیت فازی kامین تصمیم‌گیرنده به ترتیب $\tilde{X}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ و $\tilde{W}_{ijk} = (w_{1jk}, w_{2jk}, w_{3jk})$ باشند که در آنها i = 1, 2, ..., m و j=1, 2, ..., n باشد؛ آنگاه وزن اهمیت و نرخ فازی مجموع برای هر معیار به این صورت محاسبه می‌شود:

$\tilde{W}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$, $w_{j1} = \min_k (w_{jk1})$

$w_{j2} = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{k} w_{jk2}$, $w_{j3} = \max_k (w_{jk3})$ (۱)

$\tilde{X}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, $a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}$, $b_{ij} = \frac{1}{k}\sum_{k=1}^{k} b_{ijk}$, $c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\}$ (۲)

مرحله سوم: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

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

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$W = [w_1 w_2 \cdots w_n] \quad (۴)$$

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:

$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m\times n}$,

$\tilde{r}_{ij} = (\frac{a_{ij}}{c_{j+}}, \frac{b_{ij}}{c_{j+}}, \frac{c_{ij}}{c_{j+}})$, $c_{j+} = \max_i c_{ij}$ (معیارهای سود) (۵)

$\tilde{r}_{ij} = (\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}})$, $a_j^- = \min_i a_{ij}$ (معیارهای هزینه) (۶)

مرحله پنجم: محاسبه ماتریس نرمال موزون

ماتریس نرمال موزون به این صورت به دست می‌آید:

$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m\times n}$, i=1,2,...,m , j=1,2,...,n

$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(.)\,\tilde{w}_j$ (۷)

مرحله ششم: محاسبه راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی (FPIS)[1] و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی (FNIS)[2]

$A^+ = (\tilde{v}^+_1, \tilde{v}^+_2, \ldots, \tilde{v}^+_n)$, $\tilde{v}^+_j = max_i (v_{ij3})$

i = 1,2,...,m , j = 1,2,...,n (۸)

$A^- = (\tilde{v}^-_1, \tilde{v}^-_2, \ldots \tilde{v}^-_n)$, $\tilde{v}^-_j = \min_i (v_{ij1})$

i = 1,2,...,m , j = 1,2,...,n (۹)

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,...,m (۱۰)

$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij} , \tilde{v}_j^-)$, i=1,2,...,m (۱۱)

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

مرحله هشتم: محاسبه ضریب نزدیکی (CC_i) هر گزینه

ضریب نزدیکی، فاصله راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی (A^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی (A^-) را به طور همزمان نشان می‌دهد. ضریب نزدیکی هر گزینه به این صورت محاسبه می‌شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} , i = 1,2,...,m \quad (۱۲)$$

مرحله نهم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در نهایت گزینه‌های مختلف، مطابق نزدیکی (CC_i) به صورت کاهشی، رتبه‌بندی می‌شوند. بهترین گزینه، نزدیکترین به FPIS و دورترین از FNIS می‌باشد.

۵- یافته‌های تحقیق

انتخاب معیارهای پایداری و سیستم‌های حمل‌ونقل

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 جمع‌آوری شدند. در نهایت ۲۰ معیار به عنوان مهمترین معیارهای پایداری برای شهر رشت با استفاده از تکنیک دلفی[1] تعیین شد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- معیارهای پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل

قلمرو	معیارها
محیطی	۱- مصرف بهینه انرژی سیستم حمل‌ونقل ۲- کاهش انتشار آلاینده‌های هوا؛ مانند CO ,CO_2 ,VO ,NO_X از سیستم حمل‌ونقل ۳- کاهش پسماندهای جاده‌ای؛ مانند میزان فرسودگی‌ها و تایرهای به کار رفته در سیستم حمل‌ونقل ۴- کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی؛ مانند بنزین و گازوئیل در سیستم حمل‌ونقل ۵- کاهش آلودگی صوتی ایجاد شده از سیستم حمل‌ونقل ۶- کاهش استفاده از زمین برای احداث و توسعه زیرساخت‌های سیستم حمل‌ونقل
اجتماعی	۷- ایمنی سیستم حمل‌ونقل در برابر سوانح ۸- دسترسی مناطق مسکونی و تجاری به سیستم حمل‌ونقل ۹- امنیت سیستم حمل‌ونقل در برابر سرقت و خرابکاری ۱۰- قابلیت اطمینان (انجام دقیق تعهدات) سیستم حمل‌ونقل ۱۱- تقویت تعاملات اجتماعی کاربران در سیستم حمل‌ونقل ۱۲- امکان گسترش سرویس سیستم حمل‌ونقل در صورت نیاز ۱۳- عدالت سیستم حمل‌ونقل بین جنسیت، گروه‌های سنی و افراد معلول ۱۴- محسوسات؛ همچون امکانات فیزیکی، تجهیزات و ظاهر پرسنل سیستم حمل‌ونقل ۱۵- نرخ تصرف (میزان ظرفیت به کار گرفته شده) در سیستم حمل‌ونقل ۱۶- سهولت استفاده از سرویس‌های سیستم حمل‌ونقل ۱۷- پویایی سیستم حمل‌ونقل (توانایی خدمت در سراسر حوزه حمل‌ونقل) ۱۸- افزایش سهم سیستم از حمل‌ونقل عمومی
اقتصادی	۱۹- کاهش هزینه‌های عملیاتی اجرای سیستم حمل‌ونقل؛ شامل هزینه‌های راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری ۲۰- کاهش هزینه‌های سفر بین ایستگاه‌های معین برای سیستم حمل‌ونقل؛ مانند هزینه سوخت و کرایه

منبع: (یافته‌های نگارندگان)

1 - Delphi Technique

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 پایدارتر 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 ۱ و ۲ مشخص کرده‌اند. سپس وزن فازی هر معیار و نرخ فازی هر گزینه با استفاده از فرمول (۱) و (۲) محاسبه شده که نتایج آن در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. درگام بعد، ماتریس تصمیم فازی با استفاده از فرمول‌های (۵) و (۶) نرمال شده است. سپس براساس فرمول (۷) ماتریس تصمیم نرمال موزون، محاسبه شده است (جدول۶).

جدول۴- وزن فازی معیارها

معیارها	وزن
C_1	(۵, ۸/۲۵, ۹)
C_2	(۵, ۷, ۹)
C_3	(۵, ۷/۲۵, ۹)
C_4	(۵, ۷/۷۵, ۹)
C_5	(۵, ۷, ۹)
C_6	(۵, ۵/۷, ۹)
C_7	(۵, ۸/۲۵, ۹)
C_8	(۵, ۸, ۹)
C_9	(۵, ۷/۵, ۹)
C_{10}	(۵, ۷/۷۵, ۹)
C_{11}	(۵, ۷/۵, ۹)
C_{12}	(۵, ۸/۲۵, ۹)
C_{13}	(۳, ۶, ۹)
C_{14}	(۵, ۷,۹)
C_{15}	(۵, ۷, ۹)
C_{16}	(۵, ۸/۲۵, ۹)
C_{17}	(۵, ۸, ۹)
C_{18}	(۵, ۷/۷۵, ۹)
C_{19}	(۳, ۶/۲۵, ۹)
C_{20}	(۳, ۶/۲۵, ۹)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

جدول ۵- ماتریس تصمیم فازی

معیارها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_1	(۱, ۳, ۷)	(۱,۴/۲۵,۹)	(۱,۳/۲۵,۷)	(۱,۶/۲۵,۹)	(۱,۱,۳)
C_2	(۱,۱/۷۵,۵)	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۱/۷۵,۹)	(۳,۶/۷۵,۹)	(۱,۱/۵,۵)
C_3	(۱,۲/۵,۵)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۲/۲۵,۵)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۱/۲۵,۵)
C_4	(۱,۲,۵)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۲/۲۵,۵)	(۱,۶,۹)	(۱,۱,۳)
C_5	(۱,۱/۵,۵)	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۲/۲۵,۹)	(۳,۶/۷۵,۹)	(۱,۱/۲۵,۵)
C_6	(۱,۳/۲۵,۹)	(۱,۴,۹)	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۲,۷)
C_7	(۵,۷/۷۵,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۵,۸,۹)	(۱,۴/۷۵,۹)	(۱,۴/۵,۹)
C_8	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۵/۷۵,۹)	(۱,۴/۲۵,۹)	(۳,۶/۷۵,۹)	(۱,۶,۹)
C_9	(۱,۷/۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۶/۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۳/۲۵,۹)
C_{10}	(۱,۶/۸۷۵,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۷,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۴/۲۵,۹)
C_{11}	(۱,۷,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۳,۷,۹)	(۱,۴/۲۵,۹)	(۱,۵,۹)
C_{12}	(۱,۶,۹)	(۱,۶/۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۶/۲۵,۹)
C_{13}	(۱,۶/۵,۹)	(۱,۵/۷۵,۹)	(۱,۵/۷۵,۹)	(۱,۶,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)
C_{14}	(۱,۶/۷۵,۹)	(۱,۵/۷۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۶,۹)	(۱,۶,۹)
C_{15}	(۳,۷/۷۵,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۶,۹)	(۱,۳/۳۷۵,۹)	(۱,۳/۵,۹)
C_{16}	(۱,۶/۷۵,۹)	(۱,۶,۹)	(۱,۵,۹)	(۳,۶/۵,۹)	(۱,۶/۷۵,۹)
C_{17}	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۴/۷۵,۹)	(۱,۴/۷۵,۹)	(۱,۶,۹)
C_{18}	(۱,۷/۷۵,۹)	(۳,۷,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۵/۵,۹)	(۱,۴,۹)
C_{19}	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۴/۵,۹)	(۱,۴,۹)	(۱,۴/۷۵,۹)	(۱,۳/۵,۹)
C_{20}	(۱,۳/۲۵,۹)	(۱,۴/۲۵,۹)	(۱,۳/۵,۹)	(۱,۵/۲۵,۹)	(۱,۲/۵,۷)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

جدول ۶- ماتریس تصمیم نرمال موزون

معیارها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_1	(۰/۷۲ ،۲/۷۵ ،۹)	(۰/ ۵۶ ،۱/۱۱ ،۹)	(۰/۷۲ ،۲/۵۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۳۲ ،۹)	(۱/۶۷ ،۸/۲۵ ،۹)
C_2	(۱ ،۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۵۵ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۰۴ ،۳)	(۱ ،۴/۶۶ ،۹)
C_3	(۱ ،۲/۹ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۳۲ ،۹)	(۱ ،۳/۲۲ ،۹)	(۰/۵۵ ،۱/۳۵ ،۹)	(۱ ،۵ /۸۰ ،۹)
C_4	(۱ ،۳/۸۸ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۴۱ ،۹)	(۱ ،۳/۴۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۲۹ ،۹)	(۱/۶۷ ،۷ /۷۵ ،۹)
C_5	(۱ ،۴/۶۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۵۵ ،۹)	(۰/۵۶ ،۳/۱۱ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۰۴ ،۳)	(۱ ،۵ /۶۰ ،۹)
C_6	(۰/۵۶ ،۲/۳۰ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۸۸ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۶۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۱/۶۷ ،۹)	(۰ /۷۲ ،۳ /۷۵ ،۹)
C_7	(۲/۷۸ ،۷/۱۰ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۰۴ ،۹)	(۲/۷۸ ،۷/۳۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۳۵ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۱۳ ،۹)
C_8	(۰/۵۶ ،۴/۶۶ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۱۱ ،۹)	(۰/۵۶ ،۳/۷۸ ،۹)	(۱/۶۷ ،۶ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۳۴ ،۹)
C_9	(۰/۵۶ ،۶/۲۵,۹)	(۰/۵۶ ،۴/۳۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۴۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۳۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۲/۷۱ ،۹)
C_{10}	(۰/۵۶ ،۵/۹۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۷۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۶/۰۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۷۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۳/۶۶ ،۹)
C_{11}	(۰/۵۶ ،۵/۸۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۳۷ ،۹)	(۱/۶۷ ،۵/۸۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۳/۵۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۱۶ ،۹)
C_{12}	(۰/۵۶ ،۵/۵۰ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۹۶ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۸۱ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۰۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۷۳ ،۹)
C_{13}	(۰/۳۳ ،۴/۳۳ ،۹)	(۰/۳۳ ،۳/۸۳ ،۹)	(۰/۳۳ ،۳/۸۳ ،۹)	(۰/۳۳ ،۴ ،۹)	(۰/۳۳ ،۳/۵۰ ،۹)
C_{14}	(۰/۵۶ ،۵/۲۵ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۴۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۰۸ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۶۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۶۷ ،۹)
C_{15}	(۱/۶۷ ،۶/۰۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۲۸ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۶۷ ،۹)	(۰/۵۶ ،۲/۶۳ ،۹)	(۰/۵۶ ،۲/۷۲ ،۹)
C_{16}	(۰/۵۶ ،۶/۱۹ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۵۰ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۵۸ ،۹)	(۱/۶۷ ،۵/۹۶ ،۹)	(۰/۵۶ ،۶/۱۹ ،۹)
C_{17}	(۰/۵۶ ،۴/۸۹ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۶۶ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۲۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۲۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۵/۳۴ ،۹)
C_{18}	(۰/۵۶ ،۶/۶۷ ،۹)	(۱/۶۷ ،۶/۰۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۵۲ ،۹)	(۰/۵۶ ،۴/۷۴ ،۹)	(۰/۵۶ ،۳/۴۴ ،۹)
C_{19}	(۰/۳۳ ،۱/۳۹ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۳۹ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۵۶ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۳۱ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۷۸ ،۹)
C_{20}	(۰/۳۳ ،۱/۹۲ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۴۷ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۷۸ ،۹)	(۰/۳۳ ،۱/۱۹ ،۹)	(۰/۴۳ ،۲/۵۰ ،۹)

منبع: (محاسبات نگارندگان)

راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی (A^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی (A^-) با استفاده از فرمول‌های (۸) و (۹) برای پنج گزینه مورد ارزیابی، محاسبه شده است. جدول ۷، 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 (۱۰) و (۱۱) محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است. نهایتاً ضریب نزدیکی هر گزینه با فرمول (۱۲) محاسبه گردید. همان‌طور که در نمودار ۱ 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 حساسیت[1]

گام نهایی این ارزیابی، تحلیل حساسیت است و هدف آن، مشخص کردن میزان تأثیر وزن هر معیار در فرایند تصمیم‌گیری است. از آنجایی‌که تعیین وزن هر یک از معیارها براساس نظـر خبرگان و در شرایط

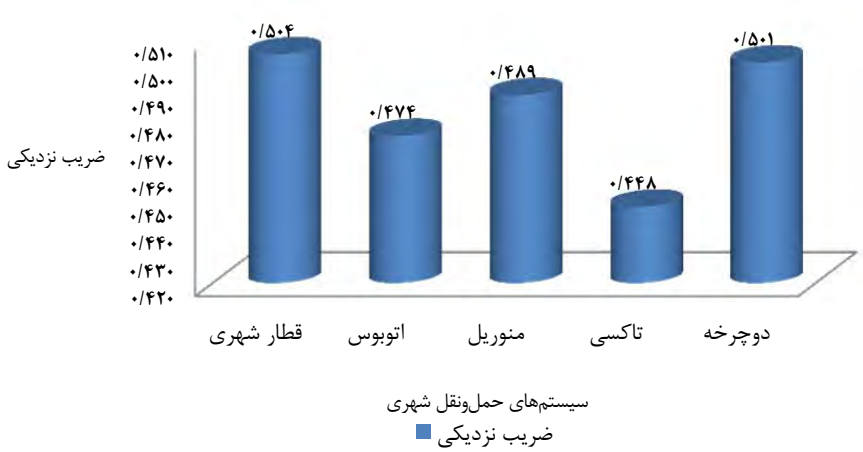
1 - Sesivity Analaysis

عدم‌اطمینان صورت می‌گیرد، این تحلیل می‌تواند نتایج باثبات‌تری را فراهم کند. برای این کار ۲۷ حالت مختلف به دست آمد. در ۵ حالت اول، وزن همه معیارها به ترتیب (۱،۱،۳)، (۱،۳،۵)، (۳،۵،۷)، (۵،۷،۹) و (۷،۹،۹) انتخاب شد. در هریک از حالت‌های ۶ تا ۲۵ یک معیار، بالاترین وزن (۷،۹،۹) و سایر معیارها، کمترین وزن (۱،۱،۳) را دارند. در حالت ۲۶، 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 ۲ ارائه شده است بیانگر آن است که قطار شهری در ۱۶ 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 ۷- راه‌حل‌های ایده‌آل منفی و مثبت و فاصله هر گزینه از آنها

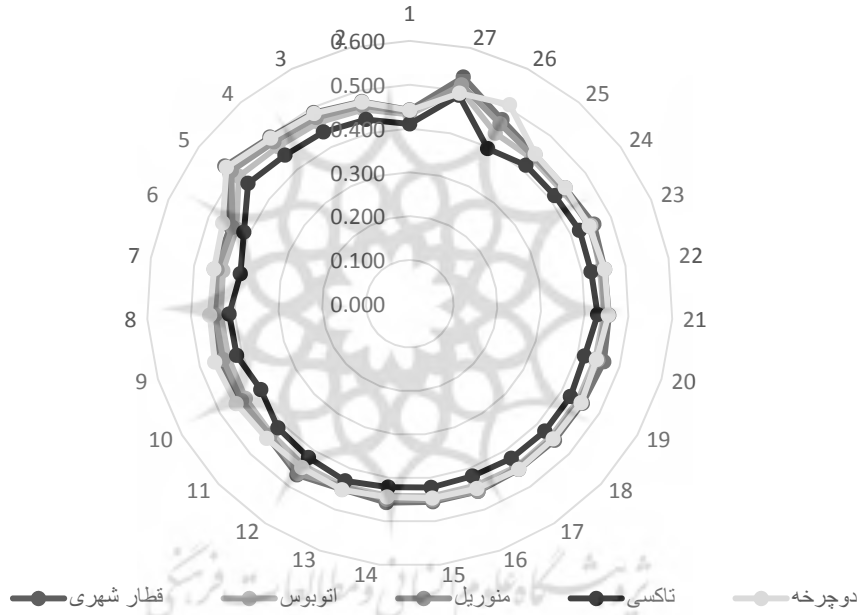
d^+ (A_0)	d^+ (A_4)	d^+ (A_3)	d^+ (A_2)	d^+ (A_1)	d^- (A_0)	d^- (A_4)	d^- (A_3)	d^- (A_2)	d^- (A_1)	FPIS(A^+)	FNIS (A^-)
۴/۲۶	۶/۵۹	۶/۰۷	۶/۶۷	۵/۹۹	۶/۶۳	۴/۹۰	۵/۰۱	۴/۸۹	۵/۰۴	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۲۵	۷/۵۴	۵/۶۷	۶/۵۰	۵/۴۵	۵/۴۳	۱/۴۴	۵/۲۷	۴/۹۱	۵/۲۷	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۴/۹۷	۶/۵۷	۵/۷۰	۶/۵۹	۵/۸۱	۵/۷۵	۴/۹۰	۵/۱۲	۴/۹۰	۵/۰۷	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۵/۰،۵۵/۵۵)
۴/۳۰	۶/۶۰	۵/۶۲	۶/۵۶	۵/۴۹	۶/۴۴	۴/۸۹	۵/۱۶	۴/۹۰	۵/۲۵	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۰۲	۷/۵۴	۵/۹۵	۶/۵۰	۵/۲۵	۵/۶۹	۱/۴۴	۵/۰۹	۴/۹۱	۵/۴۳	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۶۶	۶/۴۶	۶/۴۶	۶/۳۸	۶/۲۲	۵/۲۱	۴/۹۲	۴/۹۲	۴/۹۳	۴/۹۸	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۶۳	۵/۵۷	۳/۷۲	۵/۳۸	۳/۷۶	۵/۲۹	۵/۳۴	۶/۳۸	۵/۵۲	۶/۳۰	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۳۱	۴/۵۸	۵/۷۳	۵/۳۷	۵/۴۸	۵/۶۰	۵/۸۴	۵/۲۲	۵/۵۴	۵/۴۲	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۶/۰۸	۵/۵۶	۵/۳۰	۵/۵۶	۵/۱۳	۵/۰۳	۵/۳۵	۵/۶۳	۵/۳۵	۵/۸۸	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۷۷	۵/۴۶	۵/۱۷	۵/۴۶	۵/۱۹	۵/۱۹	۵/۴۴	۵/۸۱	۵/۴۴	۵/۷۸	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۶۲	۵/۸۱	۴/۶۱	۵/۵۶	۵/۲۱	۵/۳۰	۵/۱۷	۵/۷۸	۵/۳۵	۵/۷۵	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۲۳	۵/۳۸	۵/۴۴	۵/۱۸	۵/۲۸	۵/۷۲	۵/۵۲	۵/۴۶	۵/۷۹	۵/۶۵	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۹۳	۵/۷۸	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۶۸	۵/۳۳	۵/۴۳	۵/۴۰	۵/۴۰	۵/۵۱	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۳۳/۰،۳۳/۳۳)
۵/۴۸	۵/۴۸	۵/۶۴	۵/۵۳	۵/۳۳	۵/۴۲	۵/۴۲	۵/۲۸	۵/۳۷	۵/۵۸	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۶/۰۸	۶/۱۱	۵/۴۸	۵/۵۹	۴/۵۷	۵/۰۳	۵/۰۲	۵/۴۲	۵/۳۳	۵/۸۵	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۱۴	۴/۵۸	۵/۵۰	۵/۲۸	۵/۱۴	۵/۸۶	۵/۸۲	۵/۴۰	۵/۶۵	۵/۸۶	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۳۱	۵/۶۰	۵/۶۰	۵/۴۸	۵/۴۲	۵/۶۰	۵/۳۱	۵/۳۱	۵/۴۲	۵/۴۸	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۵/۸۴	۵/۴۶	۵/۵۲	۴/۵۷	۵/۰۶	۵/۱۵	۵/۴۴	۵/۳۹	۵/۸۴	۶/۰۲	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۵۶/۰،۵۶/۵۶)
۶/۵۱	۶/۶۹	۶/۵۹	۶/۶۶	۶/۶۶	۵/۰۷	۵/۰۴	۵/۰۵	۵/۰۴	۵/۰۴	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۳۳/۰،۳۳/۳۳)
۶/۲۱	۶/۷۴	۶/۵۱	۶/۶۳	۶/۴۶	۵/۱۶	۵/۰۳	۵/۰۷	۵/۰۵	۵/۰۹	(۹،۹،۹)	(۰/۰،۳۳/۰،۳۳/۳۳)

منبع: (محاسبات نگارندگان)



نمودار ۱- اولویت‌بندی سیستم‌ها

منبع: (محاسبات نگارندگان)



نمودار ۲- تحلیل حساسیت

منبع: (محاسبات نگارندگان)

۶- 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 ۱/۹ 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 جزیی 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، ۲۰ 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. به‌علاوه 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 دخانیات 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.

۷- منابع

استادی جعفری، مهدی؛ رصافی، امیرعباس. (۱۳۹۲). ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل‌های سیستم پویایی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، *دو فصلنامه مدیریت شهری*، *۱۱*(۳۱)، ۲۸۱-۲۹۴

رصافی، امیرعباس؛ زرآبادی‌پور، شیما. (۱۳۸۸). بررسی توسعه پایدار حمل‌ونقل در ایران با استفاده از تحلیل چندهدفی، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، *۱۱*(۲)، ۴۶-۳۲.

زندی‌آتشباری، امیرحسین؛ خاکساری، علی. (۱۳۹۱). حمل‌ونقل پایدار و سیاست‌هایی برای رسیدن به آن با معرفی استراتژی ASI، *یازدهمین کنفرانس بین المللی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک، اسفند، تهران، ایران.

ساعتی، صابر؛ حاتمی‌ماربینی، عادل؛ ماکوئی، احمد. (۱۳۸۶). تصمیم‌گیری گروهی به کمک TOPSIS فازی، *مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان*، ۴(۱۳)، ۳۴-۲۱.

مختاری ملک‌آبادی، رضا. (۱۳۹۰). تحلیلی جغرافیایی بر نقش دوچرخه در سیستم حمل‌ونقل پایدار شهر اصفهان، *فصلنامه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۳(۹)، ۱۲۲- ۱۰۱.

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.

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.

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