



انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی مناسب در یک کریدور شهری: کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

علی شیرزادی بابکسان: دانشجوی دکتری GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران *
محمد طالمی: استادیار GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
عباس علیمحمدی: دانشیار دکتری GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۱/۲/۴ - پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۵، صص ۲۴-۱

چکیده

هدف این مقاله انتخاب بهترین وسیله حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات مکانی (GIS) می‌باشد. در این راستا کریدور میدان آزادی تا میدان پونک در شهر تهران به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شد. سپس با استفاده از نظرات تعدادی از متخصصین برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک شهری و نیز تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، بیست شاخص تحت هفت دسته‌ی کلی معیار هزینه، زمان، انعطاف پذیری، قابلیت اعتماد، راحتی و امنیت، آلودگی و خصوصیات وسیله و چهار گزینه‌ی حمل و نقل عمومی اتوبوس، اتوبوس تندرو، تاکسی و مترو انتخاب شدند. متخصصین شاخص‌ها، معیارها و گزینه‌های پیشنهادی را جهت تعیین میزان اهمیت نسبی آنها مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. بکارگیری GIS در این قسمت موجب تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری و ارزیابی بهتر معیارها و گزینه‌های پیشنهادی گردید. در نهایت از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای تعیین وزن نهایی معیارها و از روش TOPSIS برای اولویت بندی گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل عمومی استفاده گردید. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که به طور کلی گزینه‌های اتوبوس تندرو، مترو، اتوبوس و تاکسی به ترتیب حائز بیشترین امتیاز جهت توسعه حمل و نقل عمومی در کریدور مورد مطالعه می‌باشند. هر چند اتوبوس تندرو به طور کلی حائز بیشترین امتیاز شده است، اما از لحاظ معیارهای راحتی و امنیت و نیز انواع آلودگیهای زیست محیطی وضعیت چندانی مطلوبی ندارد و باید به دنبال راهکارهایی برای بهبود این موارد بود. همچنین اگر چه گزینه‌ی مترو از لحاظ انواع شاخص‌های هزینه‌ای در کوتاه مدت مناسب نمی‌باشد، اما به علت کاهش انواع آلودگیهای زیست محیطی، اشغال نکردن هیچگونه فضایی از سطح کریدور، کاهش زمان سفر، راحتی و امنیت بالا، حجم بالای جابجایی مسافر و صرفه جویی در مصرف انرژی می‌تواند در بلندمدت گزینه‌ی مناسبی به شمار رود.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل عمومی، تصمیم‌گیری چند معیاره، ANP، TOPSIS، GIS.

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

امروزه یکی از مسائل اساسی اکثر شهرهای جهان، مشکلات پیش روی سیستم حمل و نقل جهت پشتیبانی از حجم عظیم تقاضا برای جابجایی افراد و کالا در سطح شهر می‌باشد. در حال حاضر سیستم حمل و نقل بسیاری از کشورها با مشکلات جدی همچون تراکم ترافیک در شبکه‌ی خیابانی؛ بدتر شدن امکان دسترسی به مراکز مهم تجاری، اداری، اقتصادی؛ و افزایش اثرات مخرب زیست محیطی روبرو است (صلواتی و حقشناس، ۱۳۸۷: ۱). از طرف دیگر سیستم حمل و نقل شهری به دلیل تنوع شیوه‌های حمل و نقل، تعداد بسیار زیاد مکان‌های مبدأ- مقصد و حجم ترافیک بسیار پیچیده است. مدیریت این سیستم پیچیده نیازمند شناخت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (Jonsson, 2008: 28-29). برنامه‌ریزی صحیح در خصوص سیستم حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از مهمترین اجزای سیستم حمل و نقل شهری می‌تواند بخش عمده‌ای از مشکلات حمل و نقل شهری را حل نماید.

در این تحقیق سعی می‌شود برای این مسأله که چگونه می‌توان مناسب‌ترین وسیله‌ی حمل و نقل عمومی را در یک کریدور مشخص شهری انتخاب نمود، راه حل مناسبی ارائه گردد. هر یک از انواع وسایل نقلیه، دارای خصوصیات، مزایا و معایب خاصی می‌باشند و هر کدام از آنها ممکن است در شرایط مختلف به عنوان بهترین گزینه‌ی انتخابی بکار گرفته شوند. انتخاب مناسب‌ترین وسیله حمل و نقل عمومی مسأله‌ای است که همواره مورد توجه برنامه‌ریزان حمل و نقل و ترافیک شهری بوده است. آنها

برای این منظور معیارهای مختلفی را در نظر داشته و همواره تمایل دارند که با توجه به میزان اهمیت معیارها مناسب‌ترین گزینه را انتخاب نمایند. اما در بسیاری از مسائل از جمله مسأله‌ی انتخاب وسیله مناسب حمل و نقل، معیارهای ارزیابی مستقل از هم نبوده و دارای بازخوردها و تأثیراتی بر روی یکدیگر می‌باشند. در نظر نگرفتن این روابط و بازخوردها سبب می‌شود که اهمیت معیارها به درستی تعیین نشده و در نتیجه اولویت بندی گزینه‌ها نیز دقیق و قابل اعتماد نباشد (Tuzkaya and Önüt, 2008: 3133). در این تحقیق برای رفع این مشکل از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ANP جهت تعیین وزن نهایی شاخص‌ها استفاده می‌شود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت

با توجه به رشد و توسعه شهرها، افزایش جمعیت، حجم انبوه جابجایی‌های درون شهری و افزایش استفاده از خودروهای شخصی لزوم استفاده از روش‌های علمی و کاربردی در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی حمل و نقل کاملاً اجتناب‌ناپذیر است. تراکم بیش از حد وسائل نقلیه شخصی با توجه به ظرفیت محدود شبکه معابر، مشکلات متعددی از قبیل افزایش تصادفات، آلودگی محیط زیست، مصرف بی‌رویه سوخت، مشکلات روانی و اتلاف وقت شهروندان را به دنبال داشته است (رضایی و اصغرزاده، ۱۳۸۷: ۲). این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که با افزایش تقاضا برای سفر، تسهیلات حمل و نقل موجود به خصوص حمل و نقل عمومی جوابگوی این میزان از تقاضا نبوده و در نتیجه ایجاد حرکتی روان و با هزینه‌ای مناسب برای استفاده‌کنندگان از سیستم

ترافیکی و کاهش مشکلات ناشی از عدم توازن بین تقاضای فزاینده سفر و عرضه‌ی تسهیلات حمل و نقل عمومی داشته باشد.

برای انتخاب وسیله‌ی مناسب حمل و نقل عمومی می‌توان معیارهای مختلفی از قبیل: هزینه، فاصله و زمان جابجایی، راحتی، دسترس پذیری، قابلیت اطمینان و امنیت را لحظ نمود. هر یک از این معیارها دارای ویژگیهای خاصی بوده و بعضاً در تضاد با یکدیگر می‌باشند. از اینرو شناسایی معیارهای کمی و کیفی، تعیین اثرات و روابط میان آنها، ارزیابی اهمیت نسبی آنها و نهایتاً انتخاب وسیله‌ی مناسب حمل و نقل از اهمیت بسزایی در برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری برخوردار است. این مراحل را می‌توان تحت یک فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره انجام داد (Tuzkaya and Önüt, 2008: 3133-3134).

۱-۳- اهداف پژوهش

هدف اصلی این مقاله انتخاب بهترین وسیله حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری با استفاده از ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات مکانی (GIS)^۱ می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف اساسی، این مقاله اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- تعیین معیارهای مناسب و روابط و بازخوردهای میان آنها برای ارزیابی و انتخاب مناسبترین وسیله حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری.

- انتخاب روش‌های مناسب تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین وزن نهایی معیارهای ارزیابی و اولویت بندی گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل

حمل و نقل که از اهداف اصلی مدیریت شهری است، میسر نشده است. یکی از راهکارهای اساسی برای حل این مشکلات توسعه مناسب سیستم حمل و نقل عمومی می‌باشد. بهبود توسعه‌ی این سیستم از طریق انتخاب وسیله مناسب می‌تواند اثر بسیار زیادی در بهبود مشکلات ساختاری و عملکردی سیستم حمل و نقل شهری داشته باشد. برای این منظور باید با توجه به معیارهای مختلفی از قبیل افزایش راحتی و امنیت سفر، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگیهای زیست محیطی، کاهش هزینه و زمان سفر و کاهش ترافیک، مناسبترین گزینه حمل و نقل عمومی در هر کریدور شهری انتخاب گردد (Awasthi et al., 2011: 637).

انتخاب گزینه‌ی مناسب حمل و نقل عمومی در هر کریدور شهری نه تنها منجر به توسعه‌ی پایدار حمل و نقل شهری می‌گردد، بلکه همچنین فرآیند برنامه‌ریزی را با خصوصیات افراد آن جامعه تطبیق داده و سبب تشویق افراد به استفاده از آن و در نتیجه افزایش بهره‌وری آن می‌گردد. این برنامه‌ریزی سبب می‌شود که جابجایی افراد به طور کارآمدتری انجام شود و برای چالش‌های فیزیکی و اجتماعی بوجود آمده در هر منطقه از قبیل تراکم ترافیک، آلودگیهای زیست محیطی و زمان دسترسی افراد به مقصدهای مورد نظرشان بهترین گزینه‌های ممکن ارائه گردد (Awasthi et al., 2011: 12270). بنابراین برنامه‌ریزی در جهت توسعه‌ی کارآمد تسهیلات و بهره‌برداری بهتر از امکانات موجود حمل و نقل عمومی از طریق انتخاب مناسبترین وسیله در هر کریدور، به دلیل محدود بودن امکانات و منابع حمل و نقل عمومی، می‌تواند تأثیر بسزایی در حل مشکلات

¹ Geospatial Information System

عمومی. حمل و نقل ارائه کردند. (Yeh et al., 2000: 459-473) یک روش تحلیل چند معیاره‌ی فازی برای ارزیابی کارایی شرکت‌های اتوبوسرانی ارائه دادند. (Janic, 2003: 491-512) از AHP به منظور ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل قطار سریع السیر، قطار سریع السیر با تکنولوژی دافعه مغناطیسی، و حمل و نقل هوایی در اروپا استفاده کرد. (Ferrari, 2003: 194-203) توسعه‌ای از روش AHP برای حل مسأله‌ی انتخاب پروژه حمل و نقل ارائه داد که از لحاظ ارزیابی وزن معیارها متفاوت از روش AHP سنتی می‌باشد. (Tudela et al., 2006: 414-423) نتایج تحلیل چند معیاره به روش AHP را با تحلیل سود-هزینه به منظور ارزیابی سرمایه گذاری در حمل و نقل شهری مقایسه کردند. (Awasthi and Omrani, 2009: 212-226) یک روش ترکیبی مبتنی بر AHP و تئوری باور^۲ برای ارزیابی راه‌حل‌های مختلف حمل و نقل پایدار ارائه دادند. (Wey and Wu, 2007: 985-1000) یک روش بهبود یافته برای انتخاب پروژه زیرساخت حمل و نقل پیشنهاد دادند که در آن وابستگیهای میان معیارهای ارزیابی و پروژه‌های پیشنهادی با بکارگیری ANP در داخل یک مدل برنامه ریزی آرمانی صفر و یک (ZOGP) لحاظ می‌شد. (Chang et al., 2009: 8682-8690) با استفاده از ANP مبتنی بر روش دلفی فازی و برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک (ZOGP) مسأله‌ی انتخاب مناسب‌ترین پروژه‌ی استراتژیهای تجدید حیات یک راه آهن تاریخی در تایوان را حل نمودند. (Iniestra and Gutierrez, 2009: 512-526)

بکارگیری روشی که با استفاده از آن بتوان اثرات میان معیارهای مختلف را در تعیین میزان اهمیت نهایی آنها لحاظ نمود.

۱-۴- پیشینه پژوهش

در تحقیقات صورت گرفته تاکنون، به منظور تعیین، مقایسه و انتخاب یک وسیله یا سیستم حمل و نقل مناسب از روش‌های مختلفی استفاده شده است. به عنوان مثال، (El-Diraby et al., 2005: 58-71; Jonsson, 2008: 28-41) از تحلیل سود-هزینه برای تعیین و انتخاب سیستم‌های حمل و نقل مناسب و پایدار استفاده کردند. (Zuidgeest, 2005: 1-290) یک روش بهینه سازی پویا برای توسعه‌ی سیستم‌های حمل و نقل شهری پایدار ارائه داد. (Ülengin et al., 2010: 844-859) یک مدل ساختار دهی مسأله برای تحلیل روابط حمل و نقل و محیط زیست ارائه دادند. همچنین (Tao and Hung, 2003: 3329-3344; Richardson, 2005: 29-39) امکان استفاده از مدل-های پویایی سیستم را برای تحلیل پایداری سیستم-های حمل و نقل کالا و مسافر ارائه دادند. اما دسته‌ی دیگری از روش‌ها که به طور گسترده‌ای در تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی برنامه‌ریزی و تصمیم گیری حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته-اند، روش‌های تصمیم گیری چند معیاره می‌باشند. از جمله تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (Tsamboulas and Mikroudis, 2000: 283-303) یک چهارچوب ارزیابی چند معیاره برای ارزیابی اثرات زیست محیطی و هزینه‌های تسهیلات جدید

² Belief Theory

در کشور تایوان استفاده کردند. آنها برای این منظور به ارزیابی و مقایسه‌ی دوازده گزینه‌ی اتوبوس‌های دیزل، CNG، LPG، هیدروژن، متانول، برقی، برقی شارژ شونده (OCEV)، برقی با باتری قابل تعویض، ترکیبی از برقی و دیزل، ترکیبی از برقی و گازوئیل، ترکیبی از برقی و CNG، و ترکیبی از برقی و LPG بر حسب یازده معیار تأمین منبع انرژی، بازده انرژی، آلودگی هوا، آلودگی صدا، رابطه با صنعت، هزینه پیاده سازی، هزینه نگهداری، قابلیت‌های حرکتی، امکانات جاده‌ای، سرعت در ترافیک، و احساس راحتی پرداختند. نتایج این ارزیابی نشان داد که اتوبوس‌های برقی ترکیبی مناسب‌ترین گزینه برای توسعه ناوگان اتوبوس در کوتاه مدت و میان مدت می‌باشند. اما اگر مشکل کوتاه بودن حداکثر فاصله‌ای که اتوبوس‌های برقی طی می‌کنند، حل شود، اتوبوس‌های برقی می‌توانند بهترین گزینه ممکن باشند.

(Tuzkaya and Önüt, 2008: 3133-3146) از روش ANP فازی برای انتخاب شیوه‌ی مناسب حمل و نقل کالاهای حجیم و سنگین میان کشورهای ترکیه و آلمان استفاده کردند. آنها برای این منظور سی و دو شاخص را تحت ۸ دسته معیار مشخصات کالا، انعطاف پذیری، قابلیت اعتماد، سرعت، قابلیت ردیابی، هزینه‌ها، مسائل امنیتی، و احتمال خطر در نظر گرفتند. سپس سه نوع حمل و نقل رایج کالا یعنی حمل و نقل ریلی، زمینی و دریایی را بر حسب معیارهای تعیین شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. در نهایت نتایج این تحلیل نشاد داد که حمل و نقل ریلی، دریایی و زمینی به ترتیب دارای بالاترین اولویت برای مسأله‌ی مورد نظر می‌باشند.

یک مدل بهینه سازی چند هدفه مقید با توابع هدف درجه دو برای مسأله انتخاب پروژه سرمایه گذاری حمل و نقل ارائه دادند. آنها در مدل خود از یک چهارچوب مبتنی بر الگوریتم‌های اکتشافی به منظور تعیین راه حل‌های بهینه و از روش ELECTRE برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های حاصل استفاده نمودند.

(Yedla and Shrestha, 2003: 717-729) به ارزیابی و انتخاب گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل در دهلی با استفاده از روش AHP پرداختند. آنها برای این منظور سه گزینه‌ی حمل و نقل رایج در دهلی یعنی موتورهای دوچرخ، اتوموبیل‌های CNG و اتوبوس-جویی در مصرف سوخت، قابلیت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، و هزینه‌ی بهره‌برداری، و سه معیار کیفی قابلیت دسترسی به تکنولوژی، قابلیت انطباق با محیط، و موانع پیاده‌سازی مورد ارزیابی قرار دادند. بر حسب سه معیار کمی انرژی، آلودگی و هزینه، گزینه‌های اتوموبیل CNG، موتورهای دوچرخ و اتوبوس CNG به ترتیب حائز بیشترین امتیاز شدند. در حالی که بر حسب سه معیار کیفی دسترسی پذیری تکنولوژی، انطباق پذیری و موانع موجود، گزینه‌های موتورهای دوچرخ، اتوبوس CNG و اتوموبیل CNG به ترتیب در اولویت قرار گرفتند. در نهایت با در نظر گرفتن هر شش معیار کمی و کیفی گزینه‌های اتوبوس CNG، موتورهای دوچرخ و اتوموبیل CNG به ترتیب در اولویت‌های بالاتری قرار گرفتند.

(Tzeng et al., 2005: 1373-1383) از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی AHP و TOPSIS جهت ارزیابی اتوبوس‌های با سوخت‌های مختلف برای کاربرد در حمل و نقل عمومی مناطق مختلف شهری

ایجاد راه‌حل‌های مناسب در شرایط نایقینی می‌باشد. (Awasthi et al., 2011: 637-646) یک روش ترکیبی مبتنی بر SERVQUAL و TOPSIS فازی برای ارزیابی کیفیت سیستم‌های حمل و نقل شهری ارائه دادند. روش پیشنهادی آنها از سه مرحله اصلی تشکیل می‌شود. مرحله اول، تهیه و توزیع پرسش نامه‌هایی بر اساس SERVQUAL (SERVQUAL) یک روش پرسش نامه‌ای متداول برای ارزیابی کیفیت سرویس می‌باشد که با استفاده از ۲۲ مورد کیفیت سرویس را اندازه‌گیری می‌کند. جهت جمع‌آوری داده‌های لازم برای اندازه‌گیری کیفیت سرویس حمل و نقل می‌باشد. در این مرحله متخصصین از متغیرهای زبانی برای ارزیابی معیارهای کیفیت سرویس و گزینه‌های پیشنهادی استفاده کردند. در مرحله دوم، ارزش‌گذاری زبانی با استفاده از TOPSIS فازی با یکدیگر ترکیب شده و یک امتیاز ارجحیت کلی برای هر گزینه بدست آمده و در نهایت گزینه‌ی با بیشترین امتیاز انتخاب می‌شود. در مرحله سوم، یک تحلیل حساسیت به منظور ارزیابی تأثیر وزن معیارها بر روی فرآیند تصمیم‌گیری انجام می‌شود.

(Özgen and Tanyas, 2011: 8251-8258) یک روش ANP فازی برای فعالیت‌های لجستیک به منظور انتخاب مشترک یک آژانس واسط گمرکی و شرکت بین‌المللی حمل و نقل جاده‌ای در ترکیه ارائه دادند. آنها برای این منظور سه گزینه‌ی ترکیبی مختلف را بر حسب بیست و هفت شاخص که در شش دسته معیار انواع خدمات ارائه شده، زیرساخت فناوری اطلاعات، کیفیت، کاهش سرمایه مورد نیاز، قابلیت اعتماد، و هزینه‌ها قرار داشتند را مورد تحلیل

(Turcksin et al., 2011: 954-965) یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر AHP و PROMETHEE به منظور انتخاب مناسب‌ترین بسته‌ی چند ابزار سیاست‌گذاری برای دولت بلژیک جهت کاهش پی‌آمدهای زیست محیطی حمل و نقل بوسیله‌ی تشویق افراد برای انتخاب وسیله‌ی نقلیه پایدارتر ارائه دادند. آنها برای این منظور سه بسته‌ی سیاست‌گذاری سناریوهای پایه، سناریوهای واقع‌گرایانه و سناریوهای مترقی را با استفاده از ابزارهای اقتصادی (مانند: مالیات و عوارض مربوط به مالکیت و استفاده از خودرو)، ابزارهای کنترلی (مانند: استانداردهای مربوط به سوخت و انواع محدودیت‌ها از قبیل محدودیت‌های دسترسی به نواحی خاص، محدودیت‌های پارکینگ و...) و ابزارهای مربوط به عرضه حمل و نقل (مانند: توسعه‌ی وسایل نقلیه، سوخت و زیرساخت‌های با کیفیت) ارائه کردند.

(Awasthi et al., 2011: 12270-12280) یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب سیستم‌های حمل و نقل پایدار در شرایطی که اطلاعات کامل وجود ندارد و با در نظر گرفتن نایقینی ارائه دادند. روش پیشنهادی آنها شامل سه مرحله اصلی می‌باشد. مرحله اول تعیین معیارهایی برای ارزیابی پایداری حمل و نقل، مرحله دوم رتبه‌بندی زبانی گزینه‌های حمل و نقلی ممکن بر حسب معیارهای تعیین شده توسط متخصصین، و مرحله سوم استفاده از TOPSIS فازی برای تعیین امتیاز کلی هر گزینه و انتخاب بهترین گزینه از لحاظ پایداری می‌باشد. آنها در نهایت از تحلیل حساسیت به منظور ارزیابی تأثیر وزن معیارها بر روی فرآیند تصمیم‌گیری، استفاده کردند. نقطه قوت روش آنها قابلیت عملیاتی آن و

هدف هماهنگ سازی سیستم‌های مختلف حمل و نقل موجود در کلان شهر اصفهان، معیارهای مناسبی را جهت استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی با توجه به تقاضا و وضعیت شبکه معابر شهری تعریف کردند. آنها نهایتاً از روش AHP برای وزن دهی معیارها و اولویت بندی سیاست‌های مختلف حمل و نقل شهری در مسیرهای مختلف استفاده نمودند. (رضایی و اصغرزاده، ۱۳۸۷: ۱-۶) با انتخاب شاخص‌های مناسب و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی مجموع ساده وزن‌ها به ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل عمومی در شهر مشهد پرداخته و مناسبترین گزینه‌ها را مشخص نمودند. (رضایی ارجودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱-۸) یک روش تلفیقی مبتنی بر روش‌های پرامیتی و تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت بندی پروژه‌های احداث راه اصلی ارائه دادند.

همانطور که از پیشینه تحقیق مشخص است، بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه برنامه‌ریزی و انتخاب وسیله حمل و نقل مناسب از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی AHP و TOPSIS استفاده کرده‌اند و کمتر به روش ANP که در آن روابط و اثرات میان معیارها و گزینه‌ها توجه می‌شود، پرداخته شده است. از اینرو در این تحقیق سعی شده است که با تلفیق روش‌های ANP و TOPSIS رویکرد جدیدی برای انتخاب وسیله مناسب حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری ارائه شود.

۱-۵- سئوال‌ها و فرضیه‌ها

در این مقاله سعی می‌شود به سئوال‌های زیر پاسخ مناسبی داده شود:

- چگونه می‌توان مناسبترین وسیله حمل و نقل

و ارزیابی قرار داده و گزینه برتر را انتخاب نمودند. (Özkır and Demirel, 2012: 74-80) به منظور دستیابی به هدف انتخاب بهترین پروژه سرمایه گذاری حمل و نقل، یک روش ارزیابی فازی با استفاده از مفهوم اترویی و رویکرد نرمال سازی فاصله‌ای در AHP فازی ارائه دادند. آنها برای این منظور هفده شاخص خطرات فنی، خطرات محیطی، خطرات خارجی، خطرات سازمانی، زمانبندی، بهره‌وری اقتصادی، زمان سفر، تراکم پیش بینی شده مسافران، اثرات محیطی، کاهش اثر مانع، کاهش آلودگی صدا، کاهش آلودگی هوا، بهبود کاربری اراضی، ایمنی، کیفیت کار، برتری فنی و نوآوری، بهبود اعتماد عمومی، و پایداری را تحت چهار دسته کلی معیار خطرات احتمالی وسیله، خطرات احتمالی مدیریت پروژه، منافع عمومی، و میزان اعتبار در نظر گرفتند. سپس ده پروژه‌ی پیشنهادی مختلف برای سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل را بر حسب معیارهای تعیین شده مورد ارزیابی قرار داده و پروژه‌های مناسب را انتخاب نمودند.

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که در سایر کشورها صورت گرفته است، در کشور ما تحقیقات چندانی در این زمینه انجام نشده است. از جمله تحقیقات محدودی که در داخل کشور در این زمینه صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

(صفرزاده و ملک زاده فر، ۱۳۸۴: ۱۷-۳۶) با محاسبه‌ی هزینه‌ها و منافع سالیانه ناشی از احداث سیستم‌های مختلف حمل و نقل در یک کریدور شهری، از روش نسبت سود به هزینه جهت انتخاب مناسبترین سیستم حمل و نقل از دیدگاه اقتصادی استفاده کردند. (صلواتی و حقشناس، ۱۳۸۷: ۱-۸) با

باشند، بکار گرفته می‌شود. در این تحقیق با توجه به محدودیت گزینه‌های پیشنهادی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است.

در این تحقیق از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای وزن‌دهی معیارها و از روش TOPSIS برای رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی استفاده شده است. ANP یک روش تصمیم‌گیری مناسب جهت تعیین وزن نهایی معیارها در مسأله‌ی مورد نظر به شمار می‌رود، زیرا معیارهای لازم در مسأله‌ی انتخاب وسیله مناسب حمل و نقل عمومی مستقل از یکدیگر نیستند و دارای بازخوردها و تعاملاتی با یکدیگر می‌باشند که ANP به خوبی آنها را در نظر می‌گیرد. در صورت در نظر نگرفتن این اثرات ممکن است نتایج کاملاً نامعتبر و غیر منتظره‌ای حاصل گردد.

در این تحقیق، در تمامی مراحل تصمیم‌گیری شامل مرحله‌ی تعیین معیارهای ارزیابی و گزینه‌های پیشنهادی، دسته‌بندی معیارها، مقایسه‌ی زوجی معیارها و امتیاز دهی گزینه‌ها بر حسب معیارهای تعیین شده از نظرات هشت نفر از متخصصین برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک که دو نفر از آنها کارشناس شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، دو نفر عضو پژوهشکده‌ی حمل و نقل و چهار نفر دیگر کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل و ترافیک از دانشگاه صنعتی شریف می‌باشند، استفاده شد. در تمامی مراحل تصمیم‌گیری با هر یک از متخصصین به صورت مستقیم و جداگانه گفتگو کرده و نظرات آنان جمع‌آوری شد. همچنین اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز متخصصین در مورد کریدور مورد مطالعه و کاربری‌های اطراف آن در محیط GIS به آنان ارائه شد. استفاده از GIS در این

عمومی در یک کریدور شهری را انتخاب نمود؟

- برای انتخاب مناسبترین وسیله‌ی حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری چه معیارهایی را می‌بایست در نظر گرفت؟

- چگونه می‌توان میزان اهمیت، اثرات و روابط میان معیارهای تصمیم‌گیری را در تعیین وزن نهایی آنها لحاظ نمود؟

- چگونه گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل عمومی را بر حسب معیارهای تعیین شده ارزیابی و اولویت‌بندی نمود؟

۱-۶- روش تحقیق

بدون شک تعیین روش مناسب تصمیم‌گیری چند معیاره از اهمیت بسزایی برخوردار است، چرا که به طور مستقیم بر وزن نهایی معیارها و ارجحیت گزینه‌ها نسبت به هم و نهایتاً بر خروجی تصمیم‌گیری تأثیر می‌گذارد. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره متنوعی برای انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های پیشنهادی وجود دارد. این روش‌ها را به طور کلی می‌توان به دو دسته‌ی تصمیم‌گیری چند هدفه و تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم نمود. در تصمیم‌گیری چند شاخصه مدل‌های مختلفی مانند: OWA³، TOPSIS⁴، ELECTRE⁵، PROMETHEE⁶، AHP⁷ و ANP⁸ در کاربردهای متنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تصمیم‌گیری چند هدفه نیز زمانی که تعداد گزینه‌های پیشنهادی زیاد بوده و اهداف متناقض

³ Ordered Weighted Averaging

⁴ Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution

⁵ Elimination and Choice Expressing Reality

⁶ Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

⁷ Analytic Hierarchy Process

⁸ Analytic Network Process

زمان خارج از وسیله

- انعطاف پذیری: شامل شاخص‌های امکان توسعه در آینده، و قابلیت تطبیق با تغییرات.

- قابلیت اعتماد: شامل شاخص‌های قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها، میزان تأخیرها، و قابلیت اعتماد به زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف.

- راحتی و امنیت: شامل شاخص‌های راحتی و امنیت داخل وسیله، راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار، و ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات.

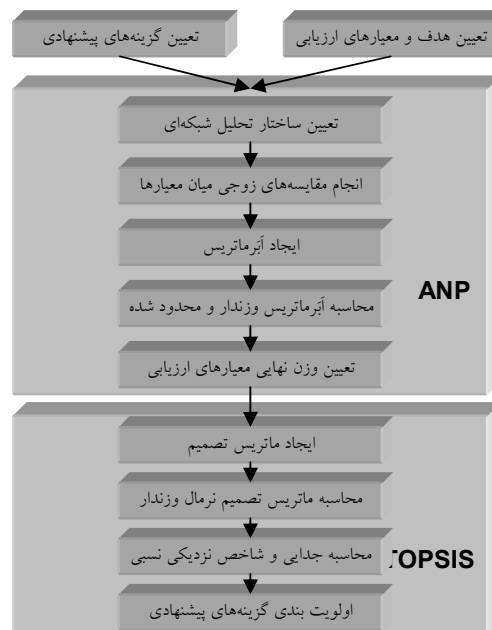
- آلودگی: شامل شاخص‌های آلودگی هوا، آلودگی صدا، و آلودگی سیمای شهری.

- خصوصیات وسیله: شامل شاخص‌های حجم فضای اشغال شده، به روز بودن وسیله، صرفه جویی در مصرف انرژی، حجم جابجایی مسافر.

۸-۱- محدوده و قلمرو پژوهش

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، کریدور میدان آزادی تا میدان پونک در مرز مناطق شهرداری ۲ و ۵ شهر تهران می‌باشد. این کریدور متشکل از دو بزرگراه مهم شهر تهران بنام بزرگراه‌های اشرفی اصفهانی و جناح به طول حدود ۶.۷۵ کیلومتر می‌باشد. در طول این کریدور فلکه دوم صادقیه نیز وجود دارد که یکی از مراکز اصلی تولید و جذب سفر روزانه در شهر تهران به شمار می‌رود. علاوه بر این، در اطراف این کریدور کاربریهای مهمی از قبیل تجاری بزرگ مانند مراکز تجاری گلدیس و بوستان و مرکز تجاری- تفریحی تیرازه وجود دارد. همچنین این کریدور یکی از مسیرهای اصلی دسترسی به

مراحل سبب شد که متخصصین شناخت بهتری از کریدور مورد مطالعه و محیط و کاربریهای اطراف آن بدست آورده و در نتیجه مقایسه‌ی زوجی میان معیارها و امتیاز دهی گزینه‌های پیشنهادی با دقت و قابلیت اعتماد بیشتری صورت گیرد. فرآیند کلی مدل پیشنهادی، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل پیشنهادی جهت انتخاب مناسب‌ترین وسیله حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری

۷-۱- معرفی متغیرها و شاخص‌ها

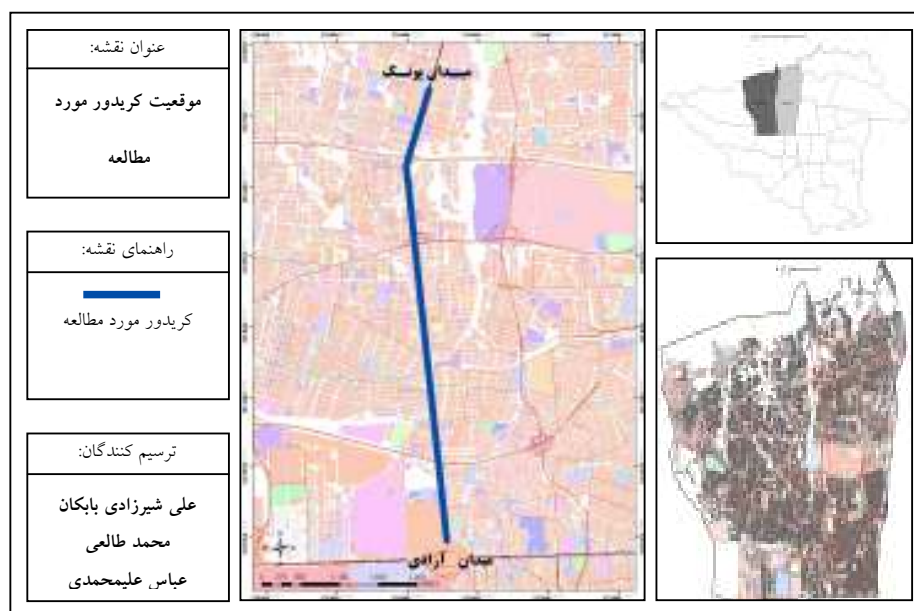
با مطالعه و بررسی تحقیقاتی که در زمینه‌ی انتخاب مناسب‌ترین وسیله‌ی حمل و نقل شهری انجام شده‌اند و همچنین با توجه به نظرات متخصصین و برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری، بیست شاخص تحت هفت دسته معیار زیر برای انتخاب بهترین وسیله‌ی حمل و نقل عمومی شهری در نظر گرفته شد.

- هزینه: شامل شاخص‌های کرایه سفر، هزینه اجرا، و هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی.

- زمان: شامل شاخص‌های زمان داخل وسیله، و

اطراف آن، اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز در یک سیستم اطلاعات مکانی به آنان ارائه شده است. در شکل (۲) نقشه‌ی کریدور مطالعاتی به همراه کاربریهای اطراف آن نشان داده شده است.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات نیز به شمار می‌رود. در نتیجه در این کریدور حجم تقاضای سفر درون شهری و ترافیک بسیار زیادی وجود دارد که توسعه زیرساختهای حمل و نقل عمومی را در آن کاملاً ضروری می‌سازد. جهت آشنایی بیشتر متخصصین با این کریدور و محیط و کاربریهای



شکل ۲- کریدور شهری مورد مطالعه

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

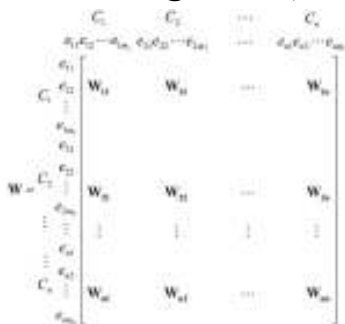
۲-۱- فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش ANP تعمیم یافته‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد و اولین بار توسط ساعتی مطرح شد. AHP بر اساس یک ساختار سلسله مراتبی یک طرفه، مسأله را در چندین سطح به گونه‌ای ساختاردهی می‌کند که تنها مؤلفه‌های سطح بالاتر می‌توانند بر روی مؤلفه‌های سطح پایین‌تر تأثیر بگذارند و حلقه و بازخوردهای میان معیارها که نشان دهنده‌ی وابستگی میان آنها است را در نظر نمی‌گیرد. در حالی که بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری را نمی-

توان به صورت سلسله مراتبی ساختار دهی نمود، چرا که در آنها اجزای سطح بالاتر با اجزای سطح پایین‌تر دارای ارتباط و وابستگی می‌باشند (Saaty, 2001: 10-35). ساعتی برای رفع این مشکل روش ANP را پیشنهاد داد. در این روش امکان در نظر گرفتن بازخوردهای میان اجزای یک خوشه (وابستگیهای داخلی) و تعاملات میان خوشه‌ها (وابستگیهای خارجی) فراهم می‌شود (Saaty, 1999: 2). فرآیند مدل‌سازی ANP را می‌توان به طور کلی به سه مرحله‌ی ذیل تقسیم نمود:

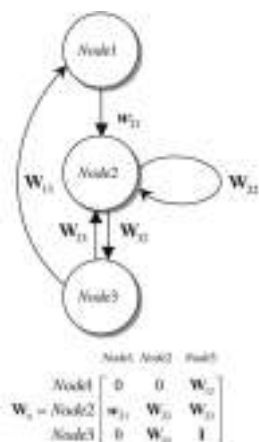
۲-۱-۱- مقایسه‌های زوجی و تخمین اهمیت نسبی

صورت کلی یک آبرماتریس را نشان می‌دهد که توسط ساعتی در (4: Saaty, 1999) برای در نظر گرفتن خصوصیات وابستگی میان مؤلفه‌ها و اجزای مسأله‌ی تصمیم‌گیری مطرح شد.



شکل ۳- صورت کلی یک آبرماتریس (4: Saaty, 1999)

شکل (۴) ساختار و آبرماتریس مربوط به یک شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل هر نود نمایشگر یک خوشه با اجزای درون آن؛ هر آرک نمایشگر ارتباط میان دو خوشه؛ و هر حلقه نشان دهنده‌ی وابستگی داخلی اجزای درون یک خوشه می‌باشد. هنگامی که اجزای یک خوشه مانند نود ۱ بر روی خوشه دیگری مانند نود ۲ اثرگذار باشند، این رابطه با یک خط از نود ۱ به نود ۲ نشان داده می‌شود (Wey and Wu, 2007: 988).



شکل ۴- ساختار و آبرماتریس مربوط به یک شبکه

(Wey and Wu, 2007: 989)

تمامی روابط درون و میان خوشه‌ها به صورت مقایسه‌های زوجی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و یک مقدار معکوس به عکس مقایسه تخصیص داده می‌شود. هنگامی که مقایسه‌های زوجی کامل شد، یک بردار ارجحیت محلی (بردار ویژه W) جهت تخمین اهمیت نسبی اجزای مورد مقایسه از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن λ_{\max} بزرگترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسه زوجی A می‌باشد. تمامی بردارهای ویژه بدست آمده از این مرحله به عنوان بردارهای ارجحیت محلی، نرمال می‌شوند. سپس برای بدست آوردن ارجحیت‌های کلی، بردارهای ارجحیت محلی وارد ستون‌های یک آبرماتریس می‌شوند (Saaty and Vargas, 1998: 491-502; Chung et al., 2005: 1144-1156).

۲-۱-۲- تشکیل آبرماتریس اولیه

یک تفاوت اساسی دیگر فرآیند ANP با AHP در نحوه‌ی ذخیره‌سازی مقایسات زوجی است. در ANP نتایج مقایسه‌ها در یک آبرماتریس ذخیره می‌گردند، در حالی که در AHP ماتریس مقایسه برای در نظر گرفتن کلیه اطلاعات کافی است. در آبرماتریس علاوه بر مقایسه‌های زوجی صورت گرفته شده، روابط و وابستگیهای داخلی میان مؤلفه‌ها نیز ذخیره می‌شوند. آبرماتریس متشکل از یکسری بلوک‌های ماتریسی می‌باشد. به عبارت دیگر هر جزء از آبرماتریس خود یک بلوک ماتریسی می‌باشد. ستون‌های هر بلوک ماتریسی برابر با بردار ویژه اصلی هستند که اهمیت اجزای آمین مؤلفه‌ی شبکه را به اجزای آمین مؤلفه‌ی شبکه نشان می‌دهند (3: Saaty, 1999). شکل (۳)

اگر ریشه‌های دیگری از یک وجود داشته باشد و آبرماتریس دارای خصوصیت بازگشت پذیری (کاهش ناپذیر و غیرساده) باشد، آنگاه آبرماتریس محدود شده دیگر یکی نخواهد بود. در این حالت دو یا چند ماتریس محدود شده وجود خواهد داشت (Saaty, 2006: 382). ساعتی در (Saaty, 2006: 383) نشان می‌دهد که از جمع Cesaro به صورت رابطه (۳) برای بدست آوردن ماتریس محدود شده‌ی نهایی و ارجحیت‌های میانگین استفاده می‌شود:

$$W^{\infty} = \lim_{k \rightarrow \infty} (1/N) \sum_{k=1}^N W^k \quad \text{رابطه (۳)}$$

خصوصیات همگرایی این رابطه به طور مفصل در (Saaty, 2006: 382-386) تشریح شده است.

۲-۲- TOPSIS

استفاده از فرآیند کامل تحلیل شبکه‌ای به دلیل تعداد زیاد معیارهای ارزیابی در برخی موارد غیر عملی می‌شود. در این تحقیق نیز به منظور جلوگیری از افزایش نامعقول تعداد مقایسه‌های زوجی و اندازه‌ی ماتریس تصمیم‌گیری و حجم محاسبات، از روش TOPSIS به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی و انتخاب بهترین گزینه استفاده می‌شود. در ادامه، مراحل روش TOPSIS ارائه می‌گردد.

مرحله (۱) برای رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی، ابتدا ماتریس تصمیم‌تشکل می‌شود. ساختار این ماتریس به صورت شکل (۵) می‌باشد (Shyur, 2006: 255):

$$D = \begin{matrix} & F_1 & F_2 & \dots & F_j & \dots & F_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2j} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ij} & \dots & f_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۵- ساختار ماتریس تصمیم (Shyur, 2006: 255)

۱-۳- تشکیل آبرماتریس وزندار و محدود شده
برای استخراج اولویت اجزا از آبرماتریس باید در ابتدا اطمینان حاصل نمود که مجموع هر ستون ماتریس برابر با یک (مطابق با یک ماتریس اتفافی) باشد (Saaty, 2006: 384). بدین منظور، آبرماتریس اولیه باید به ماتریسی با مجموع ستونی واحد تبدیل گردد. ماتریس حاصل را آبرماتریس وزندار (W) می‌نامند (Saaty and Vargas, 1998: 491-502; Chung et al., 2005: 1144-1156). از آنجا که W یک ماتریس اتفافی است، معلوم شده است که ترکیب تمامی تعاملات میان اجزای آن با رابطه‌ی W^{∞} بدست می‌آید. در واقع با افزایش توان W اثرات نسبی بلند مدت اجزا بر روی یکدیگر حاصل می‌شود. افزایش توان آبرماتریس وزندار تا رسیدن به تقارب ادامه می‌یابد. ماتریس حاصل را آبرماتریس محدود شده می‌نامند (Saaty, 2006: 385). بنا به گفته‌ی ساعتی "اگر ماتریس اتفافی باشد، می‌توان ملاحظه نمود که اولویت‌های محدود شده به مفاهیم کاهش پذیری، قابلیت سادگی و بازگشت پذیری ماتریسی وابسته می‌شوند" (Saaty, 2006: 385). اما بهرحال با توجه به کاهش پذیری ماتریس و همچنین بزرگی مقدار ویژه‌ی اصلی آن که باید برابر با یک یا یک ریشه‌ی ترکیبی از یک باشد، شکل‌های مختلفی از حد وجود دارد (Saaty, 2006: 386). اگر ماتریس کاهش ناپذیر و ساده باشد، ماتریس محدود شده با به توان رساندن W به صورت رابطه (۲) بدست می‌آید (Saaty and Vargas, 1998: 491-502):

$$W^{\infty} = \lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این حالت، مقدار حد منحصر به فرد بوده و یک بردار ستونی W^{∞} برای حد W^{∞} وجود خواهد داشت.

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i=1, \dots, m \quad (10)$$

مرحله ۶) میزان نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دوری از راه‌حل ایده‌آل منفی از رابطه (۱۱) محاسبه و سپس گزینه‌ها به شکل نزولی رتبه بندی می‌شوند. مقدار شاخص C_i بین ۰ و ۱ بوده و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، آن گزینه مطلوب‌تر است (Yue, 2011: 1926-1936).

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i=1, \dots, m \quad (11)$$

۳- تحلیل یافته‌ها

۳-۱- تعیین هدف و معیارهای ارزیابی

همانطور که ذکر گردید، مرحله‌ی اول مدل پیشنهادی، تعیین هدف اصلی تصمیم‌گیری است. در این مقاله هدف نهایی، انتخاب بهترین نوع وسیله حمل و نقل عمومی در کریدور شهری مورد نظر است، به گونه‌ای که خواسته‌های تصمیم‌گیران را به بهترین نحو ممکن پاسخگو باشد. همچنین در این مرحله معیارها و شاخص‌های تصمیم‌گیری به کمک تصمیم‌گیران و نیز با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، تعیین می‌شود. در این تحقیق بیست شاخص تحت هفت دسته کلی معیار برای انتخاب بهترین وسیله حمل و نقل عمومی مطابق شکل (۶) در نظر گرفته شد.

۳-۲- تعیین گزینه‌های پیشنهادی

با بررسی‌های صورت گرفته، چهار وسیله حمل و نقل عمومی اتوبوس، اتوبوس تندرو، تاکسی و مترو، به عنوان گزینه‌های پیشنهادی برای جابجایی مسافر در کریدور مورد نظر انتخاب شدند.

۳-۳- تعیین ساختار تحلیل شبکه‌ای

در این مرحله روابط و بازخوردهای میان معیارها مشخص می‌گردد. پس از بررسیها و مطالعات صورت

که در آن A_i ($i=1, \dots, m$) نمایانگر گزینه‌ی i (F_j, \dots, F_n) بیان‌کننده‌ی زمین معیار؛ و f_{ij} ارزشی است که هر گزینه مانند A_i با توجه به هر معیار مانند F_j دریافت می‌کند.

مرحله ۲) ماتریس تصمیم نرمال (R) محاسبه می‌گردد. مقادیر ماتریس تصمیم نرمال (r_{ij}) از روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌گردند.

$$r_{ij} = \frac{f_{ij} - \min_{j=1}^n \{f_{ij}\}}{\max_{j=1}^n \{f_{ij}\} - \min_{j=1}^n \{f_{ij}\}} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_{j=1}^n \{f_{ij}\} - f_{ij}}{\max_{j=1}^n \{f_{ij}\} - \min_{j=1}^n \{f_{ij}\}} \quad (5)$$

مرحله ۳) در این مرحله ماتریس تصمیم نرمال وزندار محاسبه می‌شود. این ماتریس از ضرب مقادیر ماتریس تصمیم نرمال در وزن‌های بدست آمده از روش ANP بدست می‌آید. مقادیر ماتریس تصمیم نرمال وزندار (v_{ij}) از رابطه (۶) محاسبه می‌شوند.

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, j=1, \dots, n; i=1, \dots, m \quad (6)$$

مرحله ۴) راه‌حل ایده‌آل مثبت (PIS)^۹ و راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS)^{۱۰} از طریق روابط (۷) و (۸) تعیین می‌شوند.

$$PIS = v_j^+ = \max_{i=1}^m \{v_{ij}\}, j=1, \dots, n \quad (7)$$

$$NIS = v_j^- = \min_{i=1}^m \{v_{ij}\}, j=1, \dots, n \quad (8)$$

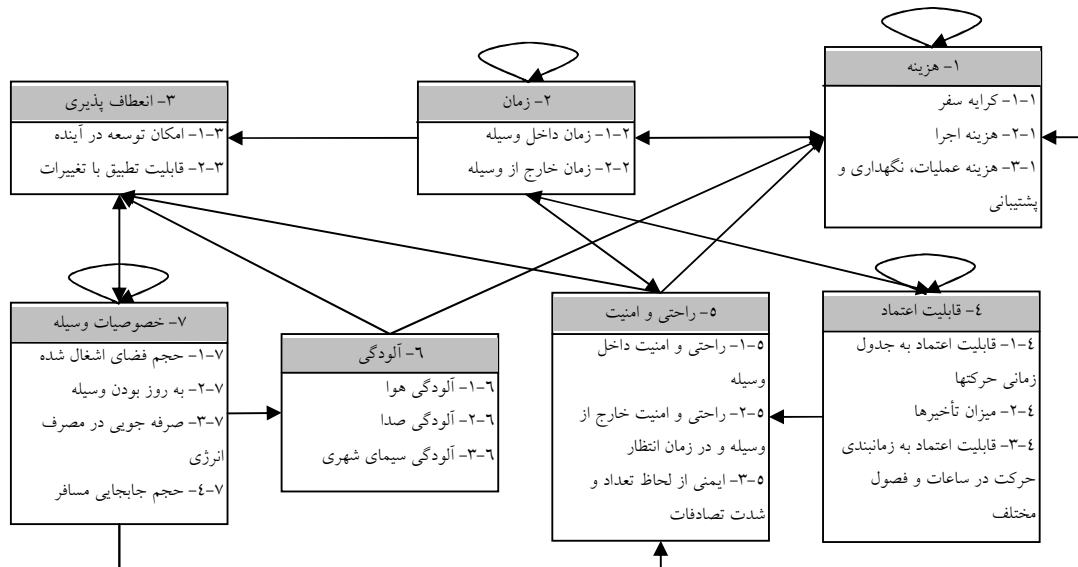
مرحله ۵) مقدار جدایی (فاصله) گزینه‌های پیشنهادی از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از فاصله اقلیدسی m بُعدی محاسبه می‌شود. بدین ترتیب مقدار فاصله‌ی هر گزینه از PIS (d_i^+) و از NIS (d_i^-) از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i=1, \dots, m \quad (9)$$

⁹ Positive Ideal Solution

¹⁰ Negative Ideal Solution

گرفته و با مشورت با متخصصین، ساختار شبکه‌ای نمایش داده شده در شکل (۶) در نظر گرفته شد.



شکل ۶- ساختار شبکه‌ای طراحی شده جهت تعیین وزن معیارهای ارزیابی وسایل حمل‌ونقل عمومی شهری

میانگین نظرات آنها استفاده شد.

۳-۴- مقایسه زوجی معیارها

در این مرحله از متخصصین و تصمیم‌گیران خواسته شد که به مقایسه‌ی زوجی میان معیارها بپردازند. در مقایسه‌ی زوجی معیارها، از روش ۹ مقیاسی ساعتی به منظور تعیین ارجحیت معیارها نسبت به هم استفاده شد. در این روش هنگامی که معیار i با معیار j مقایسه می‌شود، اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ارجحیت برابر، ارجحیت کم، ارجحیت قوی، ارجحیت خیلی قوی و ارجحیت مطلق معیار i نسبت به معیار j می‌باشد. بدین ترتیب ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی بر اساس شبکه‌ی نشان داده شده در شکل (۶) تشکیل می‌شوند. در این ماتریس‌ها، درایه‌ی a_{ij} بیانگر اهمیت i آمین معیار نسبت به j آمین معیار می‌باشد. همچنین فرض بر این است که درایه‌های این ماتریس‌ها نسبت به قطر اصلی معکوس می‌باشند. بنابراین مقدار درایه a_{ji} برابر با $1/a_{ij}$ می‌باشد. در نهایت، جهت جمع بندی نظرات متخصصین که در قالب ماتریس‌های مقایسه زوجی بیان شده است، از

میانگین نظرات آنها استفاده شد. در این مرحله از متخصصین و تصمیم‌گیران خواسته شد که به مقایسه‌ی زوجی میان معیارها بپردازند. در مقایسه‌ی زوجی معیارها، از روش ۹ مقیاسی ساعتی به منظور تعیین ارجحیت معیارها نسبت به هم استفاده شد. در این روش هنگامی که معیار i با معیار j مقایسه می‌شود، اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ارجحیت برابر، ارجحیت کم، ارجحیت قوی، ارجحیت خیلی قوی و ارجحیت مطلق معیار i نسبت به معیار j می‌باشد. بدین ترتیب ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی بر اساس شبکه‌ی نشان داده شده در شکل (۶) تشکیل می‌شوند. در این ماتریس‌ها، درایه‌ی a_{ij} بیانگر اهمیت i آمین معیار نسبت به j آمین معیار می‌باشد. همچنین فرض بر این است که درایه‌های این ماتریس‌ها نسبت به قطر اصلی معکوس می‌باشند. بنابراین مقدار درایه a_{ji} برابر با $1/a_{ij}$ می‌باشد. در نهایت، جهت جمع بندی نظرات متخصصین که در قالب ماتریس‌های مقایسه زوجی بیان شده است، از

اجرا نسبت به کرایه سفر عدد ارجحیت ۳ را دریافت کرده است، که نشان دهنده‌ی این است که بروز بودن وسیله بر روی هزینه اجرا نسبت به کرایه سفر تأثیر بیشتری می‌گذارد. در نهایت وزن نسبی هر شاخص بر حسب تأثیر پذیری از شاخص بروز بودن وسیله با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. این وزنها در ستون آخر جدول (۳) آورده شده‌اند.

۳-۵- ایجاد اَبرماتریس

در این مرحله اَبرماتریس مربوط به شبکه‌ی طراحی شده در شکل (۶) تشکیل می‌شود. اَبرماتریس حاصل در جدول (۴) نشان داده شده است. سطرها و ستون‌های این جدول هدف و شاخص‌های ارزیابی می‌باشند. برای هر شاخص (هر سطر از جدول) بر حسب هدف و هر یک از شاخص‌های دیگر (در صورت رابطه داشتن با آن) در بخش ۳-۴ وزنی محاسبه شده است، که این وزنها در این جدول قرا می‌گیرند. به عنوان مثال در بخش ۳-۴ وزن شاخص کرایه سفر بر حسب هدف ۰.۱۸ و بر حسب شاخص بروز بودن وسیله ۰.۱۶۴ بدست آمده است، که این وزنها در این جدول در جای مربوط به خود قرار می‌گیرند.

معیار نیز یک جدول مقایسه‌ی زوجی جداگانه تشکیل شده و میزان وزن نسبی آنها با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آید. در نهایت وزن نهایی هر شاخص با ضرب وزن نسبی آن در وزن نهایی معیار آن محاسبه می‌شود که نتیجه آن در جدول (۲) نشان داده شده است. به عنوان مثال شاخص کرایه سفر با وزن نهایی ۰.۱۸ مهمترین شاخص از لحاظ دستیابی به هدف مورد نظر به شمار می‌رود.

۳-۴-۲- مقایسه زوجی معیارها بر حسب روابط و بازخوردهای آنها

در این مرحله با توجه به شبکه‌ی طراحی شده در شکل (۶)، تنها معیارهایی که با معیارهای دیگر رابطه دارند یا دارای بازخورد می‌باشند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بدین ترتیب شاخص‌های معیارهایی که از معیار دیگر تأثیر می‌پذیرند، بر حسب هر یک از شاخص‌های معیار تأثیر گذار، با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا میزان ارجحیت آنها مشخص گردد. نمونه‌ای از این مقایسه‌های زوجی در جدول (۳) نشان داده شده است. در این جدول شاخص‌های معیار هزینه بر حسب شاخص بروز بودن وسیله از معیار خصوصیات وسیله با یکدیگر مقایسه شده‌اند، تا میزان تأثیر پذیری نسبی آنها از شاخص بروز بودن وسیله سنجیده شود. به عنوان مثال شاخص هزینه

جدول ۱- مقایسه زوجی معیارها و وزن نهایی محاسبه شده برای هر معیار

وزن نهایی	خصوصیات	آلودگی	راحتی و امنیت	قابلیت اعتماد	انعطاف پذیری	زمان	هزینه	
0.323	1	3	5	7	8	3	1	هزینه
0.117	0.333	1	2	3	3	1	0.333	زمان
0.035	0.125	0.333	0.5	0.5	1	0.333	0.125	انعطاف پذیری
0.054	0.166	0.5	1	1	2	0.333	0.143	قابلیت اعتماد
0.063	0.25	0.5	1	1	2	0.5	0.2	راحتی و امنیت
0.117	0.5	1	2	2	3	1	0.333	آلودگی
0.29	1	2	4	6	8	3	1	خصوصیات وسیله

جدول ۲- وزن محاسبه شده برای هر معیار برحسب اهمیت دستیابی به هدف (ماتریس W_{21})

وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار
0.029	۱-۱- کرایه سفر	0.025	۱-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	0.018	۱-۳- امکان توسعه در آینده	0.180	۱-۱- کرایه سفر
0.044	۲-۱- هزینه اجرا	0.025	۲-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	0.018	۲-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	0.088	۲-۱- هزینه اجرا
0.022	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	0.012	۳-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	0.022	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	0.055	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی
0.082	۱-۲- زمان داخل وسیله	0.059	۱-۶- آلودگی هوا	0.022	۲-۴- میزان تأخیرها	0.078	۱-۲- زمان داخل وسیله
0.142	۲-۲- زمان خارج از وسیله	0.029	۲-۶- آلودگی صدا	0.011	۳-۴- قابلیت اعتماد به زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف	0.039	۲-۲- زمان خارج از وسیله

جدول ۳- مقایسه زوجی شاخص‌های معیار هزینه برحسب شاخص بروز بودن وسیله از معیار خصوصیات وسیله

وزن	هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	هزینه اجرا	کرایه سفر	کرایه سفر
0.164	0.5	0.333	1	کرایه سفر
0.539	2	1	3	هزینه اجرا
0.297	1	0.5	2	هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی

جدول ۴- آبرماتریس ایجاد شده بر اساس شبکه‌ی طراحی شده

هدف	۱-۱- کرایه سفر	۲-۱- هزینه اجرا	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	۱-۲- زمان داخل وسیله	۲-۲- زمان خارج از وسیله	۱-۳- امکان توسعه در آینده	۳-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	۲-۴- میزان تأخیرها	۱-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	۲-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	۳-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	۱-۶- آلودگی هوا	۲-۶- آلودگی صدا	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	۲-۷- به روز بودن وسیله	۳-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	۴-۷- حجم جابجایی مسافر
هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۱-۱	0.18	1	0	0.57	0.2	0	0	0	0	0.5	0.33	0.16	0.16	0.14	0.14	0.12	0.16	0.57	0.64
۱-۲	0.08	0	1	0.14	0.2	0	0	0	0	0.25	0.33	0.53	0.29	0.57	0.57	0.55	0.53	0.14	0.12
۱-۳	0.05	0	0	0.28	0.6	0	0	0	0	0.25	0.33	0.29	0.53	0.28	0.28	0.32	0.29	0.28	0.23
۲-۱	0.07	0.66	0.5	0.33	1	0	0	0.33	0.25	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۲-۲	0.03	0.33	0.5	0.66	0	1	0	0.66	0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۳-۱	0.01	0	0	0.66	0.5	0	0	0	0	0.66	0.5	0.66	0.66	0.66	0.33	0.5	0.66	0.66	0.5
۳-۲	0.01	0	0	0.33	0.5	0	0	0	0	0.33	0.5	0.33	0.33	0.33	0.66	0.5	0.33	0.33	0.5
۴-۱	0.02	0	0	0.25	0.4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۴-۲	0.02	0	0	0.5	0.4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۴-۳	0.01	0	0	0.25	0.2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۵-۱	0.02	0	0	0.66	0.22	0	0	0.23	0.23	0.21	0	0	0	0	0	0.2	0.57	0.33	0.53
۵-۲	0.02	0	0	0.22	0.66	0	0	0.68	0.69	0.68	0	0	0	0	0	0.4	0.14	0.33	0.29
۵-۳	0.01	0	0	0.11	0.11	0	0	0.08	0.07	0.10	0	0	0	0	0	0.4	0.28	0.33	0.16
۶-۱	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.58	0.76	0.4
۶-۲	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.30	0.15	0.4
۶-۳	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0.11	0.08	0.2
۷-۱	0.04	0	0	0	0	0.08	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
۷-۲	0.02	0	0	0	0	0.35	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
۷-۳	0.08	0	0	0	0	0.37	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
۷-۴	0.14	0	0	0	0	0.17	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

آبرماتریس بر مجموع ستونی آن، آبرماتریس وزندار

۶-۳- محاسبه آبرماتریس وزندار و محدود شده

محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از رابطه (۳)

در این مرحله ابتدا با تقسیم هر یک از درایه‌های

برای شاخص‌های با اثر منفی با استفاده از رابطه (۵) نرمال می‌شوند. ماتریس تصمیم نرمال حاصل در جدول (۸) نشان داده شده است. به عنوان مثال در این جدول برای نرمال کردن مقادیر شاخص کرایه سفر که دارای اثر منفی است (یعنی هر چه کمتر باشد، بهتر است) از رابطه (۵) استفاده شده است. در حالی که برای نرمال کردن شاخص بروز بودن وسیله که دارای اثر مثبت می‌باشد (یعنی هر چه بیشتر باشد، بهتر است) از رابطه (۴) استفاده شده است. سپس با استفاده از رابطه (۶) ماتریس تصمیم نرمال وزندار محاسبه می‌شود. این ماتریس در جدول (۹) نشان داده شده است.

۳-۱۰- محاسبه جدایی و شاخص نزدیکی نسبی

در این مرحله، ابتدا راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی از طریق روابط (۷) و (۸) تعیین می‌شوند. سپس میزان جدایی هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) و در نهایت شاخص نزدیکی نسبی با رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل در جدول (۹) نشان داده شده است. در این جدول سطرهای PIS و NIS به ترتیب نشان دهنده‌ی مقادیر راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی برای هر شاخص می‌باشند. همچنین ستون‌های D^+ ، D^- و C نیز به ترتیب نشان دهنده‌ی میزان جدایی هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، و شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه می‌باشد.

۳-۱۱- اولویت بندی گزینه‌های پیشنهادی

در نهایت با توجه به شاخص نزدیکی نسبی محاسبه شده برای هر گزینه، می‌توان گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل عمومی برای این کریدور شهری را با

آبماتریس محدود شده محاسبه می‌شود. آبماتریس محدود شده در جدول (۵) نشان داده شده است.

۳-۷- تعیین وزن نهایی شاخص‌های ارزیابی

در نهایت وزن نهایی شاخص‌ها از آبماتریس محدود شده‌ی حاصل بدست می‌آید. این وزن‌ها در جدول (۶) نشان داده شده‌اند. به عنوان مثال وزن نهایی شاخص کرایه سفر برابر با ۰.۰۹۸ بدست آمده است.

۳-۸- ایجاد ماتریس تصمیم

پس از تعیین وزن نهایی شاخص‌ها با استفاده از روش ANP، در این مرحله گزینه‌های پیشنهادی حمل و نقل عمومی بر حسب شاخص‌های تعیین شده توسط متخصصین مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این مرحله از متخصصین خواسته شد که به گزینه‌های پیشنهادی برای هر یک از معیارها بدون در نظر گرفتن اثر مثبت یا منفی آن معیار، نمراتی بین ۰ تا ۱۰۰ اختصاص دهند. همچنین به منظور یکسان سازی نحوه‌ی نمره دهی متخصصین، از آنان خواسته شد که برای هر یک از شاخص‌ها به گزینه‌ای که بیشترین نمره را به خود اختصاص می‌دهد نمره ۱۰۰ و به سایر گزینه‌ها به طور نسبی و با توجه به اهمیت آنها بر حسب آن شاخص نمره دهند. در نهایت از تمامی نظرات متخصصین میانگین گرفته شد و ماتریس نهایی تصمیم مطابق جدول (۷) ایجاد شد. به عنوان مثال با مقایسه‌ی گزینه‌های پیشنهادی بر حسب شاخص کرایه سفر، تاکسی با عدد ۱۰۰ بیشترین کرایه و اتوبوس با عدد ۱۵ کمترین کرایه را به خود اختصاص داده‌اند.

۳-۹- محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزندار

در این مرحله ابتدا ستون‌های ماتریس تصمیم برای شاخص‌های با اثر مثبت با استفاده از رابطه (۴) و

توجه به شاخص‌های در نظر گرفته شده اولویت بندی نمود. همانطور که مشخص است اتوبوس تندرو برای این کریدور شهری حائز بالاترین اولویت گردیده است و پس از آن به ترتیب گزینه‌های مترو، اتوبوس و تاکسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۵- آبرماتریس محدود شده بر اساس شبکه‌ی طراحی شده برای مسأله مورد نظر

هدف	۱-۱- کرایه سفر	۲-۱- هزینه اجرا	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	۲-۲- زمان داخل وسیله	۲-۲- زمان خارج از وسیله	۱-۳- امکان توسعه در آینده	۳-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	۲-۴- میزان تأخیرها	زمانبندی حرکت در ساعات	۱-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	۴-۵- راحتی و امنیت خارج وسیله	۵-۵- وسیله و در زمان انتظار	۵-۴- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	۱-۶- آلودگی هوا	۲-۶- آلودگی صدا	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	۳-۷- به روز بودن وسیله	۷-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	۴-۷- حجم جابجایی مسافر
هدف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
۱-۱	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
۱-۲	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
۱-۳	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
۲-۱	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
۲-۲	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
۳-۱	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
۳-۲	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
۴-۱	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
۴-۲	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
۴-۳	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
۵-۱	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
۵-۲	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
۵-۳	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
۶-۱	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
۶-۲	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
۶-۳	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
۷-۱	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
۷-۲	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
۷-۳	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
۷-۴	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

جدول ۶- وزن نهایی شاخص‌های ارزیابی

وزن نهایی	معیار	وزن نهایی	معیار	وزن نهایی	معیار	وزن نهایی	معیار
0.012	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	0.037	۱-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	0.083	۱-۳- امکان توسعه در آینده	0.098	۱-۱- کرایه سفر
0.034	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	0.043	۲-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	0.057	۲-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	0.083	۲-۱- هزینه اجرا
0.050	۲-۷- به روز بودن وسیله	0.018	۳-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	0.021	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	0.095	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی
0.063	۳-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	0.020	۱-۶- آلودگی هوا	0.028	۲-۴- میزان تأخیرها	0.097	۱-۲- زمان داخل وسیله
0.030	۴-۷- حجم جابجایی مسافر	0.012	۲-۶- آلودگی صدا	0.016	۳-۴- قابلیت اعتماد زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف	0.103	۲-۲- زمان خارج از وسیله

جدول ۷- ماتریس تصمیم

معیارهای ارزیابی	گزینه‌ها	۱-۱- کرایه سفر	۲-۱- هزینه اجرا	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	۱-۲- زمان داخل وسیله	۲-۲- زمان خارج از وسیله	۱-۳- امکان توسعه در آینده	۲-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	۳-۴- میزان تأخیرها	۱-۵- قابلیت اعتماد زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف	۲-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	۳-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	۲-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	۱-۶- آلودگی هوا	۲-۶- آلودگی صدا	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	۲-۷- به روز بودن وسیله	۳-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	۴-۷- حجم جابجایی مسافر
تاکسی		100	1	8	63	46	61	100	32	82	12	100	43	34	100	93	13	18	30	4	3
اتوبوس		15	3	19	100	100	79	86	43	97	23	37	46	73	22	68	27	21	44	29	40
اتوبوس تندرو		17	7	47	45	25	88	69	88	24	78	59	71	88	22	68	100	100	72	38	68
مترو		37	100	100	22	25	93	40	85	27	100	54	100	91	0	17	9	14	100	100	100

جدول ۸- ماتریس تصمیم نرمال

معیارهای ارزیابی	گزینه‌ها	۱-۱- کرایه سفر	۲-۱- هزینه اجرا	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	۱-۲- زمان داخل وسیله	۲-۲- زمان خارج از وسیله	۱-۳- امکان توسعه در آینده	۲-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	۳-۴- میزان تأخیرها	۱-۵- قابلیت اعتماد زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف	۲-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	۳-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	۲-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	۱-۶- آلودگی هوا	۲-۶- آلودگی صدا	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	۲-۷- به روز بودن وسیله	۳-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	۴-۷- حجم جابجایی مسافر
تاکسی		0	1	1	0.474	0.72	0	1	0	0.205	0	1	0	0	0	0	0.956	0.953	0	0	0
اتوبوس		1	0.980	0.880	0	0	0.563	0.767	0.196	0	0.125	0	0.053	0.684	0.78	0.329	0.802	0.919	0.2	0.260	0.381
اتوبوس تندرو		0.976	0.939	0.576	0.705	1	0.844	0.483	1	1	0.75	0.349	0.491	0.947	0.78	0.329	0	0	0.6	0.354	0.670
مترو		0.741	0	0	1	1	1	0	0.946	0.959	1	0.270	1	1	1	1	1	1	1	1	1

جدول ۹- ماتریس تصمیم نرمال وزندار و میزان جدایی و شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه

معیارهای ارزیابی	گزینه‌ها	۱-۱- کرایه سفر	۲-۱- هزینه اجرا	۳-۱- هزینه عملیات، نگهداری و پشتیبانی	۱-۲- زمان داخل وسیله	۲-۲- زمان خارج از وسیله	۱-۳- امکان توسعه در آینده	۲-۳- قابلیت تطبیق با تغییرات	۱-۴- قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها	۳-۴- میزان تأخیرها	۱-۵- قابلیت اعتماد زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف	۲-۵- راحتی و امنیت داخل وسیله	۳-۵- راحتی و امنیت خارج از وسیله و در زمان انتظار	۲-۵- ایمنی از لحاظ تعداد و شدت تصادفات	۱-۶- آلودگی هوا	۲-۶- آلودگی صدا	۳-۶- آلودگی سیمای شهری	۱-۷- حجم فضای اشغال شده	۲-۷- به روز بودن وسیله	۳-۷- صرفه جویی در مصرف انرژی	۴-۷- حجم جابجایی مسافر	D+	D-	C
تاکسی		0	0.083	0.095	0.046	0.074	0	0.057	0	0.006	0	0.037	0	0	0	0.011	0.032	0	0	0	0	0.177	0.171	0.492
اتوبوس		0.098	0.081	0.084	0	0	0.047	0.044	0.004	0	0.002	0	0.002	0.012	0.016	0.004	0.010	0.031	0.01	0.016	0.011	0.174	0.171	0.496
اتوبوس تندرو		0.096	0.078	0.055	0.068	0.103	0.070	0.028	0.021	0.028	0.012	0.013	0.021	0.017	0.016	0.004	0	0	0.03	0.022	0.020	0.090	0.209	0.698
مترو		0.073	0	0	0.097	0.103	0.083	0	0.020	0.027	0.016	0.010	0.043	0.018	0.02	0.012	0.012	0.034	0.05	0.063	0.03	0.143	0.212	0.597
PIS		0.098	0.083	0.095	0.097	0.103	0.083	0.057	0.021	0.028	0.016	0.037	0.043	0.018	0.02	0.012	0.012	0.034	0.05	0.063	0.03			
NIS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

۴- نتیجه گیری

شاخص‌ها و از روش TOPSIS برای اولویت بندی

گزینه‌های حمل و نقل عمومی استفاده شد.

با بررسی وزن نهایی شاخص‌ها که از روش ANP بدست آمده و در جدول (۶) نشان داده شده است، مشخص می‌شود که شاخص‌های زمان خارج از وسیله (زمان انتظار مسافران جهت سوار شدن)، کرایه

مشارکت اصلی این تحقیق، در نظر گرفتن شاخص‌هایی جامع و ارزیابی بازخوردها و اثرات میان آنها جهت انتخاب وسیله‌ی مناسب حمل و نقل عمومی در یک کریدور شهری مشخص می‌باشد. برای این منظور از روش ANP جهت تعیین وزن نهایی

در رتبه دوم قرار گرفته است. همچنین شاخص‌های حجم جابجایی مسافر و هزینه اجرا که در روش AHP در جایگاه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند، در روش ANP از ارجحیت کمتری برخوردار بوده و به ترتیب در جایگاه‌های سیزدهم و پنجم اهمیت قرار گرفته‌اند. علاوه بر این دو معیار زمان خارج و داخل وسیله که در روش ANP از نظر ارجحیت شاخص - های اول و سوم به شمار می‌روند، در روش AHP به ترتیب در جایگاه هشتم و پنجم اهمیت قرار گرفته‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از وزن دهی معیارها به روش ANP با روش AHP بسیار متفاوت می‌باشد که علت آن این است که در روش AHP معیارها مستقل از هم در نظر گرفته شده‌اند و اثرات و بازخوردهای میان آنها در تعیین وزن نهایی آنها لحاظ نشده است و به همین دلیل اهمیت آنها به صورت صحیح و قابل اعتمادی بدست نیامده است. نتایج حاصل از ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی بر حسب شاخص‌های تعیین شده که در جدول (۸) ارائه شده است، نشان می‌دهد که اگر چه اتوبوس تندرو به طور کلی حائز بیشترین امتیاز برای توسعه حمل و نقل عمومی در کریدور مورد مطالعه شده است، اما این وسیله از لحاظ معیارهای راحتی و امنیت، انواع آلودگیهای زیست محیطی و زمان سفر وضعیت چندان مطلوبی ندارد و مدیران و برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری باید به دنبال راهکارهایی برای رفع این معایب باشند.

گزینه مترو که پس از اتوبوس تندرو حائز بیشترین امتیاز در کریدور مطالعاتی شده است، اگر چه از لحاظ انواع شاخص‌های هزینه‌ای در کوتاه مدت مناسب نمی‌باشد، اما به علت کاهش انواع آلودگیهای

سفر (کرایه‌ای که مسافران جهت استفاده از وسیله می‌پردازند) و زمان داخل وسیله (زمان سفر با وسیله) به ترتیب دارای بیشترین اهمیت می‌باشند. این امر به خوبی نشان می‌دهد که مهمترین عوامل جهت بهبود و توسعه حمل و نقل عمومی در یک شهر کوتاه نمودن زمان سفرهای شهری و همچنین کاهش هزینه‌ی سفر می‌باشد.

همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زمان خارج از وسیله مهمترین معیار انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی بوده و حتی از معیارهای زمان و کرایه سفر نیز مهمتر می‌باشد که به نوبه‌ی خود بسیار جالب توجه می‌باشد. این معیار بر روی بسیاری از معیارهای دیگر اثر گذاشته و همین امر سبب افزایش وزن نهایی آن شده است. این امر نشان می‌دهد که برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران حمل و نقل شهری برای توسعه هر چه بیشتر حمل و نقل عمومی باید سعی کنند زمان انتظار مسافران به خصوص در ساعات اوج ترافیک را کاهش دهند.

با مقایسه‌ی وزن‌های بدست آمده از روش ANP با وزن‌های بدست آمده از روش AHP (وزن‌هایی که از مقایسه‌ی زوجی شاخص‌ها بر حسب هدف بدست آمده و در جدول (۲) نشان داده شده است) نتایج بسیار جالب و متفاوتی حاصل شده است. وزن‌های بدست آمده از روش AHP نشان می‌دهد که شاخص‌های کرایه سفر، حجم جابجایی مسافر و هزینه اجرا به ترتیب مهمترین شاخص‌ها محسوب می‌شوند. بدین ترتیب در روش AHP شاخص کرایه سفر با اختلاف بسیار زیادی نسبت به سایر شاخص - ها ارجحیت اول را به خود اختصاص داده است، در حالی که این شاخص در روش ANP از نظر اهمیت

باشد و به همین دلیل این گزینه در رتبه آخر قرار گرفته است. به طور کلی امروزه از تاکسی بیشتر به عنوان یک گزینه‌ی حمل و نقل نیمه عمومی یاد می‌شود و برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری به دلیل مشکلات عمده‌ی آن تمایل چندانی به سرمایه‌گذاری برای توسعه آن در کریدورهای با حجم بالای ترافیک و تقاضای سفر ندارند.

در پایان باید بدین نکته مهم توجه داشت که نتایج بدست آمده از این تحقیق مستقیماً به ساختار شبکه‌ی طراحی شده، مقایسه‌ی زوجی معیارها و نیز ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی بر حسب معیارها وابسته است. بنابراین اولویت‌های بدست آمده برای گزینه‌های پیشنهادی، کاملاً مخصوص به این کریدور شهری بوده و نمی‌توان آن را برای بقیه نقاط شهر تعمیم داد، چرا که ممکن است ارزیابی‌های متخصصین و تصمیم‌گیران برای مکان‌ها و شرایط دیگر کاملاً متفاوت باشد. همچنین ممکن است حتی برای همین کریدور شهری نیز با تغییر شرایط فعلی، گروهی دیگر از تصمیم‌گیران و یا همین متخصصین در زمانی دیگر، ارزیابی‌های متفاوتی را ارائه دهند که منجر به اولویت‌بندی‌های دیگری از گزینه‌های پیشنهادی گردد.

۵- پیشنهادها

با توجه به یافته‌های این تحقیق موارد زیر برای سیاست‌گذاری و انجام تحقیقات آتی در این زمینه پیشنهاد می‌گردد:

- از آنجا که اتوبوس تندرو از لحاظ معیارهای انواع آلودگی‌های زیست محیطی و نیز راحتی و امنیت وضعیت چندان مطلوبی ندارد، پیشنهاد می‌گردد مدیران و برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری از راهکارهای عملیاتی مانند جایگزینی سوخت این وسیله با سوخت‌های پاک جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی آن و همچنین تجهیز امکانات داخل و

زیست محیطی، اشغال نکردن هیچگونه فضایی از سطح کریدور، راحتی و امنیت بالا، حجم بالای جابجایی مسافر، صرفه جویی در مصرف انرژی و بروز بودن تکنولوژی آن می‌تواند در بلندمدت با توجه به مراکز مهم تولید و جذب سفر و حجم تقاضای سفر شهری که در کریدور مطالعاتی وجود دارد، گزینه‌ی مناسبی برای توسعه حمل و نقل عمومی در کریدور مورد مطالعه به شمار رود.

گزینه‌ی اتوبوس که در این تحقیق در رتبه سوم توسعه‌ی حمل و نقل عمومی در کریدور مورد مطالعه قرار گرفته است، اگر چه از لحاظ بسیاری از شاخص‌ها مانند کرایه سفر و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی مشابه اتوبوس تندرو می‌باشد، اما مشکل اساسی آن طولانی بودن زمان داخل و خارج وسیله (زمان انتظار و زمان سفر با این وسیله نقلیه)، عدم اعتماد به جدول زمانبندی حرکت، بالا بودن میزان تأخیرها، و عدم راحتی آن می‌باشد. این مشکلات بویژه در مسیرهای با ترافیک و حجم تقاضای سفر بالا از جمله کریدور مورد مطالعه بسیار بیشتر می‌باشد و سبب می‌شود که این وسیله گزینه چندان مناسبی برای توسعه حمل و نقل عمومی در اینگونه مسیرها به شمار نرود. به همین دلیل در بسیاری از کشورها برای کاهش این مشکلات سعی می‌شود از اتوبوس تندرو به عنوان جایگزین مناسبی برای اتوبوس استفاده گردد.

گزینه‌ی تاکسی نیز از لحاظ شاخص‌های مختلف از قبیل ایجاد انواع آلودگی‌های زیست محیطی، صرفه جویی در مصرف انرژی، حجم جابجایی مسافر، ایمنی، قابلیت اعتماد به جدول زمانی حرکتها و زمانبندی حرکت در ساعات و فصول مختلف سال و نیز میزان تأخیرها از سطح قابل قبولی برخوردار نمی‌-

مناسب نمی‌باشد. در نتیجه توسعه‌ی این وسیله تنها در کریدورهای با حجم ترافیک و تقاضای سفر کم و در مسافت‌های کوتاه به منظور ارتباط و اتصال انواع سیستم‌های حمل و نقل عمومی به یکدیگر پیشنهاد می‌گردد.

- در تحقیقات آتی می‌توان از روش پیشنهادی و معیارهای ارائه شده در این تحقیق برای ارزیابی انواع گزینه‌های حمل و نقل شخصی و عمومی مانند انواع خودرو شخصی، مینی بوس، ون، موتور سیکلت و دوچرخه و همچنین ارزیابی شیوه‌های حمل و نقل بین شهری کالا و مسافر استفاده نمود. علاوه بر این از روش پیشنهاد شده در این تحقیق می‌توان برای تصمیم‌گیری در خصوص سایر مسائل حمل و نقل شهری از قبیل انتخاب مسیر مناسب حمل و نقل عمومی، انتخاب مکان مناسب ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، انتخاب مکان مناسب پایانه سفرهای درون شهری و بین شهری، و انتخاب مکان مناسب برای پارکینگ عمومی استفاده نمود.

- در تحقیقات آتی می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی جهت لحاظ نمودن عدم اطمینان در ارزیابی متخصصین و تعیین وزن نهایی معیارها در شرایط عدم قطعیت و در نهایت مقایسه‌ی نتایج آن با روش پیشنهاد شده در این تحقیق، استفاده نمود. همچنین از روش‌های تحلیل حساسیت به منظور بررسی حساسیت نتایج تصمیم‌گیری به میزان اهمیت شاخص‌های تعیین شده استفاده شود.

منابع

رضایی، ع. و م. اصغرزاده (۱۳۸۷)، "ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی برای حمل و نقل همگانی شهر مشهد"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران: ۱-۶.

خارج این وسیله جهت آسایش بیشتر مسافران استفاده کنند. همچنین به منظور کاهش بیشتر زمان سفر با این وسیله نقلیه می‌توان از راهکارهای حمل و نقل هوشمند مانند استفاده از چراغ‌های راهنمایی هوشمند استفاده نمود. علاوه بر این از آنجا که با توسعه‌ی این سیستم قسمت قابل توجه‌ای از سطح معابر اشغال می‌شود، بنابراین پیشنهاد می‌گردد این سیستم تنها در کریدورهای با عرض زیاد (کریدورهایی با بیشتر از ۳ خط حرکت) توسعه داده شود. در صورت توسعه‌ی این سیستم در کریدورهای با عرض کم ممکن است معضلات ترافیکی و حرکتی بسیار زیادی بوجود آید.

- به منظور توسعه‌ی بلند مدت سیستم حمل و نقل عمومی پیشنهاد می‌گردد از گزینه‌ی مترو استفاده گردد. اگر چه این وسیله از لحاظ انواع شاخص‌های هزینه‌ای در کوتاه مدت بسیار پرهزینه و نامطلوب به نظر می‌رسد و همین امر سبب شده است که در کریدور مورد مطالعه بعد از گزینه‌ی اتوبوس تندرو در اولویت دوم قرار گیرد، اما از لحاظ معیارهای زمان سفر، انواع آلودگی‌های زیست محیطی، حجم فضای اشغال شده، راحتی و امنیت، حجم جابجایی مسافر، صرفه جویی در مصرف انرژی و بروز بودن تکنولوژی از سایر گزینه‌های حمل و نقل عمومی برتر بوده و می‌تواند گزینه‌ی بسیار مناسبی برای توسعه‌ی بلند مدت حمل و نقل عمومی در کریدور مورد مطالعه و سایر نواحی مشابه به شمار رود.

- توسعه‌ی ناوگان و خطوط تاکسی به علت بسیاری از معایب آن از جمله جابجایی تعداد کم مسافر، افزایش حجم ترافیک، ایجاد انواع آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش مصرف سوخت در کریدورهای با حجم بالای ترافیک و تقاضای سفر

- فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی سال پنجم، شماره سوم، پائیز ۱۳۸۴: ۱۷-۳۶.
- صلواتی، ع. و ح. حقشناس (۱۳۸۷). "یکپارچه سازی سیستم حمل و نقل عمومی به روش AHP مطالعه موردی: شهر اصفهان"، هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران: ۸-۱
- Awasthi, A., S.S. Chauhan and H. Omrani (2011). "Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems." *Expert Systems with Applications* 38: 12270-12280
- Awasthi, A., S.S. Chauhan, H. Omrani and A. Panahi (2011). "A hybrid approach based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS for evaluating transportation service quality." *Computers & Industrial Engineering* 61: 637-646
- Awasthi, A. and H. Omrani (2009). "A hybrid approach based on AHP and belief theory for evaluating sustainable transportation solutions." *International Journal of Global Environmental Issues* 9(3): 212-226
- Chang, Y.H., W.M. Wey and H.Y. Tseng (2009). "Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the Alishan Forest Railway." *Expert Systems with Applications* 36: 8682-8690
- Chung, S.H., A.H. Lee and W.L. Pearn (2005). "Product mix optimization for semiconductor manufacturing based on AHP and ANP analysis." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25 (11-12): 1144-1156
- El-Diraby, T.E., B. Abdulhai and K.C. Pramod (2005). "The application of knowledge management to support the sustainable analysis of urban transportation infrastructure." *Canadian Journal of Civil Engineering* 32: 58-71.
- Ferrari, P. (2003). "A method for choosing from among alternative transportation projects." *European Journal of Operational Research* 150(1): 194-203
- رضایی ارجودی، ع.، م. نجفی و م. منتظری (۱۳۸۹)، "مدل اولویت بندی پروژه های راهسازی در کشور"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران: ۸-۱
- صفارزاده، م. و ع. ملک زاده فر (۱۳۸۴). "کاربرد آنالیز هزینه- فایده در انتخاب سیستم حمل و نقل عمومی مناسب برای یک کریدور شهری"، Iniestra, J.Y. and J.G. Gutierrez (2009). "Multicriteria decisions on interdependent transportation projects using infrastructure an evolutionary-based framework." *Applied Soft Computing* 9(2): 512-526
- Janic (2003). "Multicriteria evaluation of high-speed rail, transrapid maglev and air passenger transport in Europe." *Transportation planning and technology* 26 (6): 491-512
- Jonsson, R. (2008). "Analysing sustainability in a land-use and transport system." *Journal of Transport Geography* 16: 28-41
- Özgen, A. and M. Tanyas (2011). "Joint selection of customs broker agencies and international road transportation firms by a fuzzy analytic network process approach." *Expert Systems with Applications* 38: 8251-8258
- Özkır, V. and T. Demirel (2012). "A fuzzy assessment framework to select among transportation investment projects in Turkey." *Expert Systems with Applications* 39: 74-80
- Sustainable "Richardson, B.C. (2005). transport: Analysis frameworks." *Journal of Transport Geography* 13(1): 29-39
- Saaty, T.L. (1999). *Fundamentals of the analytic network process*. ISAHp 1999. Kobe, Japan, 1-12
- Saaty, T.L. (2001). *The Analytic Network Process: Decision Making with Dependence and Feedback*. Pittsburgh, RWS Publications: p.p 270.
- Saaty, T.L. (2006). *The Analytic Network Process- Dependence and Feedback in Decision-Making: Theory and Validation Examples*. Business Applications and

- Computational Intelligence. K. E. Voges and N. K. L. Pope. London, Idea Group Publishing: 360-386
- Saaty, T.L. and L.G. Vargas (1998). "Diagnosis with dependent symptoms: Bayes theorem and the analytic network process." *Operations Research* 46 (4): 491-502
- Shyur, H.J. (2006). "COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP." *Applied Mathematics and Computation* 177: 251-259
- Tao, C.C. and C.C. Hung (2003). "A comparative approach of the quantitative models for sustainable transportation." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5: 3329-3344
- Tsamboulas, D. and G. Mikroudis (2000). "EFFECT: Evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives." *Transportation Research Part D* 5: 283-303
- Tudela, A., N. Akiki and R. Cisternas (2006). "Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis. An application to urban transport investment." *Transportation Research Part A* 40: 414-423
- Turcksin, L., A. Bernardini and C. Macharis (2011). "A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet." *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20: 954-965
- Tuzkaya, U.R. and S. Önüt (2008). "A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study." *Information Sciences* 178: 3133-3146
- Tzeng, G.H., L. Cheng-Wei and S. Opricovic (2005). "Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation." *Energy Policy* 33: 1373-1383
- Önsel, B. Ülengin, Ülengin, F., O. Kabak, S and E. Aktas (2010). "A problemstructuring model for analyzing transportation-environment relationships." *European Journal of Operational Research* 200(3): 844-859
- Wey, W-M. and K-Y. Wu (2007). "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation." *Mathematical and Computer Modelling* 46: 985-1000
- Yedla, S. and P.M. Shrestha (2003). "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delphi." *Transportation Research Part A* 8: 717-729
- Yeh, C.H., H. Deng and Y.H. Chang (2000). "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies." *European Journal of Operational Research* 126(3): 459-473
- group decision- Yue, Z. (2011). "A method for making based on determining weights of decision makers using TOPSIS." *Applied Mathematical Modelling* 35: 1926-1936
- Zuidegeest, M.H.P. (2005). *Sustainable urban transport development: A dynamic optimisation approach*. Enschede, Twente. PhD. Thesis: p.p University of 290



University Of Isfahan

Urban - Regional Studies and Research Journal

Vol. 5 – No. 18 - Autumn 2013

ISSN (online): 2252-0848

ISSN (Print): 2008-5354

<http://uijs.ui.ac.ir/urs>

Public Transportation Mode Selection in an Urban Corridor: Application of Multi-Criteria Decision Making Methods

A. Shirzadi, M. Taleai, A. Alimohammadi

Received: April 23, 2012 / Accepted: September 15, 2012, 1-6 P

Extended Abstract

1-Introduction

Transportation decisions including transportation mode selection, vehicle routing, and scheduling are directly related to the location and land uses. Changes in location and land uses can lead to considerable changes in transportation decisions at the strategic, tactical, and operational levels. At the strategic level, selection of the appropriate transportation mode is the most important concept in urban transportation planning. Each of the transportation modes has its own advantages, limitations, and characteristics. Therefore, any of them can be considered as the best choice under different circumstances.

In the selection of a particular transportation mode, all of the corresponding advantages and limitations have to be considered. Although choosing transportation mode may seem simple, a systematic comparison between modes by using a variety of criteria is required. For this purpose, different criteria including cost, time and traveling distance, availability, reliability, capacity, and security may be considered. Each of these criteria may conflict with each other. Therefore, identification of qualitative and quantitative evaluation criteria, definition of their interrelations and feedbacks, and assessment of their importance, for choosing the best transportation mode is a challenging problem for transportation planners and decision makers. This problem can be solved using a well-known multi-criteria decision making (MCDM) process.

Various multi-criteria decision making (MCDM) methods such as OWA, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, and AHP have been practiced in past works for comparison and determination of the appropriate transportation modes. In all

Author (s)

A. Shirzadi (✉)

PhD. Student, Dept. of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng.,
K.N. Toosi University of Technology
E-mail: shirzadi_ali@yahoo.com

M. Taleai

Assistant Professor, Dept. of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics
Eng., K.N. Toosi University of Technology

A. Alimohammadi

Associate Professor, Dept. of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics
Eng., K.N. Toosi University of Technology

these methods, evaluation criteria are assumed to be independent with no dependencies within or between different criteria. However, in many decision making problems including the transportation mode selection, considerable inner and outer dependencies can be expected between the criteria and alternatives. Due to the mutual dependencies and feedback effects of the criteria, the analytic network process (ANP) can be used for systematic evaluation and selection of the most appropriate transportation mode. ANP is a multi-attribute approach for decision making which enables consideration of interactions and feedbacks within (inner dependences) and between (outer dependences) criteria.

In this paper, the best public transportation mode in an urban corridor has been selected using ANP and TOPSIS Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods and Geospatial Information System (GIS). The Analytic Network Process (ANP) has been used for evaluation of the criteria and determination of their preferences. Then TOPSIS technique has been used for evaluation and ranking of the alternatives.

2- Theoretical bases

2-1- Analytic Network Process (ANP)

Many decision problems may not be structured hierarchically because they involve interactions and dependencies between the higher-level and lower-level elements. Saaty proposes a network model for structuring these problems. Analytic Network Process (ANP) is a more general form of the Analytic Hierarchy Process (AHP), first introduced by Saaty. ANP is a nonlinear structure that deals with dependences within (inner dependencies) and among the different sets of elements (outer dependences).

Generally, ANP consists of three stages. The first stage is the network construction, pairwise comparisons within and between

criteria, and relative weight estimation of the criteria and indicators. The second stage is the formation of the initial supermatrix, and the third is the formation of the weighted and the limiting supermatrix. To construct the network structure of the problem, all indicators are classified to multiple criteria and their interactions are considered. All of these criteria and indicators are evaluated using the pairwise comparisons, which uses the local priority vectors (eigenvectors) as an estimate of their relative importance. To obtain the global priorities, local priority vectors are placed in the appropriate columns of the matrix of influences among the elements, known as the supermatrix. The initial supermatrix must be normalized to a weighted supermatrix in which the sum of each of its columns equals to one. The weighted supermatrix is raised to limiting powers to calculate the limiting supermatrix and overall priorities.

2-2- TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) is a multi-attribute decision making method to identify solutions from a finite set of alternatives. TOPSIS method chooses an alternative, which respectively has the shortest and highest distance from the positive and negative ideal solutions. The positive and negative ideal solutions are respectively composed of the best and worst performance values. Steps of the TOPSIS are as follow:

Formation of the decision matrix,

Normalization of the decision matrix,

Calculation of the weighted normalized decision matrix,

Determination of the positive and negative ideal solutions,

Calculation of the separation measures of each alternative from the ideal solutions using the m-dimensional Euclidean distance,

Calculation of the relative closeness of each alternative to ideal solutions and rank of alternatives.

3- Discussion

The main purpose of this paper is the selection of the best public transportation mode in an urban corridor, using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques and Geographic Information System (GIS). For this purpose, a sample corridor in Tehran city is selected as the case study. This corridor is located between Azadi and Pounak Squares in Tehran with considerable daily trips. The length of the corridor is 6.75 km. Due to high travel demand and traffic, development of the public transportation modes is of prime importance.

To choose the most appropriate public transportation mode in the corridor, four alternatives including bus, taxi, Bus Rapid Transit (BRT), and underground railway together with the twenty indicators were considered. The indicators were classified to seven criteria including the cost, time, flexibility, reliability, security, pollution, and mode properties. Afterwards, relations and feedbacks between the criteria were determined and a network structure in ANP model was constructed. The decision making and evaluation processes were implemented in GIS environment. Finally, weights of indicators were obtained from ANP method. Then, TOPSIS technique is used to evaluate and rank the alternatives. The evaluation results showed that BRT, underground railway, bus, and taxi transportation modes have highest scores in the selected urban corridor, respectively.

4- Conclusion

The main contribution of this study is the consideration of many detailed criteria and the evaluation of the relations and feedbacks between them to select the most appropriate

public transportation mode in urban corridors.

The final weight of indicators which is derived from ANP method shows that out-of-vehicle travel time (passengers boarding waiting time), travel fare and in-vehicle travel time are the most important indicators, respectively. These indicators well indicate that the most important factors to improve and develop public transportation in a city are to reduce travel time and cost.

Comparing the weights obtained from ANP with weights obtained from AHP (weights obtained from the pairwise comparison of indicators based on the target) very interesting and different results are achieved. Weights obtained from AHP shows that travel fare, passenger volume, and cost of operation are the most important indicators, respectively. Whereas, in ANP, these indicators are located in the second, fifth and thirteenth order of importance. Moreover, the indicators of out-of-vehicle travel time and in-vehicle travel time that have the first and third degree of importance in ANP are located in eighth and fifth order of importance, respectively. The difference between ANP and AHP results lies beneath the fact that AHP considers the indicators independent and neglects the relations and feedbacks between them, while ANP considers these relations and feedbacks. Therefore, ANP method is more suitable to solve this problem, as the evaluation criteria for transportation mode selection are not practically independent.

The results of the evaluation alternatives in TOPSIS showed that BRT, underground railway, bus, and taxi transportation modes generally had the highest scores in the selected urban corridor, respectively. Although BRT has been found the most appropriate public transportation mode in this corridor generally, it is not suitable in

terms of comfort, security, environmental pollutions and travel time indicators. Moreover the underground railway is not appropriate in terms of cost indicators in short term, but due to the reduction of environmental pollutions, no corridor surface occupation, convenience and high security, high passenger volume transport, energy saving and up to date technology can be considered as an appropriate option in long term. In addition, bus and taxi are not suitable options for developing public transportation in this corridor, due to their disadvantages.

5- Suggestions

Since BRT is not desirable in terms of comfort, security and environmental pollutions indicators, it is suggested to elaborate BRT facilities via replacing conventional fuel with clean fuels to reduce environmental pollutions and improving comfort and safety through refurbishing and renovation. In addition, to reduce the travel time, intelligent transportation solutions such as intelligent lights can be used. For long-term development of public transportation, the use of the underground railway is suggested. Although the underground railway seems to be very expensive and undesirable in short term in terms of various cost indicators, it is better than other options of public transportation in terms of travel time, the types of environmental pollutions, space occupation, comfort and security, passenger volume, energy saving and up to date technology. Therefore, it is suggested as a very good option for long-term development of public transportation in this case study and other similar areas.

In future researches, instead of using deterministic ANP method, Fuzzy ANP (FANP) method can be used for transportation mode choice problem. FANP encompasses and solves the ambiguity and

imprecision of the pairwise comparisons. Moreover, sensitivity analysis methods can be used to evaluate the sensitivity of the results of decision making to the determined weights of criteria. In addition, the proposed method and the criteria presented in this research can be used to evaluate other types of urban transportation modes such as private vehicles, minibuses, vans, motorcycles, bicycles, and freight and passenger transportation modes between cities.

Key words: Multi-criteria decision making, public transportation, ANP, TOPSIS, GIS.

References

- Awasthi, A., S.S. Chauhan and H. Omrani (2011). "Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems." *Expert Systems with Applications* 38: 12270–12280.
- Awasthi, A., S.S. Chauhan, H. Omrani and A. Panahi (2011). "A hybrid approach based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS for evaluating transportation service quality." *Computers & Industrial Engineering* 61: 637-646.
- Awasthi, A. and H. Omrani (2009). "A hybrid approach based on AHP and belief theory for evaluating sustainable transportation solutions." *International Journal of Global Environmental Issues* 9(3): 212-226.
- Chang, Y.H., W.M. Wey and H.Y. Tseng (2009). "Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the Alishan Forest Railway." *Expert Systems with Applications* 36: 8682-8690.
- Chung, S.H., A.H. Lee and W.L. Pearn (2005). "Product mix optimization for semiconductor manufacturing based on AHP and ANP analysis." *International*

- Journal of Advanced Manufacturing Technology 25 (11–12): 1144-1156.
- El-Diraby, T.E., B. Abdulhai and K.C. Pramod (2005). "The application of knowledge management to support the sustainable analysis of urban transportation infrastructure." *Canadian Journal of Civil Engineering* 32: 58-71.
- Ferrari, P. (2003). "A method for choosing from among alternative transportation projects." *European Journal of Operational Research* 150(1): 194–203.
- Iniestra, J.Y. and J.G. Gutierrez (2009). "Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework." *Applied Soft Computing* 9(2): 512-526.
- Janic (2003). "Multicriteria evaluation of high-speed rail, transrapid maglev and air passenger transport in Europe." *Transportation planning and technology* 26 (6): 491-512.
- Jonsson, R. (2008). "Analysing sustainability in a land-use and transport system." *Journal of Transport Geography* 16: 28-41.
- Özgen, A. and M. Tanyas (2011). "Joint selection of customs broker agencies and international road transportation firms by a fuzzy analytic network process approach." *Expert Systems with Applications* 38: 8251-8258.
- Özkır, V. and T. Demirel (2012). "A fuzzy assessment framework to select among transportation investment projects in Turkey." *Expert Systems with Applications* 39: 74–80.
- Rezaei, A. and M. Asgharzadeh (2008). "Evaluation of public transportation alternatives in Mashhad city." 4th National Congress on Civil Engineering, Tehran University, Tehran, Iran, p.p. 1-6.
- Rezaei R., A., M. Najafi and M. Montazeri (2010). "The prioritization model of road projects in Iran." 5th National Congress on Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, p.p. 1-8.
- Richardson, B.C. (2005). "Sustainable transport: Analysis frameworks." *Journal of Transport Geography* 13(1): 29–39.
- Saaty, T.L. (1999). *Fundamentals of the analytic network process*. ISAH 1999. Kobe, Japan, 1-12.
- Saaty, T.L. (2001). *The Analytic Network Process: Decision Making with Dependence and Feedback*. Pittsburgh, RWS Publications: p.p 270.
- Saaty, T.L. (2006). *The Analytic Network Process- Dependence and Feedback in Decision-Making: Theory and Validation Examples*. Business Applications and Computational Intelligence. K. E. Voges and N. K. L. Pope. London, Idea Group Publishing: 360-386.
- Saaty, T.L. and L.G. Vargas (1998). "Diagnosis with dependent symptoms: Bayes theorem and the analytic network process." *Operations Research* 46 (4): 491-502.
- Safarzadeh, M. and A. Malekzadehfar (2005). "Application of Cost-Profit analysis to the selection of an appropriate urban transportation system in an urban corridor." *Quarterly journal of The Economic Research*, Vol. 5, No. 3, 2005 Autumn, p.p. 17-36.
- Salavati, A. and H. Haghshenas (2008). "Integration of public transportation system using AHP method, case study: Isfahan metropolitan." 8th Transportation and Traffic Engineering Conference of Iran, Traffic and transportation organization of Tehran municipality, Tehran, Iran, p.p. 1-8.
- Shyur, H.J. (2006). "COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP." *Applied Mathematics and Computation* 177: 251–259.

- Tao, C.C. and C.C. Hung (2003). "A comparative approach of the quantitative models for sustainable transportation." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5: 3329–3344.
- Tsamboulas, D. and G. Mikroudis (2000). "EFFECT: Evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives." *Transportation Research Part D* 5: 283-303.
- Tudela, A., N. Akiki and R. Cisternas (2006). "Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis. An application to urban transport investment." *Transportation Research Part A* 40: 414-423.
- Turcksin, L., A. Bernardini and C. Macharis (2011). "A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet." *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20: 954-965.
- Tuzkaya, U.R. and S. Önüt (2008). "A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study." *Information Sciences* 178: 3133-3146.
- Tzeng, G.H., L. Cheng-Wei and S. Opricovic (2005). "Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation." *Energy Policy* 33: 1373-1383.
- Ülengin, F., O. Kabak, S. Önsel, B. Ülengin and E. Aktas (2010). "A problemstructuring model for analyzing transportation-environment relationships." *European Journal of Operational Research* 200(3): 844-859.
- Wey, W-M. and K-Y. Wu (2007). "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation." *Mathematical and Computer Modelling* 46: 985-1000.
- Yedla, S. and P.M. Shrestha (2003). "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delphi." *Transportation Research Part A* 8: 717-729.
- Yeh, C.H., H. Deng and Y.H. Chang (2000). "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies." *European Journal of Operational Research* 126(3): 459-473.
- Yue, Z. (2011). "A method for group decision-making based on determining weights of decision makers using TOPSIS." *Applied Mathematical Modelling* 35: 1926-1936.
- Zuidgeest, M.H.P. (2005). Sustainable urban transport development: A dynamic optimisation approach. Enschede, University of Twente. PhD. Thesis: p.p 290.