Archive of SID

تعیین سناریوی برتر حمل و نقل همگانی مسافر درون شهری با "TOPSIS فازی"

اکبر اصفهانی‌پور*، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
ترانه لسانی، دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
E-mail: esfahaa@aut.ac.ir
دریافت:۱۳۹۰/۰٤/۲۹- پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰٦

چکیده

در این مقاله، یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه براساس فنون تصمیم‌گیری گروهی به منظور انتخاب مناسب‌ترین سناریوی سرمایه‌گذاری حمل و نقل ارایه شده است. روش تصمیم‌گیری چندشاخصه TOPSIS فازی به عنوان یکی از مدل‌های جبرانی در حل این مسئله به‌کار گرفته شده است. این روش امکان در نظر گرفتن شاخص‌های کیفی و کمی را به صورت همزمان می‌دهد. در این مطالعه، به منظور تعیین شاخص‌های تصمیم‌گیری مناسب، از روش "تحلیل عاملی تأییدی" استفاده شده است. از طرفی دیگر، از آنجایی‌که در دنیای واقعی با داده‌های غیرهماهنگ از منابع مختلف و یا کمبود اطلاعات روبه‌رو هستیم، معمولاً داده‌ها نادقیق می‌باشند. بنابراین، به منظور حل این مشکل، تمامی داده‌ها در این مطالعه به اعداد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل شده‌اند. در این مدل، متغیرهای زبانی و اعداد فازی برای نشان دادن قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان در رابطه با معیارهای تصمیم‌گیری و مقادیر آنها مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور جمع‌بندی و تحلیل نظرات افراد خبره از روش "دلفی فازی[1]" استفاده شده است. روش پیشنهادی این مطالعه با استفاده از داده‌های شهر نمونه (ارومیه)، اجرا و سناریوی برتر حمل و نقل تعیین شده که مورد تأیید خبرگان بوده است. به منظور نمایش مناسب بودن کاربرد روش TOPSIS فازی، از روش PROMETHEE به عنوان یکی دیگر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده که نتایج آن، صحت الگوریتم به‌کار رفته را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل همگانی بخش مسافر درون‌شهری[2]، تصمیم‌گیری چندشاخصه[3]، روش TOPSIS فازی[4]، روش PROMETHEE

۱- مقدمه

تداوم رشد اقتصادی یک کشور، نیازمند ایجاد و توسعه تأسیسات زیربنایی آن از جمله نیروگاه‌ها، مخابرات و حمل و نقل می‌باشد. در کشور ما هر ساله مبالغ زیادی طی قانون بودجه سنواتی به طرح‌های عمرانی و ملی تعلق می‌گیرد. با استناد به اسناد مرکز آمار ایران، تقریباً حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از سهم بودجه زیرساخت‌های عمرانی، به زیرساخت‌های حمل و نقل تعلق دارد. با توجه به مبالغ بالایی که هر ساله در این بخش صرف می‌شود، بهینه‌سازی این هزینه‌ها می‌تواند موجبات رشد بودجه و ترقی در سایر زیرساخت‌ها را به همراه داشته باشد (Salem, AbouRizk and Ariaratnam, 2003). یکی از موارد بسیار مهم در زمینه

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

"بهینه‌سازی هزینه‌ها" انتخاب یک سناریوی حمل و نقل از بین سناریوهای پیشنهاد شده برای یک محل، منطقه و یا شهر است. بنابراین، به‌کارگیری روش مناسب برای اولویت‌بندی سناریوهای حمل‌و نقل، اهمیت زیادی در سرمایه‌گذاری‌های مرتبط دارد.

براین اساس، هدف این مقاله، ارایه روشی برای انتخاب برترین سناریوی حمل و نقل درون شهری با استفاده از الگوریتم TOPSIS فازی و با توجه به همه امکانات و محدودیت‌های شهر مورد مطالعه می‌باشد. براساس ادبیات مورد بررسی، این الگوریتم تاکنون در زمینه انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل مورد استفاده قرار نگرفته است. همچنین از آنجایی‌که در دنیای واقعی با داده‌های غیرهماهنگ از منابع مختلف و یا کمبود اطلاعات روبه‌رو هستیم، معمولاً داده‌ها نادقیق هستند.

در نتیجه، به منظور حل این مشکل، تمامی داده‌ها در این مسئله به اعداد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل شده‌اند. شاخص‌های ارزیابی سناریوها در این روش از ترکیب شاخص‌های دو روش اصلی "تحلیل هزینه- فایده" و "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" (Inestra and Gutierrez, 2009) به‌دست آمده‌اند که در نهایت با استفاده از روش "تحلیل عاملی تأییدی"، این شاخص‌ها نهایی شده‌اند. ویژگی اصلی شاخص‌های نهایی، قابل فهم بودن برای مدیران و جامع بودن آنها با لحاظ نمودن همه ابعاد ارزیابی یک سناریو می‌باشد. در این مدل، به منظور کاربردی و نزدیک‌تر کردن نتایج به دنیای واقعی، از نظر خبرگان در بخش‌های مختلف مدل استفاده شده است.

در این مقاله، در بخش دو ادبیات موضوع مورد بررسی قرار گرفته و نحوه ارتباط کار انجام شده در این مقاله با ادبیات، تعیین شده است. در بخش ۳ به صورت خلاصه، روش TOPSIS فازی و PROMETHEE شرح داده شده‌اند، در بخش ٤ روش پیشنهادی تشریح و در بخش ۵، نتایج اجرای روش پیشنهادی در یک شهر نمونه، ارایه شده است. در انتهای بخش ۵، اعتبارسنجی مدل پیشنهادی نیز انجام شده است. در نهایت در بخش ٦ تجزیه و تحلیل نتایج از طریق تحلیل حساسیت وزن دو شاخص مهم‌تر مدل ارایه شده است.

۲- سابقه تحقیق

به طور کلی مهم‌ترین روش‌های "تعیین سناریوی برتر حمل و نقل" که در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، الگوریتم‌های "تحلیل هزینه - فایده" و "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" می‌باشد (Inestra and Gutierrez, 2009) که در بررسی سوابق، به این الگوریتم‌ها توجه ویژه و کاربرد آنها شرح داده شده است.

در روش "تحلیل هزینه - فایده" تمامی معیارهای اقتصادی و غیراقتصادی یک سناریو را به ارزش‌های ریالی تبدیل کرده و سپس از یک شاخص اقتصادی مناسب به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی یک سناریو استفاده می‌شود. به عنوان مثال در مطالعات انجام شده توسط (Goedeche, 2007) از روش "تحلیل هزینه - فایده" برای تحلیل هزینه چرخه حیات سناریوهای حمل و نقل استفاده شده است. وی هزینه‌های حمل و نقل که مبنای مقایسه سناریوها می‌باشد را در سه گروه: ۱) هزینه‌های عملکردی شامل هزینه سوخت و روغن - هزینه تعمیرات و لوازم یدکی، ۲) هزینه‌های استهلاک و سرمایه‌گذاری و ۳) هزینه‌های خارجی شامل آلودگی هوا، آلودگی صوتی، تصادفات، زمان سفر دسته‌بندی می‌کند. از دیگر مطالعات مرتبط در این زمینه (Zachariadis, 2005) است. وی نوع وسیله نقلیه را با متغیرهای اقتصادی نظیر درآمد و هزینه‌های حمل و نقل پیوند می‌دهد و بر این اساس شاخص‌های جدیدی درباره سرمایه‌گذاری و تکنولوژی را در مدل تعریف می‌کند. در مرحله بعد، فواید و هزینه‌های سناریوها مقایسه و در نهایت، گزینه برتر انتخاب می‌شود.

"مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" شامل روش‌هایی به منظور در نظر گرفتن همزمان شاخص‌های کمی و کیفی در یک فرآیند ارزیابی می‌باشد. در چند سال اخیر از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در بحث ارزیابی سناریوهای حمل و نقل استفاده بیشتری شده است. به‌عنوان مثال (Ting, Yu and Wei, 2008)، مدلی برای تخصیص بودجه دولتی به سناریوهای حمل و نقل ارایه داده است. شاخص‌های تصمیم‌گیری در این مدل شامل شرایط سناریو، شرایط محیطی، شرایط قانونی، شرایط برنامه‌ریزی و شرایط محاسبه‌ای است. سپس وزن این شاخص‌ها با استفاده از روش AHP تعیین می‌شود. سپس بودجه هر سناریو شامل هزینه‌های ساخت (مستقیم و غیرمستقیم)، هزینه‌های مهندسی و سایر هزینه‌ها محاسبه شده و با استفاده از تحلیل شبیه‌سازی، بیشترین و کمترین بودجه هر سناریو تعیین و در نهایت بودجه اختصاص یافته به هر آن تعیین می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

(Avineri, Prashker, 2009) استفاده از "برنامه‌ریزی خطی" را به دلیل متفاوت بودن واحدهای اندازه‌گیری اهداف گوناگونی که در اجرای یک سناریوی حمل و نقل وجود دارد، مناسب می‌داند. ولی مشکل اصلی روش مورد استفاده، "غیرجبرانی بودن" آن است؛ یعنی قوت یک شاخص نمی‌تواند ضعف شاخص دیگر را جبران نماید. همچنین آنها از چندین قاعده مبتنی بر مقادیر زبانی فازی برای تصمیم‌گیری در مورد سناریوها استفاده کرده‌اند. همچنین (Gabriel, Kumar and Ordonez, 2006) یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای انتخاب سناریوهای برتر از بین گزینه‌های موجود را ارایه داده است.

(Tudela, Akiki and Cisternas, 2006) نتایج حاصل از به‌کارگیری دو روش "تحلیل هزینه – فایده" و "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به طور خاص روش AHP" را با هم مقایسه کرده‌اند. آنها بیان کرده‌اند تا وقتی که در مسئله صرفاً شاخص‌های کمی وجود داشته باشد، روش "تحلیل هزینه – فایده" نسبت به "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" بهتر و قابل فهم‌تر است. ولی زمانی‌که شاخص‌های کیفی نیز مطرح می‌شوند، "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" مناسب‌تر هستند.

(Ferrari, 2003) روش جدیدی برای انتخاب سناریوی برتر ترافیکی ارایه داده است. این روش مانند روش AHP بر پایه مقایسات زوجی گزینه‌ها و شاخص‌هاست. ولی مشکلی که روش AHP دارد این است که در این روش، شاخص‌های تصمیم‌گیری باید از یکدیگر مستقل باشند. ولی از آنجایی‌که این فرض در مورد شاخص‌های تصمیم‌گیری در زمینه حمل و نقل محال است، از روش AHP سنتی نمی‌توان استفاده کرد، بنابراین، روش را توسعه دادند، به این صورت که با ترکیب یک روش نوین اندازه‌گیری و نظر خبرگان، میزان اثرگذاری شاخص‌ها بر هم، به‌صورت زوجی تعیین می‌شود. سپس این اندازه‌گیری‌ها مطابق الگوریتم خاصی، وارد روش AHP شده و مسئله حل می‌گردد.

(Caliskan, 2005) روشی به منظور مقایسه سناریوهای حمل و نقل و انتخاب سناریوی برتر، ارایه داده است. اساس این روش بر پایه مصاحبه با کارشناسان ترافیک و خبرگان است. روش‌هایی مانند AHP و نقشه‌های ذهنی[5] که بیانگر روابط علت و معلولی بین شاخص‌ها می‌باشد، از ابزارهای استفاده شده در این مدل هستند. همچنین (Yedla and Shrestha, 2003) به منظور انتخاب بهترین سناریوی حمل و نقل از روش AHP استفاده کرده است. شاخص‌های تصمیم‌گیری در این مدل، انرژی، محیط، هزینه، تکنولوژی، انعطاف‌پذیری و محدودیت‌های قانونی می‌باشد. (Sahin, Yilmaz and Ust, 2007) یکی از فاکتورهای بسیار مهم در تعیین سناریوی برتر حمل و نقل را هزینه آن می‌داند. آنها در تحقیق خود هزینه‌ها را به ازای "یک واحد بار یا مسافر به ازای یک واحد طول" در طول دوره بهره‌برداری از سناریو محاسبه می‌نمایند. (Inestra, Gutierrez, 2009) شرایطی را درنظر گرفته که در آن قرار است حداقل دو سناریو از بین سناریوهای حمل و نقل انتخاب شود. آنها الگوریتم خود را در قالب یک مسئله کوله‌پشتی صفر – یک ارایه دادند که با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره حل می‌شود. در این الگوریتم، وابستگی بین سناریوها را در نظر گرفته‌اند.

براساس پیشینه مطالعه شده دو روش "تحلیل هزینه – فایده" و "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل هستند. در روش "تحلیل هزینه – فایده" تمامی معیارهای اقتصادی و غیراقتصادی یک سناریو را به ارزش‌های ریالی تبدیل کرده و سپس از یک شاخص اقتصادی مناسب مانند NPV، برای ارزیابی یک سناریو استفاده می‌شود (Banister, Berechman, 2000). با توجه به ساده و قابل فهم بودن این روش برای تحلیل‌گران و مدیران، این روش قابلیت استفاده زیادی دارد. ولی مشکل عمده این روش، آن است با توجه به اینکه در دنیای واقعی همه خصوصیات یک سناریو قابل تبدیل به مقادیر ریالی نمی‌باشد، روش، عملکرد مناسبی نخواهد داشت. "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" شامل روش‌هایی برای لحاظ نمودن همزمان شاخص‌های کمی و کیفی در یک فرآیند ارزیابی است. بنابراین، دقت حل مسئله با استفاده از این روش نسبت به روش "تحلیل هزینه – فایده" بیشتر است. ولی این روش معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به علاقه نداشتن مدیران به استفاده از این روش به دلیل تعداد زیاد شاخص‌ها در آنها و عدم امکان جمع بستن این شاخص‌ها با هم به صورت یک عدد، اشاره کرد. با توجه به مزایا و معایب دو روش، در این مقاله تلاش کردیم که در ابتدا با

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب شاخص‌های این دو روش، شاخص‌های جدیدی را ارایه نماییم که اهداف هر دو روش را برآورده سازد، تا از مزیت‌های هر دو روش بهره‌مند شویم و از مشکلات آنها مصون بمانیم. سپس وزن شاخص با استفاده از روش "دلفی فازی" تعیین شده و در نهایت با استفاده از روش "TOPSIS فازی" سناریوی برتر حمل و نقل انتخاب می‌شود. از جمله خصوصیات روش TOPSIS این است که نرخ جانشینی بین شاخص‌های انتخابی مدل یکسان نمی‌باشد. همچنین در این روش باید، مطلوبیت شاخص‌های مورد نظر برای حل مسئله به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهشی) باشد. این دو شرایطی است که بر مسئله انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل حکم‌فرماست (Ozbey, Bartin and Tuzel, 2007). نکته آخر اینکه با بررسی‌های انجام گرفته، روش ارایه شده در این مقاله تاکنون برای انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل درون شهری مورد استفاده قرار نگرفته است.

۳- تشریح روش‌های تصمیم‌گیری "TOPSIS فازی" و "PROMETHEE"

در این قسمت به توضیح دو روش تصمیم‌گیری مورد استفاده در این مقاله شامل "TOPSIS فازی" و "PROMETHEE" پرداخته شده، سپس در قسمت ٤ روش پیشنهادی این مطالعه ارایه می‌شود.

۳-۱- روش "TOPSIS فازی"

با توجه به ویژگی‌های مسایل تصمیم و قابلیت‌های مدل‌های تصمیم‌گیری فازی، این مدل‌ها نتایج نزدیک‌تر به واقعیت در مقایسه با مدل‌های کلاسیک ارایه می‌دهند. یکی از این مدل‌ها، TOPSIS فازی می‌باشد که اوزان و مقادیر متغیرهای تصمیم در آن به صورت اعداد فازی می‌باشد. به عبارتی دیگر از آنجا که برای یک فرد تصمیم‌گیرنده، تخصیص رتبه دقیق به یک گزینه برای ویژگی‌های تحت بررسی دشوار است، استفاده از رویکرد فازی می‌تواند کمک بسزایی در تصمیم‌گیری نماید. همچنین از آنجایی‌که گاهی مقدار یک شاخص که از منابع مختلف به‌دست می‌آید، با یکدیگر متفاوت است، در این مقاله مقدار همه شاخص‌ها براساس عدد فازی محاسبه شده است. در میان انواع گوناگون اعداد فازی، اعداد فازی ذوزنقه‌ای کاربرد بیشتری دارند. به این منظور، مقادیر مورد نیاز شاخص‌ها در روش پیشنهادی را به صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای فرض کرده‌ایم. در این قسمت، مراحل الگوریتم TOPSIS فازی به صورت خلاصه ارایه و در مراحل بعدی توضیحات بیشتری در ارتباط با آن داده می‌شود:

قدم اول: تعیین اهمیت شاخص‌ها توسط خبره با استفاده از متغیرهای زبانی. در این مرحله، اهمیت هر شاخص با استفاده از متغیرهای زبانی تعیین و بردار W بر اساس رابطه ۱ تشکیل می‌گردد.

$$\widetilde{W} = \{\widetilde{w_1}, \widetilde{w_2}, \widetilde{w_3}, \dots\} \qquad (۱)$$

قدم دوم: تعیین مقادیر گزینه‌ها با توجه به هر شاخص و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده. در این مرحله ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری که مقدار هر شاخص در هر سناریو است (به صورت فازی) معین می‌شود، سپس به یک ماتریس "بی‌مقیاس شده" با استفاده از رابطه ۲ تبدیل می‌گردد.

$$\widetilde{n_{ij}} = \frac{\widetilde{r_{ij}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \widetilde{r_{ij}^2}}} \qquad (۲)$$

قدم سوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال وزین شده. در این مرحله، ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار به صورت N_D: ماتریس بی‌مقیاس شده امتیازات شاخص‌ها با استفاده از رابطه ۳ تشکیل می‌گردد.

$$\widetilde{W} = \{\widetilde{w_1}, \widetilde{w_2}, \widetilde{w_3}, \dots\} \qquad (۳)$$

$$\tilde{V} = \widetilde{N_D}.\widetilde{W}_{n*n} = \begin{vmatrix} \tilde{V}_{11} \dots \tilde{V}_{1j} \dots \tilde{V}_{1n} \\ \tilde{V}_{m1} \dots \tilde{V}_{mj} \dots \tilde{V}_{mn} \end{vmatrix}$$

قدم چهارم: تعیین حل ایده‌آل فازی و حل ضد ایده‌آل فازی. برای گزینه ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) تعریف و بر اساس روابط ٤ و ٥ تعریف می‌شود.

$$A^+ = \{(\max \tilde{V}_{ij} | j \in J), (\min \tilde{V}_{ij} | j \in \acute{J}) | i = 1,2,\dots,m\} = \{\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_2^+, \dots, \tilde{V}_n^+\} \qquad (٤)$$

$$A^- = \{(\min \tilde{V}_{ij} | j \in J), (\max \tilde{V}_{ij} | j \in \acute{J}) | i = 1,2,\dots,m\} = \{\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-\} \qquad (٥)$$

به طوری که:

$$J = \{j = 1,2,\dots,n | j \text{ های مربوطه به سود}\} \quad \text{و} \quad \acute{J} = \{j = 1,2,\dots,n | j \text{ های مربوطه به هزینه}\}$$

www.SID.ir

Archive of SID

قدم پنجم: محاسبه فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل فازی و حل ضد ایده‌آل فازی. فاصله گزینه i ام با ایده‌آل مثبت (d_{i+}) و ایده‌آل منفی (d_{i-})، با استفاده از روش اقلیدسی با استفاده از رابطه‌های ٦ و ٧ محاسبه می‌شود.

$$\tilde{d}_{i^+} = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(\tilde{V}_{ij} - \tilde{V}_j^{+}\right)^2\right\}^{0.5} ; i = 1,2,\dots,m \quad (٦)$$

$$\tilde{d}_{i^-} = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(\tilde{V}_{ij} - \tilde{V}_j^{-}\right)^2\right\}^{0.5} ; i = 1,2,\dots,m \quad (٧)$$

قدم ششم: محاسبه شاخص ضریب نزدیکی هر گزینه. این مقدار با استفاده از رابطه ٨ محاسبه می‌شود.

$$\widetilde{cl}_{i^+} = \frac{\tilde{d}_{i^+}}{\tilde{d}_{i^+} + \tilde{d}_{i^-}} \quad (٨)$$

قدم هفتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به شاخص ضریب نزدیکی محاسبه شده در قدم قبل. در این مرحله براساس ترتیب نزولی cl_i ها می‌توان گزینه‌های موجود از مسئله را رتبه‌بندی کرد.

٣-٢- روش "PROMETHEE"

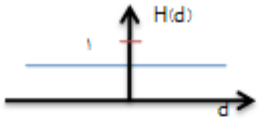
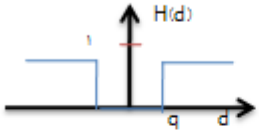
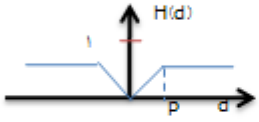
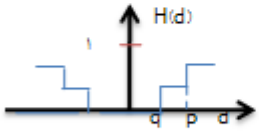
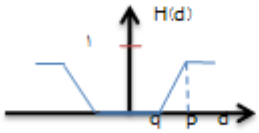
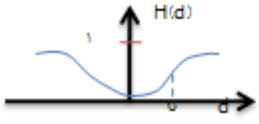
روش تصمیم‌گیری PROMETHEE یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاری است که "برنس" در سال ١٩٨٢ معرفی و سپس در سال‌های ١٩٨٥ و ١٩٩٤ با کمک همکارانش توسعه داد. این روش یک روش رتبه‌بندی است که نقطه شروع آن جدول ارزیابی می‌باشد. در این جدول، گزینه‌ها براساس معیارهای مختلف ارزیابی می‌شوند. این ارزیابی‌ها کیفی یا کمی هستند (چهار سوقی، البدوی، اصفهانی‌پور، ١٣٨٥). فرآیند رتبه‌بندی گزینه‌ها در روش PROMETHEE به طور خلاصه، شامل مراحل زیر می‌باشد: فرض کنید A مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که انتخاب باید از میان آنها صورت گیرد. با فرض وجود K شاخص موثر در تصمیم‌گیری، برای هر $a \in A$ مقدار $f_j(a)$ نشان‌دهنده ارزش شاخص j ام در گزینه a است. رتبه‌بندی در سه گام انجام می‌گیرد:

گام اول: تابع ترجیح P_j به هریک از شاخص‌های j اختصاص داده می‌شود. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج محاسبه می‌شود. این مقدار بین صفر و یک متغیر است. اگر رابطه $f_j(a)=f_j(b)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ برابر صفر می‌شود و با افزایش $f_j(a) - f_j(b)$ این مقدار افزایش می‌یابد و هنگامی که اختلاف به اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به ١ می‌رسد. شکل‌های مختلفی را می‌توان برای تابع P_j فرض کرد که به وضعیت مدل‌سازی شاخص j ام بستگی دارد. روش PROMETHEE شش نوع تابع ترجیح را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند که در جدول ١ نشان داده شده است.

گام دوم: میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ برای هر گزینه a روی گزینه b محاسبه می‌شود. هرچه میزان $\pi(a,b)$ بیشتر باشد، گزینه a ترجیح بیشتری دارد. $\pi(a,b)$ با استفاده از رابطه ٩ محاسبه می‌شود.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} w_j\, p_j(a,b) \quad , \quad \left(\sum_{j=1}^{k} w_j = 1\right) \quad (٩)$$

جدول ١. معیارهای تعمیم‌یافته(چهارسوقی، البدوی و اصفهانی‌پور، ١٣٨٥)

نوع	نام	پارامتر	شکل
١	معیار عادی	–	
٢	معیار بخشی	q	
٣	معیار خطی	p	
٤	معیار هم‌سطح	q ، p	
٥	معیار خطی با ناحیه بی تفاوتی	q ، p	
٦	معیار گاوسی	σ	

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان‌دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a بر سایر گزینه‌ها، جریان خروجی با استفاده از رابطه ١٠ محاسبه می‌شود.

$$\emptyset^{+}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A}\pi(a,x) \quad (١٠)$$

www.SID.ir

Archive of SID

این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان در حقیقت قدرت گزینه a است. بزرگترین $\emptyset^{+}(a)$ به معنای بهترین گزینه است. ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان ورودی نامیده می‌شود با استفاده از رابطه ۱۱محاسبه می‌شود.

$$\emptyset^{-}(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \qquad (۱۱)$$

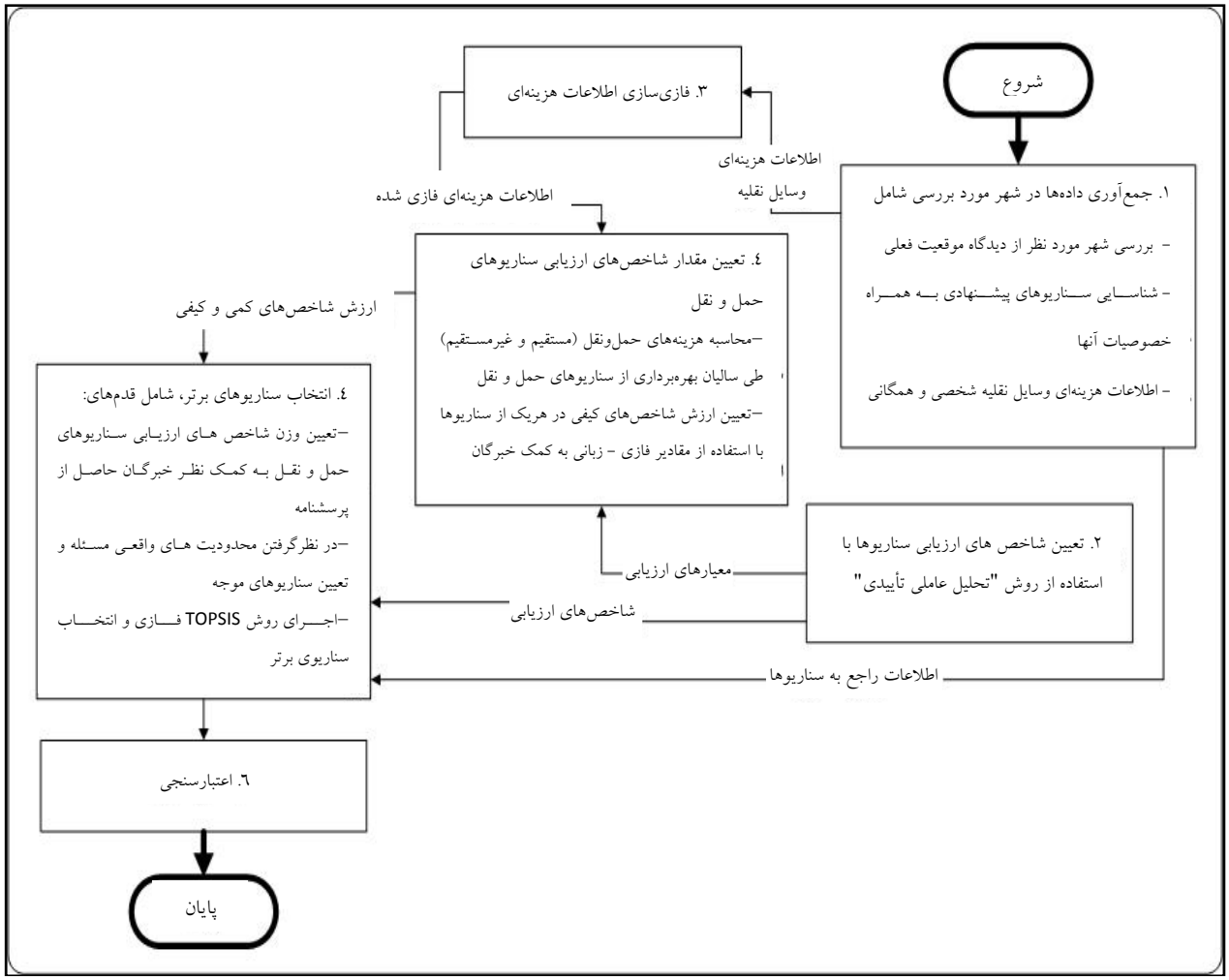
این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت دارد. این جریان در حقیقت ضعف گزینه a است. کوچک‌ترین $\emptyset^{-}(a)$ نشان‌دهنده بهترین گزینه است. بنابراین، با داشتن و بررسی جداگانه دو جریان $\emptyset^{+}(a)$ و $\emptyset^{-}(a)$ می‌توان جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه کرد.

$$\emptyset\ (a) = \emptyset^{+}(a) - \emptyset^{-}(a) \qquad (۱۲)$$

این جریان حاصل توازن جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر نشان‌دهنده گزینه برتر است (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸٦).

٤- روش پیشنهادی

روش ارایه شده در این مقاله، با مرحله ساختاردهی مسئله شروع می‌شود که در آن پس از تعریف مسئله تصمیم و هدف آن، شاخص‌های تصمیم تعیین و مجموعه گزینه‌ها برای ارزیابی شناسایی می‌شوند. بعد از مرحله ساختاردهی، فرآیند تصمیم‌گیری دربرگیرنده یک تلاش گسترده برای مدل‌سازی و تعیین ترجیحات تصمیم‌گیران است. شکل ۱ مراحل روش پیشنهادی این مطالعه را نشان می‌دهد که در ادامه به توضیح کامل‌تر این مراحل خواهیم پرداخت.



شکل ۱. روش پیشنهادی جهت انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل

www.SID.ir

Archive of SID

٤-١- جمع‌آوری داده‌ها

در این مرحله ابتدا شهر مورد نظر از دیدگاه موقعیت فعلی، همچون ۱) سیستم‌های موجود حمل و نقل همگانی، ۲) وضعیت شبکه معابر و ۳) وضعیت پارکینگ‌ها، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله موارد دیگر در این مرحله اطلاعات سناریوهای حمل‌ونقل و اطلاعات هزینه‌ای انواع وسایل نقلیه مانند، مصرف سوخت خودرو، قیمت اولیه وسیله نقلیه و سایر موارد هزینه‌ای می‌باشد.

٤-٢- تعیین شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل

برای بررسی اثرات و پیامدهای یک سناریوی حمل و نقل از نظر عوامل کیفی و کمی، لازم است شاخص‌های مناسبی تعریف شوند. چنان‌چه گفته شد براساس نظر (Inestra, Gutierrez, 2009) دو روش "تحلیل هزینه- فایده" و "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل هستند که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. بنابراین سعی کردیم تا با ترکیب شاخص‌های این دو روش، شاخص‌های جدیدی را ارایه کنیم که اهداف هر دو روش را برآورده سازد و ضمن برخورداری از مزیت‌های هر دو روش از مشکلات آنها مصون بمانیم. بنابراین به منظور یکپارچه‌سازی این دو سری شاخص، طی پرسشنامه‌ای از خبرگان حمل و نقل و افراد آگاه نسبت به این دو روش، خواسته شد که نظرات خود را درباره تطبیق این دو سری شاخص بیان کنند. همچنین مقاله‌های (Ting, Yu, and Wei, 2008)، (Zachariadis, 2005) و(Sinha, Labi, 2007) بررسی شدند و نتیجه گرفته شد که شاخص‌های مدل جدید شامل دو سری شاخص کمی و کیفی باشند. به این ترتیب که شاخص‌های کمی، همان هزینه‌های حمل و نقل هستند که جمع آنها هزینه کل یک سفر را بیان می‌کند. این دسته از شاخص‌ها همان شاخص‌های روش "تحلیل هزینه- فایده" هستند که انواع هزینه‌ها را به صورت جامع در نظر می‌گیرد و شامل موارد زیر می‌باشد: ۱) هزینه‌های مستقیم، شامل: هزینه‌های تمام شده: بیمه، نیروی انسانی اداری، لوازم یدکی کوتاه مدت و بلندمدت، تعمیرات، اپراتور، استهلاک ناوگان، سوخت و روغن. ۲) هزینه‌های غیرمستقیم، شامل: هزینه‌های تمام شده، تصادفات، آلودگی هوا و زمان سفر. ۳) هزینه‌های معابر و پارکینگ، شامل: هزینه‌های تمام شده استهلاک انواع معبر و تقاطعات، مسیرBRT، مترو و LRT و انواع پارکینگ.

شاخص‌های کیفی مانند "سطح سرویس معابر" و "سطح بحرانی شهر از نظر آلودگی" قابل بیان به‌صورت مقادیر ریالی نمی‌باشند که در مورد این شاخص‌ها تصمیم گرفته شد، شاخص‌های "مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه" که در ارتباط با شاخص‌های کمی شناسایی شده در مرحله قبل نیستند، گروه‌بندی شده و هر گروه به عنوان یکی از شاخص‌های کیفی وارد مدل تحقیق شوند. آزمون صحت مدل ناشی از ترکیب این شاخص‌ها با روش "تحلیل عاملی تأییدی" و با استفاده از نرم‌افزار LISREL انجام شد. به طور خلاصه "تحلیل عاملی تأییدی" به دنبال بازبینی و تست یک ساختار مورد نظر در مورد داده‌ها از یک مجموعه متغیرهای مشاهده شده است و به محقق این امکان را می‌دهد که فرضیات خود را در مورد رابطه بین متغیرهای مشاهده شده و ساختار نهان داده‌ها تست کند و یکی از ابزارهای این کار، نرم‌افزار LISREL می‌باشد. این نرم‌افزار یک محصول خودکفاست که به منظور برآورد و آزمون مدل‌های ساختاری طراحی شده است. این نرم‌افزار با استفاده از همبستگی و کواریانس بین متغیرهای اندازه‌گیری شده، می‌تواند واریانس‌ها و خطاهای متغیرها را برآورد و از آن برای اجرای تحلیل عاملی اکتشافی و یا تأییدی استفاده نماید. برای این منظور، ابتدا باید گروه‌های مورد نظر را شناسایی کنیم. بنابراین، به این منظور از چندخبره در زمینه تدوین شاخص‌های ارزیابی سناریوها نظرخواهی شده (ابتدا مرور ادبیات و بومی‌سازی آنها از طریق مصاحبه با خبرگان) و گروه‌های مندرج در جدول ۲ شناسایی شد. به منظور آزمون صحت گروه‌های شناسایی شده، ابتدا باید شاخص‌ها و عناصر هر دسته را کمی کنیم. بنابراین پرسشنامه‌ای طراحی و از ۱۵ نفر از خبرگان در مورد چند شهر مختلف طی چند سال، مصاحبه به عمل آمد. سپس داده‌ها را وارد نرم‌افزار LISREL کرده و بعد از تحلیل نتایج به‌دست آمده صحت شاخص‌های شناسایی شده اثبات گردید. بر این اساس، شاخص‌های کیفی در این تحقیق عبارتند از: وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی هوا و آلودگی صوتی، سطح آسایش سیستم حمل و نقل همگانی، سطح سرویس معابر، سطح گستردگی (در

www.SID.ir

Archive of SID

دسترس بودن) شبکه حمل و نقل همگانی، سطح ایمنی سیستم حمل و نقل همگانی (از دیدگاه تصادفات)، سطح سفرهای انجام شده با سیستم حمل و نقل همگانی نسبت به کل سفرها با توجه به وضعیت فعلی و برنامه آتی شهر.

٤-٣- فازی‌سازی اطلاعات هزینه‌ای

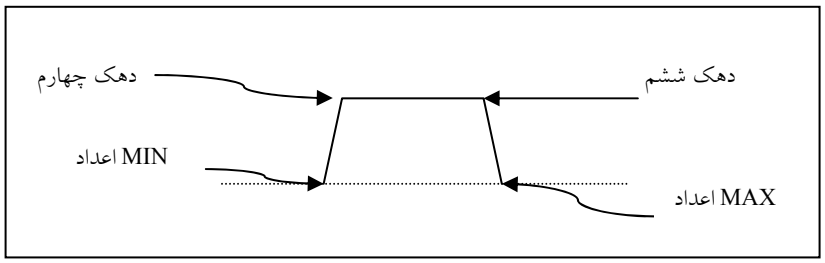
از آنجایی‌که اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف در مورد یک شاخص گاهی با یکدیگر تفاوت دارند، در این مقاله، همه هزینه‌ها را به صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل می‌کنیم (Jahanshahloo, Hosseinzadeh and Izadikhah, 2006 و Mahdavi (et al.), 2008) تابع عضویت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای به‌صورت رابطه ۱۳ می‌باشد (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷).

$$\mu_D(x) = \begin{cases} 0 & x \le l \\ \frac{x-l}{d-l} & l < x \le d \\ \frac{u-x}{u-d} & d < x \le u \\ 0 & x > u \end{cases} \qquad (۱۳)$$

قانونی که برای فازی سازی داده‌ها براساس نظر چند خبره (که آشنایی کافی با مفاهیم فازی و داده‌های فازی دارند)، به کار می‌بریم را می‌توان به صورت شکل ۲ نشان داد.

جدول ۲. گروه‌های شناسایی شده در تعیین شاخص‌های ارزیابی کیفی

عنوان گروه	شاخص‌های حاصل از روش چندشاخصه
"سطح آسایش سیستم حمل و نقل همگانی" (X1)	میزان رضایت‌مندی افراد جامعه از سرویس و راحتی شبکه حمل و نقل همگانی (Var1)
	تعداد درخواست‌های اجابت شده سفر (Var2)
	وجود سرویس‌های اطلاعاتی و اطلاع‌رسانی در مورد سیستم حمل و نقل (Var3)
	فراوانی عملکرد به موقع سیستم حمل ونقل (Var4)
"سطح سرویس معابر"(X2)	سطح سرویس معابر (Var5)
	درصد وسایل نقلیه در شرایط کند و بحرانی (Var6)
"سطح گستردگی شبکه حمل و نقل"(X3)	میزان در دسترس بودن (گستردگی) شبکه حمل و نقل همگانی (Var7)
	درصد جمعیت با دسترسی مستقیم به شبکه حمل و نقل همگانی (Var8)
	فراوانی سیستم های حمل و نقل (Var9)
	متوسط فاصله (زمانی/مکانی) به منظور تغییر وسیله نقلیه (Var10)
"سطح امنیت سیستم حمل و نقل همگانی از دیدگاه تصادفات" (X4)	میزان رضایت‌مندی افراد جامعه از سطح تصادفات به وقوع پیوسته در سطح شهر (Var11)
"سطح سفرهای انجام شده با سیستم حمل و نقل همگانی نسبت به کل سفرهای انجام شده در سطح شهر"(X5)	درصد سفرهای انجام شده با وسایل حمل و نقل همگانی (Var12)
"وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی هوا"(X6)	وضعیت کلی شهر از نظر آلودگی هوا (Var13)
"وضعیت کلی شهر از نظر آلودگی صوتی"(X7)	وضعیت کلی شهر از نظر آلودگی صوتی (Var14)



شکل ۲. نحوه فازی سازی داده‌های خام

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. رابطه‌های محاسبه انواع هزینه‌ها

ردیف	هزینه	توضیحات	منبع
۱	بیمه، نیروی انسانی اداری، روغن، لوازم یدکی کوتاه‌مدت، لوازم یدکی بلندمدت، تعمیرات، اپراتور، سوخت	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} * (1+L_h)^{(NF_h-NS_h+1)} - 1}{L_h}$ (۱٤)	Sahin (et al.), 2009
۲	تصادفات	T_{ijh} هزینه نوع j ضریب تبدیل : i وسیله نقلیه بهره‌برداری یک در سال به "کل سالیان NS_h سال شروع بهره‌برداری : "NB / سال پایه (سال محاسبه هزینه‌ها) : h از سناریوی L_h / h نرخ تورم پیش‌بینی : NF_h / h سال پایان بهره‌برداری از سناریوی : h از سناریوی شده سناریوی	آیتی، اسماعیل، ۱۳۸۷
۳	آلودگی هوا و زمان سفر		Ozbey (et al.), 2007
٤	استهلاک ناوگان	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right] * \left[\frac{(1-le_i)^{(NF_h-NS_h+1)} - 1}{(1-le_i)-1}\right]$ (۱۵) le_i=نرخ استهلاک سرمایه‌گذاری ناوگان وسیله نقلیه نوع i به روش نزولی	Sahin (et al.), 2009
۵	استهلاک معابر و تقاطعات مسطح، استهلاک تقاطعات غیرهمسطح، استهلاک پارکینگ همسطح همگانی، استهلاک پارکینگ طبقاتی شخصی، استهلاک پارکینگ سطحی شخصی	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right] * (NF_h - NS_h + 1)$ (۱٦)	Ozbey (et al.), 2007
٦	استهلاک معابر تعریض شده	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right]$ (۱۷)	Ozbey (et al.), 2007
۷	" استهلاک مسیر BRT"	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right] * \left[\frac{(1-we)^{(NF_h-NS_h+1)} - 1}{(1-we)-1}\right]$ (۱۸) we=نرخ استهلاک سالیانه احداث مسیر BRT به روش نزولی	Ozbey (et al.),2007
۸	"استهلاک مسیر مترو"	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right] * \left[\frac{(1-ye)^{(NF_h-NS_h+1)} - 1}{(1-ye)-1}\right]$ (۱۹) ye=نرخ استهلاک سالیانه احداث مسیر مترو به روش نزولی	Ozbey (et al.), 2007
۹	استهلاک مسیر LRT"	$T_{ijh} = \frac{(1+L_h)}{(NF_h - NS_h)} * \left[\frac{(1+L_h)^{(NS_h-NB)} - 1}{L_h}\right] * \left[\frac{(1-ke)^{(NF_h-NS_h+1)} - 1}{(1-ke)-1}\right]$ (۲۰) ke= نرخ استهلاک سالیانه احداث مسیر LRT به روش نزولی	Ozbey (et al.),2007

برای هر دسته از شاخص‌ها ابتدا باید هزینه را با استفاده از رابطه ارایه شده در مرجع مربوطه محاسبه سپس با ضرب هزینه به‌دست آمده در رابطه T_{ijh} مربوطه، آن را به کل سالیان بهره‌برداری از سناریوها تعمیم می‌دهد (اسکونژاد، ۱۳۷۸). سپس با ضرب آن در مقدار به‌دست آمده از رابطه (۱۸) هزینه‌ها را برحسب واحد کل "نفر- کیلومتر" محاسبه می‌شود. V_{ih}: ضریب تبدیل هزینه یک نفر- کیلومتر به کل نفر کیلومتر "وسیله نقلیه نوع i" در سناریوی h، xq_i : متوسط مسافت در یک سفر وسیله نقلیه نوع i xr_{ih} : سهم سفرهای وسیله نقلیه نوع i از کل سفرها در سناریوی h، xs_h : تعداد کل سفرها در سناریوی h xt_i : تعداد سفر هر نفر(مسافر) وسیله نقلیه نوع i،

$$V_{ih} = \frac{xq_i * xr_{ih} * xs_h}{xt_i} \quad (۲۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٤- تعیین مقدار شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل

در این قسمت نحوه به‌دست آوردن مقادیر شاخص‌های ارزیابی کمی و کیفی ارایه می‌گردد.

٤-٤-١- محاسبه هزینه‌های حمل و نقل در طی سالیان بهره‌برداری از سناریوها

در این مرحله، ارزش هریک از "شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل" تعیین می‌گردد. به این منظور، برای محاسبه هزینه‌های حمل و نقل در طی سالیان بهره‌برداری از سناریوها، با بهره‌گیری از ادبیات، رابطه‌هایی ارایه شده که در جدول ٣ مشاهده می‌شوند. بر اساس مقاله (Sahin, Yilmaz and Ust, 2007)، بهترین مقیاس برای مقایسه هزینه‌های سناریوهای حمل و نقل نسبت به یکدیگر "یک واحد مسافر به ازای یک واحد طول" و به بیانی بهتر "نفر- کیلومتر" است، که بر این اساس در این تحقیق کلیه هزینه‌ها براساس واحد "نفر- کیلومتر" محاسبه شده‌اند.

٤-٤-٢- تعیین مقدار هریک از شاخص‌های کیفی در هریک از سناریوها با استفاده از مقادیر زبانی

در این قسمت ارزش‌دهی به شاخص‌های کیفی براساس مقادیر زبانی شامل گزینه‌های: بسیار کم، کم، تا حدودی کم، مناسب، تا حدودی زیاد، زیاد، بسیار زیاد می‌باشد (کوره پردازان دزفولی، ١٣٨٧). (ستون "مقدار شاخص کیفی" در جدول ٤) با استفاده از رابطه ٢٢ اعداد فازی ذوزنقه‌ای $m(n,d,\alpha,\beta)$ به عدد حقیقی تبدیل می‌شوند.

$$R = 1 - \frac{1}{1+\alpha} * (1-n)$$
$$L = 1 - \frac{1}{1+\beta} * (d)$$
$$T = \frac{R-L+1}{2} \qquad (٢٢)$$

٤-٥- انتخاب سناریوی برتر

مرحله نهایی، انتخاب سناریوی برتر با استفاده از الگوریتم TOPSIS فازی می‌باشد.

مراحل انجام کار در این قسمت عبارتند از:

٤-٥-١- تعیین "وزن شاخص‌های ارزیابی" سناریوهای حمل و نقل

هدف از این قسمت تعیین وزن هریک از شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل می‌باشد. در این تحقیق، داده‌های مورد استفاده برای تعیین وزن شاخص‌ها از طریق مصاحبه با خبرگان حمل و نقل جمع‌آوری می‌گردد. به این منظور باید مراحل زیر را اجرا کرد.

٤-٥-١-١- شناسایی جامعه آماری و تعیین حجم نمونه

در این تحقیق برای تعیین تصمیم‌گیران اصلی، ابتدا کلیه سازمان‌ها و نهادهای تصمیم‌گیر و دخیل در حمل و نقل شناسایی شده (براساس مرور ادبیات و جمع‌بندی آنها با نظر خبرگان)، سپس به هریک وزنی از یک تا ده اختصاص داده می‌شود. بعد از تعیین جامعه آماری، حجم نمونه تعیین می‌شود. براساس (سرمد، بازرگان، حجازی، ١٣٧٧) حجم نمونه مورد نیاز با استفاده از (رابطه٢٣) به‌دست می‌آید:

$$n = \frac{Z^2\sigma^2}{d^2} \qquad (٢٣)$$

σ^2: واریانس جامعه نمونه (اگر مقدار آن در دسترس نباشد، ٠/٢٥ در نظر می‌گیرند.)

d^2: مقدار خطای مجاز

٤-٥-١-٢- طراحی و اجرای پرسشنامه

برای دریافت نظر خبرگان و مشخص نمودن وزن شاخص‌های مدل، پرسشنامه‌ای طراحی و میان خبرگان توزیع می‌گردد. به منظور اندازه‌گیری نگرش خبرگان نسبت به موضوع، روش‌های متفاوتی وجود دارد. روش مورد استفاده در این پرسشنامه، مقیاس "لیکرت" می‌باشد که علت انتخاب این روش، قابل فهم بودن و ساده‌تر بودن این روش نسبت به سایر روش‌هاست. از آنجا که برای یک فرد تصمیم‌گیر، تخصیص رتبه دقیق به یک شاخص بسیار مشکل است، از رویکرد "زبانی" استفاده می‌گردد. در این رویکرد برای پرهیز از پیچیدگی زیاد، پاسخ‌های هر سوال از پرسشنامه به صورت پیوستار هفت گزینه‌ای شامل الف) فوق‌العاده مهم، ب) خیلی مهم، ج) مهم، د) اهمیت متوسط، ه) کم اهمیت، و) خیلی کم اهمیت و ز) بی‌اهمیت، تعیین می‌گردد. اعداد فازی متناظر با این مقادیر در ستون "وزن

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص" در جدول ۲ نشان داده شده است (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷). سپس با استفاده از (رابطه ۱۳) اعداد فازی ذوزنقه‌ای به عدد حقیقی تبدیل می‌شوند.

ازطرفی دیگر، از آنجایی‌که در این تحقیق سمت افراد مصاحبه‌شونده به‌گونه‌ای است که امکان گردهم آوردن تمامی آنها در یک محل امکان‌پذیر نمی‌باشد، از روش دلفی فازی به منظور تعیین وزن هریک از شاخص‌ها استفاده می‌شود (کوره‌پردازان دزفولی، ۱۳۸۷). روش دلفی شامل دعوت به مشورت و مقایسه قضاوت‌های بی‌نام اعضای یک تیم درباره یک تصمیم در نوبت‌های مختلف می‌باشد. در هر نوبت خلاصه‌ای از آنچه که همه اعضای تیم در نوبت قبلی گفته‌اند به اضافه نظرات جدید دوره تازه به اطلاع افراد می‌رسد. این روند ادامه خواهد داشت تا در نهایت گروه به توافق برسند. نکته بسیار مهمی که در این روش وجود دارد این است که نظرات به‌طور مستقل بیان شده و افراد نمی‌توانند روی نظرات یکدیگر تأثیرگذار باشند.

پس از تدوین و تنظیم پرسشنامه مربوط به وزن شاخص‌های مدل، لازم است بررسی مقدماتی آن انجام گیرد. هدف از این بررسی، برطرف کرده اشکالات احتمالی موجود در پرسشنامه می‌باشد. اجرای مقدماتی پرسشنامه تا جایی ادامه خواهد داشت که پرسشنامه نهایی از شرایط لازم و کافی برای توزیع بین خبرگان برخوردار باشد. پس از نهایی شدن پرسشنامه، بین افراد جامعه نمونه توزیع گشته و بعد از جمع‌آوری، نتایج آن تحلیل می‌گردد. براساس (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷)، برای تحلیل نتایج یک پرسشنامه با استفاده از "روش دلفی فازی" در مرحله اول از تکنیک رتبه‌بندی و درجه‌بندی (میانه و چارک‌ها) استفاده شده و در دورهای بعدی، شاخص‌های مرکزی و پراکندگی به‌کار می‌روند.

٤-٥-١-٣- بررسی قابلیت اعتماد پرسشنامه وزن شاخص‌های مدل

یکی از مراحل بسیار مهم در تحلیل و بررسی پرسشنامه‌ها، بررسی قابلیت اعتماد (پایایی یا Reliability) آنهاست. در این مقاله از "آزمون آلفای کرونباخ" به عنوان مرسوم‌ترین و بهترین روش آزمون اعتماد پرسشنامه استفاده می‌گردد (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷).

٤-٥-٢- لحاظ نمودن محدودیت‌های واقعی مسئله

در این مرحله سناریوها را از جنبه‌های مختلف بررسی کرده و گزینه‌های موجه را مشخص می‌کنیم. مهم‌ترین محدودیت‌های متداول در مسئله "انتخاب سناریوی برتر" عبارتند از: ۱) محدودیت درصد هریک از انواع وسایل نقلیه، ۲) حداکثر بودجه تخصیصی به یک سناریو، ۳) محدودیت آلودگی هوا یعنی مقدار آلودگی هوای ایجاد شده توسط سناریوی انتخابی، نباید از حد در نظر گرفته برای آن شهر بیشتر شود و ٤) محدودیت بودجه شهرداری یعنی هزینه معابر و پارکینگ سناریوی انتخابی نباید از حد در نظر گرفته برای آن شهر بیشتر شود. بر این اساس باید همه سناریوها را از منظر محدودیت‌های موجود بررسی و سناریوهایی که این محدودیت‌ها را ارضاء نمی‌کنند، حذف و بقیه سناریوها را که گزینه‌های موجه هستند، به منظور انتخاب گزینه برتر وارد مرحله بعد یعنی اجرای روش TOPSIS فازی کنیم.

٤-٦- اعتبارسنجی

مرحله نهایی، اعتبارسنجی مدل ارایه شده در این مقاله است. اعتبارسنجی مشخص می‌کند که مدل درست کار می‌کند یا خیر. به این منظور مدل از جنبه‌های زیر اعتبارسنجی می‌شود: ۱) صحت شیوه فازی‌سازی هزینه‌ها. ۲) صحت انتخاب سناریوی برتر. ۳) صحت الگوریتم انتخابی TOPSIS فازی.

٥- اجرای روش پیشنهادی و تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش به نحوه به‌کارگیری روش پیشنهادی این تحقیق در یک مطالعه موردی پرداخته می‌شود.

٥-١- جمع‌آوری داده‌ها

شهر نمونه مورد مطالعه، شهر ارومیه است که داده‌های آن از "مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک" آن شهر که در سال ١٣٨٦ با ١٠٠٠٠ نمونه آمارگیری انجام شده، استخراج شده است که خلاصه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده ارایه می‌شود. در مطالعات جامع ارومیه، در مجموع هشت سناریو وجود دارد. جدول ٥ میزان سهم هریک از انواع وسایل نقلیه از کل سفرها در هر سناریو را نشان می‌دهد. از داده‌های دیگر مورد نیاز اطلاعات مربوط به شهر، موقعیت پارکینگ‌ها، معابر، سیستم حمل و نقل

www.SID.ir

Archive of SID

عمومی و نیز اطلاعات مربوط به هزینه‌های حمل و نقل است که برای جلوگیری از حجیم شدن مقاله از ذکر آنها صرف‌نظر می‌شود.

۵-۲- تعیین ارزش هریک از شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل

در این قسمت چگونگی تعیین ارزش هریک از شاخص‌ها نشان داده می‌شود.

۵-۲-۱- تعیین ارزش شاخص‌های کمی

در این مرحله، داده‌هایی که در مرحله قبل جمع‌آوری گردید، پردازش شده و با کمک آنها و نیز رابطه‌های ارایه شده در قسمت (٤-٤-١) مقادیر هریک از شاخص‌های ارزیابی تعیین گردید. در جدول ٦ نتیجه نهایی حاصل از اندازه‌گیری هزینه‌های سناریوهای شهر ارومیه ارایه شده است.

جدول ٤. مقادیر عددی جایگزین مقادیر زبانی (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷)

حالت	عدد فازی ذوزنقه‌ای	مقدار شاخص کیفی		وزن شاخص
		شاخص سود	شاخص زیان	
۱	(۰/۲و۰و۰و۰)	بسیار کم	بسیار زیاد	بی‌اهمیت
۲	(۰/۲و۰و۰/۱و۰)	کم	زیاد	خیلی کم اهمیت
۳	(۰/۲و۰/۲و۰/۲و۰/۲)	تا حدودی کم	تا حدودی زیاد	کم اهمیت
٤	(۰/۲و۰/۲و۰/۵و۰/۵)	مناسب	مناسب	اهمیت متوسط
٥	(۰/۲و۰/۲و۰/۸و۰/۸)	تا حدودی زیاد	تا حدودی کم	مهم
٦	(۰ و۰/۲و۰/۱و۰/۹)	زیاد	کم	خیلی مهم
۷	(۰و۰/۲و۱و۱)	بسیار زیاد	بسیار کم	فوق‌العاده مهم

جدول ٥. سهم هریک از وسایل نقلیه در سناریوهای پیشنهادی در شهر ارومیه

سناریو	درصد سفرها از کل					
	سواری شخصی	موتور و دوچرخه	تاکسی و کرایه	مینی‌بوس	اتوبوس واحد	BRT
سناریوی۱: وضع موجود	٪ ۳۷/۱٤	٪ ۱/۹٤	٪ ۳۸/۰۵	٪ ۷/۰۳	٪ ۱۵/۸٤	٪ ۰/۰۰
سناریوی۲: سناریوی اولویت دادن به حمل و نقل شخصی	٪ ٤٥/۰۰	٪ ۳/۹۰	٪ ۳۲/۰۰	٪ ۳/۵۰	٪ ۱۲/۰۰	٪ ۳/٦۰
سناریوی۳: سناریوی اولویت دادن به حمل و نقل همگانی	٪ ۲۰/۰۰	٪ ۲/۰۱	٪ ۲۷/٤۱	٪ ۷/۳٤	٪ ۳۰/۱۲	٪ ۱۳/۱۲
سناریوی٤: سناریوی پیشنهاد کارشناسی (حالت ۱)	٪ ۱۷/۲۱	٪ ۲/۰۳	٪ ۳۹/۲۱	٪ ۵/۳۲	٪ ۲۵/۰۲	٪ ۱۱/۲۱
سناریوی۵: سناریوی پیشنهاد کارشناسی (حالت ۲)	٪ ۳۲/۱۲	٪ ۳/۱٤	٪ ۳۵/۱۲	٪ ۲/۳۰	٪ ۱۵/٦۲	٪ ۱۱/۷۰
سناریوی٦: سناریوی پیشنهاد کارشناسی (حالت ۳)	٪ ۱۹/۳۲	٪ ۲/۰۱	٪ ۳۰/۱۲	٪ ٤/۲۰	٪ ۳۰/۱۲	٪ ۱٤/۲۳
سناریوی۷: سناریوی پیشنهاد کارشناسی (حالت ٤)	٪ ۲۵/۳۲	٪ ۳/۰۱	٪ ٤۰/۲۳	٪ ٤/۱۰	٪ ۲۱/۰۲	٪ ٦/۳۲
سناریوی۸: سناریوی پیشنهاد وزارت کشور	٪ ۲۱/۳۲	٪ ۵/۷۰	٪ ٤۷/٤۸	٪ ۱/۰۹	٪ ۱۵/۲۱	٪ ۹/۲۰

جدول ٦. نتیجه نهایی حاصل از اندازه‌گیری هزینه‌های سناریوهای شهر ارومیه براساس مدل ارایه شده در این مقاله (برحسب هزار میلیارد ریال)

هزینه / سناریو	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
هزینه‌های مستقیم	۱۷۲۵۲/۲۸	۱٦٦۸٤/۲٦	۱٦٥٦۳/۲٤	۱٦۸۲۱/٦٦	۱۷۳۳۹/۸۷	۱۷۸۹٦/٤٦	۱۷۰۰۵/٦۸	۱٦٥٥٦/۰٤
هزینه‌های غیرمستقیم	۱۱۵۰۱/۵۲	۱۱۱۲۲/۸٤	۱۱۱۷۰/۱٦	۱۱۲۱٤/٤٤	۱۱۵۸۹/٤٤	۱۱۹۹۹/۵۰	۱۱۳۳۷/۱۲	۱۱۲۳۷/۳٦
هزینه‌های معابر و پارکینگ	۰/۰۰	۵/۲۰	۵۵/۲۰	۵۷/۵۰	٦۰/۸۰	٦۰/۵۰	٦۲/۲۰	٦۰/۲۰
جمع کل	۲۸۷۵۳/۸۰	۲۷۸۱۲/۳۰	۲۷۷۸۸/٦۰	۲۸۰۹۵/٦۰	۲۸۹۹۳/۱۱	۲۹۹۵۹/٤٦	۲۸٤۰۷/۰۰	۲۷۸۵۳/٦۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. ارزش شاخص‌های کیفی در هر سناریو

شاخص / سناریو	وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی هوا	وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی صوتی	سطح آسایش سیستم حمل و نقل همگانی	سطح سرویس معابر	سطح گستردگی (در دسترس بودن) شبکه حمل و نقل همگانی	سطح ایمنی سیستم حمل و نقل همگانی (از دیدگاه تصادفات)	سطح سفرهای انجام شده با سیستم حمل و نقل همگانی نسبت به کل
۱	۰/۸۵	۰/٦۵	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/٦۵	۰/۱۵	۰/۱۵
۲	۰/٦۵	۰/۸۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/٦۵	۰/۱۵	۰/۱۵
۳	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/۳۵	۰/۳۵
٤	۰/۵	۰/۵	۰/۳۵	۰/٦۵	۰/۵	۰/۳۵	۰/۵
۵	۰/۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/٦۵	۰/۵
٦	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/٦۵	۰/۸۵	۰/۳۵
۷	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/۵	۰/۳۵	۰/۸۵	۰/٦۵
۸	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/٦۵	۰/٦۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۸۵

۵-۲-۲- تعیین مقدار شاخص‌های کیفی

در این مرحله به منظور تعیین مقدار شاخص‌های کیفی، پرسشنامه‌ای طراحی و میان ۵ نفر از کارشناسان حمل و نقل که خود دست‌اندرکار تهیه سناریوها بوده‌اند، توزیع گردید. در این پرسشنامه برای هر ارزش هر شاخص کیفی، سوالی طراحی شد و پاسخ‌دهنده باید از بین مقادیر زبانی: بسیار کم، کم، تا حدودی کم، مناسب، تا حدودی زیاد، زیاد، بسیار زیاد یکی را انتخاب نماید. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، از نتایج عددی حاصل، میانگین گرفته شد که در جدول ۷ ارایه شده است.

۵-۳- انتخاب سناریوی برتر

۵-۳-۱- تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل

۵-۳-۱-۱- تعیین جامعه آماری

در این تحقیق برای تعیین جامعه آماری، ادبیات مربوطه بررسی و با ۳ نفر از خبرگان با مدرک تحصیلی دکترا در زمینه حمل و نقل و ۱۵ سال سابقه کار مرتبط مصاحبه به عمل آمد (مصاحبه مبتنی بر مرور ادبیات). براساس اقدامات ذکر شده، همه سازمان‌ها و نهادهای تصمیم‌گیر و دخیل در حمل و نقل شناسایی شده، سپس به هریک وزنی از یک تا ده اختصاص داده شد. نتیجه این مرحله در جدول ۸ ارایه شده است.

در مرحله بعد، با استفاده از رابطه ۲۳ و با درنظر گرفتن d=۰/۱۵، تعداد نمونه مورد نیاز حداقل ٤۳ نفر تعیین شد. بنابراین، برای اطمینان از جواب‌ها در این تحقیق از ۵۷ نفر از کارشناسان بخش‌های مربوطه مصاحبه به عمل آمد.

۵-۳-۱-۲- طراحی و اجرای پرسشنامه

به منظور تعیین وزن هریک از شاخص‌ها، پرسشنامه‌ای طراحی و میان خبرگان توزیع گردید. برای اجرای پرسشنامه، ابتدا به منظور برطرف کردن اشکالات احتمالی آن، ۳ بار اجرای مقدماتی بین ٤ نفر از خبرگان جامعه نمونه انجام شد. بعد از رفع اشکالات، پرسشنامه نهایی شده بین خبرگان توزیع شد. این پرسشنامه برای هریک از شاخص‌ها دارای سوالی منفرد بوده که در آن ارزش‌دهی شاخص‌ها بر اساس مقادیر زبانی بسیار کم، کم، تا حدودی کم، مناسب، تا حدودی زیاد، زیاد، بسیار زیاد مطابق با جدول ٤ می‌باشد. "روش دلفی فازی" برای تحلیل نتایج حاصل از پرسشنامه، استفاده شده است.

در این مطالعه، روش دلفی طی دو مرحله به جواب نهایی رسید. اغلب میانه، بهترین شاخص برای مقایسه جواب‌ها در مرحله اول اجرای پرسشنامه با روش دلفی است. بر این اساس در مرحله اول روش دلفی به میانه جواب‌های تک تک سؤالات توجه شده و مشخص شد که میزان انحراف جواب‌ها از میانه در برخی از متغیرها زیاد است. بنابراین، پرسشنامه‌ای دیگر که

www.SID.ir

Archive of SID

همانند پرسشنامه دور اول بوده بـا ایـن تفـاوت کـه در آن میانـه، چارک اول و سوم به اطـلاع پاسـخ‌دهنـده‌هـا رسـیده، طراحـی و نتایج حاصل از مرحله دوم اجرای پرسشنامه که نتیجه نهایی است درجدول ۹ ارایه شده است.

جدول ۸. سازمان‌ها و نهادهای تصمیم‌گیر در بخش حمل و نقل و بیان میزان اثرگذاری آنها

سطح	حوزه	بخش	نهاد	مقیاس تأثیر
ملی	ـــــ	برون سازمانی	وزارت کشور (دفتر حمل و نقل)	۹
			سازمان شهرداری‌ها ودهیاری‌ها (دفتر حمل و نقل)	۷
محلی	استانی	برون سازمانی	استانداری	۸
			شورای عالی ترافیک استان	۹
	شهری	درون سازمانی	شورای شهر	۵
			سازمان حمل و نقل و ترافیک	۱۰
			سازمان اتوبوسرانی و مینی‌بوسرانی	٦
			سازمان تاکسیرانی	٦
			مترو	٦
		برون سازمانی	فرمانداری	۳
			پلیس راهور	۲
			سازمان محیط زیست	۲

جدول ۹. وزن شاخص‌های ارزیابی سناریوهای حمل و نقل

ردیف	شاخص	وزن نسبی(٪)	ردیف	شاخص	وزن نسبی(٪)
۱	سطح گستردگی (در دسترس بودن) شبکه حمل و نقل همگانی	۵/۲۵	۱۵	هزینه استهلاک معابر تعریض شده	۳/٤۲
۲	هزینه آلودگی هوا	۵/۲۲	۱٦	هزینه استهلاک معابر و تقاطعات همسطح	۳/۳۸
۳	وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی هوا	۵/۱۷	۱۷	هزینه استهلاک مسیر BRT	۳/۲۹
٤	هزینه زمان سفر	۵/۱٦	۱۸	هزینه استهلاک مسیر LRT	۳/۰۸
۵	سطح آسایش سیستم حمل و نقل همگانی	۵/۰٦	۱۹	هزینه استهلاک پارکینگ طبقاتی شخصی	۲/۹۵
٦	هزینه سوخت	۵/۰۵	۲۰	هزینه اپراتور	۲/۸٤
۷	سطح سفرهای انجام شده با سیستم حمل و نقل همگانی نسبت به کل سفرها با توجه به وضعیت فعلی و برنامه آتی شهر	۵/۰۳	۲۱	هزینه نیروی انسانی اداری	۲/۸٤
۸	وضعیت بحرانی شهر از نظر آلودگی صوتی	٤/۹۰	۲۲	هزینه استهلاک پارکینگ همسطح سازمانی	۲/۸۰
۹	سطح سرویس معابر	٤/٤۸	۲۳	هزینه تعمیرات	۲/٦۱
۱۰	هزینه تصادفات	٤/۰٦	۲٤	هزینه استهلاک پارکینگ همسطح شخصی	۲/٤۲
۱۱	سطح امنیت سیستم حمل و نقل همگانی (از دیدگاه تصادفات)	٤/۰۳	۲۵	هزینه بیمه	۱/۷۱
۱۲	هزینه استهلاک ناوگان	۳/۹۵	۲٦	هزینه لوازم یدکی بلند مدت	۱/۵٦
۱۳	هزینه استهلاک مسیر مترو	۳/۷۰	۲۷	هزینه روغن	۱/۳۷
۱٤	هزینه استهلاک تقاطعات غیرهمسطح	۳/٤۲	۲۸	هزینه لوازم یدکی کوتاه مدت	۱/۲٦

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۳-۱-۳- بررسی قابلیت اعتماد پرسشنامه

در این تحقیق از "آزمون آلفای کرونباخ" که مرسوم‌ترین و بهترین روش آزمون اعتماد پرسشنامه است، استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای آزمون کرونباخ برای سؤالات پرسشنامه مشخص می‌کند که سازگاری میان اجزای پرسشنامه، یعنی شاخص‌ها بالا بوده است. براساس تحقیقات انجام شده، اگر آلفا بالاتر از ۰/۷ باشد مورد قبول قرار می‌گیرد. در این تحقیق مقادیر محاسبه شده آلفا برای تمام شاخص‌ها بالاتر از ۰/۷ است و میانگین آلفا برای پرسشنامه، برابر ۰/۸۷ محاسبه شده است. بنابراین، پرسشنامه از درصد اعتماد بالایی برخوردار بوده و می‌توان از نتایج آن برای تعیین وزن شاخص‌ها استفاده نمود.

۵-۳-۲- درنظر گرفتن محدودیت‌های واقعی مسئله و تعیین سناریوی برتر

در این مرحله سناریوهای موجود از منظر موجه بودن بررسی می‌شوند. برای این کار ابتدا محدودیت‌های موجود در مسئله که شامل محدودیت بودجه (کل هزینه سناریو نباید از مبلغ ۳۲۰۰۰ هزار میلیارد ریال بیشتر شود) و هزینه‌های مربوط به معابر و پارکینگ (هزینه‌های مربوط به معابر و پارکینگ‌های سناریوی انتخابی نباید از مبلغ ٦١ هزار میلیارد ریال بیشتر شود) می‌باشد، شناسایی می‌گردد. با بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که سناریوی ۷، محدودیت دوم را ارضا نکرده، بنابراین، از سناریوهای موجه حذف و سایر سناریوها وارد مرحله اجرای الگوریتم TOPSIS فازی می‌شوند. با اجرای این الگوریتم سناریوها رتبه‌بندی شده و در جدول ۱۰ نمایش داده می‌شوند.

همچنین به منظور تأیید نتیجه به‌دست آمده می‌توان از گزارشات "تفکیک نوع وسیله نقلیه سفر" که یکی از گزارشات "طرح مطالعات جامع ترافیک" یک شهر است، استفاده کرد. با استفاده از این گزارش می‌توان به این نکته رسید که با افزایش تعداد خودرو در شهر ارومیه، درصد استفاده از خودروی سواری افزایش می‌یابد، یعنی استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی در شهر ارومیه با افزایش مالکیت خودرو کاهش می‌یابد و مردم در صورت داشتن خودروی شخصی به احتمال زیاد، در سفرهای خود از آن استفاده می‌کنند.

۵-٤- اعتبارسنجی

مرحله اعتبارسنجی مدل تعیین می‌کند که آیا مدل به خوبی کار می‌کند یا خیر. به طور معمول، مدل با یک سری داده (داده‌های آموزشی) و سپس با یک یا دو سری داده دیگر (آزمایشی) مورد اعتبارسنجی، بازبینی و اصلاح قرار می‌گیرد. در این تحقیق اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های شهر دیگر (اراک) برگرفته از "مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک" شهر در سال ١٣٨٦ انجام گرفته و از جنبه‌های مختلف بررسی شده است. علت انتخاب شهر اراک برای اعتبارسنجی مدل، مشابه بودن این شهر با شهر ارومیه از نظر ساختار جمعیتی و وضعیت ترافیکی و اندازه نسبی شهر است. در این قسمت خلاصه نتایج ارایه می‌گردد.

۵-٤-۱- بررسی اعتبارسنجی مدل ارایه شده از جنبه صحیح بودن شیوه فازی‌سازی هزینه‌ها

به‌منظور اعتبارسنجی یک مدل، لازم است که نتایج حاصل از مدل با نتایج قابل اعتماد دیگری مقایسه شود (کوره پردازان دزفولی، ۱۳۸۷). بنابراین، ابتدا مقادیر هزینه‌های حمل و نقل که در "مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک" شهر مورد بررسی محاسبه می‌شود از گزارشات مربوطه استخراج شده، سپس با نتایج حاصل از محاسبه مقدار هزینه‌ها (که همان شاخص‌ها هستند) در این تحقیق مقایسه گردید. اگر K مجموعه‌ای از داده‌های خروجی مربوط به گذشته (نتایج حاصل از مطالعات جامع ترافیک) همراه با K مشاهده از یکی از متغیرها (مانند Z_i) گردآوری شود، می‌توان با استفاده از آزمون t، فرض صفر مبنی بر نبود تفاوت بین میانگین‌های دو سری نتیجه را به‌صورت $d_j=Z_{ij}-$ و با استفاده از رابطه ٢٤ اعتبارسنجی کرد. W_{ij}

$$H_0:\ \mu_d = 0 \qquad H_1:\ \mu_d \neq 0 \qquad (٢٤)$$

همچنین میانگین نمونه تفاوت‌ها و واریانس آنها از رابطه ۲۵ به‌دست می‌آید. سپس به ازای $\mu_d=0$ مقدار عددی آماره t محاسبه شده و با مقدار متناظر t از جدول آماره t مقایسه و تصمیم‌گیری لازم به عمل می‌آید.

$$\bar{d} = \frac{1}{K}\sum_{j=1}^{K} d_j \,, S^2 = \frac{1}{K-1}\sum_{j=1}^{K}\left(d_j - \bar{d}\right)^2, t_0 = \frac{\bar{d}-\mu_d}{S_d/\sqrt{K}} \qquad (٢٥)$$

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین، روش پیشنهادی برای داده‌های ٦ شهرنمونه در حالات مندرج در جدول ١١ اجرا شد و مشخص شد در مورد "بیشترین داده" و "کمترین داده" فرض صفر رد می‌شود ولی در مورد سایر حالات، این فرضیه که دلالت بر روش صحیح کار این مطالعه بوده است، تأیید شد.

٥-٤-٢- بررسی اعتبارسنجی مدل ارایه شده از جنبه صحیح بودن انتخاب سناریوی برتر

براساس گزارشات حاصل از "مطالعات جامع ترافیک شهر ارومیه"، سناریوی ٣ که دارای کمترین هزینه است، به عنوان سناریوی برتر انتخاب شده است. این در حالی است که براساس روش ارایه شده در این تحقیق، سناریوی ٢ بهترین سناریو در این شهر می‌باشد. علت این امر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد. بر اساس توضیحات قبلی، در روش "تحلیل هزینه - فایده" فقط به مقادیر ریالی سناریوها توجه می‌شود. این در حالی است که در مدل ارایه شده در این تحقیق، علاوه بر مقادیر ریالی هزینه‌ها، هشت شاخص کیفی نیز برای ارزیابی سناریوها طراحی شده است. بنابراین، با در نظر گرفتن همه شاخص‌ها به جواب دیگری رسیده‌ایم. بر اساس مصاحبه با کارشناسان حمل و نقل، جواب حاصل از این تحقیق دارای اعتبار بیشتری نسبت به روش "تحلیل هزینه - فایده" است. در نتیجه اعتبار مدل ارایه شده اثبات گردید.

٥-٤-٣- بررسی اعتبارسنجی مدل ارایه شده از جنبه صحیح بودن الگوریتم انتخابی TOPSIS فازی

هدف اصلی از ارایه این قسمت، نشان دادن مناسب بودن کاربرد روش TOPSIS فازی در این تحقیق است. به این منظور از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه PROMETHEE برای رتبه‌بندی مجدد سناریوها استفاده می‌شود. به طور خلاصه می‌توان گفت مقایسه رتبه‌بندی‌ها در دو روش نشان می‌دهد که اختلاف معناداری در رتبه‌بندی‌ها وجود نداشته و دو روش متفاوت یکدیگر را تأیید می‌کنند، ولی در مواردی اختلاف اندکی بین رتبه‌های حاصل از دو الگوریتم وجود دارد که در جدول ١٢ مشاهده می‌شود. به اعتقاد (Hwagng and Yoon, 1985) که یکی از معتبرترین مراجع روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است، بهترین روش برای رتبه‌بندی نهایی سناریوها استفاده از میانگین حسابی رتبه‌بندی حاصل از روش‌های مختلف می‌باشد. در این روش، میانگین حسابی رتبه‌های حاصل شده از دو روش متفاوت را محاسبه و رتبه‌بندی نهایی بر اساس آن انجام می‌شود که نتیجه در جدول ١٢ ارایه شده است.

جدول ١٠. رتبه‌بندی نهایی سناریوها

رتبه	گزینه	فاصله از حل ایده‌آل مثبت	فاصله از حل ایده‌آل منفی	شاخص نزدیکی
١	٢	٢/٤٣١	٣/٩٣٩	٠/٦١٨
٢	٣	٣/٧٣٤	٢/٦٤٤	٠/٤١٥
٣	٥	٣/٨٧٣	٢/٦٦٣	٠/٤٠٧
٤	٨	٣/٨٤٣	٢/٥٢٥	٠/٣٩٧
٥	٤	٤/٠٦٨	٢/٣٠٢	٠/٣٦١
٦	٦	٤/٢٣٥	٢/٢٣٤	٠/٣٤٥
٧	١	٤/٦٤٤	١/٨٣٩	٠/٢٨٤

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱. نتایج حالات مختلف درنظر گرفتن مقدار یک شاخص

حالات مختلف درنظر گرفتن مقدار یک شاخص	مقدار آماره t در جامعه نمونه	مقدار آماره t از جدول (α=۰/۰۵) و (n=6)	نتیجه
میانگین داده‌های جمع‌آوری شده برای یک شاخص	۱/۹۵۸	۲/۵۷۱	عدم رد فرض صفر
بیشترین مقدار داده از بین داده‌های جمع‌آوری شده برای یک شاخص	۲/۸۹٤	۲/۵۷۱	رد فرض صفر
کمترین مقدار داده از بین داده‌های جمع‌آوری شده برای یک شاخص	۳/۲۱٤	۲/۵۷۱	رد فرض صفر
میانه داده‌های جمع‌آوری شده برای یک شاخص	۱/۲۳۵	۲/۵۷۱	عدم رد فرض صفر
فازی مثلثی سازی شاخص‌ها	۰/۵٤۷	۲/۵۷۱	عدم رد فرض صفر
فازی ذوزنقه‌ای سازی شاخص‌ها	۰/٤٦۸	۲/۵۷۱	عدم رد فرض صفر

جدول ۱۲. رتبه‌بندی سناریوها حاصل از دو روش TOPSIS و PROMETHEE II

سناریو	رتبه حاصل از به‌کارگیری الگوریتم	
	TOPSIS فازی	PROMETHEE II
۱	۷	۷
۲	۱	۱
۳	۲	۲
٤	۵	٤
۵	۳	۳
٦	٦	٦
۸	٤	۵

جدول ۱۳. رتبه‌بندی نهایی سناریوها

سناریو	رتبه نهایی
۱	٦
۲	۱
۳	۲
۸ و ٤	٤
۵	۳
٦	۵

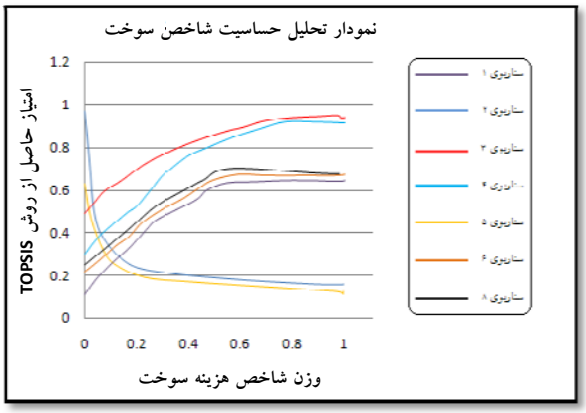
٦- تحلیل حساسیت

برای بررسی اثرات وزن شاخص‌ها بر سناریوی برتر، تحلیل حساسیت برخی از شاخص‌های مدل انجام می‌شود. تحلیل حساسیت شامل تکرار محاسبات ارزیابی اثرات، تغییر تدریجی هریک از پارامترها و مقایسه نتایج با نتایج حاصل از اطلاعات اولیه می‌باشد. تحلیل حساسیت را می‌توان برای متغیرهای کلیدی و فرض‌های اصلی را اعمال و تغییر در نتایج را بررسی کرد. دلیل دیگر استفاده از تحلیل حساسیت در این تحقیق، طولانی مدت بودن زمان سناریوهای حمل و نقل و امکان تغییرات در شرایط محیطی و تصمیم‌گیری است.

www.SID.ir

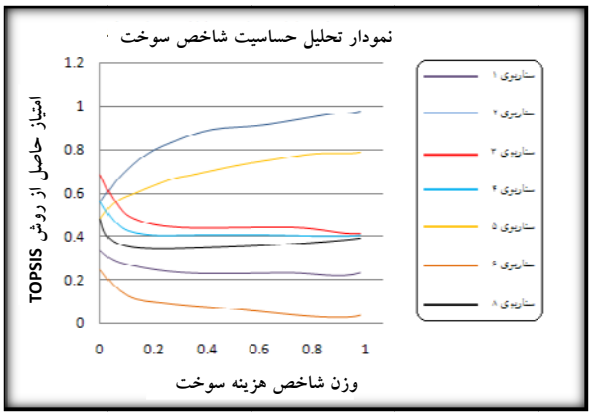
Archive of SID

برای تحلیل حساسیت باید وزن شاخص را تغییر داد و تغییر حاصله در وزن گزینه‌ها را مشاهده نمود. بنابراین، با تغییر وزن شاخص‌ها، تغییرات در اولویت سناریوها مشخص می‌شود. بر اساس نظر خبرگان و جدول "وزن شاخص‌ها" مشخص شد که "سوخت" و "زمان سفر" دو شاخص مهم هستند که در اینجا برای تحلیل حساسیت انتخاب شده‌اند. براساس نتایج تحلیل حساسیت شاخص "سوخت" مشخص شد که هرچه میزان وزن شاخص سوخت افزایش یابد، از اهمیت سناریوی "اولویت با حمل و نقل شخصی" کاسته می‌شود. البته این موضوع کاملاً طبیعی است؛ زیرا وسایل نقلیه شخصی نسبت به وسایل نقلیه همگانی دارای هزینه سوخت بیشتری به ازای واحد "نفر – کیلومتر" هستند. در نتیجه، با افزایش وزن شاخص "سوخت" از اهمیت این سناریو کاسته می‌شود. با توجه به شکل ۳ با افزایش وزن این شاخص از ۵/۰۵ درصد به حدود ۸ درصد، رتبه‌بندی سناریوها تغییر و سناریوی ۳ یعنی "اولویت با وسایل حمل و نقل همگانی" به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب می‌شود. البته این نتیجه در مورد شهر انتخابی صادق بوده ولی در مورد سایر شهرها ممکن است، وضعیت متفاوت باشد.



شکل ۳. نمودار تحلیل حساسیت شاخص سوخت

نتایج تحلیل حساسیت شاخص "زمان سفر" در شکل ٤ نشان می‌دهد با افزایش وزن این شاخص تا ۱۰۰ درصد همواره سناریوی ۲ یعنی سناریوی "با اولویت حمل و نقل شخصی" سناریوی برتر است. این موضوع نیز قابل توجیه است؛ زیرا وسایل نقلیه شخصی دارای هزینه زمان کمتری نسبت به وسایل نقلیه عمومی هستند. بنابراین، هرچه وزن این شاخص افزایش می‌یابد، قدرت این سناریو نیز افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه در مورد شهر انتخابی هم صادق بوده ولی در مورد سایر شهرها ممکن است وضعیت متفاوت باشد.



شکل ٤. نمودار تحلیل حساسیت شاخص زمان سفر

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اولویت‌بندی سناریوهای حمل و نقل ارایه شد. با توجه به ویژگی‌های مسئله، روش TOPSIS فازی به‌کار گرفته شد که قابلیت در نظر گرفتن همزمان شاخص‌های کیفی و کمی با داده‌های نادقیق را دارد. در این تحقیق، با استفاده از روش "تحلیل عاملی تأییدی" شاخص‌های مدل برای مقایسه سناریوهای حمل و نقل انتخاب شد. مدل این تحقیق با استفاده از داده‌های شهر نمونه (ارومیه) اجرا شده و نتایج آن نشان داد که مدل ارایه شده، در حل مسئله انتخاب سناریوی برتر حمل و نقل و ترافیک رویکرد مناسبی است. همچنین مسئله را یکبار دیگر با الگوریتم PROMETHEE به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره اجرا کرده که نتایج بیانگر تأیید جواب به‌دست آمده است. در این مسئله تحلیل حساسیت روی شاخص‌های "سوخت" و "زمان سفر" انجام گرفته که نتایج آن نشان می‌دهد که هرچه وزن شاخص سوخت افزایش یابد، از اهمیت سناریوی "اولویت با حمل و نقل شخصی" کاسته می‌شود. البته با افزایش وزن این شاخص از ۵/۰۵ درصد به حدود ۸ درصد، رتبه‌بندی سناریوها تغییر و سناریوی ۳ "اولویت با وسایل حمل و نقل همگانی" به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت شاخص "زمان سفر" نشان می‌دهد که با افزایش وزن این شاخص تا ۱۰۰ درصد همواره سناریوی ۲ "سناریوی با اولویت حمل و نقل شخصی" سناریوی برتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Fuzzy Delphi
2. Public Transportation in Passenger Urban Part
3. Multiple Attribute Decision Making
4. Fuzzy Topsis
5. Cognitive Map

۹- مراجع

- اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۷۸) "اقتصاد مهندسی و ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی"، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- اصغری‌زاده، عزت‌ا... و نصراللهی، مهدی (۱۳۸٦) "تعیین اهمیت نسبی قطعه‌سازان گروه خودروسازی سایپا با روش‌های کمی تصمیم‌گیری"، اصفهان، مجله دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصاد دانشگاه تهران.
- آیتی، اسماعیل (۱۳۸۷) "هزینه تصادفات ترافیکی ایران"، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- چهارسوقی، سیدکمال، البدوی، امیر و اصفهانی‌پور، اکبر (۱۳۸۵) "انتخاب سبد سهام با رتبه‌بندی صنایع و شرکت‌ها در بورس"، نشریه علمی - پژوهشی دانشگاه امیرکبیر، شماره ٦۵ ب، ص ۲۹-۲۱.
- سرمد، زهره، بازرگان، عباس و حجازی، الهه (۱۳۷۷) "روش‌های تحقیق در علوم رفتاری"، تهران، انتشارات آگاه.
- کوره‌پردازان دزفولی، امین (۱۳۸۷) "اصول تئوری مجموعه‌های فازی"، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- Avineri, Erel and Prashker, Joseph (2009) "Transportation Projects Selection Process Using Fuzzy Sets Theory", Fuzzy Sets and Systems 116 (1), pp. 35-47.
- Banister, Dernon and Berechman, Joseph (2000) "Transport Investment and Economic Development", Journal of Transport Geography 10, (4), pp. 59-63.
- Caliskan, Nurbanu (2005) "A Decision Support Approach for the Evaluation of Transport Investment Alternatives", European Journal of Operational Research 175, (9), pp. 1696-1704.
- Ferrari, Paolo (2003) "A Method for Choosing from Among Alternative Transportation Projects. University School of Engineering of Pisa", European Journal of Operational Research 150, (1), pp. 194-203.
- Gabriel, Steven, Kumar, Satheesh and Ordonez, Javier (2006) "A Multiobjective Optimization Model for Project Selection with Probabilistic Considerations", Socio-Economic Planning Science 40, (4) pp. 297-313.
- Goedecke, Martin (2007) "Life Cycle Cost Analysis of Alternative Vehicles and Fuels in Thailand", Energy Policy 35, (6), pp. 3236-3246.
- Hwagng, C. L. and Yoon, K. (1985) "Multiple Attribute Decision Making", Springer-Virlag.
- Inestra, Juan and Gutierrez, Javier (2009) "MultiCriteria Decisions on Interdependent Infrastructure Transportation Projects Using an Evolutionary – Based Framework", Applied Soft Computing 9, (2). pp. 512-526.
- Jahanshaloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F and Izadikhah, M (2006) "Extension of the Topsis method for decision-making Problem with fuzzy data", Applied Mathematics and Computation, 181, pp. 1544-1551.
- Mahdavi, Iraj (2008) "Designing a model of fuzzy Topsis in multiple criteria decision making", Applied Mathematics and Computation. 206, pp. 607-617.
- Ozbay, Kaan, Bartin, Bakir and Tuzel, Ozlem Yanmaz (2007) "Alternative Methods for Estimating Full Marginal Costs of Highway Transportation", Transportation Research Part A: Policy and Practice 41, (8). pp. 768-786.
- Reilly, Reyn (2002) "Estimation the Benefits and Costs of Public Transit Projects", Washington: Louis Sanders & National Academy Press.
- Sahin, Bahri, Yilmaz, Huseyin and Ust, Yasin (2009) "An Approach for Analysing Transportation Costs and a Case Study", European Journal of Operational Research 193, (1). pp. 1-11.
- Sinha, Kumares and Labi, Samuel (2007) "Transportation Decision Making: Principles of Evaluation and Programming", 2nd. United States of America: John Willey.

www.SID.ir

Archive of SID

- Yedla, Sudhakar and Shrestha, Ram (2003) "Multi-Criteria Aproach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi", Transportation Research Part A: Policy and Practice 37, (8). pp. 717-729.
- Zachariadis, Theodoros (2005) "Assessing Policies toward Sustainable Transport in Europe: an Integrated Model", Energy Policy 33, (12). pp. 1509-1525.
- Ting Lai, Yu and Chin Wang, Wei (2008) "AHP- and Simulation – Based Budget Determination Procedure for Public Building Construction Projects", Automation in Construction 17, (5). pp. 623-632.
- Tudela, Alejandro, Akiki, Natalia and Cisternas, R. "Comparing the Output of Cost Benefit and Multi-Criteria Analysis an Application to Urban Transport Investment". Transportation Research Part A. 40, 2006, pp. 414-423

www.SID.ir

Archive of SID

Scenario Selection for Public Transportation in Passenger Urban Part: an Application of Fuzzy Topsis

A. Esfahanipour, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Management System, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

T. Lesani, M.Sc. Grad., Department of Industrial Engineering and Management System, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: esfahaa@aut.ac.ir

ABSTRACT

In this paper, a fuzzy multiple attribute decision making model is proposed for selecting the best alternative for investment in transportation projects, which is based on group decision methods. To this end, the fuzzy Topsis method has been applied along with qualitative and quantitative criteria for decision making. "Confirmatory Factor Analysis" has also been used to determine the decision criteria. In order to incorporate the vagueness of the information, trapezoidal-fuzzy numbers are used in this study. To determine the weights of decision criteria, these authors used the "Fuzzy Delphi" method. To implement the proposed selection procedure, this study uses data from the "Oroomieh" region as a case study. The results were validated by the experts who contributed to this research. The PROMETHEE as another multi-criteria decision making method, is also utilized to demonstrate the appropriateness of the application of Fuzzy Topsis in this study.

Keywords: Public Transportation in Passenger Urban Part, Multiple Attribute Decision Making, Fuzzy Topsis, PROMETHEE

www.SID.ir