

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

محسن بابائی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

E-mail: m.babaei@basu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۹

چکیده

یکی از مهم ترین مراحل در انجام مطالعات و یا اقدامات حمل و نقلی، تعیین میزان اهمیت و اولویت اهداف حمل و نقلی شهر است. به طور کلی دو نوع هدف در مطالعات حمل و نقلی می تواند تعریف شود: اهداف کلی و اهداف جزئی. این مقاله به دنبال ارائه روشی برای اولویت بندی یکپارچه اهداف کلی حمل و نقلی است، به گونه ای که دیدگاه همه افراد (مسوولان، متصدیان و کارشناسان) مرتبط با امر حمل و نقل در این اولویت بندی در نظر گرفته شود. در روش ارائه شده، پس از دریافت نظر همه افراد در خصوص امتیاز و اولویت هر هدف، از روش پارامتریک وزن دهی، به یک اولویت بندی یکپارچه از دیدگاه همگان دست یافته می شود. با توجه به پراکندگی امتیازهای ارائه شده توسط افراد مختلف، ساختار غالب و مغلوبی برای هر هدف کلی نسبت به سایر اهداف کلی در نظر گرفته شده و روش بهینه سازی چندهدفه پارامتریک به گونه ای اصلاح شده است که این ساختار غالب و مغلوبی در اولویت اهداف موثر باشد. روش ارائه شده برای اولویت بندی اهداف کلی شهر مشهد نشان می دهد که در صورت عدم لحاظ کردن پراکندگی در امتیازها (و صرفاً استفاده از مقدار میانگین امتیازها) به نتایج متفاوتی منجر خواهد شد که می تواند با خطای تصمیم گیری همراه باشد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که سه هدف کلی اولویت دار به دست آمده از دو روش وزن دهی ساده و روش ارائه شده در شهر مشهد مشابه هستند، ولی اولویت چهارم به دست آمده از دو روش متفاوت هستند.

واژه های کلیدی: اولویت بندی، تصمیم گیری چندشاخصه، اهداف کلی حمل و نقل، روش بهینه سازی چندهدفه پارامتریک.

۱. مقدمه

این مقاله به دنبال ارائه روشی برای اولویت‌بندی یکپارچه اهداف کلی حمل‌ونقل از طریق اصلاح و بکارگیری یک روش تصمیم‌گیری چندهدفه است، به گونه‌ای که دیدگاه همه افراد (مسوولان، متصدیان و کارشناسان) مرتبط با امر حمل‌ونقل در این اولویت‌بندی در نظر گرفته شود. در این رویکرد، اهداف شهر با نظرات کارشناسی تهیه می‌شوند و سپس اهمیت مربوط به آنها بر اساس پرسشگری از افراد مرتبط با امر ترافیک شهر مشخص می‌شود. این اهداف زمینه‌ساز و مقدمه‌ای برای ارائه گزینه‌های مختلف در مطالعات و اقدامات مختلف حمل‌ونقل خواهند بود.

نوآوری اصلی این مقاله، تبدیل روش پارامتریک چندهدفه به چندشاخصه و استفاده از آن برای اولویت‌بندی اهداف حمل‌ونقل درون‌شهری به منظور رفع مشکلاتی است که در روش وزن‌دهی مرسوم در زمینه به دست آمدن جواب‌های مغلوب وجود دارد. نکته قابل توجه این است که روش پارامتریک اصلاح‌شده به لحاظ سادگی در ساختار شباهت‌هایی با روش وزن‌دهی دارد و به همین دلیل می‌توان آن را جزء روش‌های ساده و کاربردی به حساب آورد و این باعث خواهد شد که در مطالعات واقعی حمل‌ونقل و ترافیک کشور قابلیت بکارگیری بیشتری نسبت به سایر روش‌های چندشاخصه اولویت‌بندی داشته باشد.

با این مقدمه، در بخش ۲ این مقاله ابتدا خلاصه‌ای درباره پیشینه موضوع ارائه خواهد شد. سپس، در بخش ۳ روند تهیه درخت (هرم) اهداف درون‌شهری و ارائه روش اولویت‌بندی توضیح داده خواهد شد. در بخش ۴، نتایج حاصل از بکارگیری روش ارائه‌شده برای اولویت‌بندی اهداف کلی در شهر مشهد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان، در بخش ۵ به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهاد موضوعاتی برای مطالعات آتی در این خصوص پرداخته می‌شود.

شناسایی اهدافی که لازم است در اقدامات حمل‌ونقلی مورد توجه قرار گیرد یکی از مهم‌ترین مراحل مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک شهر است. نکته مهم و حائز اهمیت در این خصوص در نظر گرفتن اهداف با توجه به جمع مسائل موجود در شهر در زمان حال و آینده است. این امر نیازمند دیدی وسیع و جامع از شهر، مسائل حمل‌ونقلی و دیدگاه‌های مدیران و مسوولان امر ترافیک در شهر است.

اولویت اهداف حمل‌ونقل درون‌شهری را می‌توان از دیدگاه افراد مختلف درگیر با امر حمل‌ونقل در شهر به صورت متفاوت در نظر گرفت. اما، از آنجا که همه بخش‌های مرتبط با حمل‌ونقل شهر باید در یک راستا و در جهت رسیدن به اهداف یکسان حرکت کنند و همچنین در مطالعات مختلف می‌بایست اهداف یکسانی مد نظر باشند، ضروری است که میزان اهمیت هر هدف، با توجه به نقطه نظر همه افراد درگیر با موضوع، به صورت یکپارچه تعیین گردد. برای انجام این کار، سه گام اصلی باید طی شود: ۱- تعیین سلسله مراتب اهداف، ۲- تعیین وزن هر هدف برای هر فرد (مسوول، متصدی و یا کارشناس در امر حمل‌ونقل و ترافیک شهر)، و ۳- تجمیع آراء و اولویت همه افراد به منظور تعیین اولویت‌بندی یکپارچه اهداف. به طور کلی، دو نوع هدف در مطالعات حمل‌ونقلی می‌تواند تعریف شود: «اهداف کلی»^۱ و «اهداف جزئی»^۲ [Khisty and Lall, 2006]. اهداف کلی عبارات عمومی هستند که به طور وسیع محیط زندگی را به ارزش‌ها مرتبط می‌سازند، و هیچ آزمایشی جهت سنجش اجرای کامل آنها نمی‌توان به کار گرفت، مثل نگهداری و یا بهبود کیفیت حمل‌ونقل. اهداف جزئی عباراتی مشخص و قابل اندازه‌گیری هستند که در راستای دستیابی به اهداف کلی معنی می‌یابند. برای مثال، بهبود قابلیت اطمینان جابجایی مسافران و کالا در سیستم حمل‌ونقل موجود یک مقصد (هدف جزئی قابل اندازه‌گیری) است.

۲. پیشینه موضوع

تعریف اهداف کلی در ادبیات موضوع معمولاً به دسترسی، سرعت حرکت، توسعه اقتصادی، کیفیت زندگی، حفظ منابع و محیط زیست، کارآیی در بهره برداری از تباط داد شده است [Meyer, 1980 and Gayle, 1999]. هدف کلی به گونه ای مشخص می شود که بتواند بیانگر میزان نیل به ارزشها باشد. میزان دستیابی کامل به یک هدف کلی با هیچ آزمایشی قابل سنجش نیست [Thomas and Schofer, 1970]. برای اطلاع از اهداف در یک شهر معمولاً از منابعی مانند روزنامه ها، مصاحبه ها و پرسشنامه های حضوری و اینترنتی استفاده شده است [Hoover, 1994; Lorenz and Hoover, 1994; Ingram, 1999; and Keever et al. 1999].

میر و میلر معیارهای اصلی برای تعریف اهداف کلی و جزئی را به صورت زیر تعریف کردند [Meyer and Miller, 2001]:

- ✓ اهداف کلی و جزئی می بایست واضح، خلاصه، شفاف و غیرمبهم و قابل فهم برای تمام گروه های گرداننده حمل و نقل باشند.
- ✓ اهداف جزئی می بایست به صورت کاملاً منطقی از اهداف کلی پیروی کنند.
- ✓ اهداف کلی و جزئی می بایست دیدگاه ها و درک های اجتماع را بازتاب نمایند.
- ✓ هر هدف جزئی باید توسط حداقل یک میزان کارآیی (MOE) قابل ارزیابی باشد.
- ✓ میزان های کارآیی باید با صرف هزینه و انرژی منطقی قابل اندازه گیری باشند.

علاوه بر روش های کیفی صرفاً مبتنی بر نظر سنجی، می توان از روش های مختلف مبتنی بر تحلیل حساسیت مانند تحلیل فاصله و تحلیل همایی [Momtahan, 1995] و روش پارتویی متوالی [Tarh-e-Haftom, 2009] نیز برای اولویت بندی اهداف استفاده کرد. این روش ها بر مبنای میزان مشکلات

موجود در زمینه اهداف کلی بکارگیری شده اند، نه بر مبنای امتیاز نسبی به دست آمده از امتیازدهی مستقیم افراد و بنابراین نتایج آن قابل مقایسه با روش ارائه شده در این مقاله نخواهد بود.

تعیین اولویت و یا رتبه بندی اهداف در صورتی که افراد (آزمودنی های) مختلف امتیازها و یا اولویت های مختلفی را برای هر هدف قائل باشند، می تواند یک نوع مسأله ارزیابی (تصمیم گیری) چندشاخصه به حساب می آید. چنان که پیشتر گفته شد، در این مقاله، اولویت بندی اهداف کلی با استفاده از مفاهیم تصمیم گیری چندمعیاره و مدل پارامتریک صورت گرفته است. به همین دلیل، در ادامه به مختصری درباره معرفی تصمیم گیری چندمعیاره و مرور ادبیات مرتبط با آن پرداخته می شود.

مدل های تصمیم گیری چندمعیاره^۳ را می توان به دو دسته عمده تقسیم کرد: مدل های چندهدفه (MODM)؛ و مدل های چند شاخصه (MADM)^۴. تفاوت کلی بین دو رویکرد را می توان در ساختار ریاضی آنها دید. مدل های چندهدفه به دنبال انتخاب پارامترها و متغیرهای مدل است، به گونه ای که اهداف مختلف مسئله را به نقاط مطلوب و بهینه آنها برساند، در حالی که تصمیم گیری چندشاخصه به دنبال آن است که با استفاده از شاخص های سنجش (معیارهای سنجش)، از میان چند گزینه منتخب یکی را به عنوان گزینه برتر معرفی نماید.

مدل چند شاخصه به صورت ماتریس تصمیم گیری $R = \{r_{ij}\}$ بیان می شود، که i اندیس گزینه و j اندیس شاخص های تصمیم گیری (مانند هزینه، ظرفیت، سوددهی، راحتی و غیره) برای سنجش مطلوبیت هر گزینه بوده، و عناصر r_{ij} بیانگر مقادیر خاص از شاخص j ام برای گزینه i ام است. واضح است که شاخص های j ممکن است کمی (مانند هزینه) یا کیفی (مانند راحتی) باشند. [Asgharpour, 1998]

جزئیات روش های مختلف تصمیم گیری چندشاخصه را می توان در کتاب هایی نظیر [Asgharpour, 1998] و [Figueira et al. 2005] و مقاله های مروری مانند

پ) از آنجا که در روش پرسشنامه‌ای، هر فرد تصمیم‌گیر مستقل از نظر سایر افراد وزن شاخص‌ها را تعیین می‌کند، پراکندگی وزن شاخص از دیدگاه افراد مختلف امری بدیهی است، لکن در روش وزن‌دهی ساده تنها می‌توان وزن یکتایی برای هر شاخص اعمال کرد، که در عمل با میانگین‌گیری از اوزان ارائه شده توسط همه افراد به دست می‌آیند.

نوآوری‌های این مقاله، تبدیل روش پارامتریک چندهدفه به چندشاخصه و استفاده از آن برای اولویت‌بندی اهداف حمل و نقل درون‌شهری به منظور رفع ایرادهای (الف) تا (پ) وارد بر روش وزن‌دهی مرسوم است. لازم به ذکر است که رفع ایراد مربوط به موارد (الف) و (ب) با توجه به تعیین روابط غالب و مغلوبی موجود در روش پارامتریک حاصل می‌شود و رفع ایراد مربوط به مورد (پ) به دلیل در نظر گرفتن میزان اهمیت تعیین شده توسط همه افراد به جای استفاده از یک مقدار میانگین تا حدود زیادی میسر خواهد شد. نکته قابل توجه این است که روش پارامتریک اصلاح‌شده به لحاظ ساختار شباهت‌هایی با روش وزن‌دهی داشته و روشی ساده به حساب می‌آید و این باعث خواهد شد که در مطالعات واقعی حمل‌ونقل و ترافیک کشور قابلیت بکارگیری بیشتری نسبت به سایر روش‌های چندشاخصه اولویت‌بندی داشته باشد.

۳. روش تحقیق

اولویت اهداف حمل‌ونقل درون‌شهری را می‌توان از دیدگاه افراد مختلف درگیر با امر حمل‌ونقل در شهر به طور متفاوت در نظر گرفت. اما، از آنجا که همه بخش‌های مرتبط با حمل و نقل شهر باید در یک راستا و در جهت رسیدن به اهداف یکسان حرکت کنند و همچنین در مطالعات مختلف می‌بایست اهداف یکسانی مد نظر باشند، ضروری است که میزان اهمیت هر هدف با توجه به نقطه نظر همه افراد درگیر با موضوع به صورت یکپارچه تعیین گردد. به همین دلیل، در بخش ۳-۱ این مقاله، پس از توضیحاتی در خصوص نحوه تعیین اهداف کلی در حمل‌ونقل، نحوه تعیین اهمیت اهداف از دیدگاه هر فرد

[Mardani et al. 2015a, 2015b and 2016; and Kumar et al. 2017] در مقاله حاضر، روش پارامتریک^۶ - که یکی از روش‌های حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه است - با تغییراتی به روشی برای حل مسأله اولویت بندی اهداف کلی - که خود می‌تواند نوعی چندشاخصه باشد - بکارگرفته شده است، و بنابراین، در ادامه، خلاصه‌ای در مورد روش وزن‌دهی ساده^۷، که روشی مرسوم برای محاسبه وزن و اهمیت اهداف به حساب می‌آید، ارائه شده و نقاط ضعف آن توضیح داده می‌شود.

با اینکه روش‌های مبتنی بر تعیین وزن معیارها (روش وزن‌دهی جمع‌پذیر) از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به حساب می‌آید [Khairul et al. 2016; Nurmalini and Rahim, 2017; and Pouyani and Ahadi, 2017]، به‌طورکلی معایب زیر را می‌توان برای آن برشمرد:

الف) این روش‌ها جزو روش‌های جبرانی هستند [Asgharpour, 1998]. به این معنی که در آن‌ها، تبادل یا مبادله^۸ بین شاخص‌ها مجاز است. به عبارت دیگر، ضعف یک شاخص ممکن است توسط امتیاز شاخص دیگری جبران شود. در شرایطی که یک گزینه در شاخص‌های مهم‌تر ارزیابی نمره‌ای ضعیف کسب کرده است در حالی که در شاخص‌های غیرمهم نمره‌ای بسیار قوی داشته است، ممکن است هر دو این گزینه‌ها با روش جمع نمره‌ها به شرایطی برابر دست یابند. مطالعه‌ای توسط معماریانی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که با تغییر در وزن یک معیار میزان تغییر در وزن کل هر گزینه تا چه حد دستخوش تغییر می‌شود [Memariani et al. 2009].

ب) در روش‌های وزن‌دهی، گزینه‌های موجود در تصمیم‌گیری می‌بایست الزاماً نسبت به یکدیگر مستقل باشند، درحالی‌که شاخص‌ها یا اهداف موجود برای آن مسئله ممکن است از نظر آماری نسبت به یکدیگر دارای استقلال خطی باشند یا نباشند.

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

می تواند برای اطلاع از آنها و جزئیات ارتباط بین اهداف کلی و جزئی به [Tarh-e-Haftom, 2009] مراجعه کند. پس از تعیین اهداف کلی، با استفاده از یک پرسشنامه ای ساده و کسب امتیاز مربوط به هر هدف کلی در مقیاس صفر تا ۲۰ میزان اهمیت (امتیاز نسبی) هر هدف کلی برای هر فرد را می توان به صورت زیر تعیین کرد:

$$w_{ij} = s_{ij} / \sum_k s_{kj} \quad (1)$$

که در آن، s_{ij} امتیاز داده شده به هدف کلی j توسط فرد i (بین ۰ و ۲۰) و w_{ij} امتیاز نسبی هدف کلی j توسط فرد i (بین ۰ و ۱) است.

۲-۳ روش پارامتریک چندهدفه

فرمول بندی کلی روش پارامتریک چندهدفه به صورت زیر است [Asgharpour, 1998]:

$$\max \sum_{g \in G} v_g f_g(y) \quad (2)$$

$$0 \leq v_g \leq 1 \quad (3)$$

$$v_g \geq 0, \quad \forall g \in G \quad (4)$$

که در آن، v_g اهمیت فرضی تابع هدف (معیار) G ، g مجموعه توابع هدف (معیارها)، و $f_g(y)$ مقدار تابع هدف g را نشان می دهد. باید توجه کرد که اوزان v_g اهمیت نسبی توابع هدف را منعکس نمی کنند، بلکه فقط به طور پارامتریک تغییر کرده تا جواب های موثر مسأله مشخص گردد. در واقع این مدل به دنبال یافتن توابع هدف غالب است که با تغییر پارامتریک وزن توابع هدف بتواند بیشترین مقدار وزن داده شده را بیابد. در این مدل، یک حل موثر^۹ y^* حلی است که هیچ حل دیگری (مثل y) وجود نداشته باشد که: [El-Banna, 1993]

$$v_g f_g(y^*) \leq v_g f_g(y) \quad (5)$$

این حل را می توان حل غیر مغلوب نیز نامید [Enkhat et al. 2008].

(مسوول یا کارشناس یا متصدی در امر حمل و نقل شهر) پرداخته می شود، و سپس، نحوه تعیین اولویت اهداف به صورت یکپارچه و از دیدگاه همه افراد در بخش ۳-۳ ارائه می شود.

۱-۳ تعیین اهمیت اهداف از دیدگاه هر فرد

بر اساس تعاریف و معیارهای ذکر شده در [Meyer, 2001] و [Miller, 2001] و [Khisty and Lall, 2006]، که توضیحاتی در مورد آنها در بخش قبل ارائه شد، اهداف کلی حمل و نقل درون شهری را می توان به صورت زیر تعریف کرد: [Tarh-e-Haftom, 2009]

(۱) کاهش خطرات زیست محیطی

(۲) تامین دسترسی به فرصت ها برای همه افراد

(۳) کاهش مخارج سیستم حمل و نقل

(۴) افزایش ایمنی و امنیت

(۵) افزایش راحتی و آرامش در سفر

(۶) افزایش سازگاری سیستم های حمل و نقلی با فرهنگ

و سنت

(۷) قابلیت اطمینان به سیستم حمل و نقل

همچنین، در کنار این اهداف کلی، ۵ ارزش، ۲۹ هدف جزئی و ۱۲۶ معیار کارایی تعریف شده است. جدول ۱ نحوه ارتباط اهداف کلی و جزئی، و ارتباط بین آنها را نشان می دهد.

نکته قابل توجه این که با رعایت تعاریف و معیارهای ذکر شده در متون مرتبط مذکور در بالا می توان دسته بندی های مختلفی برای اهداف کلی و جزئی ارائه کرد، که این موضوع به شناخت مشکلات شهری در یک کشور و تجربه و نظر کارشناسی تحلیل گر دارد.

هر چند ارتباط بین اهداف و میزان های کارایی در برآورد میزان مشکلات و ارزیابی راه کارهای حمل و نقلی بسیار با اهمیت است، ولی در تعیین امتیاز نسبی اهداف کلی در این مقاله نقشی ندارد و از توضیح بیشتر درباره آنها صرف نظر می شود. خواننده

۳-۳ روش پارامتریک پیشنهادشده

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (10)$$

که در آن، J مجموعه اهداف کلی، I مجموعه افراد پرسشگری شده، v_i اهمیت فرضی فرد i ، و w_{ij} امتیاز نسبی به دست آمده از پرسشگری برای هدف کلی j از دیدگاه فرد i و M یک عدد خیلی بزرگ است. در این مدل، مقدار متغیر تصمیم x_k زمانی برابر با ۱ خواهد شد که هدف کلی k به عنوان یک هدف کلی اولویت دار انتخاب شود و در غیر این صورت مقدار x_k صفر می شود.

در این مدل، حداکثر یک هدف کلی، که طبق رابطه (۶) بیشترین تابع هدف مسئله را نتیجه دهد، به عنوان هدف کلی دارای اولویت انتخاب می شود، و بنابراین برای اولویت بندی همه اهداف کلی نیاز به الگوریتمی است که بعداً به آن می پردازیم. محدودیت (۷) مدل را مجبور به انتخاب یک هدف کلی از میان همه اهداف کلی می کند.

از آنجا که در مسئله تعیین اولویت اهداف کلی در حمل و نقل به دنبال اهداف غیر مغلوب (دارای اولویت از دیدگاه افراد مختلف) هستیم، ایده استفاده از روش پارامتریک در این مطالعه مد نظر قرار گرفت. با توجه به گسسته بودن مسئله اولویت بندی اهداف، و به نوعی چندشاخصه بودن آن، لازم است تغییراتی در مدل چندهدفه فوق اعمال شود. به این ترتیب، در این پژوهش، مسئله پارامتریک چندشاخصه زیر پیشنهاد شده است:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_j v_i w_{ij} \quad (6)$$

$$\text{S.t.}: \sum_{j \in J} x_j = 1 \quad (7)$$

$$0 \leq v_i \leq 1, \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$(1 - x_j) v_i w_{ij} \leq x_k v_i w_{ik} + (1 - x_k) M, \quad \forall j, k \in J \quad (9)$$

جدول ۱. اهداف اهداف کلی و اهداف جزئی و ارتباط آن‌ها [Tarh-e-Haftom, 2009]

اهداف کلی	اهداف جزئی
۱- کاهش خطرات زیست محیطی	۱-۱- کاهش آلودگی های صوتی و لرزشی ۲-۱- کاهش آلودگی هوا ۳-۱- کاهش آلودگی های بصری (دید و منظر) ۴-۱- کاهش آلودگی های آب و خاک و حفظ محیط زیست جانوری ۱-۲- افزایش سهولت دسترسی به سیستم حمل و نقل همگانی ۲-۲- بهبود ساختار شبکه حمل و نقل همگانی ۳-۲- افزایش تسهیلات مناسب برای تردد عابرین پیاده و کاربرای کم توان ۴-۲- کاهش طول سفرها ۵-۲- بهبود کیفیت تسهیلات جانبی سیستم حمل و نقل ۶-۲- بهبود ساختار و توپولوژی شبکه معابر ۷-۲- افزایش اطلاع رسانی به مسافران و رانندگان ۱-۳- کاهش طول سفرها ۲-۳- کاهش تعداد وسایل نقلیه فعال در معابر ۳-۳- کاهش هزینه سفر با حمل و نقل خصوصی و همگانی ۴-۳- کاهش هزینه های ساخت ۵-۳- کاهش هزینه های مدیریتی نگهداری و بهره برداری ۶-۳- افزایش سهم حمل و نقل همگانی ۷-۳- کاهش مخارج ناشی از حوادث ۱-۴- افزایش تسهیلات مناسب برای تردد عابرین پیاده و کاربرای کم توان
۲- تامین دسترسی به فرصت ها برای همه افراد	
۳- کاهش مخارج سیستم حمل و نقل	
۴- افزایش ایمنی و امنیت	

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

۲-۴- افزایش فرهنگ رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی	
۳-۴- کاهش تعداد تصادفات و تلفات ناشی از آن	
۴-۴- حفظ امنیت سامانه حمل و نقل	
۵-۴- بهبود قوانین حمل و نقل و رانندگی و نظام مدیریت ایمنی	
۶-۴- بهبود وضعیت معابر	
۱-۵- افزایش تسهیلات مناسب برای تردد عابرین پیاده و کاربران کم توان	
۲-۵- بهبود کیفیت تسهیلات جانبی سیستم حمل و نقل	
۳-۵- افزایش فرهنگ رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی	
۴-۵- بهبود وضعیت معابر	
۵-۵- کاهش شلوغی خیابان	۵- افزایش راحتی و آرامش در سفر
۶-۵- افزایش اطلاع رسانی به مسافران و رانندگان	
۷-۵- کاهش ازدحام و شلوغی در ایستگاه ها و ناوگان وسایل حمل و نقل همگانی	
۸-۵- کاهش آسیب به بناها و میراث فرهنگی و هنری شهر و بافت های ارزشمند	
۱-۶- کاهش آلودگی های بصری (دید و منظر)	
۲-۶- کاهش آسیب به بناها و میراث فرهنگی و هنری شهر و بافت های ارزشمند	۶- افزایش سازگاری سیستم های حمل و نقلی با فرهنگ و سنت
۳-۶- افزایش استفاده از نمادهای هنری بومی در سیستم های حمل و نقل	
۴-۶- افزایش تناسب و هماهنگی سیستم های حمل و نقل با اقلیم شهری	
۱-۷- بهبود ساختار شبکه حمل نقل همگانی	
۲-۷- بهبود کیفیت تسهیلات جانبی سیستم حمل و نقل	
۳-۷- بهبود ساختار و توپولوژی شبکه معابر	۷- قابلیت اطمینان به سیستم حمل و نقل
۴-۷- افزایش قابلیت اطمینان سفر	
۵-۷- کاهش اثرات محیطی بر حمل و نقل	

در حقیقت، محدودیت (۸) وزن داده شده به هر فرد - که هر فرد معرف معیار تصمیم گیری است - را بین صفر و ۱ نگه می دارد. رابطه (۹) کنترل می کند که اگر هدف کلی k به عنوان هدف کلی دارای اولویت انتخاب شده باشد - یعنی $x_k = 1$ برابر با ۱ باشد - و هدف کلی j به عنوان هدف کلی دارای اولویت انتخاب نشده باشد - یعنی $x_j = 0$ برابر با صفر باشد - هدف کلی k نسبت به هدف کلی j غیر مغلوب باشد:

نکته ۱: با تغییرات اعمال شده روی مدل چندهدفه پارامتریک، مدل به دست آمده تبدیل به مدلی چندشاخصه شده است، و در تعریف «تابع هدف» در مدل چندهدفه با «هدف کلی» در مدل پیشنهادی هیچ ارتباطی وجود ندارد. بلکه، هر هدف کلی در مدل پیشنهادی جایگزین یک جواب یا حل ممکن در مدل چندهدفه - که در مدل پارامتریک با y نشان داده می شود - شده است، و هر فرد در مدل پیشنهادی جایگزین یک معیار (تابع هدف) در مدل چندهدفه شده است.

محدودیت (۸) وزن داده شده به هر فرد - که هر فرد معرف معیار تصمیم گیری است - را بین صفر و ۱ نگه می دارد. رابطه (۹) کنترل می کند که اگر هدف کلی k به عنوان هدف کلی دارای اولویت انتخاب شده باشد - یعنی $x_k = 1$ برابر با ۱ باشد - و هدف کلی j به عنوان هدف کلی دارای اولویت انتخاب نشده باشد - یعنی $x_j = 0$ برابر با صفر باشد - هدف کلی k نسبت به هدف کلی j غیر مغلوب باشد:

$$v_i w_{ij} \leq v_i w_{ik}, \quad \forall j, k \in J, \quad \forall i \in I \quad (11)$$

بدیهی است، در سه حالت دیگر، سه نامعادله صحیح به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\text{اگر } x_j = 1 \text{ و } x_k = 0 \text{ آنگاه } 0 \leq M$$

$$\text{اگر } x_j = 0 \text{ و } x_k = 0 \text{ آنگاه } v_i w_{ij} \leq M$$

$$\text{اگر } x_j = 1 \text{ و } x_k = 1 \text{ آنگاه } v_i w_{ij} \leq v_i w_{ik}$$

حالت اخیر تنها زمانی پیش می آید که j برابر با k باشد و هر دو سمت نامعادله یک مقدار داشته باشند.

گام ۲: مسأله خطی زیر را به ازای هر هدف کلی k عضو K حل کنید:

$$\max \sum_{i \in I} v_i w_{ik} \quad (12)$$

S.t:

$$0 \leq v_i \leq 1, \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$v_i w_{ij} \leq v_i w_{ik}, \quad \forall j, k \in K, \forall i \in I \quad (14)$$

گام ۳: در بین اهداف کلی عضو K هدفی را که بیشترین مقدار را برای تابع هدف ایجاد کرده است به عنوان هدف با اولویت n ام انتخاب کرده و از مجموعه K خارج کنید.

گام ۴: به مقدار n یکی بیفزایید. اگر مجموعه K تنها یک عضو دارد به آن اولویت n بدهید و الگوریتم را پایان دهید، وگرنه به گام ۲ برگردید.

این الگوریتم به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند اولویت هر هدف را با توجه به اهمیتی که برای افراد مختلف داشته‌اند به صورت پی‌درپی و با استفاده از روش چندمعیاره پارامتریک پیشنهادشده به دست دهد. در حقیقت، در هر مرحله از مدل خطی پیشنهادی، وزن فرضی هر فرد با توجه به میزان غیرمغلوب (و اولویت‌دار) بودن یک هدف کلی بر سایر اهداف کلی تعیین می‌شود و بر آن اساس مقدار بیشینه تابع هدف به دست می‌آید.

لازم به ذکر است که در الگوریتم بالا، تعداد اجرای مدل خطی پیشنهادشده برابر با $1 - n(n+1)/2$ خواهد بود، که در مقایسه با تعداد اجرای مدل غیرخطی پیشنهادی به صورت توانی افزایش می‌یابد؛ ولی جواب آن به صورت دقیق و با زمان حل کمتری حاصل می‌شود. برای مثال، برای ۷ هدف کلی تعداد اجرای مدل غیرخطی ۶ بار و تعداد اجرای مدل خطی ۲۷ بار است.

۴. بکارگیری مدل

۴-۱ نتایج اولویت‌بندی اهداف کلی حمل‌ونقلی برای

شهر مشهد

نکته ۲: اوزان v_i اهمیت نسبی اهداف کلی را منعکس نمی‌کنند، بلکه فقط به‌طور پارامتریک تغییر کرده تا اهداف کلی موثر و دارای اولویت مسأله مشخص گردند.

نکته ۳: مسأله بهینه‌سازی فوق یک مسأله یک هدفه غیرخطی است، زیرا دو متغیر تصمیم x_j و v_i در تابع هدف (۲) در یکدیگر ضرب شده‌اند. همچنین، متغیرهای تصمیم مسأله در محدودیت (۹) در یکدیگر ضرب شده و محدودیت غیرخطی ایجاد کرده‌اند. از آن‌جا که حل مسائل خطی با مشکل زمان حل و یا حل غیردقیق مواجه هستند در این مطالعه الگوریتمی ارائه می‌شود که در آن متغیر تصمیم x_j از مدل حذف شود.

نکته ۴: همان‌طور که پیشتر گفته شد، در مدل پیشنهادشده روش کار به این صورت است که در هر بار اجرای مدل تنها یک هدف کلی دارای اولویت را می‌توان انتخاب کرد. سپس، در میان همه اهداف، هدفی که به عنوان هدف با بالاترین اولویت انتخاب می‌شود باید از جمع اهداف خارج شود تا از میان اهداف باقیمانده هدف بعدی با اجرای مجدد مدل به عنوان هدف با اولویت دوم انتخاب شود. به همین ترتیب باید روند اجرای مدل ادامه یابد تا اولویت همه اهداف مشخص گردد. به این معنی که اگر ۷ هدف کلی داریم، باید جمعاً ۶ مرتبه مدل غیرخطی بالا حل شود.

نکته ۵: با توجه به شرایط غالب و مغلوب بودن اهداف مقدار v_i همواره یا صفر یا یک خواهد بود، ولی در مدل پیشنهادشده این متغیر به صورت یک متغیر صفر و یکی تعریف نشده است تا از پیچیدگی مدل و در نتیجه زمان حل آن کاسته شود.

بر اساس دو نکته ۳ و ۴، الگوریتمی برای رفع مشکل غیرخطی بودن مدل و نیز بیان نحوه استخراج اولویت‌ها توسط مدل پیشنهادشده به صورت زیر پیشنهاد شده است:

گام ۱: مجموعه‌ای را به عنوان «مجموعه فعال» تشکیل داده و آن را K بنامید. همه اهداف کلی را در آن قرار دهید، و n را برابر با ۱ بگیرید.

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

گروه‌های با همگونی بیشتر، و نیز وزن دادن به نظرات گروه‌های مختلف، مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه، از پاسخگویان خواسته شده است که مهم‌ترین مسأله حمل و نقل شهر را همراه با پیشنهاداتی برای حل آن‌ها ذکر کنند. در پایان قسمت اول پرسشنامه نیز از پاسخگو خواسته شد که مهمترین راه حل برای این مشکل را در سه کلمه بنویسد، تا در صورت امکان مورد استفاده قرار گیرد. به علاوه به منظور ارزیابی دقت و هماهنگی پاسخگو در پاسخ به پرسش‌ها، پرسش‌های مشابه ولی با جمله بندی متفاوت در پرسشنامه گنجانیده شدند تا سازگاری پاسخ‌ها در گروه‌های مختلف پاسخ‌دهنده نیز کنترل شود.

قابل ذکر است که پرسشنامه مذکور توسط ۱۰۹ فرد (شامل کارشناسان معاونت حمل و نقل شهرداری، اساتید دانشگاه، مهندسين مشاور فعال در شرکت‌های حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد، ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط با زیرساخت‌ها و خدمات حمل و نقل شهر، اعضای شورای ترافیک وقت) پر شده و نتایج امتیازهای افراد مختلف (با استفاده از اطلاعات مربوط به بخش دوم پرسشنامه شناسایی اهداف شهر مشهد) برای ۷ هدف کلی زیر در جدول ۲ آورده شده است:

- ۱) کاهش خطرات زیست محیطی
- ۲) تامین دسترسی به فرصت‌ها برای همه افراد
- ۳) کاهش مخارج سیستم حمل و نقل
- ۴) افزایش ایمنی و امنیت
- ۵) افزایش راحتی و آرامش در سفر
- ۶) افزایش سازگاری سیستم‌های حمل و نقلی با فرهنگ

و سنت

- ۷) قابلیت اطمینان به سیستم حمل و نقل
- مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین وزن محاسبه شده برای هر هدف کلی توسط ۱۰۹ فرد نیز در شکل ۱ مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل می‌توان نتیجه گرفت که امتیاز مربوط به اهداف ۴ و ۷ نسبت به سایر اهداف بیشتر است.

برای ارزیابی میزان اهمیت اهداف کلی در شهر مشهد از دیدگاه مسوولان، متصدیان و کارشناسان این شهر، پرسشنامه‌ای (تحت عنوان پرسشنامه شناسایی اهداف) شامل چهار بخش طراحی شده است، که بخش اول آن مربوط به اطلاعات کلی و سفرهای معمول پاسخ‌گو، بخش دوم راجع به امتیاز (اهمیت) اهداف کلی و جزئی، و دو بخش آخر آن راجع به میزان مشکلات در زمینه میزان‌های کارآیی مختلف و سایر مشکلات عمومی از دید وی است. جمع‌آوری و ورود اطلاعات مربوطه تحت عنوان بخشی از شرح خدمات مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع حمل و نقل شهر مشهد [Tarh-e-Haftom, 2009] صورت گرفته است. اطلاعات مربوط به بخش دوم این پرسشنامه در مطالعه حاضر استفاده شده است.

در واقع، در مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع حمل و نقل شهر مشهد، نظر سنجی برای سه دسته افراد زیر به صورت مجزا صورت پذیرفته است: «کارشناسان»، «مسوولان» و «شهروندان». پرسشنامه تهیه شده برای دسته اول و دوم یکسان و برای دسته سوم متفاوت بوده است. در پرسشنامه مربوط به دسته اول و دوم، با توجه به آشنا بودن این دو دسته به مسائل حمل و نقلی و اهدافی که باید در مطالعات حمل و نقلی به دنبال آن بود، بحث اهمیت اهداف به صورت جداگانه و به صورت امتیازدهی از آنها پرسیده شد. همچنین، در پرسشنامه مربوط به این دو دسته سؤالاتی در مورد میزان‌های کارآیی (شامل ۱۸۰ سوال) پرسیده شد، که این سؤالاها به صورت خلاصه تری (با تعداد ۵۷ سوال) از شهروندان نیز پرسیده شد. پرسشنامه مربوط به دسته اول و دوم (یعنی «کارشناسان» و «مسوولان») حاوی پرسش‌های دیگری نیز به شرح زیر بود.

در ابتدا پرسش‌هایی در زمینه ویژگی‌های فردی پاسخگو در پرسشنامه گنجانیده شد، تا شرایط اجتماعی-اقتصادی پاسخگو (مانند سن، جنس، میزان تحصیلات، شغل، سمت، و مدت اقامت در محدوده مورد مطالعه) تعیین شود. این اطلاعات در گروه بندی پاسخگویان به منظور دستیابی به

برای دقت بیشتر درباره میزان تغییرپذیری در امتیاز نسبی اهداف، تحلیلی آماری برای تعیین نحوه پراکندگی آنها صورت گرفت و نتایج آزمون ناپارامتری کلموگروف-اسمیرنوف توسط نرم افزار EasyFit نشان داد که امتیازهای نسبی در سطح معنی دار کمتر از ۰/۱۰ از توزیع نرمال پیروی می کنند. شکل ۲ نحوه پراکندگی مقادیر واقعی امتیازهای نسبی را در مقایسه با توزیع نرمال برای هدف کلی ۱ نشان می دهد. پیروی کردن نظرات از توزیع نرمال شاید بتواند تصدیقی بر دقت پاسخگویان در ارائه نظرات واقعیشان باشد.

می توان میزان پراکندگی امتیازها را با محاسبه ضریب تغییرات -که حاصل تقسیم انحراف معیار بر میانگین امتیازهای نسبی است- نیز مورد ارزیابی قرار داد. خلاصه نتایج آماری مربوط به امتیازهای نسبی اهداف در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول به خوبی می توان دید که پراکندگی امتیازهای نسبی اهداف ۶ و ۳ و ۱ نسبت به سایر اهداف بالاتر است و در صورتی که اولویت ها تنها بر مبنای مقادیر میانگین امتیازهای نسبی صورت پذیرد، این پراکندگی در نظر گرفته نخواهد شد. جدول ۴ نتایج بکارگیری مدل پیشنهادشده را برای اولویت بندی اهداف کلی شهر مشهد نشان می دهد. اهداف کلی دارای اولویت در هر تکرار از الگوریتم پیشنهادشده با زمینه خاکستری مشخص شده اند. بنابراین، اولویت اهداف کلی حمل و نقلی برای شهر مشهد به صورت زیر به دست می آید:

۴-افزایش ایمنی و امنیت

۷-قابلیت اطمینان به سیستم حمل و نقل

۵-افزایش راحتی و آرامش در سفر

۱-کاهش خطرات زیست محیطی

۲-تامین دسترسی به فرصت ها برای همه افراد

۳-کاهش مخارج سیستم حمل و نقل

۶-افزایش سازگاری سیستم های حمل و نقلی با فرهنگ و

سنت

نکته قابل توجه در جدول ۴ این است که برای همه اهداف کلی با افزایش تعداد تکرار الگوریتم مقدار تابع هدف افزایش می یابد، و این کاملاً منطقی است؛ زیرا، با هر یک عدد افزایش در تکرار الگوریتم، یکی از اهداف کلی غالب نسبت به اهداف موجود از لیست اهداف کلی فعال (عضو مجموعه K) خارج شده و بنابراین تعداد افرادی که به ازای آنها اهداف کلی فعال مغلوب بوده اند کاهش می یابد، و این به تابع هدف اجازه رشد بیشتری را می دهد.

۴-۲ بحث

همان طور که پیش تر گفته شد، می توان اولویت اهداف کلی را با استفاده از مقادیر میانگین امتیازهای نسبی، که یک روش مرسوم به حساب می آید، نیز به دست آورد. در این صورت اولویت اهداف کلی در شهر مشهد با استفاده از جدول ۳ به صورت زیر خواهد بود:

۴-افزایش ایمنی و امنیت

۷-قابلیت اطمینان به سیستم حمل و نقل

۵-افزایش راحتی و آرامش در سفر

۲-تامین دسترسی به فرصت ها برای همه افراد

۱-کاهش خطرات زیست محیطی

۳-کاهش مخارج سیستم حمل و نقل

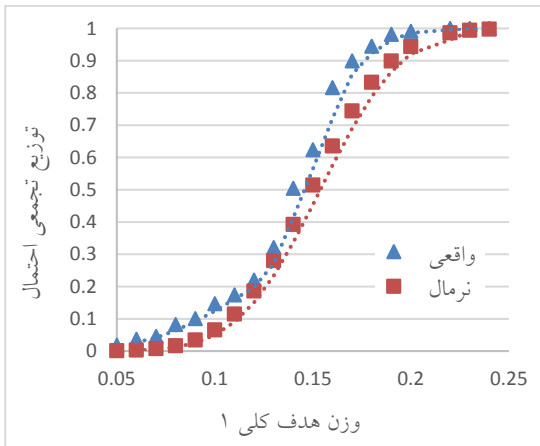
۶-افزایش سازگاری سیستم های حمل و نقلی با فرهنگ و

سنت

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

جدول ۲. امتیاز اهداف کلی (در مقیاس ۰ تا ۲۰) از دیدگاه مسولان و کارشناسان شهر مشهد (S_{ij}) [Tarh-e-Haftom, 2009]

شماره هدف کلی							شماره فرد	شماره هدف کلی							شماره فرد
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۸	۱۹	۲۰	۵۶	۲۰	۱۵	۱۹	۲۰	۱۸	۲۰	۱۸	۱
۱۱	۱۲	۱۵	۱۷	۱۱	۸	۱۵	۵۷	۱۸	۵	۱۸	۲۰	۱۰	۱۷	۲۰	۲
۱۴	۱۴	۲۰	۱۸	۱۸	۱۵	۱۵	۵۸	۱۴	۱۸	۱۴	۱۲	۱۰	۱۴	۲۰	۳
۲۰	۱۰	۲۰	۱۸	۱۲	۱۵	۱۲	۵۹	۲۰	۱۴	۱۸	۱۶	۱۵	۱۹	۱۷	۴
۱۸	۲۰	۲۰	۱۸	۱۸	۲۰	۲۰	۶۰	۲۰	۱۴	۱۸	۱۶	۱۵	۱۹	۱۷	۵
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۶۱	۱۵	۱۰	۱۹	۱۵	۲۰	۱۷	۱۵	۶
۲۰	۱۶	۱۸	۲۰	۱۷	۱۷	۲۰	۶۲	۱۷	۱۰	۱۵	۲۰	۱۵	۱۶	۱۸	۷
۱۸	۱۵	۱۷	۱۹	۱۸	۱۵	۱۷	۶۳	۱۸	۸	۱۸	۱۳	۱۵	۸	۱۰	۸
۲۰	۰	۲۰	۲۰	۱۸	۱۸	۲۰	۶۴	۲۰	۱۲	۱۵	۱۲	۱۰	۲۰	۱۵	۹
۱۵	۱۰	۱۵	۲۰	۱۰	۱۸	۲۰	۶۵	۱۴	۵	۱۷	۱۸	۱۵	۱۲	۱۶	۱۰
۱۵	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰	۶۶	۱۸	۱۴	۱۸	۲۰	۱۶	۲۰	۱۵	۱۱
۱۶	۱۴	۱۲	۱۸	۲۰	۱۰	۸	۶۷	۱۸	۱۸	۲۰	۲۰	۱۵	۱۸	۱۷	۱۲
۱۰	۰	۱۴	۱۷	۱۴	۱۵	۲۰	۶۸	۱۵	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰	۵	۱۳
۲۰	۲۰	۱۸	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۶۹	۱۱	۱۰	۱۴	۱۶	۱۰	۸	۱۵	۱۴
۲۰	۱۹	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹	۷۰	۲۰	۰	۱۵	۲۰	۵	۱۵	۱۵	۱۵
۱۷	۱۳	۱۸	۱۶	۱۶	۱۵	۱۴	۷۱	۱۷	۱۸	۱۷	۲۰	۱۹	۱۹	۲۰	۱۶
۲۰	۱۲	۱۵	۲۰	۱۵	۱۸	۱۷	۷۲	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۵	۲۰	۱۷
۱۰	۱۰	۲۰	۱۸	۱۷	۲۰	۱۹	۷۳	۱۴	۱۵	۱۲	۱۱	۱۵	۱۷	۱۳	۱۸
۱۳	۱۵	۲۰	۲۰	۱۸	۱۵	۱۷	۷۴	۲۰	۱۵	۱۸	۱۸	۱۶	۱۶	۱۷	۱۹
۲۰	۱۰	۱۸	۲۰	۱۵	۱۵	۱۰	۷۵	۲۰	۲۰	۱۸	۲۰	۱۷	۱۸	۲۰	۲۰
۲۰	۴	۱۸	۲۰	۱۷	۱۹	۱۸	۷۶	۲۰	۱۴	۲۰	۲۰	۱۵	۱۵	۲۰	۲۱
۱۶	۱۲	۱۷	۱۹	۱۵	۱۵	۱۸	۷۷	۱۷	۱۵	۱۹	۲۰	۱۷	۱۸	۱۷	۲۲
۱۵	۱۰	۲۰	۲۰	۱۵	۱۸	۲۰	۷۸	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۳
۱۸	۱۵	۱۸	۲۰	۱۵	۲۰	۲۰	۷۹	۲۰	۱۷	۲۰	۲۰	۱۹	۱۸	۱۵	۲۴
۱۸	۱۶	۲۰	۱۷	۱۹	۲۰	۲۰	۸۰	۱۵	۱۰	۱۵	۲۰	۱۵	۲۰	۵	۲۵
۱۹	۱۵	۱۸	۱۹	۱۵	۱۸	۲۰	۸۱	۱۷	۱۵	۱۳	۱۵	۱۴	۱۳	۱۰	۲۶
۲۰	۱۵	۱۷	۲۰	۱۵	۱۷	۱۵	۸۲	۱۷	۱۰	۱۵	۲۰	۱۵	۱۶	۱۸	۲۷
۲۰	۱۵	۱۷	۲۰	۱۵	۱۸	۲۰	۸۳	۱۶	۱۱	۱۶	۱۹	۱۷	۱۶	۱۸	۲۸
۲۰	۱۶	۱۸	۲۰	۱۸	۱۶	۱۰	۸۴	۱۷	۱۲	۱۶	۲۰	۱۴	۱۷	۱۸	۲۹
۱۵	۸	۱۸	۱۰	۱۵	۱۲	۱۷	۸۵	۲۰	۱۸	۱۹	۲۰	۱۵	۱۵	۱۷	۳۰
۱۷	۱۲	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۵	۸۶	۲۰	۱۰	۱۹	۱۸	۱۰	۱۹	۱۸	۳۱
۱۶	۱۲	۱۵	۱۸	۱۴	۱۶	۱۷	۸۷	۱۸	۱۷	۲۰	۱۹	۱۸	۱۸	۱۷	۳۲
۱۸	۱۲	۱۶	۲۰	۱۵	۲۰	۱۲	۸۸	۱۶	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۵	۱۷	۳۳
۲۰	۱۰	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰	۱۵	۸۹	۱۸	۱۷	۲۰	۲۰	۱۹	۲۰	۱۸	۳۴
۸	۷	۲۰	۱۵	۱۵	۲۰	۱۲	۹۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۸	۱۸	۱۸	۱۵	۳۵
۱۸	۱۵	۲۰	۱۹	۱۰	۲۰	۱۹	۹۱	۲۰	۱۵	۲۰	۱۵	۱۰	۱۷	۱۵	۳۶
۱۵	۱۶	۱۸	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۹۲	۱۵	۱۰	۱۵	۱۲	۱۵	۲۰	۱۰	۳۷
۱۶	۵	۱۷	۱۲	۹	۱۴	۱۵	۹۳	۱۵	۲۰	۱۵	۲۰	۱۰	۱۵	۱۵	۳۸
۱۵	۵	۱۰	۲۰	۵	۱۰	۷	۹۴	۱۹	۱۲	۱۵	۱۹	۱۰	۱۸	۲۰	۳۹
۱۵	۵	۱۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۰	۹۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۴۰
۱۷	۱۲	۱۸	۱۸	۱۰	۱۶	۱۷	۹۶	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۴۱
۲۰	۵	۱۵	۱۵	۱۸	۱۵	۲۰	۹۷	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۴۲
۱۸	۱۲	۲۰	۱۸	۱۴	۱۶	۱۶	۹۸	۱۷	۱۲	۱۵	۱۸	۱۰	۱۵	۱۴	۴۳
۱۸	۱۲	۲۰	۱۸	۱۴	۱۶	۱۶	۹۹	۱۹	۱۰	۱۷	۱۸	۱۲	۱۵	۱۸	۴۴
۱۸	۱۲	۲۰	۱۵	۱۵	۱۲	۲۰	۱۰۰	۲۰	۷	۹	۱۵	۱۵	۱۳	۶	۴۵
۱۴	۱۰	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۰	۱۰۱	۱۸	۱۸	۱۷	۱۹	۱۸	۱۸	۱۸	۴۶
۱۵	۱۵	۱۸	۱۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰۲	۲۰	۲۰	۱۹	۲۰	۱۷	۱۸	۲۰	۴۷
۱۷	۱۲	۲۰	۲۰	۱۵	۱۶	۱۴	۱۰۳	۲۰	۱۵	۱۵	۲۰	۱۵	۲۰	۲۰	۴۸
۱۹	۱۵	۱۸	۱۸	۱۴	۱۷	۱۸	۱۰۴	۲۰	۱۸	۱۷	۲۰	۲۰	۱۸	۲۰	۴۹
۱۷	۱۶	۱۸	۱۶	۱۸	۲۰	۲۰	۱۰۵	۲۰	۲۰	۱۹	۲۰	۲	۲۰	۱۵	۵۰
۱۸	۵	۱۰	۵	۱۵	۱۵	۶	۱۰۶	۱۸	۱۵	۲۰	۱۹	۱۵	۱۹	۱۸	۵۱
۱۸	۱۲	۱۸	۲۰	۱۵	۱۴	۱۳	۱۰۷	۲۰	۱۸	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۰	۵۲
۱۸	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۲۰	۱۹	۱۰۸	۲۰	۱۴	۱۶	۲۰	۱۰	۱۵	۱۸	۵۳
۲۰	۱۵	۲۰	۱۹	۱۶	۱۸	۱۶	۱۰۹	۱۰	۱۰	۱۵	۱۸	۱۵	۱۵	۲۰	۵۴
								۱۸	۱۷	۱۴	۱۶	۱۲	۱۵	۱۰	۵۵



شکل ۲. نحوه پراکندگی مقادیر واقعی امتیازهای نسبی را در مقایسه با توزیع نرمال



شکل ۱. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین امتیاز نسبی محاسبه شده برای هر هدف کلی (W_{ij})

جدول ۳. مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات امتیازهای نسبی اهداف کلی

شماره هدف کلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میانگین	۰,۱۴۲۴	۰,۱۴۷۱	۰,۱۳۲۴	۰,۱۵۷۶	۰,۱۵۲۲	۰,۱۱۳۳	۰,۱۵۴۹
انحراف معیار	۰,۰۲۹۷	۰,۰۲۳۱	۰,۰۲۹۷	۰,۰۲۵۶	۰,۰۱۸۸	۰,۰۳۵۲	۰,۰۲۴۲
ضریب تغییرات	۰,۲۰۸۸	۰,۱۵۷۰	۰,۲۲۴۴	۰,۱۶۲۷	۰,۱۲۳۵	۰,۳۱۰۵	۰,۱۵۶۴

جدول ۴. نتایج بکارگیری مدل پیشنهاد شده را برای اولویت بندی اهداف کلی شهر مشهد

شماره تکرار الگوریتم (n)	شماره هدف کلی						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۵,۶۱۰	۴,۸۷۲	۲,۳۱۸	۱۰,۰۱۳	۶,۵۳۳	۲,۱۶۳	۷,۹۷۴
۲	۷,۰۵۹	۵,۰۱۵	۲,۶۱۲	...	۷,۱۹۴	۲,۳۰۶	۸,۸۰۸
۳	۷,۷۰۲	۶,۴۱۵	۳,۱۴۶	...	۸,۷۳۲	۲,۶۲۷	...
۴	۸,۹۴۹	۸,۱۴۸	۴,۴۸۶	...	...	۳,۲۲۸	...
۵	...	۱۱,۶۵۵	۶,۳۳۶	...	...	۳,۸۰۰	...
۶	...	...	۱۱,۵۲۸	...	...	۶,۱۳۰	...

یک هدف کلی امتیاز نسبی کمتری نسبت به یک هدف کلی دیگر داده باشند در حالی که میانگین امتیاز نسبی آن هدف در مجموع کل افراد از هدف دوم بیشتر باشد. چنانچه چنین اتفاقی می افتاد، یعنی، علیرغم بیشتر بودن امتیاز نسبی یک هدف کلی از نظر همه افراد، عده زیادی از افراد بر این باور بودند که یک هدف کلی نسبت به هدف دیگری دارای اولویت نیست (مغلوب است) نتیجه اولویت بندی می توانست

این اولویت بندی با آنچه که از روش پارامتریک پیشنهادی به دست آمده است تنها در اولویت چهارم و پنجم (یهمی اهداف کلی ۱ و ۲) تفاوت دارد، و در سایر موارد همان اولویت بندی به دست آمده از مدل پارامتریک پیشنهاد شده است. این موضوع نشان می دهد که برای اولویت های اول تا سوم، ساختار غلبه اهداف کلی با نحوه امتیازدهی افراد مختلف همخوانی دارد. به این معنی که اینگونه نبوده است که تعداد قابل توجهی افراد به

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

این مثال به خوبی نشان می‌دهد که علاوه بر میزان امتیازها ساختار غالب و مغلوبی اهداف کلی از دیدگاه افراد مختلف چگونه می‌تواند اولویت بندی اهداف کلی را تغییر دهد. در این مثال، اغلب افراد نظر بر غالب بودن هدف کلی ۲ داشته‌اند و این موضوع خطای احتمالی نظر فرد ۱ را در روش پارامتریک تحت تأثیر قرار داده است. به طور کلی، می‌توان گفت که در روش پارامتریک پیشنهاد شده علاوه بر امتیاز نسبی اهداف کلی، غالب و مغلوب بودن آنها نیز به عنوان معیاری برای اولویت بندی اهداف مد نظر قرار می‌گیرد.

در پایان، براساس اولویت بندی اهداف کلی به دست آمده، می‌توان توصیه‌هایی برای بهبود بخشیدن به وضعیت حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد به صورت زیر ارائه کرد. برای بهبود وضعیت ایمنی، امنیت و قابلیت اطمینان در سفرهای شهری (موضوع اهداف کلی ۴ و ۷ که اولویت‌های اول و دوم را کسب کرده‌اند) تلاش بیشتر مسوولان امر حمل و نقل شهر در زمینه بکارگیری خدمات نوین حمل و نقل هوشمند ITS^{۱۲} از قبیل سامانه‌های ایمنی و امنیتی (SSS)^{۱۱}، سامانه‌های پیشرفته اطلاعات مسافر (ATIS)^{۱۲} و سامانه‌های پیشرفته حمل و نقل همگانی (APTS)^{۱۳}، و نیز استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای کنترل و زمان بندی حرکت گشت پلیس به صورت بهینه برای رفع موانع ناشی از تصادفات و جلوگیری از ناامنی در ایستگاه‌های حمل و نقل همگانی می‌تواند بسیار راه‌گشا باشد. همچنین، بهبود نظم اعزام وسایل نقلیه و کنترل تواتر در نقاط مشخصی از شبکه خطوط حمل و نقل همگانی تأثیر بسزایی در بهبود قابلیت اطمینان در سفرها خواهد داشت. به منظور افزایش راحتی و آرامش در سفر (موضوع هدف کلی ۵ که اولویت سوم را کسب کرده است) نیز استفاده از روش‌های جدید اطلاع‌رسانی به مسافران چه قبل از سفر و چه در حین سفر، و نیز بهبود خدمات داخلی وسایل نقلیه (از قبیل تهویه مطبوع و وجود صندلی مناسب داخل وسایل نقلیه عمومی) و همچنین گسترش شبکه حمل و نقل عمومی به صورت کیفی و

متفاوت باشد. این موضوع در مورد اهداف کلی ۱ و ۲ مصداق پیدا کرده و باعث شده است که هدف کلی ۲ با وجود بالاتر بودن میانگین امتیاز نسبی اولویت پایین‌تری کسب کند. برای توضیح بیشتر در این باره، در ادامه مثال کوچک‌تری ارائه می‌شود. فرض کنید امتیاز سه فرد برای دو هدف کلی طبق جدول ۵ باشد.

جدول ۵. امتیاز اهداف کلی در مثال کوچک

شماره هدف کلی	شماره فرد
۲	۱
۲۰	۰
۶	۱۴
۶	۱۴

در این صورت امتیاز نسبی و میانگین امتیاز نسبی هر هدف کلی به صورت جدول ۶ به دست خواهد آمد:

جدول ۶. امتیاز نسبی اهداف کلی و میانگین آن در مثال کوچک

شماره هدف کلی	شماره فرد
۲	۱
۱	۰
۰/۳	۰/۷
۰/۳	۰/۷
۰/۵۳۳۳	۰/۴۶۶۷
میانگین	

بنابراین، بر اساس میانگین امتیازها، هدف کلی ۱ اولویت اول را کسب خواهد کرد. اما، با بکارگیری مدل پارامتریک، به دلیل مغلوب بودن هدف کلی ۱ از نظر فرد ۲ و ۳، مقادیر v_i به صورت زیر به دست خواهند آمد:

$$v_1 = 1, v_2 = 0, v_3 = 0$$

و در نتیجه مقدار تابع هدف به ازای هدف کلی ۱ برابر با ۱ محاسبه می‌شود. به همین ترتیب، برای هدف کلی ۲، به دلیل مغلوب بودن این هدف کلی تنها از نظر فرد ۱، مقادیر v_i به صورت زیر به دست خواهند آمد:

$$v_1 = 0, v_2 = 1, v_3 = 1$$

و مقدار تابع هدف به ازای هدف کلی ۲ برابر با ۱/۴ به دست خواهد آمد. بنابراین، در روش پارامتریک هدف کلی ۲ اولویت اول را کسب خواهد کرد.

حقیقت در این روش اصلاً امتیاز افراد مختلف ملاک نبوده و تنها امتیاز میانگین لحاظ می‌شود.

در اکثر روش‌های چندشاخصه موجود، فرض می‌شود میزان امتیاز و یا ارزش گزینه‌ها در زمینه هر شاخص به صورت قطعی معلوم است. اما، در عمل، و به‌طور خاص در شرایطی که اوزان اهمیت و یا ارزش گزینه‌ها و شاخص‌ها به صورت کیفی تعیین می‌شوند، مقادیر مربوطه قطعی نبوده و با عدم قطعیت‌هایی همراه هستند. برای رفع این مشکل، در این مقاله، پراکندگی و تغییرپذیری امتیازهای نسبی از طریق ساختار غالب و مغلوبی بین اهداف کلی مد نظر قرار گرفت. وارد کردن مقادیر ضریب تغییرات امتیاز نسبی اهداف کلی در ساختار مدل پارامتریک پیشنهادشده به عنوان موضوعی برای ادامه کار پیشنهاد می‌شود. همچنین، بکارگیری سایر مدل‌های موجود و مقایسه نتایج آن با روش پیشنهادشده در این مقاله می‌تواند برای ادامه مطالعه مورد توجه قرار گیرد.

نکته قابل توجه درباره نحوه بکارگیری نتایج اولویت‌بندی اهداف کلی در عمل این است که بسیاری از اقدامات حمل‌ونقلی می‌توانند باعث تأمین اهداف مختلف در شهر شوند. برای مثال، بهبود طراحی شبکه حمل‌ونقل همگانی به تنهایی باعث تأمین اهداف ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ خواهد شد. بنابراین نمی‌توان گفت که باید ابتدا هدف دارای اولویت اول به صورت جداگانه تأمین شود و بعد به دنبال بهبود اوضاع حمل‌ونقل شهر برای تأمین سایر اهداف دارای اولویت رفت. از سوی دیگر، میزان تأثیر هر اقدام برای پیشبرد اهداف مختلف از طریق سلسله مراتب اهداف (ارتباط بین اهداف کلی، اهداف جزئی و میزان‌های کارآیی) و محاسبات مختص به آن - که خارج از مباحث این مقاله است - تعیین می‌شود، و بنابراین اولویت‌بندی اهداف می‌تواند تصمیم‌گیران را در انتخاب انواع اقدامات ممکن در شهر به نحوی که بیشترین کاربرد را برای استفاده‌کنندگان داشته باشد، کمک کند. در حقیقت، بدون درک صحیح از اولویت اهداف ممکن است

کمی برای کاهش مسافت‌های پیاده‌روی دسترسی به ایستگاه‌ها، کاهش زمان سفر درون وسیله و کاهش تعداد انتقال بین خطوط می‌تواند جزو اقدامات اولویت‌دار باشد. به منظور کاهش خطرات زیست محیطی (موضوع هدف کلی ۱ که اولویت چهارم را کسب کرده است) افزایش سهم حمل‌ونقل عمومی از طریق طراحی شبکه مناسب مسیرها و جانمایی مناسب ایستگاه‌ها و برقراری یکپارچگی در گونه‌های مختلف حمل‌ونقل همگانی چه به لحاظ شبکه‌ای و چه به لحاظ عملکردی، و یا از طریق اعمال محدودیت‌هایی برای عبور وسایل نقلیه شخصی کم‌سرنشین در معابر (مخصوصاً مرکزی و پرتدد) شهر می‌تواند مفید واقع شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله روشی برای اولویت‌بندی یکپارچه اهداف کلی حمل‌ونقلی از دیدگاه افراد مرتبط با امر حمل‌ونقل ارائه شد. روش ارائه شده دو گام اصلی دارد، که در گام اول آن نظر همه افراد در خصوص امتیاز هر هدف کلی (در مقیاس صفر و ۲۰) پرسیده می‌شود. سپس، در گام دوم، با استفاده از یک روش پارامتریک وزن‌دهی چندشاخصه خطی - که بر اساس روش پارامتریک چندهدفه پیشنهاد شده است - به یک اولویت‌بندی یکپارچه از دید همه افراد مرتبط با امر حمل‌ونقل دست یافته می‌شود. در این روش، علاوه بر میانگین امتیاز نسبی اهداف کلی، ساختار غالب و مغلوبی اهداف کلی نیز مد نظر می‌گیرد، تا از این طریق خطای احتمالی تصمیم‌گیری کاهش یابد.

نتایج بکارگیری مدل پیشنهادشده برای شهر مشهد نشان می‌دهد که در حالتی که ضریب تغییرات امتیازهای مربوط به یک هدف کلی نسبتاً بالا باشد (مثلاً هدف کلی ۱) اولویت اهداف کلی می‌تواند نسبت به استفاده از روش وزن‌دهی ساده (SAW) متفاوت باشد. این در حالی است که پراکندگی امتیازها در روش وزن‌دهی ساده در نظر گرفته نمی‌شود، و در

-El-Banna, A. Z. (1993) "A study on parametric multi-objective programming problems without differentiability", Computers & Mathematics with Applications, Vol. 26, No. 12, pp. 87-92.

-Enkhat, R., Guddat, J., and Chinchuluun, A. (2008) "Parametric Multiobjective Optimization", In Pareto Optimality, Game Theory and Equilibria (pp. 529-538). Springer, New York.

-Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M. (2005) "Multiple criteria decision analysis state of the art surveys", London, Springer.

-Gayle, S. (2000) "Urban transportation studies", FHWA. Transportation Planning Handbook. Washington DC: FHWA, pp. 395-423.

-Hoover, J. (1994) "Post-intermodal surface transportation efficiency act public involvement", Transportation Research Record, No. 1463, pp. 48-48.

-Keever, D., Frankoski, G. and Lynott, J. (1999) "In the possibilities are the solutions: Assessment and implications of the public-involvement process during the environmental impact Study of the Woodrow Wilson Bridge", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1685, pp. 135-143.

-Khairul, M. Simare-mare and Siahaan, A. P. U. (2016) "Decision support system in selecting the appropriate laptop using simple additive weighting", International Journal of Recent Trends in Engineering & Research, Vol. 2, No. 12, pp. 215-222.

-

تصمیم‌های ناکارآمد و حتی مضر برای آینده شهر گرفته شود.

۶. پی‌نوشت‌ها

- 1- Goals
- 2- Objectives
- 3- Multiple criteria decision making
- 4- Multiple objective decision making
- 5- Multiple attribute decision making
- 6- Parametric Multi-Objective Optimization
- 7- Simple additive weighting method
- 8- Trade-off
- 9- Efficient Solution
- 10- Intelligent Transportation Systems
- 11- Safety Surveillance System
- 12- Advanced Traveler Information System
- 13- Advanced Public Transport System

۷. مراجع

-اصغرپور، محمدجواد (۱۳۷۷) "تصمیم‌گیری‌های چند معیاره"، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

-پویانی، علی و احدی، حمیدرضا. (۱۳۹۶) "ارائه مدلی برای ارزیابی و اولویت بندی احداث خطوط ریلی جدید با استفاده از روش ترکیبی تحلیل شبکه‌ای و مهندسی ارزش"، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، ص. ۲۴۲-۲۳۱.

-مرکز مطالعات حمل و نقل (ممتحن) (۱۳۷۴) "خلاصه گزارش مرحله اول مطالعات جامع حمل و نقل مشهد، گزارش شماره ۰۹-۷۴"، مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد.

-مهندسین مشاور طرح هفتم (۱۳۸۹) "شناسایی اهداف و مسائل حمل و نقل، گزارش شماره ۰۹-۷۴"، مطالعات بهنگام سازی طرح جامع حمل و نقل شهر مشهد.

-

- Memariani, A., Amini, A. and Alinezhad, A. (2009) “Sensitivity analysis of simple additive weighting method (SAW): the results of change in the weight of one attribute on the final ranking of alternatives”, *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 4, pp. 13- 18.
- Meyer, M. D. (1980) “Monitoring system performance: a foundation for tsm planning”, *Transportation Research Board Special Report 190*.
- Meyer, M. D. and Miller E. J. (2001) “Urban transportation planning”, McGraw-Hill.
- Nurmalini, N. and Rahim, R. (2017) “Study Approach of Simple Additive Weighting for Decision Support System”, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 541-544.
- Szidarovszky, F., Gersbon, M. E. and Duckstein, L. (1986) “Techniques of multi-objective decision making in systems management”, Elsevier.
- Thomas, E. N. and Schofer, J. L. (1970) “Strategies for the evaluation of alternative transportation plans”, *NCHRP Report 96*.
- Khisty, C. J. and Lall, B. K. (2006) “Transportation engineering; An introduction”, New Jersey: Prentice Hall.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P. and Bansal, R. C. (2017) “A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 596-609.
- Lorenz, J. and Ingram, R. (1999) “It's not just for projects anymore: Kansas department of transportation's innovative, agencywide public-involvement program”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1685, pp. 120-127.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Jusoh, A. and Nor, Kh. (2016) “Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: a systematic review of the state of the art literature”, *Transport*, Vol. 31, No. 3, pp. 359-385.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, Kh., Khalifah, Z., Zakwan, Norhayati and Valipour A. (2015) “Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014”. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, Vol. 28, No. 1, pp. 516-571.
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E.K., Cavallaro, F. and Khalifah, Z. (2015) “Sustainable and renewable energy: an overview of the application of multiple criteria decision-making techniques and Approaches”, *Sustainability*, Vol. 7, No. 10, pp. 13947-13984.

ارائه مدل پارامتریک چندهدفه اصلاح شده برای اولویت بندی اهداف کلی در حمل و نقل درون شهری

محسن بابائی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه ریزی حمل و نقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل و طراحی شبکه، و قابلیت اطمینان بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه بوعلی سینا است.

