



## ارزیابی گزینه های پیشنهادی برای حمل و نقل همگانی شهر مشهد

علی رضایی<sup>۱</sup>، سید محمد اصغرزاده<sup>۲</sup>

۲-۱- دانشجوی دکترای برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف

alirezaee۱@gmail.com

### خلاصه

در این مقاله متغیرهای مناسب برای بررسی سیستم حمل و نقل همگانی شهر مشهد از میان متغیرهای موجود در منابع استخراج می‌گردد. در ابتدا سعی بر آن است تا با استفاده از اطلاعاتی که برای شبکه حمل و نقل این شهر وجود دارد، شاخص‌هایی مناسب برای ارزیابی گزینه‌های مختلف تعریف شود. تعریف شاخص‌ها بر مبنای ۵ گروه شاخص‌های ورودی به سیستم، خروجی از سیستم، میزان بهره‌برداری، محیط زیست و بازار صورت می‌گیرد. سپس با استفاده از شاخص‌ها و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گزینه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و گزینه‌های برتر که از نظر شاخص‌های انتخاب شده مناسب می‌باشند انتخاب می‌شوند.

کلمات کلیدی: حمل و نقل همگانی، تصمیم‌گیری چند هدفی، شاخص‌های ارزیابی، روش مجموع ساده وزنها

### مقدمه

امروزه با توجه به شرایط اقتصادی- اجتماعی شهرهای بزرگ، هرگونه برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صحیح در جهت توسعه، بهبود و تقویت سیستم حمل و نقل همگانی، تأثیر مثبت و به سزایی در عملکرد سیستم حمل و نقل شهرها خواهد داشت. در صورت عملکرد صحیح سیستم حمل و نقل همگانی و افزایش کارایی آن، علاوه بر آنکه رضایت بیشتر استفاده‌کنندگان این سیستم‌ها فراهم می‌گردد، بخشی از مسافرین سیستم حمل و نقل شخصی نیز به آن جذب خواهند شد، و از این طریق بار ترافیکی موجود در شبکه و عوارض منفی ناشی از آن کاهش خواهد یافت. راهکارهای بهبود عملکرد و افزایش کارایی سیستم‌های حمل و نقل همگانی، طیف گسترده‌ای شامل بهبود ساختار شبکه حمل و نقل همگانی موجود، بهبود برنامه زمانبندی حرکت وسایل نقلیه همگانی، افزایش و نوسازی ناوگان، و استفاده از حمل و نقل سریع و انبوه در حمل و نقل همگانی را در بر می‌گیرد [۱].

در همین راستا در مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد که به سفارش معاونت حمل و نقل و ترافیک این شهر توسط مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل (ممتحن) انجام گرفته است، تحقیقاتی در مورد سیستم حمل و نقل همگانی پیشنهادی برای شهر مشهد (قطار سبک شهری) انجام شد. هدف از انجام تحقیقات انجام گرفته توسط این مرکز، بررسی نیاز، و در صورت تشخیص نیاز، ارائه مسیرهای مناسب جهت راه‌اندازی قطارهای سبک شهری در شهر مشهد بوده است. بدین ترتیب که گزینه‌های مختلف بررسی و مقایسه شوند، و با توجه به ویژگیهای کارکردی گزینه‌های پیشنهادی، شرایط اجرایی و ملاحظات اقتصادی برای هر گزینه، گزینه برتر از بین آنها انتخاب و پیشنهاد گردد. برای این منظور، ابتدا تقاضای سفر برای سیستم حمل و نقل با وجود سیستم قطار سبک شهری، در ساعت اوج صبح سال افق برآورد و به سیستم حمل و نقل تخصیص داده شد. سپس با استفاده از شاخصهای عملکردی سیستم حمل و نقل همگانی مانند زمان سفر، زمان انتظار برای رسیدن به وسیله نقلیه، سرعت وسیله نقلیه، سرفاصله زمانی ورود وسایل نقلیه همگانی به ایستگاه، مسافت پیاده طی شده توسط مسافرین، نسبت استفاده از ظرفیت وسایل نقلیه، و میزان تولید آلودگی توسط وسایل نقلیه، که همگی از نتایج تخصیص ترافیک بدست می‌آیند، عملکرد سیستم بررسی شد. با کمک همین شاخصها مقایسه عملکرد سیستم حمل و نقل در گزینه‌های مختلف انجام گرفت، و گزینه برتر انتخاب شد [۱].

در تحقیق انجام گرفته توسط نویسنده، یک مجموعه شاخصهای جدید ارزیابی تعریف می‌گردد و فرآیند ارزیابی با استفاده از این شاخصهای جدید و یک روش ساده ارزیابی چندمعیاره انجام می‌گیرد.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف،

<sup>۲</sup> دانشجوی دکترای برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف،

**ضرورت توسعه سیستم حمل و نقل همگانی**

همانطور که می‌دانیم با رشد و توسعه شهر و افزایش جمعیت آنها تقاضا برای سفرهای درون شهری و برون شهری افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در شهرهای بزرگ افزایش تعداد سفرهای درون شهری موجب به وجود آمدن معضل پیچیده ترافیک، اتلاف وقت مسافران در گره‌های ترافیکی، افزایش تصاعدی مصرف انرژی، آلودگی محیط زیست و موارد مشابه می‌گردد. برای غلبه بر این مشکل باید از سیستم حمل و نقلی استفاده شود که در کنار برآورده کردن تقاضای سفر موجب افزایش مشکلات در شهر نگردد. بنابراین به نظر می‌رسد بهترین گزینه برای این مسأله توسعه سیستم حمل و نقل عمومی باشد. برای این منظور می‌توان از سیستم‌های مختلفی نظیر اتوبوس، سیستم قطار سبک شهری<sup>۱</sup>، مترو و موارد مشابه آن استفاده نمود. این سیستم‌ها برای نیل به اهداف متفاوتی، از جمله افزایش راحتی و امنیت سفر، کاهش آلودگی هوا و حفظ محیط زیست، کاهش زمان سفر و حل مشکلات ترافیکی ناشی از تردد وسایل نقلیه شخصی، و نیز ایجاد تنوع در انتخاب وسیله نقلیه ایجاد می‌شوند، که شامل طیف وسیعی از تکنولوژی‌های مختلف هستند. این سیستم‌ها را می‌توان به سیستم‌های روی ریل و غیر آن، سیستم‌های برقی و غیر آن، سیستم‌های نیمه خودکار و خودکار، زیر، یا بالای زمین اشاره کرد [۲].

**هدف پژوهش**

در این پروژه سعی بر آن است تا به ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی برای حمل و نقل همگانی شهر مشهد پرداخته شود. تعداد این گزینه‌ها ۲۹، و به صورت ترکیبی از راهکارهای مختلف برای توسعه سیستم اتوبوسرانی و سیستم قطار سبک شهری می‌باشد [۱]. در گزینه اول که تنها شامل توسعه سیستم اتوبوسرانی می‌باشد سیستم قطار سبک شهری هیچ توسعه‌ای ندارد. در گزینه‌های بعدی با افزایش شماره گزینه از میزان توسعه سیستم اتوبوسرانی کاسته و به میزان توسعه سیستم قطار سبک شهری افزوده می‌شود. همچنین با افزایش شماره گزینه به میزان سرمایه‌گذاری در بخش حمل و نقل همگانی افزوده می‌شود.

در گزارشی که مرکز تحقیقات حمل و نقل ارائه نموده است، برای هر یک از گزینه‌های پیشنهادی پس از برآورد میزان تقاضا و سپس تحلیل جریان در شبکه مقادیر متغیرهای مختلف مربوط به جریان در شبکه و ویژگیهای آن نظیر زمان سفر، میزان مصرف انرژی، میزان آلودگی، هزینه احداث سیستم حمل و نقل همگانی، هزینه استفاده کنندگان سیستم و متغیرهای مشابه محاسبه شده است که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد.

**جدول (۱): متغیرهای انتخاب شده برای تحلیل**

شماره	علامت	توضیح
۱	VAR1	کل مسافت پیاده طی شده در ساعت اوج (مسافر-کیلومتر)
۲	VAR2	زمان انتظار برای سوار شدن در ساعت اوج (مسافر-ساعت)
۳	VAR3	تعداد مسافر سوار شده به سیستم همگانی در ساعت اوج
۴	VAR4	تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی در طول سال (میلیون سفر)
۵	VAR5	زمان صرف شده در وسیله در طول سال (میلیون مسافر-ساعت)
۶	VAR6	تعداد ایستگاه های LRT
۷	VAR7	تعداد اتوبوس در شبکه
۸	VAR8	تعداد واگن های LRT
۹	VAR9	میزان تنوع در انتخاب وسیله (طول خط LRT)
۱۰	VAR10	هزینه های محیط زیست (هزار تن CO تولید شده در سال)
۱۱	VAR11	هزینه ریالی مصرف منابع محدود (مصرف انرژی) (میلیارد ریال)
۱۲	VAR12	هزینه های ریالی گردانندگان سیستم در طول سال (میلیارد ریال)
۱۳	VAR13	هزینه های ریالی استفاده کنندگان سیستم در طول سال (میلیارد ریال)

در این پژوهش سعی بر آن است که تا با استفاده از داده‌های ارائه شده در گزارش مرکز تحقیقات حمل و نقل و بر اساس معیارهای ۵گانه زیر:

(الف) ورودی (مانند هزینه های ریالی گردانندگان سیستم)،

(ب) خروجی (مانند تعداد اتوبوس در شبکه، تعداد ایستگاه های LRT)،

(ج) بهره‌برداری (مانند هزینه های ریالی استفاده کنندگان سیستم، زمان صرف شده در وسیله، تعداد کل سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی،

تعداد مسافر سوار شده به سیستم همگانی در ساعت اوج، کل زمان انتظار برای سوار شدن در ساعت اوج، کل مسافت پیاده طی شده در ساعت اوج)،

(د) محیط‌زیست (مانند آلودگی محیط زیست) و

(ه) بازار (مانند تعداد مسافران جذب شده به سیستم)

شاخص‌هایی تعریف شود و از این شاخص‌ها برای ارزیابی گزینه های مختلف استفاده گردد. در نهایت برترین گزینه نیز مشخص خواهد شد.

<sup>۱</sup> . LRT



## تحلیل آماری داده‌ها

در ابتدا برای بدست آوردن دیدی کلی و جامع از داده‌ها تحلیل آماری تک متغیره بر روی آنها انجام می‌شود. این تحلیل شامل بررسی بیشترین، کمترین، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات داده‌ها می‌باشد. نتایج این تحلیل در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): تحلیل آماری تک متغیره داده‌ها

متغیرها	بیشترین	کمترین	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
VAR۱	۱۲۸۹۹۰	۹۰۳۸۷	۱۱۶۴۲۶/۳	۸۰۰۲	۰/۰۶۸
VAR۲	۶۳۳۵	۴۱۰۲	۸۵۴۹۴/۴	۵۵۵	۰/۱۰۱
VAR۳	۱۹۴۲۵۷	۱۵۶۳۱۱	۱۸۵۲۲۹/۷	۷۸۲۰	۰/۰۴۲
VAR۴	۳۲۱	۲۷۸	۳۰۹/۷۹	۷/۶	۰/۰۲۴
VAR۵	۱۶۸	۱۱۳	۶۱۲۷/۷	۱۲/۲۵	۰/۰۹۵
VAR۶	۶۸	۰	۸۳۷/۳	۱۵/۵۵	۰/۴۱۶
VAR۷	۱۶۳۱	۸۲۶	۱۰۴۹/۴	۱۶۸/۳۹	۰/۱۶۰
VAR۸	۲۲۵	۰	۱۱۶۸/۲	۴۵/۸۷	۰/۲۷۲
VAR۹	۱۵۰	۰	۹۹۲/۰۶	۳۵/۱۹	۰/۳۸۲
VAR۱۰	۲۷۳	۲۲۰	۴۲۳۲/۱	۹/۱۸	۰/۰۳۹
VAR۱۱	۹۲۹	۷۸۵	۸۱۵/۷۹	۲۴/۳۶	۰/۰۲۹
VAR۱۲	۸۵۹	۲۷۴	۶۴۹/۳۱	۱۴۰/۶۶	۰/۲۱۶
VAR۱۳	۳۱۳۴	۲۵۵۱	۹۲۶۷۶	۱۰۵/۹۵	۰/۰۳۹

همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به ضریب تغییرات داده‌ها پراکندگی آنها بسیار کم می‌باشد. همچنین مقادیر بیشینه و کمینه مربوط به گزینه های اول و آخر می‌باشد چراکه برای این گزینه‌ها به ترتیب کمترین و بیشترین سرمایه گذاری انجام شده بنابراین از نظر محیط‌زیست، زمان سفر، زمان انتظار، توسعه شبکه و سایر متغیرها بیشترین و کمترین مقدار مربوط به این دو گزینه می‌باشد. هرچند در قسمت جمع آوری اطلاعات سعی بر آن بود که متغیرها ارتباط کمی با یکدیگر داشته باشند و تا حد امکان بیانگر تمامی ویژگی‌های سیستم-های حمل‌ونقل همگانی باشند، اما در این قسمت برای اطمینان از این مسأله تحلیل آماری دو متغیره بر روی آنها انجام می‌شود. تلیل آماری دو متغیره با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. و نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. لازم به ذکر است تمامی مقادیر همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ قابل قبول می‌باشند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود.

جدول (۳): مقادیر همبستگی بین متغیرهای مختلف

	VAR۱	VAR۲	VAR۳	VAR۴	VAR۵	VAR۶	VAR۷	VAR۸	VAR۹	VAR۱۰	VAR۱۱	VAR۱۲	VAR۱۳
VAR۱	۱	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۸۸	-۰/۹۵	۰/۷۶	-۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۴	-۰/۸۵۷	-۰/۸۲۳	۰/۸۸۲	-۰/۸۸
VAR۲	۰/۷۹	۱	۰/۸	۰/۸۳	-۰/۹۲	۰/۹۲	-۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۶	-۰/۷۸۳	-۰/۷۰۹	۰/۹۶	-۰/۸۳۱
VAR۳	۰/۶۹	۰/۸	۱	۰/۸۵	-۰/۸۵	۰/۷۴	-۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۷۹	-۰/۸۴	-۰/۸۰۶	۰/۸۱۶	-۰/۸۸۲
VAR۴	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۵	۱	-۰/۹۳	۰/۷۳	-۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۸۲	-۰/۹۸۹	-۰/۹۶۹	۰/۸۷۸	-۰/۹۹۲
VAR۵	-۰/۹۵	-۰/۹۲	-۰/۸۵	-۰/۹۳	۱	-۰/۸۷	۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۹۳	۰/۸۹۵	۰/۸۴۴	-۰/۹۶۸	۰/۹۳۵
VAR۶	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۷۳	-۰/۸۷	۱	-۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۹۵	-۰/۶۷۷	-۰/۶	۰/۹۱۲	-۰/۷۴۱
VAR۷	-۰/۹۴	-۰/۹۱	-۰/۸۴	-۰/۹۴	۰/۹۹	-۰/۸۴	۱	-۰/۹۹	-۰/۹۲	۰/۹۲۵	۰/۸۷۷	-۰/۹۵۴	۰/۹۵۳
VAR۸	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۶	-۰/۹۸	۰/۸۶	-۰/۹۹	۱	۰/۹۴	-۰/۹۳۳	-۰/۸۸۲	۰/۹۶۲	-۰/۹۶۲
VAR۹	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۸۲	-۰/۹۳	۰/۹۵	-۰/۹۲	۰/۹۴	۱	-۰/۷۷۴	-۰/۶۹۸	۰/۹۷۸	-۰/۸۲۸
VAR۱۰	-۰/۸۶	-۰/۷۸	-۰/۸۴	-۰/۹۹	۰/۸۹	-۰/۶۸	۰/۹۳	-۰/۹۳	-۰/۷۷	۱	۰/۹۹	-۰/۸۲۹	۰/۹۹۲
VAR۱۱	-۰/۸۲	-۰/۷۱	-۰/۸۱	-۰/۹۷	۰/۸۴	-۰/۶	۰/۸۸	-۰/۸۸	-۰/۷	۰/۹۹	۱	-۰/۷۵۶	۰/۹۷۴
VAR۱۲	۰/۸۸	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۸۸	-۰/۹۷	۰/۹۱	-۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۸	-۰/۸۲۹	-۰/۷۵۶	۱	-۰/۸۷۶
VAR۱۳	-۰/۸۸	-۰/۸۳	-۰/۸۸	-۰/۹۹	۰/۹۳	-۰/۷۴	۰/۹۵	-۰/۹۶	-۰/۸۳	۰/۹۹۲	۰/۹۷۴	-۰/۸۷۶	۱

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود همگی متغیرهای انتخاب شده همبستگی بیش از ۰/۶ یا کمتر از ۰/۶- با یکدیگر دارند. بنابراین می‌توان در تحلیل‌ها از تعدادی از آنها صرف‌نظر نمود و از اطلاعات یکی از آنها به جای بقیه استفاده نمود. به عنوان مثال می‌توان از اطلاعات مربوط به میزان آلودگی محیط زیست (میزان CO تولید شده در شبکه) به جای میزان مصرف انرژی استفاده نمود. میزان همبستگی بین این دو متغیر ۰/۹۹ می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد با توسعه سیستم قطار شهری طول خطوط، تعداد ایستگاه‌ها و تعداد واگن‌های این سیستم به نسبت یکسانی افزایش یابد، بنابراین می‌توان از یکی از این سه متغیر به جای بقیه استفاده نمود. در این پژوهش از متغیر تعداد ایستگاه‌ها به جای دو متغیر دیگر نیز استفاده می‌شود. به این ترتیب از تعداد متغیرها کاسته می‌شود. در نهایت ۱۰ متغیر برای تحلیل نهایی انتخاب می‌شوند. اطلاعات مربوط به متغیرها و گزینه‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.



جدول (۴): مقدار متغیرهای انتخاب شده برای گزینه‌های مختلف

متغیرها گزینه‌ها	هزینه های ریالی استفاده کنندگان سیستم(میلیارد ریال)	هزینه های ریالی گردانندگان سیستم(میلیارد ریال)	آلودگی محیط زیست (هزار تن CO در سال)	تعداد اتوبوس در شبکه	تعداد ایستگاه های LRT	زمان صرف شده در وسیله (میلیون مسافر- ساعت) کل	تعداد کل سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی(میلیون سفر)	تعداد مسافر سوار شده به سیستم همگانی در ساعت اوج	کل زمان انتظار برای سوار شدن در ساعت اوج(مسافر- ساعت)	کل مسافت پیاده طی شده در ساعت اوج(مسافر- کیلومتر)
۱	۳۱۳۴	۲۷۴	۲۷۳	۱۶۳۱	۰	۱۶۸	۲۷۸	۱۵۶۳۱۱	۴۱۰۲	۹۰۳۸۷
۲	۲۷۷۹	۴۲۳	۲۳۹	۱۲۹۳	۱۵	۱۴۶	۳۰۳	۱۷۶۶۱۹	۴۸۱۷	۱۰۵۳۸۳
۳	۲۷۷۳	۴۳۹	۲۳۸	۱۲۹۲	۱۶	۱۴۷	۳۰۴	۱۷۷۶۸۱	۴۷۸۳	۱۰۵۵۰۷
۴	۲۷۳۲	۵۴۲	۲۳۶	۱۱۸۳	۲۶	۱۳۸	۳۰۶	۱۸۱۸۹۰	۵۰۵۹	۱۰۸۸۵۲
۵	۲۶۸۹	۵۳۹	۲۳۳	۱۰۸۳	۱۲	۱۳۱	۳۰۸	۱۸۱۶۸۶	۵۰۴۳	۱۱۷۵۱۳
۶	۲۷۶۸	۵۰۸	۲۳۹	۱۲۲۸	۲۵	۱۴۱	۳۰۳	۱۷۷۸۷۳	۴۸۳۱	۱۰۹۰۷۶
۷	۲۷۲۳	۵۱۶	۲۳۶	۱۱۴۱	۲۵	۱۳۴	۳۰۷	۱۸۰۶۳۳	۴۸۳۱	۱۱۷۰۹۲
۸	۲۷۰۹	۵۸۲	۲۳۵	۱۱۲۷	۳۳	۱۳۴	۳۰۵	۱۸۵۱۳۰	۵۲۶۱	۱۱۱۶۴۴
۹	۲۷۲۵	۵۱۹	۲۳۵	۱۱۳۴	۲۵	۱۳۴	۳۰۶	۱۷۹۵۹۴	۴۷۳۵	۱۱۸۱۱۷
۱۰	۲۶۶۶	۵۸۲	۲۲۹	۱۰۲۳	۳۰	۱۳۱	۳۱۱	۱۷۷۴۰۲	۵۳۸۴	۱۱۵۰۷۴
۱۱	۲۶۷۳	۶۲۴	۲۳۱	۱۱۰۰	۲۹	۱۳۲	۳۱۰	۱۸۳۱۱۸	۵۲۱۰	۱۱۳۴۲۵
۱۲	۲۶۸۰	۶۳۰	۲۳۴	۱۰۶۲	۳۷	۱۲۵	۳۰۹	۱۸۳۸۷۷	۵۱۳۹	۱۲۱۱۷۱
۱۳	۲۶۳۶	۷۱۴	۲۲۹	۹۹۳	۴۴	۱۲۴	۳۱۳	۱۹۱۷۴۸	۵۵۴۴	۱۱۶۴۷۵
۱۴	۲۵۹۱	۷۲۹	۲۲۳	۹۶۲	۲۹	۱۲۳	۳۱۷	۱۸۸۱۸۰	۵۵۸۲	۱۲۰۳۶۸
۱۵	۲۶۲۲	۷۰۷	۲۲۹	۹۴۲	۴۴	۱۲۰	۳۱۳	۱۹۳۵۱۰	۵۷۴۴	۱۱۹۷۹۰
۱۶	۲۶۸۴	۶۷۹	۲۳۴	۱۰۶۲	۴۳	۱۲۷	۳۰۸	۱۸۸۷۲۵	۵۵۵۳	۱۱۴۸۰۶
۱۷	۲۶۵۴	۶۸۲	۲۳۰	۱۰۲۸	۴۳	۱۲۶	۳۱۱	۱۹۱۵۳۹	۵۷۲۰	۱۱۴۱۷۷
۱۸	۲۶۴۵	۶۸۶	۲۳۱	۱۰۲۸	۴۳	۱۲۵	۳۱۲	۱۹۲۰۷۴	۵۷۰۶	۱۱۴۵۸۲
۱۹	۲۶۴۹	۶۷۹	۲۳۰	۹۸۲	۴۲	۱۲۵	۳۱۰	۱۹۴۲۵۷	۵۷۱۲	۱۱۵۲۲۵
۲۰	۲۶۴۳	۶۹۹	۲۳۰	۱۰۰۷	۴۴	۱۲۷	۳۱۲	۱۹۰۷۵۶	۵۸۲۰	۱۱۲۸۱۴
۲۱	۲۶۴۱	۶۸۸	۲۳۰	۱۰۵۵	۴۴	۱۲۶	۳۱۳	۱۸۸۹۶۶	۵۹۰۷	۱۱۳۲۷۰
۲۲	۲۶۶۲	۷۸۱	۲۳۲	۹۶۱	۶۸	۱۲۱	۳۱۱	۱۸۱۳۵۹	۶۰۶۳	۱۲۳۱۷۸
۲۳	۲۵۹۸	۸۰۴	۲۲۶	۸۹۴	۵۴	۱۱۵	۳۱۶	۱۹۳۱۸۶	۶۱۱۲	۱۲۳۱۸۱
۲۴	۲۶۰۲	۷۹۰	۲۲۶	۹۲۳	۵۴	۱۱۵	۳۱۶	۱۹۰۷۱۸	۶۰۴۵	۱۲۵۳۴۸
۲۵	۲۵۹۲	۸۱۱	۲۲۵	۸۴۱	۵۵	۱۱۴	۳۱۵	۱۹۰۹۸۳	۶۲۱۹	۱۲۵۲۲۰
۲۶	۲۶۱۰	۷۹۶	۲۲۷	۸۵۴	۵۴	۱۱۴	۳۱۴	۱۹۰۳۴۴	۶۳۳۵	۱۲۵۶۴۳
۲۷	۲۵۹۰	۸۰۲	۲۲۵	۸۶۷	۵۵	۱۱۴	۳۱۶	۱۸۵۷۵۸	۶۱۲۳	۱۲۵۴۷۰
۲۸	۲۶۰۹	۸۰۶	۲۲۷	۹۱۱	۵۴	۱۱۵	۳۱۶	۱۹۰۸۲۵	۵۹۶۳	۱۲۴۵۸۵
۲۹	۲۵۵۱	۸۵۹	۲۲۰	۸۲۶	۴۱	۱۱۳	۳۲۱	۱۸۶۹۱۹	۵۹۸۷	۱۲۸۹۹۰

## انتخاب شاخص‌های ارزیابی

در این قسمت با توجه به معیارهای ارائه شده در ادبیات حمل و نقل همگانی متغیرها به ۵ دسته تقسیم شدند [۲]. سپس در مرحله بعد با محاسبه نسبت این متغیرها شاخص‌های ارزیابی به دست آمدند.

دسته‌بندی متغیرها در گروه‌های پنج‌گانه به صورت زیر می‌باشد.

ورودی: هزینه های ریالی گردانندگان سیستم،

خروجی: تعداد اتوبوس در شبکه، تعداد ایستگاه های LRT،

بهره‌برداری: هزینه های ریالی استفاده کنندگان سیستم، زمان صرف شده در وسیله، تعداد کل سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی، تعداد مسافر سوار شده به سیستم همگانی در ساعت اوج، کل زمان انتظار برای سوار شدن در ساعت اوج، کل مسافت پیاده طی شده در ساعت اوج.

محیط‌زیست: آلودگی محیط زیست،

بازار: تعداد مسافران جذب شده به سیستم،

برای بررسی و ارزیابی گزینه‌ها نیز از ۵ شاخص استفاده شد. تا حد امکان سعی شد که شاخص‌ها جوانب مختلف مورد اهمیت در شبکه حمل‌ونقل شهری را پوشش دهند، پس از انتخاب شاخص‌ها مقادیر آنها برای گزینه‌های مختلف محاسبه شد. شاخص‌های انتخاب شده عبارتند از:

۱. تعداد ایستگاه LRT به هزینه ریالی گردانندگان سیستم
۲. تعداد ایستگاه های LRT به کل مسافت پیاده طی شده
۳. میزان آلودگی به تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم همگانی



۴. تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم همگانی به هزینه گردانندگان  
 ۵. هزینه استفاده کننده به تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم همگانی

### ارزیابی گزینه‌ها

پس از تعریف شاخص‌ها و محاسبه مقدار آنها برای گزینه‌های مختلف نوبت به ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌رسد. ارزیابی با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفی یعنی روش مجموع ساده وزن‌ها انجام می‌شود. برای استفاده از این روش باید مقدار هر شاخص برای هر گزینه در ماتریسی تحت عنوان ماتریس گزینه-پیامد و مقدار وزن یا اهمیت هر یک از شاخص‌ها در تصمیم‌گیری در اختیار باشد. مراحل این روش به شرح زیر است:

گام ۱: بی‌واحد سازی عناصر ماتریس گزینه - پیامد

برای بی‌واحد سازی عناصر، برای شاخص‌هایی که مقدار بیشتر آنها مطلوب است ابتدا مقدار تفاضل بین مقدار هر داده مربوط به شاخص برای هر گزینه با کمترین مقداری که آن شاخص به ازای گزینه‌های مختلف به خود می‌گیرد محاسبه می‌شود. سپس این مقدار بر اخلاف بیشترین و کمترین مقدار برای آن شاخص تقسیم می‌شود. برای شاخص‌هایی که مقدار کمتر آنها مطلوب است نیز همین کار انجام می‌شود با این تفاوت که مقدار تفاوت داده با بیشترین مقداری که شاخص به خود می‌گیرد محاسبه می‌شود، نه با کمترین مقدار. به این ترتیب ماتریس قبلی به ماتریسی تبدیل می‌شود که عناصر آن بین ۰ و ۱ می‌باشند و مقدار بیشتر برای آنها مطلوب می‌باشد.

گام ۲: محاسبه شاخص مجموع ساده وزن‌ها (SAW) داده‌های مربوط به همه شاخص‌ها

در این مرحله برای هر گزینه همه عناصر مربوط به آن ابتدا در وزن شاخص شان ضرب شده و سپس با یکدیگر جمع می‌شوند. بنابراین برای هر گزینه عددی به دست می‌آید که بیانگر ترکیبی از داده‌های مربوط به آن گزینه برای تمام شاخص‌ها می‌باشد و مقدار بیشتر آن مطلوب است [۳]، [۴] و [۵]. این محاسبات برای ماتریس گزینه پیامد شهر مشهد انجام شد. و نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): محاسبه شاخص مجموع ساده وزن‌ها برای گزینه‌های مختلف

شماره گزینه	هزینه استفاده کننده به کل مبدأ مقصد	تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی به هزینه گردانندگان	میزان آلودگی به تعداد سفر مبدأ-مقصد با سیستم حمل و نقل همگانی (گرم بر مسافر)	تعداد ایستگاه های LRT به کل مسافت پیاده طی شده	تعداد ایستگاه LRT به هزینه ریالی گردانندگان سیستم	شاخص مجموع ساده وزن ها SAW
۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۰۰
۲	۰/۶۳۲	۰/۵۳۰	۰/۶۵۱	۰/۲۵۸	۰/۴۰۷	۰/۴۹۷
۳	۰/۶۴۷	۰/۴۹۷	۰/۶۷۱	۰/۲۷۵	۰/۴۱۹	۰/۵۰۲
۴	۰/۷۰۵	۰/۲۹۸	۰/۷۱۰	۰/۴۳۳	۰/۵۵۱	۰/۵۳۹
۵	۰/۷۶۴	۰/۳۰۹	۰/۷۶۰	۰/۱۸۵	۰/۲۵۶	۰/۴۵۵
۶	۰/۶۴۳	۰/۳۴۸	۰/۶۵۱	۰/۴۱۵	۰/۵۶۵	۰/۵۲۴
۷	۰/۷۲۳	۰/۳۴۵	۰/۷۱۹	۰/۳۸۷	۰/۵۵۶	۰/۵۴۶
۸	۰/۷۱۹	۰/۲۳۵	۰/۷۱۳	۰/۵۳۵	۰/۶۵۱	۰/۵۷۱
۹	۰/۷۱۲	۰/۳۳۷	۰/۷۲۲	۰/۳۸۳	۰/۵۵۳	۰/۵۴۱
۱۰	۰/۸۱۲	۰/۲۵۱	۰/۸۲۸	۰/۴۷۲	۰/۵۹۲	۰/۵۹۱
۱۱	۰/۷۹۷	۰/۲۷۵	۰/۷۹۸	۰/۴۶۳	۰/۵۹۱	۰/۵۸۵
۱۲	۰/۷۸۲	۰/۱۸۲	۰/۷۵۸	۰/۵۵۳	۰/۶۷۵	۰/۵۹۰
۱۳	۰/۸۵۷	۰/۱۰۱	۰/۸۴۴	۰/۶۸۴	۰/۷۰۸	۰/۶۳۹
۱۴	۰/۹۳۲	۰/۰۹۵	۰/۹۳۹	۰/۴۳۶	۰/۴۵۷	۰/۵۷۲
۱۵	۰/۸۷۱	۰/۱۰۸	۰/۸۴۴	۰/۶۶۵	۰/۷۱۵	۰/۶۴۱
۱۶	۰/۷۶۹	۰/۱۲۵	۰/۷۴۹	۰/۶۷۸	۰/۷۲۷	۰/۶۱۰
۱۷	۰/۸۲۴	۰/۱۲۸	۰/۸۱۷	۰/۶۸۲	۰/۷۲۴	۰/۶۳۵
۱۸	۰/۸۴۱	۰/۱۲۷	۰/۸۱۵	۰/۶۸۰	۰/۷۲۰	۰/۶۳۶
۱۹	۰/۸۲۰	۰/۱۲۹	۰/۸۰۹	۰/۶۶۰	۰/۷۱۰	۰/۶۲۶
۲۰	۰/۸۴۲	۰/۱۱۳	۰/۸۲۵	۰/۷۰۷	۰/۷۲۳	۰/۶۴۲
۲۱	۰/۸۵۲	۰/۱۲۷	۰/۸۳۳	۰/۷۰۴	۰/۷۳۵	۰/۶۵۰
۲۲	۰/۸۱۶	۰/۰۳۸	۰/۷۹۶	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۷۳۰
۲۳	۰/۹۱۷	۰/۰۳۰	۰/۸۹۹	۰/۷۹۴	۰/۷۷۱	۰/۶۸۳
۲۴	۰/۹۱۴	۰/۰۴۱	۰/۸۹۹	۰/۷۸۰	۰/۷۸۵	۰/۶۸۴
۲۵	۰/۹۱۵	۰/۰۲۳	۰/۹۰۲	۰/۷۹۶	۰/۷۷۹	۰/۶۸۳
۲۶	۰/۸۹۰	۰/۰۳۲	۰/۸۷۳	۰/۷۷۹	۰/۷۷۹	۰/۶۷۱
۲۷	۰/۹۲۵	۰/۰۳۲	۰/۹۱۰	۰/۷۹۴	۰/۷۸۸	۰/۶۹۰
۲۸	۰/۹۰۷	۰/۰۲۹	۰/۸۸۹	۰/۷۸۵	۰/۷۶۹	۰/۶۷۶
۲۹	۱	۰	۱	۰/۵۷۶	۰/۵۴۸	۰/۶۲۵



شاخص مجموع ساده وزن‌ها در ستون سمت راست محاسبه شده است. سه گزینه‌ای که بیشترین مقدار را دارند انتخاب می‌شوند. این سه گزینه به صورت هاشور خورده نمایش داده شده‌اند. چنانچه مشاهده شد گزینه‌های ۲۲، ۲۴ و ۲۷ به عنوان گزینه‌های برتر برای سیستم حمل‌ونقل همگانی شهر مشهد انتخاب شدند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش در ابتدا متغیرهای مناسب برای بررسی سیستم حمل‌ونقل همگانی شهر مشهد از میان متغیرهای موجود در منبع استخراج گردید. در ابتدا پس از انجام تحلیل‌های یک متغیره و چند متغیره تعداد متغیرها کاهش یافت. سپس سعی بر آن بود تا با استفاده از اطلاعات مربوط به متغیرها که برای شبکه حمل‌ونقل مشهد و در صورت اجرای گزینه‌های مختلف پیشنهادی برای حمل‌ونقل عمومی محاسبه شده‌اند، شاخص‌هایی مناسب برای ارزیابی گزینه‌های مختلف تعریف شود. تعریف شاخص‌ها بر مبنای ۵ گروه شاخص‌های ورودی به سیستم، خروجی از سیستم، میزان بهره‌برداری، محیط زیست و بازار صورت گرفت. سپس در مرحله بعد با استفاده از شاخص‌ها و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره گزینه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و گزینه‌های برتر که از نظر شاخص‌های انتخاب شده مناسب می‌باشند انتخاب شدند.

### قدردانی

لازم است از مرکز مطالعات و تحقیقات حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی شریف بابت در اختیار نهادن اطلاعات مورد استفاده در این مقاله تقدیر و تشکر گردد.

### مراجع

- ۱- سیستم حمل و نقل همگانی پیشنهادی برای آینده: قطار سبک شهری، ویرایش دوم، مطالعه سیستم حمل و نقل همگانی یکپارچه شهر مشهد، پژوهشکده حمل و نقل شریف، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل (ممتحن)، گزارش شماره ۰۵-۸۲-ممتحن، مهر ۱۳۸۲.
- ۲- VUCHIC, R.V. (۲۰۰۶) *Urban Transit: Operation, Planning, and Economics*, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- ۳- رضایی، علی. پایان نامه کارشناسی "ارزیابی روش‌های تصمیم‌گیری چند هدفی"، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ۱۳۸۳.
- ۴- فتاحی اردکانی، محسن. پایان نامه کارشناسی ارشد "تحلیل تصمیم‌گیری برای انتخاب بین گزینه‌های مختلف قطار شهری (مطالعه موردی شهر مشهد)" گرایش برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۲.
- ۵- Kwangsun, Y. and Hwang, C. (۱۹۸۱) *Multy Attribute Decision Making, Methods and Applications*, Springer-Verlay, Berlin, Heidelberg, New York.