فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۵۹ / بهار ۱۴۰۱

شناسایی و رتبه‌بندی شاخص های موثر برمسیریابی و زمان‌بندی حمل‌ونقل شهری پایدار با استفاده از تصمیم‌گیریهای چندمعیاره

شیبا معصومی
گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
سید محمد حاجی مولانا(نویسنده مسؤول)
گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
Email: molana@srbiau.ac.ir
مهرداد جوادی
گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
امیر عزیزی
گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

چکیده
مطالعه حاضر با روش شناسی توصیفی- تحلیلی و استفاده از روش‌های دلفی، بهترین-بدترین و بهترین اولویت، با هدف ارزیابی و رتبه‌بندی شاخص‌های پایداری حمل‌ونقل شهری انجام گرفته است. جهت دستیابی به شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، رتبه‌بندی معیارها براساس مطالعات کتابخانه‌ای، و نظر خبرگان انجام گرفت تا فقط معیارهایی که از اهمیت زیادی بر روی مسئله پژوهش برخودار هستند، وارد روش دلفی شده و با صرفه‌جویی در زمان و تعداد رفت و برگشت کمتری، معیارهای ارزیابی، نهایی گردند. معیارهای نهایی با استفاده از روش بهترین- بدترین و روش بهترین اولویت، وارد فرآیند وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند. مقایسه نتایج دو روش بهترین-بدترین و بهترین اولویت با استفاده از روش‌های آماری انجام شد و با توجه به اینکه رتبه‌بندی معیارها در هر دو روش یکسان شد و ضریب همبستگی اسپیرمن ۱+ بدست آمد، پس همبستگی قوی بین معیارها برقرار است، ضریب همبستگی پیرسون جهت مقایسه وزنها ۰/۹۸۹ و میزان معنی داری صفر بدست آمد که نشان دهنده رابطه قوی بین متغیر ها است . لذا رتبه-بندی و وزن‌دهی حاصل از دو روش مورد قبول واقع شد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، رتبه‌بندی، زمان‌بندی، حمل‌ونقل شهری پایدار، مسیریابی.

۱-مقدمه

حمل‌ونقل پایدار رویکردی است که به صورت همزمان ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد و نیازمندیهای نسل حاضر در جابه جایی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در برآوردن نیازهایشان را پاسخ می‌دهد(Mehdinia, Mehdinia & Shirazian, 2015). روند سریع رشد و توسعه شهرها همراه با افزایش جمعیت در جهان، مشکلات عدیده‌ای از جمله ترافیک و اختلال در سیستم حمل‌ونقل درون شهری را ایجاد کرده است. که این موضوع یکی از چالش‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری در اواخر قرن بیستم است(Jahanshahloo & Amini, 2006). امروزه یکی از موضوعات چالش‌برانگیز زندگی شهری می باشد. آلودگی‌های زیست محیطی، تهدید سلمتی انسان‌ها، هزینه‌های گزاف گسترش شبکه حمل‌ونقل و نگهداری زیرساخت‌های سیستم حمل‌ونقل، ازدحام ترافیک، افزایش زمان سفرها، افزایش تصادفات، آلودگی صدا، نابرابری دسترسی و نبود عدالت اجتماعی، لزوم توجه به حمل‌ونقل پایدار را ضروری می‌نماید(Yousefinavid, Rahmani & Ghorbankhani, 2015). توسعه سیستم حمل ونقل پایدار می‌تواند بر کارایی اقتصاد، مسائل زیست محیطی، بهینه سازی مصرف منابع، کاربری اراضی و عدالت اجتماعی تاثیر داشته باشد. بنابراین هدف پژوهش حاضر کمینه‌کردن اثرات زیست محیطی، بیشینه کردن بازدهی سیستم حمل‌ونقل، افزایش دسترسی و بهبود وضعیت اجتماعی زندگی شهروندان و اولویت‌بندی آنها با استفاده از روش‌های توصیفی–تحلیلی است.

با توجه به ادبیات موضوع در این تحقیق، مسیریابی، زمان‌بندی، شناخت عوامل و راهکارهای پیاده‌سازی حمل‌ونقل شهری پایدار با استفاده از روش دلفی و رتبه‌بندی معیارهای تاثیرگذار با بکارگیری تکنیک‌های BWM و OPA، انجام می‌شود تا علاوه بر فرایند برنامه‌ریزی بلندمدت، توانایی مقابله با عدم قطعیت‌های آتی را داشته باشد. بنابراین جامعه آماری پژوهش را خبرگان حوزه امور شهری تشکیل می‌دهند. لذا با توجه به ادبیات موضوع بررسی داده‌های آماری از وضعیت مسیریابی و زمان‌بندی خودروها در مسیرهای مختلف نیاز است. سؤال‌هایی که در اینجا مطرح می‌شود این است که کدام یک از ابعاد پایداری و معیارهای مربوطه، در مسیریابی و زمان‌بندی حمل‌ونقل شهری پایدار موثرترند؟ معیارهای تاثیرگذار بر مسیریابی و زمان‌بندی حمل‌ونقل شهری پایدار کدامند؟ بنابراین هدف از ارائه این پژوهش، تبیین مناسب‌ترین روش برای رتبه‌بندی مسیریابی و زمان‌بندی حمل‌و-نقل شهری پایدار است.

الف) تعریف حمل و نقل پایدار و ارتباط آن با مسیر یابی و زمان بندی

مفهوم حمل و نقل پایدار را می توان از مفهوم کلی پایداری که در برگیرنده همه جنبه‌های زندگی انسان است را بدست آورد (Rassafi & Vaziri, 2005) حمل و نقل پایدار قسمتی از پایداری جهانی است که نیازهای کنونی اجتماعات را بدون کاهش توان نسل های آینده تأمین می نماید(Piran, Saeedeh Zarabadi, Ziari & Majedi, 2019).

حمل‌ونقل شهری زمانی می‌تواند در توسعه و کارایی شهری سهم مهمی ایفا کند که جابجایی کالا، خدمات و افراد با حداقل زمان، سرمایه گذاری و هزینه‌های عملیاتی انجام شود(Mirzaaghaei, Hadipour & Rahmani, 2015). لذا مسیریابی و زمان‌بندی حمل‌ونقل شهری ضمن کاهش زمان و هزینه‌ها، در جستجوی توازنی میان معیارهای پایداری(زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی) است. تعاریفی که در مورد حمل و نقل پایدار بیان شد از نظر مفهومی متفاوت هستند و بیشتر جنبه توصیفی و خروجی محور دارند تا تحلیلی و فرایندگرا. بنابراین برای دستیابی به عملگرایی بیشتر در تعریف حمل و نقل پایدار، باید در خصوص کمی کردن عناصر مختلف سیستم حمل‌ونقل پایدار ارزیابی و بررسی‌های بیشتری انجام شود. لذا در این پژوهش ، بیشتر شاخص‌های انتخاب شده توسط خبرگان ماهیت کمی دارند.

ب)پیشینه نظری

پژوهش امان‌پور و همکاران(۲۰۱۴)، روش شناسی توصیفی– تحلیلی و به کارگیری روش دلفی، با منظور ارزیابی و اولویت سنجی شاخص‌های پایداری در حمل‌ونقل شهری که با سه بعد پایداری اقتصادی، پایداری اجتماعی و پایداری زیست محیطی در قالب ۳۰ متغیر دسته‌بندی شدند، و با استفاده از نظرات ۳۰ نفر از کارشناسان در سه ناحیه ؛ شامل اساتید دانشگاه، کارشناسان اجرایی شهرداری‌های مناطق هشت گانه شهری و سازمان حمل‌ونقل شهری در شهر اهواز در قالب مدل حداقل مجذورات لگاریتمی فازی انجام شد.

یوسفی نویدو همکاران(۲۰۱۵)، شناسایی عوامل و راهکارهای پیاده‌سازی حمل‌ونقل پایدار در کلان‌شهر همدان و اولویت‌بندی آنها از روش توصیفی- تحلیلی و استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP است. نتایج نشان داد ساماندهی کاربری‌ها، ارتقای کمی و کیفی سیستم حمل‌ونقل عمومی و ارتقای مدیریت شهری باید مورد توجه قرار گیرد.

میرزاآقایی و همکاران(۲۰۱۵)، بعد زیست محیطی حمل‌ونقل را با معرفی استراتژی؛ اجتناب، انتقال، ارتقاها (A-S-I) با هدف کاهش حداکثری انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش مصرف انرژی، ترافیک کمتر و در نهایت ایجاد شهرهای قابل زیست را مورد بررسی قرار دادند و با ارائه شاخص‌های محیط زیستی حمل‌ونقل پایدار و پیاده کردن این شاخص‌ها به اولویت‌بندی و وزن‌دهی این شاخص‌ها با استفاده از روشAHP پرداخته‌اند.

اصغری‌زاده‌و همکاران(۲۰۱۷)، به بیان مناسب‌ترین الگوی مدل‌سازی ترافیک در مسائل مسیریابی خودرو مربوط به شبکه توزیع فروش شرکت زمزم تهران پارس، مبنی بر رویکرد حمل‌ونقل سبز پرداخته‌اند. ادبیات موضوع شامل چهار رویکرد؛ ساده، گسسته، پیوسته و تصادفی است. الگوی توسعه یافته در این مقاله شامل دو شاخص تعریف گره مجازی و محاسبه متوسط سرعت با در نظر گرفتن حالت های ترافیک چندگانه می باشد.

مصطفی‌زاده و جعفری(۲۰۱۴)، مدلی چند هدفه جهت طراحی شبکه زنجیره‌تامین پایدار به منظور حداقل نمودن هزینه‌های لجستیکی و حداکثر کردن مسئولیت‌پذیری اجتماعی ارائه نمودند که به بررسی همزمان شبکه از سه بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی پرداختند. از نرم افزار بهینه‌سازی گمز جهت حل مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی و همچنین جهت حل مدل چند هدفه مساله از روش محدودیت اپسیلون استفاده شد.

میرزاباقی و همکاران(۲۰۲۱)، به اریه مسئله مسیریابی پایدار وسایل نقلیه ناهمگن در یک شبکه با جریان‌های مستقیم و معکوس پرداخته‌اند. عوامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در قالب یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط خطی دو هدفه ارائه شده است. برای حل مسئله در مقیاس بزرگ، دو الگوریتم فرابتکاری چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آتش بازی توسعه داد شد، و نیز از یک متد جستجوی محلی برای افزایش کارایی الگوریتم‌های یاد شده در ساختار آنها استفاده شد.

نژادایرانی‌وذاتی(۲۰۱۷)، وضعیت حمل‌ونقل درون شهری پایدار و انتخاب بهترین ترکیب شیوه‌های حمل‌ونقل برای بهبود شرایط موجود در شهر ارومیه با استفاده از تکنیک تحلیلی AHP گروهی را مورد بررسی قرار دادند. هدف مطالعه فراهم آوردن امکانات و زیرساخت‌ها و تشویق به استفاده از شیوه‌های پایدارتر و به حداقل رساندن استفاده از شیوه‌های ناپایدار است .

عزتی آراسته‌پور و همکاران(۲۰۱۸)، برای اولویت‌بندی راهبردهای حمل‌ونقل بر اساس معیار پابرجایی در افق ۲۰ ساله با استفاده از رویکرد سناریو نگاری شبکه جهانی کسب وکار و روش نمونه گیری گلوله برفی استفاده شد. چهار سناریوی حمل‌ونقل سبز، وابستگی به خودروی شخصی، هرج ومرج و کنترل‌های سخت‌گیرانه بر اساس دو عامل، میزان حمایت دولت از بخش خصوصی و ارزش‌های جامعه توسعه داده شد.

محمدی‌ده‌چشمه و مهدوی(۲۰۱۹)، با استفاده از روش توصیفی و تحلیلی، بوسیله مدل SWOT نقاط ضعف و قوت، فرصت‌ها و تهدیدات سیستم حمل‌ونقل شهرکرد را شناسایی نموده و سپس بر اساس راهبردهای ترکیبی برای بهبود وضعیت موجود، با استفاده از ماتریس کمی برنامه‌ریزی راهبردی (QSPM) به اولویت بندی راهبردهای پیشنهادی پرداختند. ابوطالبی‌اصفهانی و همکاران(۲۰۱۸)، کالیبره کردن ضرایب مدل توسعه پایدار با توجه به هم زمانی منافع بخش خصوصی، دولتی و شهروندان به عنوان الگوی تصمیم‌گیری جهت پیاده‌سازی سیاست‌های مدیریتی حمل کالا در هسته مرکزی کلان‌شهر اهواز را مد نظر قرار داده‌اند. با روش AHP وزن هر یک از شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها محاسبه و مقادیرضرایب مدل کالیبره گردید.

مهدی‌نیاو همکاران(۲۰۱۵)، در پژوهش خود برای شناخت اثرات حمل‌ونقل روی اجتماع و جامعه در جهت حرکت به سوی حمل-ونقل پایدار، شاخص‌هایی را بر اساس اهدافشان در سه زیربخش ایمنی، دسترسی و تنوع روش های سفر تعریف و دسته‌بندی نمودند. شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل عامل و شیوه تحلیل مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ترکیب شده و با تحلیل این شاخص‌ها به مقایسه و شناخت وضعیت پایداری بعد اجتماعی در۵۰ ایالت و منطقه فدرال مرکزی کشور آمریکا، پرداختند.

پیران‌و همکاران(۲۰۱۹)، بدنبال ارایه دادن شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار شهری شامل محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی و کالبدی از طریق معادلات ساختاری هستند. روش مورد استفاده در این تحقیق پیمایش از نوع توصیفی، تبیینی و تحلیلی و داده-های آنها با استفاده از پرسشنامه گردآوری شد. جامعه آماری و روش نمونه‌گیری شهروندان به صورت تصادفی ساده و نمونه‌گیری در بین کارشناسان و مدیران به صورت تعمدی است. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم افزار آماری لیزرل و SPSS بود.

حق شناس‌و وزیری(۲۰۱۲)، برای ارزیابی و مقایسه شهرهای جهان از نظر پایداری حمل‌ونقل، با تعریف شاخص‌هایی در رابطه با حمل‌ونقل پایدار و دسته‌بندی شهرها و ترکیب این شاخص‌ها با میانگین وزنی برابر به ارزیابی و مقایسه شهرهای جهان پرداختند. جیون و همکاران(۲۰۱۳)، برای بررسی و مقایسه پایداری حمل‌ونقل در مناطق شهری آتلانتا در کشور آمریکا، شاخص‌هایی را ارایه دادند و با ترکیب این شاخص‌ها بر اساس میانگین وزنی برابر، مقایسه سه سناریو در رابطه با حمل‌ونقل و کاربری زمین انجام شد. رئیسی و همکاران (۲۰۱۴)، تعداد نه شاخص را در ابعاد زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی با در نظر گرفتن نتایج مطالعات قبلی و آمار و اطلاعات شهر ملبورن کشور استرالیا، تعریف و از طریق وزن دهی نابرابر و ترکیب به روش تحلیل عامل مولفه‌های اصلی PCA، وضعیت پایداری حمل‌ونقل در مناطق مختلف شهر ملبورن را مورد بررسی و مقایسه قرار داده‌اند.

آلونسو و همکاران(۲۰۱۵)، نه شاخص ارزیابی حمل‌ونقل پایدار را انتخاب و بر اساس میانگین وزنی برابر، در سه بعد اصلی ترکیب کردند. این سه شاخص اصلی پایداری، بر اساس اوزان بدست آمده از نظر خبرگان و برنامه ریزان حمل‌ونقل که از مطالعه گوزمن و همکاران(۲۰۱۴) حاصل شده است مورد ادغام قرار گرفت.

شیو و همکاران(۲۰۱۳)، به ارایه ۲۱ شاخص برای ارزیابی پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل در چهار دسته زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و بهره‌وری انرژی پرداخته‌اند. محققین اهمیت شاخص‌ها را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص و از میان آنها ۱۰ شاخص نهایی را انتخاب کرده‌اند. در ادامه از طریق روش FCMs به ارزیابی تاثیرات سیاست‌ها در پایداری حمل‌ونقل شهر تایپه پرداختند.

زیتو و همکاران(۲۰۱۱)، شاخص‌های ابعاد زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی را در شش گروه متقاوت دسته بندی نموده و با در نظر گرفتن وزن‌های برابر شاخص‌ها، آنها را ترکیب وسپس به بررسی وضعیت ۳۶ شهر اروپایی اقدام نمودند. پیشوایی و همکاران(۲۰۱۴)، یک مدل برنامه‌نوسی چند منظوره برای طراحی شبکه زنجیره تامین پزشکی پایدار تحت شرایط عدم اطمینان در نظر گرفتند و اهداف اقتصادی، محیطی و اجتماعی را پیشنهاد دادند. الگوریتم تجزیه بندرسریع، با به کار گیری سه مکانیسم تسریع موثر برای مقابله با پیچیدگی محاسباتی حل مدل پیشنهادی، طراحی شد.

چنگ و همکاران(۲۰۱۷)، یک مورد مساله مسیریابی موجودی سبز را با یک ناوگان ناهمگن معرفی می‌کنند که مساله مسیریابی موجودی معمولی را با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی و وسایل نقلیه ناهمگن گسترش می‌دهد. هدف از ارائه مسئله، حداقل کردن مجموع هزینه موجودی و هزینه مسیریابی می باشد. مجیدی و همکاران(۲۰۱۸)، به مشکل آلودگی- مسیریابی با پیکاپ و تحویل همزمان، پرداختند .که هدف آن به حداقل رساندن مصرف سوخت و انتشار با برنامه‌ریزی و مسیریابی مشتریان می باشد. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی و یک هیوریستیک جستجوی همسایگی بزرگ تطبیقی و همچنین یک الگوریتم ابتکاری برای ساخت راه‌حل اولیه پیشنهاد شد. مجیدی‌و همکاران(۲۰۱۸)، بدنبال تبیین شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار و فاکتورهای مختلف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، در قالب مدل‌سازی ریاضی چندهدفه عدد صحیح بودند.

بهاروم و همکاران(۲۰۱۹)، کیفیت خدمات اتوبوس شهری پایدار را بر اساس درک و انتظار مسافران در مقاصد گردشگری محلی مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه بر روی ترکیب دو مسیر اتوبوس‌رانی برای بررسی رضایت مسافران متمرکز است زیرا اتوبوس اصلی ترین وسیله حمل و نقل عمومی است که بیشتر گردشگرانی که از هر دو مسیر استفاده می کنند استفاده می شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده ۲۸ شاخص در سنجش عملکرد کیفیت خدمات ارایه‌شده و ۶ ویژگی حیاتی شناسایی شده‌اند که عبارتند از: قابلیت اطمینان، درک، قابلیت دسترسی، امکانات فیزیکی، محیط زیست و ایمنی. این عوامل بر ارزیابی کلی رضایت

گردشگران تأثیر بسزایی دارند. مقاله مروری اسکندرپور و همکاران(۲۰۱۹)، ادغام پایداری در سیستم‌های حمل و نقل موجود بسیار چالش برانگیز است و انواع تصمیمات از استراتژیک تا عملیاتی باید به طور موثر گرفته شود. در این تحقیق دو جریان اصلی را بررسی شد: حمل و نقل سازگار با محیط زیست و حمل و نقل شهری. اولی به جنبه محیطی توسعه پایدار و دومی به جنبه اجتماعی اشاره دارد.

دوندر و همکاران(۲۰۲۰)، مساله مسیریابی وسیله نقلیه پایدار که نگرانی‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در بر می‌گیرد و به تدریج در حال افزایش است را بررسی نمودند. اهداف این مطالعه؛ ۱) بررسی محدوده‌ها، اهداف، متد های حل و انواع داده‌ها در مقالات مرور شده در رابطه با مسیریابی پایدار وسایل نقلیه شهری. ۲)تجزیه و تحلیل شاخص‌های استفاده شده در مدل‌های کمی پیشنهادی و نحوه ارتباط آن‌ها با پایداری و معیارهای سبز در حوزه مسیریابی وسیله نقلیه. ۳) بررسی نتایج مطالعات، شناسایی شکاف‌های موجود در ادبیات تحقیق و پیشنهاد راهکارهایی برای تحقیقات آینده است.

مقاله سوریانی و همکاران(۲۰۲۰)، آزمایش و ارزیابی تعدادی از گزینه‌های آینده جهت بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل از طریق مدل‌سازی تحرک هوشمند است. استفاده از این مدل‌سازی، و استراتژی‌های جایگزین می‌توانند برای کاهش ازدحام و بهبود تحرک، آزمایش و ارزیابی شوند. این مطالعه به سهم جدید در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل شبیه سازی دینامیک کمک میکند.

تیان و همکاران(۲۰۲۱)، ارایه یک رویکرد مبتنی بر بلاک چین برای رضایت مشتریان در زمینه تدارکات شهری است که چهار معیار موثر بر رضایت مشتری در تدارکات شهری را شناسایی می کند. برای این کار الگوریتم یادگیری ماشین حافظه کوتاه‌مدت بلند مدت(LSTM) برای پیش‌بینی رضایت مشتری در دوره آینده به کار رفته است. نتیجه اینکه رویکرد برای ارزیابی رضایت مشتری در تدارکات شهری مبتنی بر بلاکچین می تواند به دولت ها و بانک ها کمک کند تا تصمیمات بهتری برای توسعه پایدار بگیرند. عبدالهی و همکاران(۲۰۲۱)، به مساله مسیریابی پایدار وسیله نقلیه پرداخته‌اند که سه بعد پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی)در زمینه مشکلات مسیریابی وسایل نقلیه پایدار را در نظر می‌گیرد. یک مدل بهینه‌سازی چند منظوره را برای ترکیب این سه بعد و همچنین یک الگوریتم حریصانه تصادفی – مغرضانه برای حل مساله یکپارچه پیشنهاد دادند و تجزیه و تحلیل حساسیت برای اندازه‌گیری تاثیر هر بعد پایداری و بررسی مبادلات بین آن‌ها نیز صورت گرفت.

حمل‌ونقل شهری یکی از اصلی‌ترین زیر بخش‌های توسعه و برنامه‌ریزی شهری می‌باشد. شهروندان روزانه از انواع مختلف شبکه‌های حمل‌ونقل‌پیاده و سواره استفاده میکنند و برای پاسخ‌گویی به طیفی از نیازهای شغلی، تحصیلی، خرید، تفریح و غیره از حمل‌ونقل شهری بهره میبرند که این نشان می‌هد حمل‌ونقل به یکی از مهم‌ترین بخش‌های کیفیت زندگی روزمره شهروندان تبدیل شده است. اما متاسفانه طی سال‌های اخیر بر اثر توسعه مبتنی بر حرکت خودروها، مسایل و مشکلات حمل‌ونقلی بیشماری پدید آمده است. برای غلبه بر چنین مشکلاتی نیاز است که اول حمل‌ونقل شهری از بعد پایداری ارزیابی شده و سپس مناسب-ترین ترکیب شیوه های حمل‌ونقل برای بهبود شرایط موجود پیشنهاد گردد (حق شناس و وزیری۲۰۱۲).

با توجه به شکاف، بیشتر پژوهش های انجام شده فقط به ارزیابی و الویت‌سنجی شاخص‌های پایداری پراخته‌اند و اگرچه حمل‌و-نقل پایدار شامل همهٔ این تکنیک‌ها می‌شود ولی بطور همه جانبه تمامی جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را مورد توجه قرار نداده است. لذا در این تحقیق ضمن ارزیابی و اولویت بندی همه جانبه این معیارها، مسئله مسیریابی و زمان‌بندی که همیشه برای بشر اهمیت داشته و نه تنها در زمینه حمل‌ونقل بلکه در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی کاربرد دارد، نیز در نظر گرفته شده است.

۲- روش شناسی پژوهش

این تحقیق از نظر روش تحقیق بر اساس هدف از نوع کاربردی و از نظر روش جمع‌آوری داده‌ها (کتابخانه‌ای و پرسشنامه) و ماهیت از نوع توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. برای انجام ارزیابی و تحلیل سلسله مراتبی از تکنیک پرسشنامه و مصاحبه با کارشناسان و حوزه‌های مرتبط با مسائل شهری استفاده شده است. بنابراین قلمرو این تحقیق جامعه شهری کشور است و با توجه به اینکه طرح تحقیق از نوع ارزیابی و رتبه‌بندی معیارهای پایداری است، با بکارگیری روش‌های BWM و OPA نسبت به رتبه‌بندی و کارآیی معیارها استفاده خواهد شد. این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است که

به طور خلاصه می‌توان به ارزیابی همه جانبه معیارها اشاره کرد. در این راستا و به منظور تشخیص مهمترین معیارهـای ارزیـابی، مناسب‌ترین و پایدارترین روش‌های تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی بکار رفته است. پس از غربالگری اولیه معیارها در گروه کانونی و بر اساس روش دلفی، پرسشنامه متناسب طراحی و بین خبرگان توزیع گردید. معیارهای نهایی شده بـا اسـتفاده از نظـر خبرگـان و روش دلفی تعیین اهمیت شده و همین هدف با روش بهترین بدترین نیز تکرارشده است.

الف) تحلیل روش دلفی

برای ارزیابی معیارها و اثرات حمل‌ونقل پایدار مورد استفاده در این پژوهش، با توجه به تخصصـی بـودن موضـوع از روش گـروه کانونی استفاده شده است. چراکه با مراجعه به تحقیقات پیشین از جمله، بچلر و برفا[1] (۲۰۱۱) بـرای حـذف سـریع شـاخص‌هـای کم‌اهمیت‌تر، می‌توان از نظرات خبرگان استفاده نمود. به این منظور یکی از محققین بدون داشتن حق رای و در نقش مجری[2] در در جلسات گروه کانونی حضور داشت و نسبت به ثبت نظرات خبرگان به منظور تجزیه و تحلیل نهایی اقدام نمود. در همین راستا و به منظور رتبه‌بندی نهایی معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این تحقیق و با توجه به تعدد معیارهای ارزیابی استخراج شـده بـر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، پرسشنامه و مصاحبه‌های باز انجام شده، قبل از شروع روش دلفی استفاده شد تا فقط معیارهایی کـه از اهمیت بالاتری نسبت به سایرین بر اساس نظر خبرگان برخوردار می‌باشند وارد روش دلفی شـده و بـا صـرفه‌جـویی در زمـان تحقیق در تعداد کمتری رفت و برگشت، معیارهای ارزیابی نهایی گردند.

برای تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌های طراحی شده در قالب روش دلفی[3] در هر سه مرحله و مطابق آنچه در تحقیقات پیشین نظیر کووتام[4] و همکاران (۲۰۰۴) انجام شده بود، از روش درصد میانگین نظرات اکثریـت خبرگـان[5] (APMO) اسـتفاده شـد کـه بـا استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$APMO = \frac{\text{Majority Agreements} + \text{Majority Disagreements}}{\sum \text{Opinions Expressed}}$$

همچنین، در این روش و به منظورر تحلیل اولیه پرسشنامه‌ها باید حداقل درصد اکثریت میانگین نظرات از قبـل مشـخص شـده باشد تا قادر به تحلیل نظرات خبرگان باشیم. بر همین اساس در این پژوهش حداقل درصد اکثریت میانگین نظـرات برابـر بـا ۶۰ درصد در نظر گرفته شده است. این ۶۰ درصد بدین معناست که هر پارامتری که ۶۰ درصد نظرات خبرگـان را بدسـت آورد، وارد دوربعدی[6] تحلیل می‌شوند تا مهمترین شاخص‌ها نهایی شوند، در غیر اینصورت از دور بعدی خارج و حذف می‌گردد.

ب)روش بهترین بدترین[7](BWM)

یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره است که در زمره تصمیم‌گیری چند شاخصه قرار می‌گیرد.

- گام اول: بررسی و تعیین عوامل تاثیر گذار بر تصمیم: عوامل تاثیرگذار بر روی هدف مساله استخراج گـردد. و در نهایـت به تایید خبرگان پژوهش برسد.
- گام دوم: مقایسه بهترین معیار با دیگر معیارها (BO) و دیگر معیارها با بدترین معیار(OW) : با اهمیـت‌تـرین و کـم اهمیت‌ترین معیار از بین تمامی شاخص‌ها مشخص می شود که به آن best و worst گفته می‌شود.
- گام سوم: تعیین ارجحیت بهترین معیار نسبت به دیگر معیارهای عددی بین ۱ تا ۹ بصورت زیر:

$$AB = (a_{B1}.a_{B2}.\dots.a_{Bn}) \quad \text{رابطه(۱)}$$

که در این بردار a_{Bj} نشان دهنده میزان ارجحیت بهترین معیار B بر معیارهای j است.

- گام چهارم: تکرار مرحله قبل برای بدترین معیار و تعیین ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار W :

---

1. Batchelor and Briffa
2. moderator
3. Delphi Method
4. Cottam
5. Average Percentage of Majority Opinions
6. Round
7. Best Worst Method (BWM)

$$AW = (a_{1W}.a_{2W}.\dots.a_{nW})^T$$ رابطه(۲)

که در این بردار a_{jW} نشان دهنده میزان ارجحیت بهترین معیار j نسبت به بدترین معیار W است.

- گام پنجم: تشکیل بردار وزن بهینه به شکل بردار $(W_1^*.W_2^*.\dots.W_n^*)$و مدل بهینه‌سازی غیر خطی روشBWM به طوری که:

$$\min max_j \left\{\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|.\left|\frac{W_j}{W_B} - a_{jW}\right|\right\}$$ رابطه(۳)

$$\text{s.t.}$$
$$\sum_j W_j = 1$$
$$W_j \geq 0$$ رابطه(۴)

مدل Min-Max در رابطه ۳ را می‌توان به صورت رابطه ۵ نوشت:

$$\min\ \xi$$
$$\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \leq \xi \quad \forall j$$
$$\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right| \leq \xi \quad \forall j$$ رابطه(۵)

$$\sum W_j = 1$$
$$W_j \geq 0.\ \forall j$$ رابطه (۶)

فضای حل مسئله (۵) شامل تمام مقادیر مثبت برای $w_j, j = 1, \dots, n$، به‌طوری‌که مجموع اوزان بایستی برابر با یک شود و خطای تمام نسبت‌های وزنی از مقایسه نظیر به نظیر آن‌ها در بیشترین ξ باشد. مدل ارائه‌شده در پژوهش رضایی (۲۰۱۵) برای مسائل تصمیم‌گیری با بیش از سه معیار منجر به جواب بهینه چندگانه می‌گردد؛ بنابراین برای رفع این مشکل با توجه به غیرخطی بودن مدل، رضایی (۲۰۱۶) در پژوهشی فرم خطی مدل (۵) را که منجر به جواب منحصربه‌فرد می‌شود به‌صورت زیر ارائه دادند:

در این مدل به‌جای کمینه‌سازی بیشینه مقدار در بین مجموعه $\left\{\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right|, \left|\frac{w_j}{w_W} - a_{jw}\right|\right\}$، اقدام به کمینه‌سازی بیشینه مقدار در بین مجموعه $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ می‌شود؛ بنابراین مدل به‌صورت معادله (۷) فرمول بندی می‌گردد:

$$min\, max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$$
$$S.t.$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0, for\ all\ j$$ رابطه (۷)

مسئله (۷) قابل‌تبدیل شدن به مدل زیر را دارد:

$$min\, \xi^L$$
$$S.t.$$
$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, for\ all\ j$$
$$|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, for\ all\ j$$ رابطه(۸)

$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0, for\ all\ j$$

مدل خطی فوق دارای جواب منحصربه‌فرد است. ازاین‌رو با حل مدل (۸)، اوزان بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و ξ^{L*} نتیجه می‌شوند. برای مدل فوق مقدار ξ^{L*} خود به‌صورت مستقیم نشان‌دهنده سازگاری مقایسات صورت گرفته است به‌طورکلی مقادیر نزدیک به صفر ξ^{L*} نشان‌دهنده سطح بالای سازگاری است (رضایی، ۲۰۱۶).

ج)روش بهترین اولویت[8](OPA)

تعیین وزن عددی راهکارهای مختلف تصمیم‌گیری، توسط خبرگان بر اساس مجموعه‌ای از مشخصه‌ها انجام می شود. می‌توان راهکارها، مشخصه‌ها و خبرگان را همزمان در سه گوشه‌ی یک مثلث تصمیم‌گیری قرار داد تا از این طریق درجه‌ی اهمیت معلوم گردد. در روش پیشنهادی، ویژگی‌های هر ضلع بصورت همزمان در مسئله‌های تصمیم‌گیری مورد توجه قرار می‌گیرند(عطایی و همکاران، ۲۰۲۰). در اینجا تعداد k راهکار طبق مراحل ذیل رتبه‌بندی شده‌اند:

- رتبه‌بندی مشخصه‌ها توسط هر یک از خبرگان.
- رتبه‌بندی خبرگان بر اساس چارت سازمانی، سطح تحصیلات، پیشینه‌ی افراد، تجربه‌ها و غیره.
- رتبه بندی راهکارها توسط هر یک از خبرگان بر اساس مشخصه‌ها. (شکل ۱)

شکل شماره (۱): :مولفه‌های تصمیم‌گیری

مجموعه‌ها

I مجموعه‌ی خبرگان $\forall i \in I$

J مجموعه‌ی مشخصه‌ها $\forall j \in J$

K مجموعه‌ی راهکارها $\forall k \in K$

شاخص‌ها

i شاخص خبرگان (۱،...،p)

j شاخص ارجحیت مشخصه‌ها (۱،...،n)

k شاخص راهکارها (۱،...،m)

متغیرها

Z تابع هدف

W_{ijt}^r وزن (میزان اهمیت) راهکار kام بر اساس مشخصه jام توسط شخص خبره‌ی iام در رتبه‌ی rام

A_{ijk}^r راهکار kام بر اساس مشخصه j توسط شخص خبره‌ی i در رتبه‌ی r

مفهوم اصلی شیوه‌ی پیشنهادی توسط اصغرپور(۲۰۰۸) معرفی شده است. در اینجا $A_{ijk}^{(r)}$، K /مین راهکار براساس مشخصه‌ی j توسط شخص خبره‌ی i *در رتبه‌ی* r است. یعنی، خبرگان یک نظر مستقل را بر اساس اولویت مشخصه‌ها و راهکارها عنوان کرده‌اند. در نتیجه $i \times j$ رتبه‌بندی برای k راهکار موجود انجام شده است. رابطه (۹) رتبه‌بندی راهکارها را بر اساس هر مشخصه و شخصِ خبره نشان می‌دهد.

رابطه(۹) $A_{ijk}^1 \geq A_{ijk}^2 \geq \cdots \geq A_{ijk}^r \geq A_{ijk}^{r+1} \geq \cdots \geq A_{ijk}^m \forall i, j, k$

[8]. Ordinal Priority Approach (OPA)

تنها استنباط مناسب از نامساوی $A_{ijt}^{r} > A_{ijl}^{r+1}$ اینست که W_{ijt}^{r} باید بزرگتر یا مساوی W_{ijl}^{r+1} باشد (یا برتری راهکار tام نسبت به راهکار l^tام). بنابراین رابطه (۱۰) درست خواهد بود.

$$W_{ijk}^{1} \geq W_{ijk}^{2} \geq \cdots \geq W_{ijk}^{r} \geq W_{ijk}^{r+1} \geq \cdots \geq W_{ijk}^{m-1} \geq W_{ijk}^{m} \forall i,j,k$$ رابطه(۱۰)

به عبارتی دیگر، تفاوت وزن رتبه‌های متوالی در رابطه (۱۰) را می‌توان بصورت رابطه (۱۱) جدا نموده یا دوباره نوشت.

$$W_{ijk}^{1} - W_{ijk}^{2} \geq 0,$$
$$W_{ijk}^{2} - W_{ijk}^{3} \geq 0,$$
$$\ldots$$
$$W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1} \geq 0$$
$$\ldots$$
$$W_{ijk}^{m-1} - W_{ijk}^{m} \geq 0$$ رابطه(۱۱)

مبتنی بر نظر خبرگان، استنباط می‌شود که راهکار rام، برتر از راهکار $(r+1)$ام در رابطه (۱۰) است. به منظور ملاحظه میزان ارجحیت رتبه‌ها، i، j ، و r (شخص خبره، مشخصه و راهکار) در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت دیگر، رابطه (۱۲) نسخه‌ای بازنگری شده از رابطه (۱۱) است. در واقع رابطه (۱۲) می‌تواند به ما در معرفی تابع هدف در مدل کمک نموده و نیز نقشی حیاتی در اصل مدل ایفا نماید.

$$i\left(j\left(r\left(W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1}\right)\right)\right) \geq 0 \qquad \forall i,j,k \; and \; r$$ رابطه(۱۲)

روابط (۹) الی (۱۲)، برای رتبه‌بندی و تعیین وزن راهکارها استفاده شده‌اند. در این مدل پیشنهادی، هدف ما بیشینه کردن ارجحیت راهکارها برای هر مشخصه و شخص خبره است. مدل ریاضی مزبور (رابطه ۱۳) به منظور بیشینه‌سازی برتری راهکار kام در مقابل راهکار $(k+1)$ام ساخته شده است؛ چرا که این راهکار در رتبه rام نسبت به رتبه $(r+1)$ام قرار گرفته و درجه ارجحیت این دو رتبه در نظر گرفته شده است.

$$Max \left\{i\left(j\left(r\left(W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1}\right)\right)\right), ijmW_{ijk}^{m}\right\} \qquad \forall i,j,k \; and \; r$$
S.t:
$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} W_{ijk} = 1$$
$$W_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i,j,and \; k$$ رابطه(۱۳)

ذکر این نکته لازم است که i، j و r پارامترهای مدل هستند که توسط تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌شوند. اما W_{ijk}^{r} و W_{ijk}^{r+1} متغیرهای تصمیم‌گیریِ مدل هستند که پس از حل آن حاصل می‌شوند. مطابق با تعداد راهکارها و رتبه‌های تصمیم‌گیری، به یک مدل چند هدفیِ غیر خطیِ ریاضی دست یافته‌ایم. به منظور حل کردن مدل، هدف‌های کمینه‌سازی بیشینه شده و در رابطه (۱۴) نمایش داده می‌شوند:

$$Max\ Min \left\{i\left(j\left(r\left(W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1}\right)\right)\right), ijmW_{ijk}^{m}\right\} \qquad \forall i,j,k \; and \; r$$
S.t:
$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} W_{ijk} = 1$$
$$W_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i,j,and \; k$$ رابطه(۱۴)

حل کردن رابطه (۱۴) ساده نیست، زیرا یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی است. بنابراین آن را به مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌کنیم تا فرآیند حل آن تسهیل شود با ایجاد یک تغییر روی متغیرها، مدل ریاضی غیر خطی رابطه (۱۴) می‌تواند تبدیل به یک مدل ریاضی خطی مطابق بصورت رابطه (۱۵) نمود:

$$Z = Min\ \left\{i\left(j\left(r\left(W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1}\right)\right)\right), ijmW_{ijk}^{m}\right\} \quad \forall i,j,k\ and\ r$$ رابطه(۱۵)

با جایگزینی رابطه (۱۵) در رابطه (۱۴)، ما مدل ریاضی خطی (۱۶) را بدست می‌آوریم. با حل این مدل، وزن‌های (میزان اهمیت‌های) مناسب و رتبه‌ی هر راهکار می‌تواند بر اساس رتبه‌ی مشخصه و شخص خبره بدست آید.

$$Max\ Z$$
S.t:
$$Z \le\ i\left(j\left(r\left(W_{ijk}^{r} - W_{ijk}^{r+1}\right)\right)\right) \quad \forall i,j,k\ and\ r$$
$$Z \le\ ijmW_{ijk}^{m} \quad \forall i,j,and\ k$$ رابطه(۱۶)
$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} W_{ijk} = 1$$
$$W_{ijk} \ge 0 \quad \forall i,j,and\ k$$

شایان ذکر است که $W_{ijk}^{(r)}$ متغیر تصمیم‌گیری مدل ریاضی خطی (۱۶) است که وزن اصلی راهکار kام را بر اساس مشخصه‌ی jام و توسط شخصِ خبره iام در رتبه‌ی rام نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه (۱۶) می‌توان وزن و رتبه‌ی مشخصه‌ها و خبرگان را نیز تعیین نمود. تعداد متغیرهای مدل، $i \times j \times k$ بوده و تعداد محدودیت‌های آن، $i \times j \times k + 1$ است. اگر بر اساس نظر خبرگان مشخصه‌ای مهم تلقی نشده و لذا در فرآیند تصمیم‌گیری دخیل نشود، تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل به اندازه ارزش به دست آمده از ضرب مشخصه‌ی حذف شده در تعداد راهکارها، کاهش می‌یابد. در صورتی که دو راهکار، رتبه‌های مشابهی داشته باشند، تفاوت وزنی در خصوص رتبه‌های متوالی برابر خواهد بود. به همین ترتیب، به منظور ایجاد مدل ریاضی خطی (۱۶) یک محدودیت (نامعادله) استفاده می‌شود. اگر دو مشخصه یا دو شخص خبره شرایط مشابهی در رتبه‌بندی داشته باشند، این تساوی رتبه تنها با استفاده از مؤلفه‌های مشابهِ درجه‌ی ارجحیت در مدل ریاضی (۱۶) اعمال می‌گردد. در صورتی که نوع تصمیم‌گیری فردی باشد، مدل ریاضی خطی (۱۶) می‌تواند با تعداد کمتری محدودیت و متغیر جهت تعیین وزن مشخصه‌ها و راهکارها استفاده شود. Z متغیریست که در علامت‌گذاری آن محدودیتی وجود ندارد و نیازی به تفسیر مقدار آن از نتایج بدست آمده نیست. بر اساس نظر تفسیرگر، شاخص‌های i، j و r برای نمایش یک درجه‌ی ارجحیت خاص استفاده می‌شوند. وزن راهکارها از طریق رابطه (۱۷) تعیین می‌گردد:

$$W_k = \sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n} W_{ijk} \quad \forall k$$ رابطه(۱۷)

وزن مشخصه‌ها از طریق رابطه (۱۸) تعیین می‌شود:

$$W_j = \sum_{i=1}^{p}\sum_{k=1}^{m} W_{ijk} \quad \forall j$$ رابطه(۱۸)

وزن خبرگان نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود (رابطه ۱۹ تنها در تصمیم‌گیری‌های گروهی استفاده می‌شود).

$$W_i = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} W_{ijk} \quad \forall i$$ رابطه(۱۹)

د) محاسبات و تحلیل روش دلفی

برای تجزیه و تحلیل مراحل سه‌گانه پرسشنامه در قالب روش دلفی بر پایه درصد اکثریت میانگین نظرات[9] (APMO) خبرگان و بر اساس مطالعات قبل، نظیر کووتام[10] و همکاران(۲۰۰۴) استفاده خواهد شد. مطابق تحقیقات پیشین، برای استفاده از این روش در تحلیل اولیه پرسشنامه باید حداقل درصد اکثریت میانگین نظرات از قبل مشخص شده باشد تا قادر به تحلیل نظرات خبرگان باشند. بنابراین در این پژوهش حداقل درصد اکثریت میانگین نظرات برابر با ۶۰ درصد در نظر گرفته شده است. یعنی هر

9. Average Percentage of Majority Opinions
10. Cottam

پارامتری که ۶۰ درصد نظرات خبرگان را بدست آورد وارد دور[11] بعدی تحلیل می‌شود، در غیر اینصورت از دور بعدی حذف می‌گردد. قبل از ورود به روش دلفی، همانطوری که قبلا گفته شد، خبرگان از ۴۴ شاخص اولیه، ۶ شاخص را حذف نمودند. زیرا اعضاء بر این عقیده بودند که این شاخص‌ها کمترین تاثیر را بر مطالعه حاضر دارا می‌باشند. روند انجام شده بسیار مرسوم بود زیرا در بسیاری از تحقیقات پیشین مانند و بچلر و برفا[12] (۲۰۱۱) برای حذف شاخص‌های کم‌اهمیت‌تر، از نظرات خبرگان در پنل‌های تخصصی استفاده می‌شود. با توجه به توضیحات فوق، در ادامه ۳۸ شاخص باقی‌مانده طبق نظر خبرگان وارد مرحله تحلیل دلفی می‌شوند تا مهمترین شاخص‌ها نهایی شوندند. (جدول ۱،۲)

جدول شماره (۱): نرخ قطعی اجماع خبرگان در دور اول روش دلفی

دور اول دلفی(APMO)	
اکثریت موافقین	۶۶۹
بیشترین تعداد مخالفین	۱۵
کل نظرات بیان شده	۹۵۰
APMO	۰/۷۲
تعداد گزاره هایی که در دور اول حذف شدند	۸
تعداد گزاره هایی که در دور دوم دلفی فرموله می شوند	۳۰

جدول شماره (۲): آنالیز دور اول روش دلفی

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات	اجماع
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	بیان شده	
۱	پرداخت عوارض توسط استفاده کنندگان	۱۹	۰/۷۶	۶	۰/۲۴	۲۵	بلی
۲	افزایش سرویس حمل‌ونقل عمومی	۲۲	۰/۸۱	۵	۰/۱۹	۲۷	بلی
۳	کاهش تراکم و حجم ترافیک	۲۱	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۲۶	بلی
۴	کاهش هزینه و زمان سفر (جابجایی)	۱۹	۰/۷۹	۵	۰/۲۱	۲۴	بلی
۵	بستر سازی منابع و ارتباطات الکترونیکی(اخذ عوارض، جریمه‌ها و...)	۹	۰/۴۱	۱۳	۰/۵۹	۲۲	خیر
۶	افزایش بازدهی و کارایی نیروی کار	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۷	کم کردن مسافت سفر(طول)	۱۸	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۲۳	بلی
۸	کاهش هزینه مصارف انرژی و استهلاک	۲۰	۰/۷۱	۸	۰/۲۹	۲۸	بلی
۹	صرفه جویی در زمان سفر	۱۰	۰/۴۳	۱۳	۰/۵۷	۲۳	خیر
۱۰	مقبول ترین هزینه (سیاست قیمت گذاری)	۲۴	۰/۸۶	۴	۰/۱۴	۲۸	بلی
۱۱	ارتقاء کیفیت زیر ساخت ها (قابلیت رشد دهی)	۲۰	۰/۸۰	۵	۰/۲۰	۲۵	بلی
۱۲	بالانس بار ماشین های مختلف	۹	۰/۳۹	۱۴	۰/۶۱	۲۳	خیر
۱۳	کاهش مخارج ناشی از تصادفات	۹	۰/۴۱	۱۳	۰/۵۹	۲۲	خیر
۱۴	افزایش مشارکت بخش خصوصی در حوزه حمل‌ونقل	۱۸	۰/۷۵	۶	۰/۲۵	۲۴	بلی
۱۵	ساخت خیابان ها و تسهیلات جدید حمل‌ونقل	۱۹	۰/۷۳	۶	۰/۲۷	۲۵	بلی
۱۶	کاهش هزینه های سلامت روانی ناشی از کاهش تراکم ترافیک	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۱۷	ایجاد فرصت های شغلی	۲۵	۰/۸۹	۳	۰/۱۱	۲۸	بلی
۱۸	تنوع در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی	۲۳	۰/۸۵	۴	۰/۱۵	۲۷	بلی
۱۹	عدالت اجتماعی استفاده کنندگان	۲۳	۰/۸۸	۳	۰/۱۲	۲۶	بلی
۲۰	سهولت دسترسی به کلیه مراکز و پارکینگ ها	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۲۱	امکان توزیع یکنواخت تراکم جمعیتی	۸	۰/۳۶	۱۴	۰/۶۴	۲۲	خیر
۲۲	کیفیت زندگی و سطح رضایت کاربران	۱۸	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۲۳	بلی

11. Round
12. Batchelor and Briffa

ردیف	معیار	موافق		مخالف	کل نظرات	اجماع
۲۳	ساختار و توسعه شهری	۲۰	۰/۷۷	۶ ۰/۲۳	۲۶	بلی
۲۴	قابلیت دسترسی آسان به خدمات حمل و نقل عمومی	۱۰	۰/۴۰	۱۵ ۰/۶۰	۲۵	خیر
۲۵	توزیع عادلانه امکانات، خدمات و تسهیلات	۱۶	۰/۷۶	۵ ۰/۲۴	۲۱	بلی
۲۶	توسعه بی رویه شهرها	۱۷	۰/۷۴	۶ ۰/۲۶	۲۳	بلی
۲۷	افزایش ایمنی، رفاه اسایش و کاهش تصادفات	۱۹	۰/۷۶	۶ ۰/۲۴	۲۵	بلی
۲۸	توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی	۲۲	۰/۸۱	۵ ۰/۱۹	۲۷	بلی
۲۹	استفاده از وسایل حمل و نقل غیر موتوری	۱۲	۰/۴۶	۱۴ ۰/۵۴	۲۶	خیر
۳۰	آلودگی آب و هوا	۲۱	۰/۷۵	۷ ۰/۲۵	۲۸	بلی
۳۱	آلودگی صوتی	۲۲	۰/۸۱	۵ ۰/۱۹	۲۷	بلی
۳۲	مصرف انرژی	۲۰	۰/۷	۶ ۰/۲۳	۲۶	بلی
۳۳	استفاده از منابع تجدید پذیر	۱۸	۰/۷۵	۶ ۰/۲۵	۲۴	بلی
۳۴	تاثیرات کاربری زمین(چشم اندازها)	۹	۰/۳۸	۱۵ ۰/۶۳	۲۴	خیر
۳۵	کارایی منابع	۱۶	۰/۷۰	۷ ۰/۳۰	۲۳	بلی
۳۶	کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی	۱۶	۰/۷۳	۶ ۰/۲۷	۲۲	بلی
۳۷	حمل‌ونقل سبز پایدار	۲۱	۰/۷۵	۷ ۰/۲۵	۲۸	بلی
۳۸	افزایش سطح سلامت عمومی جامعه	۱۹	۰/۷۳	۷ ۰/۲۷	۲۶	بلی
جمع بندی		۶۶۹		۱۵	۹۵۰	

نتایج مرحله اول نشان داد که از بین ۳۸ شاخص وارد شده به این مرحله، ۸ شاخص حذف و ۳۰ شاخص شاخص باقیمانده وارد محاسبات دور دوم خواهند شد. همچنین درصد اکثریت میانگین نظرات در مرحله دوم برابر با ۷۲٪ بدست آمد. (جدول۳،۴).

جدول شماره(۳): نرخ قطعی اجماع خبرگان در دور دوم روش دلفی

دور دوم دلفی(APMO)	
اکثریت موافقین	۴۹۳
بیشترین تعداد مخالفین	۱۵
کل نظرات بیان شده	۷۲۰
APMO	۰/۷۱
تعداد گزاره هایی که در دور دوم حذف شدند	۸
تعداد گزاره هایی که در دور سوم دلفی فرموله می شوند	۲۲

جدول شماره(۴): آنالیز دور دوم روش دلفی

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات بیان شده	اجماع
		تعداد	درصد	تعداد	درصد		
۱	پرداخت عوارض توسط استفاده کنندگان	۸	۰/۳۶	۱۴	۰/۶۴	۲۲	خیر
۲	اقزایش سرویس حمل‌ونقل عمومی	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۳	کاهش تراکم و حجم ترافیک	۲۲	۰/۸۱	۵	۰/۱۹	۲۷	بلی
۴	کاهش هزینه و زمان سفر (جابجایی)	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۶	افزایش بازدهی و کارایی نیروی کار	۹	۰/۳۹	۱۴	۰/۶۱	۲۳	خیر
۷	کم کردن مسافت سفر(طول)	۱۸	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۲۳	بلی
۸	کاهش هزینه مصارف انرژی و استهلاک	۱۹	۰/۸۶	۳	۰/۱۴	۲۲	بلی
۱۰	مقبول ترین هزینه (سیاست قیمت گذاری)	۲۲	۰/۸۸	۳	۰/۱۲	۲۵	بلی
۱۱	ارتقاء کیفیت زیر ساخت ها (قابلیت رشد دهی)	۱۵	۰/۷۱	۶	۰/۲۹	۲۱	بلی
۱۴	افزایش مشارکت بخش خصوصی در حوزه حمل‌ونقل	۹	۰/۴۵	۱۱	۰/۵۵	۲۰	خیر

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات	اجماع
۱۵	ساخت خیابان ها و تسهیلات جدید حمل‌ونقل	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۱۶	کاهش هزینه های سلامت روانی ناشی از کاهش تراکم ترافیک	۹	۰/۳۸	۱۵	۰/۶۳	۲۴	خیر
۱۷	ایجاد فرصت های شغلی	۲۰	۰/۷۷	۶	۰/۲۳	۲۶	بلی
۱۸	تنوع در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی	۲۱	۰/۸۴	۴	۰/۱۶	۲۵	بلی
۱۹	عدالت اجتماعی استفاده کنندگان	۲۲	۰/۸۸	۳	۰/۱۲	۲۵	بلی
۲۰	سهولت دسترسی به کلیه مراکز و پارکینگ ها	۱۶	۰/۷۳	۶	۰/۲۷	۲۲	بلی
۲۲	کیفیت زندگی و سطح رضایت کاربران	۱۵	۰/۷۱	۶	۰/۲۹	۲۱	بلی
۲۳	ساختار و توسعه شهری	۱۷	۰/۷۱	۷	۰/۲۹	۲۴	بلی
۲۵	توزیع عادلانه امکانات، خدمات و تسهیلات	۹	۰/۴۱	۱۳	۰/۵۹	۲۲	خیر
۲۶	توسعه بی رویه شهرها	۱۰	۰/۴۳	۱۳	۰/۵۷	۲۳	خیر
۲۷	اقزایش ایمنی رفاه اسایش و کاهش تصادفات	۱۷	۰/۷۴	۶	۰/۲۶	۲۳	بلی
۲۸	توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی	۲۰	۰/۷۷	۶	۰/۲۳	۲۶	بلی
۳۰	آلودگی آب و هوا	۲۱	۰/۷۵	۷	۰/۲۵	۲۸	بلی
۳۱	آلودگی صوتی	۲۰	۰/۷۷	۶	۰/۲۳	۲۶	بلی
۳۲	مصرف انرژی	۲۱	۰/۸۴	۴	۰/۱۶	۲۵	بلی
۳۳	استفاده از منابع تجدید پذیر	۱۰	۰/۴۵	۱۲	۰/۵۵	۲۲	خیر
۳۵	کارایی منابع	۱۶	۰/۷۳	۶	۰/۲۷	۲۲	بلی
۳۶	کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی	۱۸	۰/۷۵	۶	۰/۲۵	۲۴	بلی
۳۷	حمل‌ونقل سبز پایدار	۲۲	۰/۷۹	۶	۰/۲۱	۲۸	بلی
۳۸	افزایش سطح سلامت عمومی جامعه	۱۰	۰/۴۳	۱۳	۰/۵۷	۲۳	خیر
	جمع بندی	۴۹۳		۱۵		۷۲۰	

نتایج مرحله دوم نشان داد که از بین ۳۰ شاخص وارد شده به این مرحله، ۸ شاخص حذف و ۲۲ شاخص باقیمانده وارد محاسبات دور سوم خواهند شد. همچنین درصد اکثریت میانگین نظرات در مرحله دوم برابر با ۷۱٪ بدست آمد. (جدول۵و۶).

جدول شماره(۵): نرخ قطعی اجماع خبرگان در دور سوم روش دلفی

دور سوم دلفی(APMO)	
اکثریت موافقین	۳۸۷
بیشترین تعداد مخالفین	۱۲
کل نظرات بیان شده	۵۴۳
APMO	۰/۷۳
تعداد گزاره هایی که در دور سوم حذف شدند	۷
تعداد گزاره هایی که باید در دور نهایی روش دلفی فرموله می شوند	۱۵

جدول شماره (۶): آنالیز دور سوم روش دلفی

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات بیان شده	اجماع
		تعداد	درصد	تعداد	درصد		
۲	افزایش سرویس حمل و نقل عمومی	۲۲	۰/۸۸	۳	۰/۱۲	۲۵	بلی
۳	کاهش تراکم و حجم ترافیک	۲۴	۰/۸۶	۴	۰/۱۴	۲۸	بلی
۴	کاهش هزینه و زمان سفر (جابجایی)	۲۳	۰/۸۵	۴	۰/۱۵	۲۷	بلی
۷	کم کردن مسافت سفر(طول)	۲۰	۰/۷۷	۶	۰/۲۳	۲۶	بلی
۸	کاهش هزینه مصارف انرژی و استهلاک	۱۸	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۲۳	بلی
۱۰	مقبول ترین هزینه (سیاست قیمت گذاری)	۲۱	۰/۸۱	۵	۰/۱۹	۲۶	بلی

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات	اجماع
۱۱	ارتقاء کیفیت زیر ساخت ها (قابلیت رشد دهی)	۸	۰/۴۰	۱۲	۰/۶۰	۲۰	خیر
۱۵	ساخت خیابان ها و تسهیلات جدید حمل‌و نقل	۹	۰/۴۳	۱۲	۰/۵۷	۲۱	خیر
۱۷	ایجاد فرصت های شغلی	۲۱	۰/۸۴	۴	۰/۱۶	۲۵	بلی
۱۸	تنوع در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی	۲۲	۰/۷۹	۶	۰/۲۱	۲۸	بلی
۱۹	عدالت اجتماعی استفاده کنندگان	۲۳	۰/۸۵	۴	۰/۱۵	۲۷	بلی
۲۰	سهولت دسترسی به کلیه مراکز و پارکینگها	۱۱	۰/۴۸	۱۲	۰/۵۲	۲۳	خیر
۲۲	کیفیت زندگی و سطح رضایت کاربران	۱۰	۰/۴۵	۱۲	۰/۵۵	۲۲	خیر
۲۳	ساختار و توسعه شهری	۱۱	۰/۴۸	۱۲	۰/۵۲	۲۳	خیر
۲۷	افزایشی ایمنی رفاه آسایش و کاهش تصادفات	۱۰	۰/۴۸	۱۱	۰/۵۲	۲۱	خیر
۲۸	توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی	۲۳	۰/۸۵	۴	۰/۱۵	۲۷	بلی
۳۰	آلودگی آب و هوا	۲۰	۰/۷۷	۶	۰/۲۳	۲۶	بلی
۳۱	آلودگی صوتی	۲۲	۰/۸۱	۵	۰/۱۹	۲۷	بلی
۳۲	مصرف انرژی	۱۸	۰/۷۵	۶	۰/۲۵	۲۴	بلی
۳۵	کارایی منابع	۹	۰/۴۳	۱۲	۰/۵۷	۲۱	خیر
۳۶	کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی	۱۹	۰/۷۳	۷	۰/۲۷	۲۶	بلی
۳۷	حمل‌ونقل سبز پایدار	۲۳	۰/۸۵	۴	۰/۱۵	۲۷	بلی
جمع بندی		۳۸۷		۱۲		۵۴۳	

نتایج مرحله سوم نشان داد که از بین ۲۲ شاخص وارد شده به این مرحله، ۷ شاخص حذف و ۱۵ شاخص باقیمانده به عنوان شاخص‌های نهایی وارد محاسبات خواهند شد. همچنین درصد اکثریت میانگین نظرات در مرحله سوم برابر با ۷۳٪ بدست آمد. (جدول۷،۸)

جدول شماره(۷): نرخ قطعی اجماع خبرگان در دور نهایی روش دلفی

دور چهارم دلفی(APMO)	
اکثریت موافقت	۳۸۸
بیشترین تعداد مخالفین	۳
کل نظرات بیان شده	۴۱۹
APMO	۰/۹۳
تعداد گزاره هایی که در دور نهایی حذف شدند	۲

جدول شماره (۸): آنالیز دور نهایی روش دلفی

ردیف	معیار	موافق		مخالف		کل نظرات بیان شده	اجماع
		تعداد	درصد	تعداد	درصد		
۲	افزایش سرویس حمل‌ونقل عمومی	۲۵	۰/۸۹	۳	۰/۱۱	۲۸	خیر
۳	کاهش تراکم و حجم ترافیک	۲۶	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۴	کاهش هزینه و زمان سفر (جابجایی)	۲۵	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۷	بلی
۷	کم کردن مسافت سفر(طول)	۲۶	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۸	کاهش هزینه مصارف انرژی و استهلاک	۲۶	۰/۹۰	۳	۰/۱۰	۲۹	خیر
۱۰	مقبول ترین هزینه (سیاست قیمت گذاری)	۲۷	۰/۹۶	۱	۰/۰۴	۲۸	بلی
۱۷	ایجاد فرصت های شغلی	۲۷	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۹	بلی
۱۸	تنوع در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی	۲۶	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۱۹	عدالت اجتماعی استفاده کتندگان	۲۵	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۷	بلی
۲۸	توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی	۲۵	۰/۹۳	۲	۰/۰۷	۲۷	بلی

ردیف	معیار	موافق		مخالف	کل نظرات	اجماع
۳۰	آلودگی آب و هوا	۲۶	۰/۹۳ ۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۳۱	آلودگی صوتی	۲۶	۰/۹۳ ۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۳۲	مصرف انرژی	۲۶	۰/۹۳ ۲	۰/۰۷	۲۸	بلی
۳۶	کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی	۲۷	۰/۹۳ ۲	۰/۰۷	۲۹	بلی
۳۷	حمل‌ونقل سبز پایدار	۲۵	۰/۹۳ ۲	۰/۰۷	۲۷	بلی
	جمع بندی	۳۸۸	۳		۴۱۹	

نتایج مرحله نهایی نشان داد که از بین ۱۵ شاخص وارد شده به این مرحله، ۲ شاخص حذف و ۱۳ شاخص باقیمانده به عنوان شاخص‌های نهایی وارد محاسبات روش پیشنهادی خواهند شد. همچنین لازم به ذکر است که درصد اکثریت میانگین نظرات در این مرحله که تایید نظرات گروه دلفی می‌باشد برابر با ۹۳ ٪ بدست آمد.

ه) محاسبات و تحلیل روش روش بهترین–بدترین (BWM)

با توجه به نتایج حاصل از محاسبات و تحلیل روش دلفی، ۱۳ معیار برگزیده ، وارد فرآیند رتبه‌بندی می‌شوند. بنابراین با استفاده از روش بدترین–بهترین در نرم افزار گمز به وزن دهی و رتبه‌بندی هریک از معیارها، براساس دسته‌بندی انجام شده در جدول ۹ پرداخته خواهد شد.(جدول ۹،۱۰)

جدول شماره(۹): معیارهای ورودی روش بهترین–بدترین

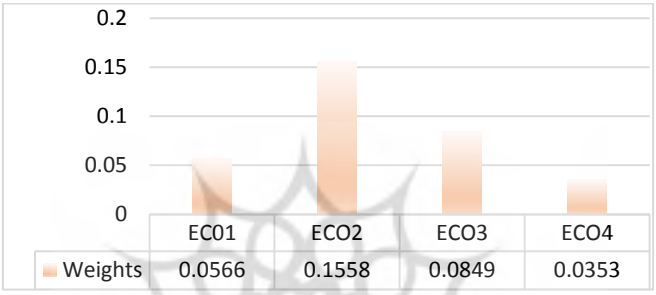
ردیف	دسته	معیار	شاخص
۱	اقتصادی (ECO)	کاهش تراکم و حجم ترافیک	ECO 1
۲		کاهش هزینه و زمان سفر (جابجایی)	ECO 2
۳		کم کردن مسافت سفر(طول)	ECO 3
۴		مقبول ترین هزینه (سیاست قیمت گذاری)	ECO 4
۵	اجتماعی (SO)	ایجاد فرصت های شغلی	SO 1
۶		تنوع در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی	SO 2
۷		عدالت اجتمای استفاده کنندگان	SO 3
۸		توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی	SO 4
۹	زیست محیطی (EN)	آلودگی آب و هوا	EN 1
۱۰		آلودگی صوتی	EN 2
۱۱		مصرف انرژی	EN 3
۱۲		کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی	EN 4
۱۳		حمل‌ونقل سبز پایدار	EN 5

جدول شماره(۱۰): وزن نهایی معیارهای حمل‌ونقل شهری پایدار با استفاده از روش بهترین–بدترین

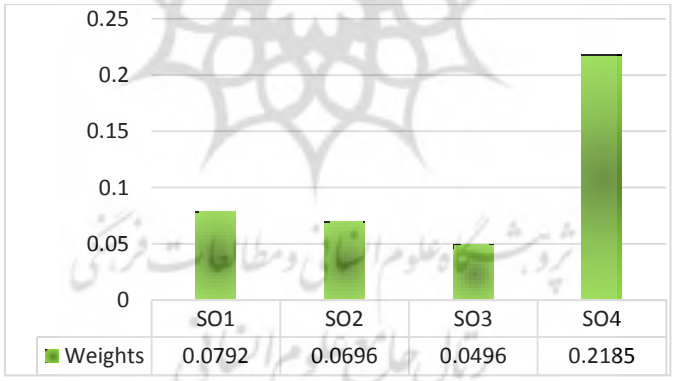
ردیف	دسته	وزن نسبی معیار اصلی	معیار	وزن نسبی زیر معیار	وزن کلی	ξ^{L^*}
۱	اقتصادی	۰/۳۳۳	ECO1	۰/۱۷۰	۰/۰۵۶۶	۰/۰۸۳
۲			ECO2	۰/۴۶۸	۰/۱۵۵۸	
۳			ECO3	۰/۲۵۵	۰/۰۸۴۹	
۴			ECO4	۰/۱۰۶	۰/۰۳۵۳	
۵	اجتماعی	۰/۴۱۷	SO1	۰/۱۹۰	۰/۰۷۹۲	۰/۰۴۳
۶			SO2	۰/۱۶۷	۰/۰۶۹۶	
۷			SO3	۰/۱۱۹	۰/۰۴۹۶	
۸			SO4	۰/۵۲۴	۰/۲۱۸۵	
۹	زیست محیطی		EN1	۰/۱۲۱	۰/۰۳۰۳	۰/۰۴۸

ردیف	دسته	وزن نسبی معیار اصلی	معیار	وزن نسبی زیر معیار	وزن کلی	ξ^{L^*}
۱۰			EN2	۰/۱۹۷	۰/۰۴۹۳	
۱۱			EN3	۰/۱۹۷	۰/۰۴۹۳	
۱۲		۰/۲۵۰	EN4	۰/۴۰۹	۰/۱۰۲۳	
۱۳			EN5	۰/۰۷۶	۰/۰۱۹۰	

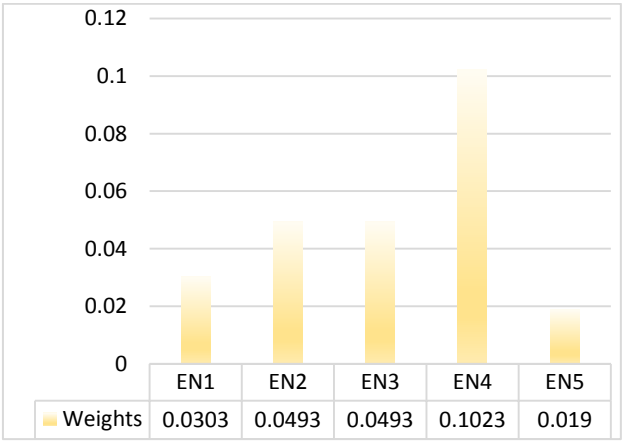
با توجه نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین–بدترین، مطابق با جدول ۱۰ و نمودارهای ۲،۳،۴ دیده می‌شود، درمیان معیارهای ۱۳گانه مورد بررسی ، معیار توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی (SO4)، معیار کاهش هزینه و زمان سفر (ECO2) و معیار کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی (EN4) به ترتیب بیشترین رتبه و اهمیت و معیار حمل‌ونقل سبز پایدار (EN5) از کمترین رتبه و اهمیت برخوردار است.(اشکال ۲،۳،۴).



شکل شماره(۲) : نمودار وزنی مربوط به معیارهای اقتصادی



شکل شماره(۳) : نمودار وزنی مربوط به معیارهای اجتماعی



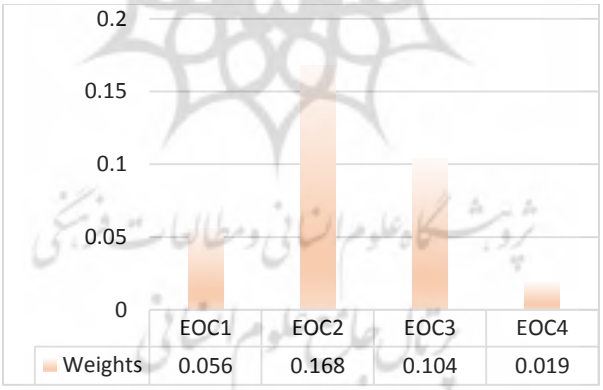
شکل شماره(۴) : نمودار وزنی مربوط به معیارهای زیست محیطی

و) محاسبات و تحلیل روش بهترین اولویت (OPA)

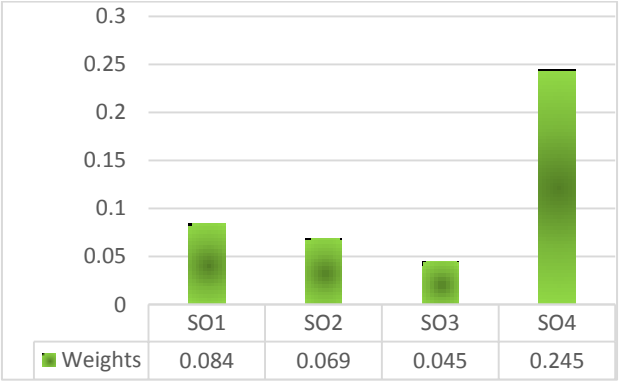
در این قسمت با استفاده از روش بهترین اولویت به وزن دهی و رتبه‌بندی هریک از معیارها با استفاده از نرم افزار گمز پرداخته خواهد شد که نتایج در جدول ۱۱ و نمودارهای ۵،۶،۷ نشان داده شده است. (جدول۱۱) و (اشکال ۵،۶،۷)

جدول شماره (۱۱): وزن نهایی معیارهای حمل‌ونقل شهری پایدار براساس روش OPA

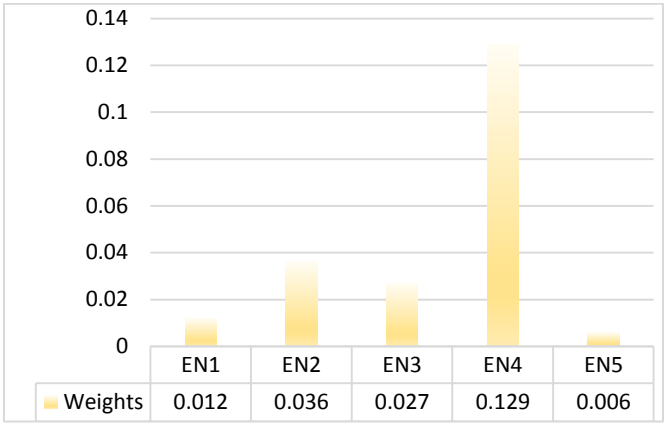
ردیف	دسته	معیار	وزن عامل	مقدارZ
۱	اقتصادی	ECO1	۰/۰۵۶	۰/۰۷۷
۲		ECO2	۰/۱۶۸	
۳		ECO3	۰/۱۰۴	
۴		ECO4	۰/۰۱۹	
۵	اجتماعی	SO1	۰/۰۸۴	
۶		SO2	۰/۰۶۹	
۷		SO3	۰/۰۴۵	
۸		SO4	۰/۲۴۵	
۹	زیست محیطی	EN1	۰/۰۱۲	
۱۰		EN2	۰/۰۳۶	
۱۱		EN3	۰/۰۲۷	
۱۲		EN4	۰/۱۲۹	
۱۳		EN5	۰/۰۰۶	



شکل شماره(۵) : نمودار وزنی مربوط به معیارهای اقتصادی



شکل شماره(۶) : نمودار وزنی مربوط به معیارهای اجتماعی



شکل شماره(۷): نمودار وزنی مربوط به معیارهای زیست محیطی

نتایج حاصل ، بر اساس جدول۱۱ و نمودارهای ۵،۶،۷، معیار توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی (SO4)، معیار کاهش هزینه و زمان سفر (ECO2) و معیار کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی (EN4) به ترتیب بیشترین رتبه و اهمیت و معیار حمل‌ونقل سبز پایدار (EN5) از کمترین رتبه و اهمیت برخوردار است همچنین با توجه به جدول ۱۱ مقدار تابع هدف(Z) برابر ۰/۰۷۷ بدست آمده است.

ز) مقایسه نتایج روش‌های BWM و OPA

مقایسه نتایج دو روش OPA و BWM با استفاده از روش‌های آماری در جدول ۱۲ ارائه شده است. برای تصمیم‌گیری جهت اینکه کدام روش نتایج بهتری ارائه داده است، روشی تعریف می‌شود که درجه‌بندی روش‌ها را با روش‌های دیگر مقایسه می‌کند. ضریب همبستگی اسپیرمن یکی از بهترین روش‌ها برای یافتن این مساله است که آیا بین دو متغیر رتبه ایی همبستگی وجود دارد یا خیر(راجو و کومار[۱۳]،۱۹۹۹). معادله (۱۸) برای محاسبه از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده می‌شود(عطایی و همکاران ،۲۰۲۰).

رابطه(۱۸)
$$r_S = 1 - \left[\frac{6 * \sum_{j=1}^{k} {d_j}^2}{k(k^2-1)}\right]$$

در معادله (۱۸)، K تعداد معیارها است، d_j تفاوت بین دو رتبه‌بندی است. پس از محاسبه نسبت r_s، عددی بین ۱− تا ۱+ خواهد بود. مقادیر نزدیک به ۱+ یا ۱− همیشه یک همبستگی قوی و مقادیر نزدیک به صفر همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهد(گیبونز و چاکرابورتی[۱۴]،۲۰۱۱).

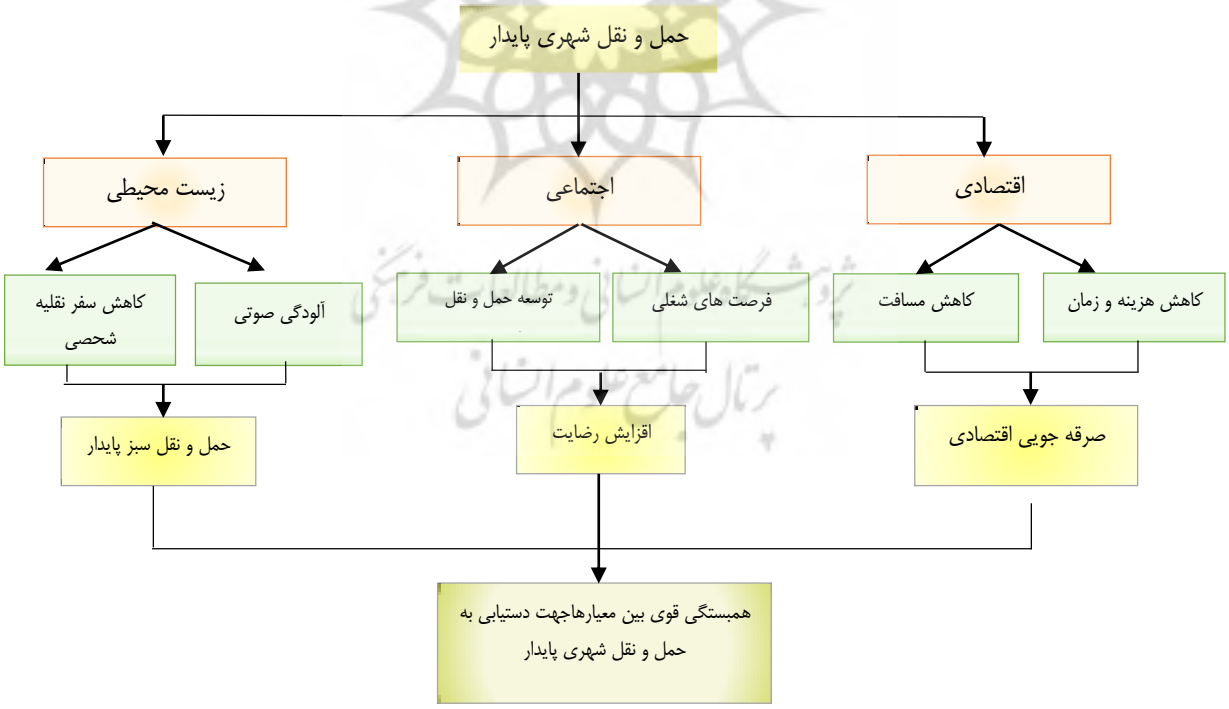
با توجه به نتایج حاصل از مقایسه دو روش BMW و OPA که در جدول ۱۲آمده است، نشان میدهد که رتبه های بدست آمده در هر دو روش یکسان می باشد بنابراین ضریب همبستگی اسپیرمن برابر یک است(عطایی و همکاران،۲۰۲) . همانطورکه می-دانیم اگر $r = 1$ باشد بیانگر وجود رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است، یعنی اگر یکی از متغیرها افزایش (کاهش) یابد، دیگری نیز افزایش (کاهش) می یابد و اگر $r = -1$ بیانگر وجود یک رابطه معکوس کامل بین دو متغیر است. در این مقایسه، چون همه مقادیر ۱+ هستند، بنابراین همبستگی قوی بین معیارها برقرار است و نیازی به استفاده از سایر روش‌ها برای مقایسه دو روش نیست. پس از بررسی وزنها مشخص شد که اوزان در دو روش یکسان نمیباشند. بنابراین ضریب همبستگی پیرسون، با استفاده از نرم افزار Spss جهت مقایسه وزنها محاسبه شد و میزان ۰/۹۸۹که نشان دهنده همبستگی بالا و نزدیک به ۱+ ، بدست آمد و مقدار معنی داری نیز صفر گردید. بنابراین رابطه معنی داری بین این دو متغیر وجود دارد. لذا رتبه بندی و وزن دهی در هر دو روش مورد قبول است (جدول ۱۲).

---

۱۳. Raju & Kumar
14. Gibbons & Chakraborti

جدول شماره(۱۲): مقایسه نتایج دو روش BMW و OPA

ردیف	دسته	معیار	روش BWM: وزن در دسته	روش BWM: رتبه در دسته	روش BWM: وزن کلی	روش BWM: رتبه	روش OPA: وزن	روش OPA: رتبه	r_s
۱	اقتصادی	ECO1	۰/۱۷۰	۳	۰/۰۵۶۶	۷	۰/۰۵۶	۷	
۲		ECO2	۰/۴۶۸	۱	۰/۱۵۵۸	۲	۰/۱۶۸	۲	
۳		ECO3	۰/۲۵۵	۲	۰/۰۸۴۹	۴	۰/۱۰۴	۴	
۴		ECO4	۰/۱۰۶	٤	۰/۰۳۵۳	۱۱	۰/۰۱۹	۱۱	
۵	اجتماعی	SO1	۰/۱۹۰	۲	۰/۰۷۹۲	۵	۰/۰۸۴	۵	
۶		SO2	۰/۱۶۷	۳	۰/۰۶۹۶	۶	۰/۰۶۹	۶	+۱
۷		SO3	۰/۱۱۹	٤	۰/۰۴۹۶	۸	۰/۰۴۵	۸	
۸		SO4	۰/۵۲۴	۱	۰/۲۱۸۵	۱	۰/۲۴۵	۱	
۹	زیست محیطی	EN1	۰/۱۲۱	٤	۰/۰۳۰۳	۱۲	۰/۰۱۲	۱۲	
۱۰		EN2	۰/۱۹۷	۳	۰/۰۴۹۳	۹	۰/۰۳۶	۹	
۱۱		EN3	۰/۱۹۷	۲	۰/۰۴۹۳	۱۰	۰/۰۲۷	۱۰	
۱۲		EN4	۰/۴۰۹	۱	۰/۱۰۲۳	۳	۰/۱۲۹	۳	
۱۳		EN5	۰/۰۷۶	۵	۰/۰۱۹۰	۱۳	۰/۰۰۶	۱۳	



شکل شماره (۸): نمودار سلسله مراتبی رتبه بندی معیارهای تاثیرگذار بر حمل و نقل شهری

شکل۸ مدل مفهومی پژوهش، که برگرفته از جدول ۱۲(مقایسه نتایج دو روش BMW و OPA) است را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱۲و شکل ۸، در هر کدام از ابعاد پایداری(اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی) دو معیار تاثیرگذار در حمل‌ونقل شهری پایدار، شناسایی شدند. لذا در بعد اقتصادی، معیارکاهش زمان و هزینه و کم کردن مسافت (طول سفر) به عنوان مهم ترین معیار انتخاب شدند زیرا موجب صرفه جویی اقتصادی میشوند . در بعد اجتماعی، ایجاد فرصت های شغلی و رفاه

و گسترش وتوسعه حمل و نقل عمومی انتخاب شدند زیرا رضایت اجتماعی را در پی دارند .در بعد زیست محیطی، معیار آلودگی صوتی و کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی ، مهم ترین معیار در این بعد انتخاب شدند.

۳- بحث و نتیجه گیری

شاخص‌های گوناگونی برای ارزیابی میزان پایداری شهرها مطرح شده که در این تحقیق سه شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار گرفتند. ارزیابی و رتبه‌بندی این شاخص‌ها این امکان را می دهد تا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بکارگیری ابزارهای مختلف موجود برای توسعه و گسترش پایداری در شهرها اقدامات مناسبی انجام گیرد و براساس میزان اهمیت و وزن شاخص و معیارها در مقایسه با سایرین رتبه‌بندی لازم صورت پذیرد. ابتدا معیارهای ارائه شده با بررسی تحقیقات پیشین، مطالعات کتابخانه‌ای و نظر خبرگان مورد ارزیابی و انتخاب قرارگرفت و در سه دسته اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی دسته‌بندی شدند. سپس وارد روش دلفی شده و با صرفه‌جویی در زمان و تعداد رفت و برگشت کمتری معیارهای ارزیابی، نهایی شدند. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات و تحلیل روش دلفی، ۱۳ معیار برگزیده که دارای اهمیت زیادی بر روی مسئله پژوهش دارند، با استفاده از روش بهترین-بدترین و روش بهترین اولویت، وارد فرآیند مرحله وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند.

نتایج تحلیل روش BWM نشان داد، معیار توسعه و گسترش حمل‌ونقل عمومی (SO4)، معیار کاهش هزینه و زمان سفر (ECO2) و معیار کاهش سفر با وسایل نقلیه شخصی (EN4) به ترتیب از بیشترین رتبه و اهمیت و معیار حمل‌ونقل سبز پایدار (EN5) از کمترین رتبه و اهمیت بر خوردار بودند . روش OPA نیز نتایج یکسانی همانند روش بهترین – بدترین ارایه داد و مقدار تابع هدف$Z=۰/۰۷۷$ بدست آمد. مقایسه نتایج دو روش OPA و BWM با استفاده از روش‌های آماری انجام شد و با توجه به اینکه رتبه‌بندی معیارها در هر دو روش یکسان شدند، ضریب همبستگی اسپیرمن۱+ شد، که نشان دهنده همبستگی قوی بین معیارها است،. ضریب همبستگی پیرسون نیز، با استفاده از نرم افزار Spss جهت مقایسه وزنها محاسبه و ۰/۹۸۹ بدست آمد .همچنین مقدار معنی داری صفر گردید. که نشان از همبستگی قوی بین متغیر ها است . لذا رتبه بندی و وزن‌دهی هر دو روش مورد قبول واقع شد.

٤- منابع

1. Abdullahi, H., Reyes-Rubiano, L., Ouelhadj, D., Faulin, J., & Juan, A. A. (2021). Modelling and multi-criteria analysis of the sustainability dimensions for the green vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research, 292*(1), 143-154.
2. Aboutalebi Esfahani, M., Haghshenas, H., & Mohammadhoseini, M. (2018). Assessing the impact of inland freight transport on sustainable transport indicators (Case study: Ahwaz city). *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, (In persian)
3. Alonso, A., Monzón, A., & Cascajo, R. (2015). Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities. *Ecological Indicators, 48*, 578-592.
4. Amanpour, S., Nemati, M., & Alizadeh, H. (2014). Assessment and Priority Surveying of Urban Transport Sustainability Indicators Using Fuzzy Logic (Case in Ahvaz). *Geographical Space, 4*(47), 213-231. (In persian)
5. Asgharizadeh, E., Jafar Nejad, A., Zandieh, M., & Jooybar, S. (2017). Explaining the Approach of Traffic Modeling to Vehicle Routing Issues Based on the Paradigm of Green Transportation (Case Study: ZAMZAM Co). *Journal of Industrial Management, 9*(2), 217 - 244. (In persian)
6. Asgharpour, M. J. (2008). Multi-criteria decision making. *Tehran: Tehran University Publications*. (In persian)
7. Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D.-F. (2020). Ordinal Priority Approach (OPA) in Multiple Attribute Decision-Making. *Applied Soft Computing, 86*, 105893.

8. Baharum, S., Haron, S., Ishak, S. Z., & Mansor, S. (2019). Sustainable Urban Bus Service Assessment and Tourists' Satisfaction. *Int. J Sup. Chain. Mgt Vol*, *8*(3), 570.
9. Batchelor, T., & Briffa, M. (2011). Fight tactics in wood ants: Individuals in smaller groups fight harder but die faster. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, *278*, 3243-3250.
10. Cheng, C., Yang, P., Qi, M., & Rousseau, L.-M. (2017). Modeling a green inventory routing problem with a heterogeneous fleet. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *97*, 97-112.
11. Cottam, H.-R., Roe, M., & Challacombe, J. (2004). Outsourcing of trucking activities by relief organisations.
12. Dündar, H., Ömürgönülşen, M., & Soysal, M. (2020). A review on sustainable urban vehicle routing. *Journal of Cleaner Production*, 125444.
13. Eskandarpour, M., Ouelhadj, D., & Fletcher, G. (2019). Decision making using metaheuristic optimization methods in sustainable transportation. *Sustainable Transportation and Smart Logistics*, 285-304.
14. Ezzati Arasteh Pour, F., Sohrabi, R., Samadi, A., & Rahbar, A. H. (2018). The Achievement of Sustainable Transport Future Using Scenario Planning (Case Study: Urban Transportation of Hamedan). *Journal of Transportation Research, 15*(3), 205-222. (In persian)
15. Gibbons, J. D., & Chakraborti, S. (2011). Nonparametric Statistical Inference. In M. Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 977-979). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
16. Guzman, L. A., de la Hoz, D., & Monzón, A. (2014). Optimal and Long-Term Dynamic Transport Policy Design: Seeking Maximum Social Welfare through a Pricing Scheme. *International Journal of Sustainable Transportation, 8*(4), 297-316.
17. Haghshenas, H., & Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological Indicators, 15*(1), 115-121.
18. Jahanshahloo, L., & Amini, E. (2006). *Urban planning and its role in achieving sustainable urban transportation*. Paper presented at the 7th International Conference on Transportation and Traffic Engineering. (In persian)
19. Jeon, C. M., Amekudzi, A. A., & Guensler, R. L. (2013). Sustainability assessment at the transportation planning level: Performance measures and indexes. *Transport Policy*, *25*, 10-21.
20. Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S.-M., & Ignatius, J. (2018). Adaptive large neighborhood search heuristic for pollution-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Soft Computing, 22*(9), 2851-2865.
21. Mehdinia, I., Mehdinia, M., & Shirazian, G. (2015). *Provide a method for assessing the sustainability of transportation in the social dimension*. Paper presented at the 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering. (In persian)
22. Mirzaaghaei, M., Hadipour, M., & Rahmani, M. (2015). *Presenting effective environmental factors and indicators in sustainable urban transportation (Case study: Qom city)*. Paper presented at the 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering. (In persian)
23. Mirzabaghi, M., Jolai, F., Razmi, J., & Tavakkoli-Moghaddam, r. (2021). Sustainable routing of heterogeneous vehicles with simultaneous pickup and delivery considering economic, environmental and social factors. *Journal of Transportation Research, 18*(1), 227-250. (In persian)
24. Mohammadi Dah Cheshmeh, P., & Mahdavi, D. (2019). Strategic planning for improvement of Shahrekord Transportation system placement by using a combination approaches of SWOT and QSPM. *Geography and Planning*, *23*(68), 245-264. (In persian)

25. Mostafazadeh, M., & Jafari, A. (2014). *Provide a multi-objective mathematical model for the design of a sustainable supply chain network taking into account inventory management*. Paper presented at the 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering. (In persian)
26. Nejadirani, F., & Zati, S. (2017). *Evaluation of sustainable and healthy city indicators with emphasis on urban transportation management strategies by AHP method; Case study of Urmia*. Paper presented at the International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Contemporary Iran. (In persian)
27. Piran, H. R., Saeedeh Zarabadi, Z. S., Ziari, Y., & Majedi, H. (2019). Explaining sustainable urban transport indicators using structural equations (Case study: Tehran Metro lines 1 and 2). *Geography (Regional Planning), 9*(2), 521-538. (In persian)
28. Pishvaee, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2014). An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: A case study of medical needle and syringe supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 67*, 14-38.
29. Raju, K. S., & Kumar, D. N. (1999). Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agricultural Systems, 62*(2), 117-129.
30. Rassafi, A., & Vaziri, M. (2005). Sustainable transport indicators: definition and integration. *International Journal of Environmental Science & Technology, 2*(1), 83-96.
31. Reisi, M., Aye, L., Rajabifard, A., & Ngo, T. (2014). Transport sustainability index: Melbourne case study. *Ecological Indicators, 43*, 288–296.
32. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega, 3*, 49-57.
33. Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega, 64*, 126-130.
34. Shiau, T.-A., & Liu, J.-S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological Indicators, 34*, 361-371.
35. Suryani, E., Hendrawan, R., Adipraja, P., & Indraswari, R. (2020). System dynamics simulation model for urban transportation planning: a case study. *International Journal of Simulation Modelling, 19*(1), 5-16.
36. Tian, Z., Zhong, R. Y., Vatankhah Barenji, A., Wang, Y., Li, Z., & Rong, Y. (2021). A blockchain-based evaluation approach for customer delivery satisfaction in sustainable urban logistics. *International Journal of Production Research, 59*(7), 2229-2249. (In persian)
37. Yousefinavid, M., Rahmani, A., & Ghorbankhani, M. (2015). *Evaluation and prioritization of sustainable transportation implementation strategies in the metropolis of Hamadan with the approach of sustainable urban development*. Paper presented at the 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering.
38. Zito, P., & Salvo, G. (2011). Toward an urban transport sustainability index: An European comparison. *European Transport Research Review, 3*.

The Identification and Ranking of the Indicators Affecting the Routing and Scheduling of Sustainable Urban Transportation Using Multi-Criteria Decisions

Shiba Masoumi
Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Seyyed Mohammad Hadji Molana (Corresponding author)
Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Email: molana@srbiau.ac.ir
Mehrdad Javadi
Department of Mechanical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Amir Azizi
Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract
The present study was carried out to evaluate and rank the indicators of urban transport sustainability using descriptive-analytical methodology and Delphi methods, best-worst and best priority. In order to achieve the indicators of sustainable transportation in three economic, social and environmental dimensions, the criteria were ranked based on library studies, and the opinion of experts, so as to finalize the criteria of great importance on the research issue to enter the Delphi method, and be used as the evaluation criteria to save time and the number of trips. The final criteria were entered into the weighting and ranking process using the best-worst method and the best priority method. The results of the two methods of best-worst and best priority were compared using statistical methods. Cconsidering that the ranking of the criteria was the same in both methods and the Spearman correlation coefficient was +1, so there is a strong correlation between the criteria. Also, the Pearson correlation coefficient between weights was 0.989 and the significance level was zero, which demonstrates a strong

relationship between variables. Therefore, ranking and weighting obtained from the two methods were accepted.
Keywords: Multi-criteria decision making, Ranking, Routing, Scheduling, Sustainable urban transportation.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی