فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و یکم، شماره ۸٤، بهار ۱٤۰۰، ص. ٦٦-٥٥

اولویت‌بندی راهکارهای کاهنده آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل شهری در شهر تهران با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور و پرومته

ام‌البنین رجبی، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

علی نادران (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی- مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

E-mail: naderan@srbiau.ac.ir

چکیده

آلودگی هوا یکی از معضلات کلان‌شهر تهران است و بخش حمل‌ونقل بیشترین سهم آن را در اختیار دارد. با وجود تمام اقدامات انجام‌شده در جهت کاهش آلودگی هوا، به دلیل شرایط اضطراری متعدد پیش‌آمده، اکثر تلاش‌ها تنها منجر به اقدامات کوتاه‌مدت و رفع موقت آن شده است. به دلیل اختلاف‌نظرهای عمده‌ای که در بین گروه‌های مختلف (مانند سازمان محیط‌زیست، شهرداری و ...) در جهت کاهش آلودگی هوا وجود دارد، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] می‌تواند به یکی از روش‌های ضروری برای مقایسه راهکارهای کاهنده آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل تبدیل شود. تحقیق حاضر با هدف اولویت‌بندی راهکارهای کاهنده آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل شهری در شهر تهران با روش ویکور و پرومته انجام شده است. جامعه آماری این پژوهش ٤٣ کارشناس از اساتید دانشگاه، کارشناسان معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، شرکت کنترل ترافیک تهران و شرکت کنترل کیفیت هوا تهران می‌باشند. در پرسشنامه این تحقیق تعداد ۲۱ راهکار کاهنده آلودگی هوا اولویت‌بندی شده‌اند. طبق نتایج به‌دست‌آمده راهکارهای استفاده از بی‌آرتی (BRT)، بهبود کارایی اتوبوس‌رانی از طریق طراحی شبکه‌های کارآمدتر و ایجاد انگیزه برای بهبود از طریق ایجاد رقابت و تجاری‌سازی، هوشمند سازی چراغ‌های راهنمایی، استفاده از سوخت پاک‌تر، ایجاد امکانات دوچرخه، پیاده‌رو کافی و ایمن برای سفرهای کوتاه، مؤثرترین راهکارها در کاهش آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل در شهر تهران می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، راهکار کاهش آلودگی هوا، حمل‌ونقل شهری، ویکور، پرومته

۱. مقدمه

آلودگی هوا یکی از معضلات کلان‌شهر تهران است و تخمین زده‌شده است که ۷۵ تا ۸۰ درصد آلودگی هوا مربوط به حمل‌ونقل است. طبق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۷ صدمه اقتصادی آلودگی هوا تهران بالغبر ٦,٢ میلیارد دلار در سال است. در طی سال‌های اخیر با رشد جمعیت شهری و رشد روزافزون تعداد خودروها، مشکلات ترافیکی و اتلاف زمان در ترافیک غیرقابل‌اجتناب است. در سال ۱۳۷۹ "برنامه جامع مبارزه با آلودگی هوا تهران" طراحی و تصویب شد تا طبق این برنامه ظرف مدت ۱۰ سال هوای پایتخت به کیفیت سالم و قابل‌تنفس برسد. این برنامه شامل هفت محور بود: استانداردسازی خودروهای نو، از رده خارج کردن خودروهای فرسوده، ارتقای حمل‌ونقل عمومی، بهبود کیفیت سوخت، معاینه فنی خودروها، مدیریت ترافیک و آموزش همگانی. در پی آن در پاییز ۱۳۸٦ "طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران" تهیه و تصویب شد؛ اما در اثر آلودگی هوایی که در کشور ایران در سال ۱۳۸۹ به وجود آمد، حداقل ٤۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند. کیفیت هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ به ترتیب ۳٤۳،۳۳۰،۳۲۷، ۳۵۱ و ۳۵۲ روز از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران[۲] (AQI>100) بیشتر بود. بر طبق گزارش شهرداری تهران در سال ۱۳۹٦ در مقایسه با سال ۱۳۹۵، ۲۰ روز بر تعداد روزهای نامطلوب افزوده‌شده است . هرکدام از راهکارهای به‌کاررفته جهت کاهش آلودگی هوا دارای هزینه و فایده‌های متفاوتی است. راهکارهای مختلف جهت کاهش آلودگی هوا می‌تواند معیارهای خاصی را دنبال کند و می‌تواند اثرات متفاوتی را به سیستم حمل‌ونقل، محیط‌زیست و اقتصاد وارد سازد درنتیجه کارشناسان ادارات مختلف و حتی کارشناسان در یک اداره حمل‌ونقل با توجه به معیارهای خود، نظرات متفاوتی را برای کاهش آلودگی هوا دارند؛ بنابراین واضح است که سازمان‌ها در تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی راهکارهای ارائه‌شده کاهش آلودگی هوا با مشکل مواجه شوند.

روش‌های تحلیلی نظیر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌تواند برای تعیین ارزش واقعی گزینه‌ها به کمک تصمیم گیران آید. همچنین به دلیل اختلاف‌نظرهای عمده‌ای که در بین گروه‌های مختلف (مانند شرکت‌ها، سازمان‌ها و غیره) وجود دارد، می‌تواند به یکی از روش‌های ضروری برای مقایسه گزینه‌های موجود در حیطه حمل‌ونقل، دولت و ... تبدیل شود. در این پژوهش فهرست جامعی از راهکارهای کاهنده آلودگی هوا و معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری متناسب با شرایط کشور تهیه خواهد شد و از دو روش ویکور و پرومته[۳]- از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره - اولویت‌بندی می‌گردند.

۱-۱ نوع، روش و ابزار گردآوری داده‌های پژوهش

نوع پژوهش حاضر بر اساس هدف کاربردی و بر اساس نحوه گردآوری داده توصیفی- پیمایشی است. درباره پیشینه موضوع و شناخت مبانی نظری تحقیق از طریق مقالات داخلی و خارجی، کتب و اینترنت مطالعاتی صورت گرفت و گزینه‌ها (راهکارها) کاهنده آلودگی هوا و معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری علاوه بر مطالعات کتابخانه‌ای، از طریق نظرسنجی و مصاحبه با خبرگان و متخصصان جمع آوری شده است. سپس با استفاده از پرسشنامه داده‌های موردنیاز پژوهش جمع آوری شده است.

۲. ادبیات پژوهش

انجمن مشترک مهندسین آلودگی هوا و کنترل آن[٤]، آلودگی هوا را به‌صورت زیر تعریف نموده است:

"آلودگی هوا عبارت از وجود یک یا چند آلاینده در هوای آزاد مانند گازها، بخارات، گردوغبار، بو، دود غلیظ و میست با کمیت، مشخصات و زمان ماند کافی که برای زندگی انسان، حیوان و گیاه خطرناک و برای اموال مضر باشد و یا به‌طور غیرقابل‌قبول مانع استفاده راحت از زندگی و اموال گردد".

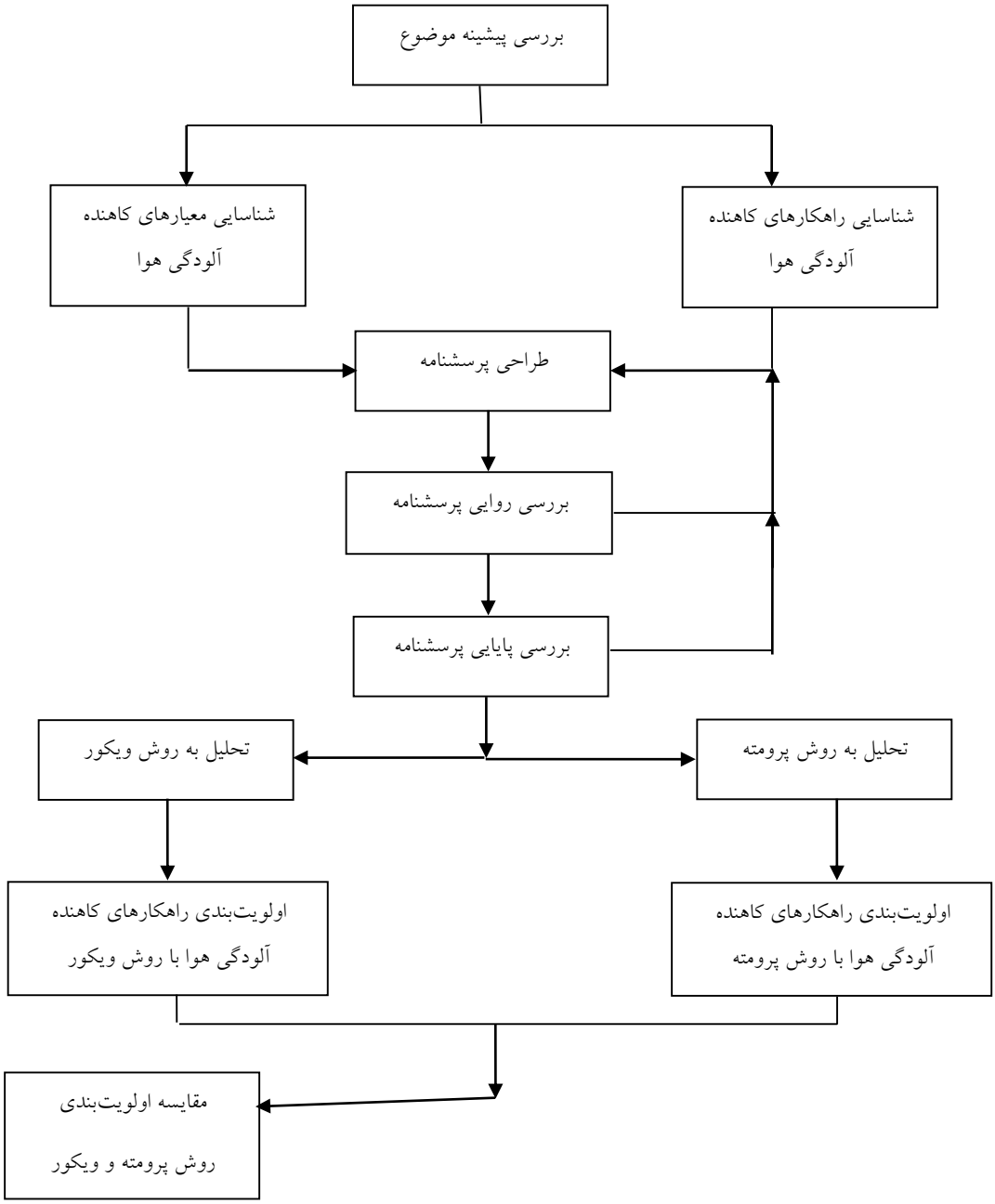
آلاینده‌های هوا بر اساس منبع به دو گروه کلی آلاینده‌های منتشره از منابع طبیعی و آلاینده‌های منتشره از منابع مصنوعی تقسیم‌بندی می‌شوند و بر اساس روش نشر به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند: منابع متحرک: به سه دسته شامل خودروهای سبک (خودروی سواری و وانت)، موتورسیکلت‌ها و وسایل نقلیه دیزلی تقسیم می‌شود که وسایل نقلیه دیزلی شامل اتوبوس‌ها، مینی‌بوس‌ها و وسایل نقلیه دیزلی سنگین است.

منابع ثابت: به سه بخش منابع سطحی، دودکش‌های فرآیندی و دودکش‌های بلند تقسیم می‌شوند.

آلاینده‌های هوا شامل: کربن و اکسیدهای کربن، هیدروکربن‌ها، سرب، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدان‌های فتوشیمیایی (مانند ازن)، اکسیدهای گوگرد، ذرات معلق است.

۳. روش پژوهش

ساختار انجام این پژوهش به‌صورت فلوچارت زیر است:



با مروری بر پیشینه پژوهش و مبانی نظری آن و استفاده از نظرات کارشناسان خبره، ۲۱ راهکارهای کاهنده آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل و معیارهای مؤثر بر آنها جمع‌آوری گردید که عبارت‌اند از:

۳-۱ روش‌های کاهنده از جهت زیرساخت حمل‌ونقل

۱- اعمال ممیزی‌های کیفیت هوا بر روی پروژه‌های حمل‌ونقل

۲- بهبود کارایی اتوبوس‌رانی از طریق طراحی شبکه‌های کارآمدتر و ایجاد انگیزه برای بهبود از طریق ایجاد رقابت و تجاری‌سازی

۳- احداث راه‌های جدید، پل‌ها، تونل‌ها و زیرگذرها

٤- توسعه خط مترو

۵- ایجاد امکانات دوچرخه، پیاده‌رو کافی و ایمن برای سفرهای کوتاه

٦- هوشمند سازی چراغ‌های راهنمایی که باعث کاهش انتشار گازهای خروجی می‌شود

۷- سایر موارد در استفاده از سیستم حمل‌ونقل هوشمند

۸- اجرای طرح تردد نوبتی

۳-۲ روش‌های کاهنده از جهت سیاست‌های مالی

۱- مالیات بر سوخت

۲- پرداخت عوارض سنگین برای ورود خودروها به مرکز شهر و مناطق شلوغ شهر

۳- ممنوعیت پارک کردن رایگان در خیابان‌هایی با تراکم بالا

٤- سایر موارد در افزایش هزینه استفاده از خودروهای شخصی

۳-۳ روش‌های کاهنده از جهت بازرسی و نگهداری

۱- مراکز معاینه فنی با تجهیزات مدرن

۲- تشکیل دوره‌های آموزشی برای بهبود تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه

۳-٤ روش‌های کاهنده از جهت کیفیت سوخت

۱- استفاده از سوخت پاک‌تر

۲- اعمال شدیدتر استانداردهای انتشار بر روی خودروهای جدید

۳- استفاده از فیلتر و مبدل‌های کاتالیزوری در خودروها

۳-۵ روش‌های کاهنده از جهت استفاده از انواع وسایل نقلیه

۱- استفاده از بی آر تی (BRT)

۲- استفاده از خودرو هیبریدی

۳- استفاده از خودرو الکتریکی

٤- از رده خارج کردن خودروهای فرسوده

پس‌ازاین مرحله با نظر خبرگان ۷ معیار به شرح زیر تعیین گردید تا اهمیت راهکارها بر اساس این معیارها سنجیده شود.

۱- هزینه بهره‌برداری ۲- اثربخشی ۳- مقبولیت اجتماعی ٤- ریسک ۵- سرمایه‌گذاری ٦- سهولت (قابلیت اجرایی) ۷- زمان بازدهی

سپس با تهیه پرسشنامه، نظرات افراد در خصوص تأثیرات ۲۱ راهکار بر روی ۷ معیار ذکرشده، با استفاده از طیف لیکرت ۵ تایی (خیلی کم تا خیلی زیاد) اخذ گردید. ٤۳ پرسشنامه از اساتید دانشگاه، کارشناسان معاونت سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، شرکت کنترل ترافیک تهران و شرکت کنترل کیفیت هوا تهران، دریافت شد. هم‌چنین برای تعیین اهمیت معیارهای ذکرشده، پرسشنامه‌ای تهیه و بین همان کارشناسان توزیع و دریافت شد تا بتوان وزن نهایی معیارها را تعیین کرد و مقدار آلفای کرونباخ پرسشنامه این پژوهش ۰/۹۱۵ است که بالاتر از حداقل مقدار قابل‌قبول برای پایایی یعنی ۰/۷ است و ازآنجاکه پرسشنامه این پژوهش، مبتنی بر مقالات و پژوهش‌های داخلی و نظرات متخصصان تدوین گردیده، لذا می‌توان بیان نمود که پرسشنامه مذکور از روایی مناسبی برخوردار است.

جدول ۱. سمت کارشناسان

سمت	تعداد	درصد فراوانی
کارشناس در سازمان و معاونت حمل‌ونقل و ترافیک	۲۰	٤٦/٥
کارشناس در شرکت کنترل ترافیک تهران	۱۰	۲۳/۳
کارشناس در شرکت کنترل کیفیت هوای تهران	۱۰	۲۳/۳
استاد دانشگاه	۳	۷
مجموع	٤۳	۱۰۰

۳-٦ تعیین بردار وزن معیارها

پس از دریافت پرسشنامه معیارها، ابتدا وزن تخصیص داده‌شده بابت اهمیت معیارها نرمال گشته به‌گونه‌ای که جمع وزن هفت معیار برابر با عدد یک (واحد) شود. لازم به توضیح است با توجه به اینکه وزن معیارها مستقل از شاخص‌ها (راهکارها) است، لذا کلیه شاخص‌ها برای هر خبره دارای وزن یکسان می‌باشند. سپس از وزن معیارها میانگین گرفته می‌شود.

جدول ۲. میانگین اوزان معیارها (بردار وزن)

زمان بازدهی	سهولت (قابلیت اجرایی)	سرمایه‌گذاری	ریسک	مقبولیت اجتماعی	اثربخشی	هزینه بهره‌برداری	معیار
۰,۱۳٥۱٤	۰,۱٤۰۱۹	۰,۱٤۱۹٥	۰,۱۱۰۹٥	۰,۱٤٥٤۰	۰,۱۸٥۳٦	۰,۱٤۱۰۰	وزن

۳-۷ تحلیل راهکارها با استفاده از روش ویکور

اپریکوویک و تزنگ[٥] ۱۹۸۸ روش VIKOR را ارائه و در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ آن را توسعه دادند. این روش مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است، مسائلی که معیارهای نامتناسب و ناسازگار را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی آن نباشد، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود.

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

x_{mn} عملکرد گزینه m در رابطه با معیار n می‌باشد.

گام دوم: بی مقیاس سازی (نرمال‌سازی) ماتریس تصمیم

$$f = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

f : درایه بی‌بعد ماتریس تصمیم

گام سوم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار

$$f_j^* = \operatorname{Max}_i f_{ij}$$

$$f_{j^-} = \operatorname{Min}_i f_{ij}$$

گام چهارم: محاسبه مقدار سودمندی (S) و مقدار تاسف (R)

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

w_j: مقدار وزن موردنظر برای معیار j

گام پنجم: محاسبه شاخص ویکور Q

$$Q_i = \left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}\right]$$

$$S^- = MinS_i \quad S^* = MaxS_i \quad R^- = MinR_i \quad R^* = MaxR_i$$

گام ششم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر Q، S، R

در این مرحله مقادیر در سه گروه Q، R،S از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند. درنهایت گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌گردد که در هر سه گروه به‌عنوان گزینه برتر شناخته شود.

جدول ۳. ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس شده با معیارهای مثبت

	هزینه بهره‌برداری	اثربخشی	مقبولیت اجتماعی	ریسک	سرمایه‌گذاری	سهولت (قابلیت اجرایی)	زمان بازدهی
راهکار ۱	۰,۷۷۸۹۶	۰,۲۰۵۶۵	۰,۲۱۶۸۳	۰,۷۸۶۱۱	۰,۷۹۲۱۳	۰,۲۳۰۷۹	۰,۷۵۹۵۸
راهکار ۲	۰,۷۶۵۳٤	۰,۲۳۵٤۳	۰,۲۵۷۳۸	۰,۸۰۳۲۹	۰,۷٦٦۵۲	۰,۲٤۵٦۳	۰,۷۷۳۵۱
راهکار ۳	۰,۷۳۹٦۰	۰,۱٦٤۵۲	۰,۲٤۰۲۳	۰,۷۲٦۹۰	۰,۷۲۱۳۳	۰,۱۸۲۹۸	۰,۷۳۸٦۷
راهکار ٤	۰,۷۰٤۷۸	۰,۲۸۳٦۵	۰,۳۰۸۸٦	۰,۸۲٤۳۰	۰,۷۰۰۲٤	۰,۱۹۹٤۷	۰,۷۳۳٤٤
راهکار ۵	۰,۸۳٤۹۸	۰,۱۸۷۲۱	۰,۲۱۰۵۹	۰,۸۰۷۱۱	۰,۸۲۳۷٦	۰,۲۲٤۱۹	۰,۷۹۹٦۵
راهکار ٦	۰,۸٤٤۰٦	۰,۱۷۵۸۷	۰,۲۱٦۸۳	۰,۷۹۳۷۵	۰,۸۳٤۳۰	۰,۲٤۲۳۳	۰,۷۹۰۹٤
راهکار ۷	۰,۷۵۹۲۸	۰,۲٤۵۳٦	۰,۲٤۸۰۲	۰,۷۷۲۷٤	۰,۷٦٦۵۲	۰,۲۳۷۳۸	۰,۷۵٤۳۵
راهکار ۸	۰,۸۰۹۲٤	۰,۱۷۳۰۳	۰,۱٤۳۵۱	۰,۷۵۱۷۳	۰,۸۳۷۳۲	۰,۲۲۹۱٤	۰,۸۱۸۸۱
راهکار ۹	۰,۸٤۸٦۰	۰,۱۷۱٦۱	۰,۱۰۱۳۹	۰,۷٤۹۸۲	۰,۸٦٤٤۳	۰,۲۰٤٤۱	۰,۸۰۱۳۹
راهکار ۱۰	۰,۸۳۱۹۵	۰,۱۹۰۰۵	۰,۱۲٦۳۵	۰,۷٤۲۱۸	۰,۸۳۷۳۲	۰,۲۰۲۷٦	۰,۷۹۲٦۸
راهکار ۱۱	۰,۸۳۹۵۲	۰,۱۸۱۵٤	۰,۱۲۱٦۷	۰,۷٦۵۱۰	۰,۸۲۳۷٦	۰,۲۰٤٤۱	۰,۷۹۹٦۵
راهکار ۱۲	۰,۸۳۳٤٦	۰,۲۱۵۵۸	۰,۱۲۰۱۱	۰,۷٤۰۲۷	۰,۸۲۰۷۵	۰,۲۰٦۰٦	۰,۸۰۳۱۳
راهکار ۱۳	۰,۷۷۷٤۵	۰,۲۱۷۰۰	۰,۲۰۷٤۷	۰,۸۰۱۳۸	۰,۷۸۳۰۹	۰,۲۲۹۱٤	۰,۷۷۳۵۱
راهکار ۱٤	۰,۸۳۱۹۵	۰,۱۷۵۸۷	۰,۱۹۹٦۷	۰,۸۰۵۲۰	۰,۸۳۵۸۱	۰,۲۲۰۹۰	۰,۷۹۷۹۱
راهکار ۱۵	۰,۷٤۷۱۷	۰,۲٤۹٦۲	۰,۲٦۰۵۰	۰,۸۲٤۳۰	۰,۷٤٦۹٤	۰,۱۸۹۵۸	۰,۷۸۷٤۵
راهکار ۱٦	۰,۷٦٦۸۵	۰,۲٤۸۲۰	۰,۲۳۷۱۱	۰,۷۹۷۵٦	۰,۷۷۸۵۷	۰,۲۰۲۷٦	۰,۷۸۲۲۳
راهکار ۱۷	۰,۷۸٦۵۳	۰,۲۲٦۹۲	۰,۲۲٤٦۳	۰,۷۸٦۱۱	۰,۷۸۷٦۱	۰,۲۲۹۱٤	۰,۷۹۰۹٤
راهکار ۱۸	۰,۷۷۱۳۹	۰,۲٤۲۵۲	۰,۲۵۸۹٤	۰,۸۱۰۹۳	۰,۷٦۳۵۱	۰,۲۵۲۲۲	۰,۷۸۲۲۳
راهکار ۱۹	۰,۷۳۲۰۳	۰,۲٤۱۱۱	۰,۲۵٤۲٦	۰,۷۸۰۳۸	۰,۷٤۲٤۲	۰,۲۰٦۰٦	۰,۷۹۲٦۸
راهکار ۲۰	۰,۷۳۰۵۱	۰,۲٤۲۵۲	۰,۲٤۸۰۲	۰,۷۷٦۵٦	۰,۷۳٦۳۹	۰,۲۰۷۷۱	۰,۷۹٤٤۲
راهکار ۲۱	۰,۷۷۱۳۹	۰,۲۵۳۸۷	۰,۲۳۲٤۳	۰,۸۰۹۰۲	۰,۷٤۸٤٤	۰,۲۱۹۲۵	۰,۷۷۱۷۷

جدول ٤. مرتب کردن مقادیر S، R و Q از نزولی به صعودی

گزینه	مقدار S	گزینه	مقدار R	گزینه	مقدار Q
راهکار ١٨	٠,٣٣٥٠٧	راهکار ٢	٠,٠٨٤٦٥	راهکار ١٨	٠,٠١٢٩٣
راهکار ٦	٠,٣٦١٦٧	راهکار ١٨	٠,٠٨٧٢٦	راهکار ٢	٠,٠٥٠٦٠
راهکار ٥	٠,٣٧٤١١	راهکار ١٧	٠,٠٨٨٢٧	راهکار ١٧	٠,٠٩٠٨٠
راهکار ٢	٠,٣٨٦٣٨	راهکار ١٦	٠,١٠٠١٤	راهکار ٢١	٠,١٧٥٦٦
راهکار ١٤	٠,٤٠٣٥٨	راهکار ٢١	٠,١٠٠٢٨	راهکار ١٦	٠,١٨٨٦٠
راهکار ١٧	٠,٤٠٨٩٤	راهکار ٧	٠,١٠٢٠٥	راهکار ٧	٠,٢١٤٧٦
راهکار ٢١	٠,٤٣٤٥١	راهکار ١٣	٠,١٠٣٧١	راهکار ١٣	٠,٢١٧٢٦
راهکار ١٦	٠,٤٤٨٣٥	راهکار ١٩	٠,١١٤٢٨	راهکار ١٩	٠,٣١٨٧٤
راهکار ١٣	٠,٤٥٩٤٠	راهکار ٢٠	٠,١١٥٧٧	راهکار ٢٠	٠,٣٣٣١٢
راهکار ١٥	٠,٤٦٤٣٦	راهکار ١	٠,١٢١٣٧	راهکار ١٥	٠,٣٣٦٩٦
راهکار ٧	٠,٤٦٥٢٦	راهکار ١٥	٠,١٢٦٨٤	راهکار ١	٠,٣٤٢٣١
راهکار ٨	٠,٤٧٩٤٤	راهکار ١٢	٠,١٣٢٢٨	راهکار ٥	٠,٣٦٣٢١
راهکار ١	٠,٤٩٧٣٣	راهکار ٤	٠,١٤١٩٥	راهکار ١٢	٠,٤٠٣٨٨
راهکار ١٢	٠,٥٠٤٨٢	راهکار ١٠	٠,١٤٥٦٤	راهکار ٦	٠,٤٣٨٥٩
راهکار ١٩	٠,٥٠٩١٠	راهکار ٥	٠,١٥٠٠٥	راهکار ٤	٠,٤٧١٧١
راهکار ٢٠	٠,٥١٦٢٢	راهکار ١١	٠,١٥٨٨٨	راهکار ١٤	٠,٤٧٩٩١
راهکار ٤	٠,٥٢٤٩١	راهکار ١٤	٠,١٦٧٧١	راهکار ١٠	٠,٥١٣١٦
راهکار ١١	٠,٥٢٨٧٢	راهکار ٦	٠,١٦٧٧١	راهکار ١١	٠,٥٥٩٥١
راهکار ٩	٠,٥٢٨٩٥	راهکار ٨	٠,١٧٢١٢	راهکار ٨	٠,٥٧٦٦٤
راهکار ١٠	٠,٥٤٨٣٧	راهکار ٩	٠,١٧٤٣٣	راهکار ٩	٠,٦٣٦٤٣
راهکار ٣	٠,٨٤٢٠٦	راهکار ٣	٠,١٨٥٣٦	راهکار ٣	١,٠٠٠٠٠

جدول ۵. رتبه‌بندی راهکارهای کاهنده آلودگی هوا با استفاده از روش ویکور

رتبه	گزینه	شرح راهکار
۱	راهکار ۱۸	استفاده از بی آر تی (BRT)
۲	راهکار۲	بهبود کارایی اتوبوس‌رانی از طریق طراحی شبکه‌های کارآمدتر و کنترل هزینه‌ها و ایجاد انگیزه برای بهبود از طریق ایجاد رقابت و تجاری‌سازی

۳-۸ تحلیل راهکارها با استفاده از روش پرومته

این روش در سال ۱۹۸۵ توسط وینک و برنس[۶] طراحی و در سال ۱۹۹٤ توسط همکارانش توسعه داده شد. این روش یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که بر پایه‌ی مقایسه‌ی یک گزینه با بقیه‌ی گزینه‌ها بناشده است. روش پرومته تلاش می‌کند با استفاده از دو واژه آستانه برتری (p) و آستانه بی‌تفاوتی (q) گزینه‌ها را از بهترین به بدترین رتبه‌بندی کند. به دلیل خاصیت ریاضی و سهولت استفاده از آن، جزء روش‌های پر استقبال قرار گرفته است.

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم و تعیین بردار وزن معیارها

در این قسمت برای ماتریس تصمیم‌گیری و بردار وزن معیارها از مقادیر به‌دست‌آمده در روش ویکور استفاده می‌گردد.

گام دوم: محاسبه فاصله هر گزینه از سایر گزینه‌ها (D_j)

$$d_j(a,b)=f_j(a)-f_j(b)$$

$f_j(a)$ و $f_j(b)$: ارزیابی دو گزینه a و b ازنظر معیار j

گام سوم: تعیین توابع برتری

جدول ٦. انواع توابع برتری و پارامترهای روش پرومته

مقادیر تجربی p,q	پارامترهای شرطی	مقادیر تابع p(d)	تابع برتری	معیار
	d=0	۰	۲	مقبولیت
	d>0	۱		
P برابر میانگین D_j گزینه‌ها به‌اضافه q =۰,۰۵۰٦۵	d<p	d/p	۳	اثربخشی ریسک سهولت
	d>p	۱		
q برابر انحراف معیار D_j گزینه‌ها =۰,۰۳۱۳٤	d<q	۰	٤	هزینه بهره‌برداری زمان بازدهی
	q<d<p	۵.۰		
	d>p	۱		
	d<q	۰	۵	سرمایه‌گذاری
	q<d<p	(d-q)/(p-q)		
	d>p	۱		

گام چهارم: محاسبه $\pi(a,b)$ و $\pi(b,a)$

$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} P_j(a,b)W_j \quad , b \in A$

$P_j(a,b)$: مقادیر روابط برتری گزینه a بر b بر اساس معیار j

W_j: وزن معیار j

$$\pi(b,a) = \sum_{j=1}^{k} P_j(b,a)W \qquad b \in A_j$$

گام پنجم: محاسبه جریان ورودی و جریان خروجی و جریان کل

جریان خروجی گزینه a

$$\forall x \in A \rightarrow \varphi^{+} = \frac{\sum \pi(a,x)}{n-1}$$

جریان ورودی گزینه a

$$\forall x \in A \rightarrow \varphi^{-} = \frac{\sum \pi(x,a)}{n-1}$$

n: تعداد گزینه‌ها

$$\forall x \in A \rightarrow \varphi(x) = \varphi^{+}(x) - \varphi^{-}(x)$$

اگر $\varphi(a) > \varphi(b)$، ینه a بر گزینه b برتر است. اگر $\phi(a)=\phi(b)$ ، گنه a با گزینه b یکسان است. بدین‌صورت گزینه‌ها بر اساس جریان کل صعودی به نزولی ، رده‌بندی می‌شوند.

جدول ۷. محاسبه جریان‌های خروجی و ورودی و کل و اولویت‌بندی گزینه‌ها

گزینه	$\sum \pi(a,x)$	$\sum \pi(x,a)$	$\varphi^{+}(x)$	$\varphi^{-}(x)$	$\varphi(x)$	رتبه‌بندی
A۱	٤,٦٦٢٥٣	٦,٠٢٩٢٧	٠,٢٣٣١٣	٠,٣٠١٤٦	٠,٠٦٨٣٤-	۱۷
A۲	٧,٤٠٣١٧	٣,١٦٨٧٠	٠,٣٧٠١٦	٠,١٥٨٤٣	٠,٢١١٧٢	۲
A۳	١,٩٦٠٧١	١٢,٩١٧٥٥	٠,٠٩٨٠٤	٠,٦٤٥٨٨	٠,٥٤٧٨٤-	۲۱
A٤	٧,٨٥٠٩٦	٧,٩٤٩٩٤	٠,٣٩٢٥٥	٠,٣٩٧٥٠	٠,٠٠٤٩٥-	۱۱
A٥	٦,٦٥٧٥١	٤,٤٢٥٠٠	٠,٣٣٢٨٨	٠,٢٢١٢٥	٠,١١١٦٣	۵
A٦	٧,٤٧٧٠٩	٤,٣١٤٠١	٠,٣٧٣٨٥	٠,٢١٥٧٠	٠,١٥٨١٥	۳
A٧	٥,٩٧٩٢٥	٤,٩١٨٦٤	٠,٢٩٨٩٦	٠,٢٤٥٩٣	٠,٠٥٣٠٣	۹
A٨	٥,٤٤٨٢٠	٦,٥١٧٥١	٠,٢٧٢٤١	٠,٣٢٥٨٨	٠,٠٥٣٤٧-	۱۵
A٩	٤,٦١٩٣٠	٧,٧٥١٩٥	٠,٢٣٠٩٧	٠,٣٨٧٦٠	٠,١٥٦٦٣-	۲۰
A١٠	٤,٧٧٧١٥	٧,٠٧٤٣٨	٠,٢٣٨٨٦	٠,٣٥٣٧٢	٠,١١٤٨٦-	۱۸
A١١	٤,٥٦٠٣٣	٦,٨٥٨٢١	٠,٢٢٨٠٢	٠,٣٤٢٩١	٠,١١٤٨٩-	۱۹
A١٢	٥,١٣٣١٣	٦,٤١٢١٥	٠,٢٥٦٦٦	٠,٣٢٠٦١	٠,٠٦٣٩٥-	۱۶
A١٣	٤,٨٢٣٣٦	٥,٤٢٧٣٤	٠,٢٤١١٧	٠,٢٧١٣٧	٠,٠٣٠٢٠-	۱۳
A١٤	٦,٢٧٣٣٩	٥,٠٢٧٥٢	٠,٣١٣٦٧	٠,٢٥١٣٨	٠,٠٦٢٢٩	۸
A١٥	٦,٨٦٩٩٣	٤,٥٤٩٩٤	٠,٣٤٣٥٠	٠,٢٢٧٥٠	٠,١١٦٠٠	٤

گزینه	$\sum \pi(a,x)$	$\sum \pi(x,a)$	$\varphi^+(x)$	$\varphi^-(x)$	$\varphi(x)$	رتبه‌بندی
A۱٦	٥,٥٤٣٧٧	٤,٦٢٠٩٢	٠,٢٧٧١٩	٠,٢٣١٠٥	٠,٠٤٦١٤	١٠
A۱۷	٦,٠٣٠٦٩	٤,٢٤٧٨١	٠,٣٠١٥٣	٠,٢١٢٣٩	٠,٠٨٩١٤	٦
A۱۸	٨,٢٧٥١٩	٢,٨٥٩٢٠	٠,٤١٣٧٦	٠,١٤٢٩٦	٠,٢٧٠٨٠	١
A۱۹	٥,٣٠٤٤٤	٥,٤٧٥٧٨	٠,٢٦٥٢٢	٠,٢٧٣٧٩	-٠,٠٠٨٥٧	١٢
A۲۰	٤,٩٨٠٨١	٥,٧٧٤٤٦	٠,٢٤٩٠٤	٠,٢٨٨٧٢	-٠,٠٣٩٦٨	١٤
A۲۱	٦,٠٨٩٦٨	٤,٤٠٠٣١	٠,٣٠٤٤٨	٠,٢٢٠٠٢	٠,٠٨٤٤٧	٧

جدول ۸. اولویت‌بندی گزینه‌های پژوهش با استفاده از روش پرومته

رتبه‌بندی	گزینه‌ها
١	استفاده از بی آر تی (BRT)
٢	بهبود کارایی اتوبوس‌رانی از طریق طراحی شبکه‌های کارآمدتر و ایجاد انگیزه برای بهبود از طریق ایجاد رقابت و تجاری‌سازی
٣	هوشمند سازی چراغ‌های راهنمایی که باعث کاهش انتشار گازهای خروجی می‌شود.
٤	استفاده از سوخت پاک‌تر
٥	ایجاد امکانات دوچرخه، پیاده‌رو کافی و ایمن برای سفرهای کوتاه
٦	استفاده از فیلتر و مبدل‌های کاتالیزوری در خودروها
٧	از رده خارج کردن خودروهای فرسوده
٨	تشکیل دوره‌های آموزشی برای بهبود تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه
٩	سایر موارد در استفاده از سیستم حمل‌ونقل هوشمند
١٠	اعمال شدیدتر استانداردهای انتشار بر روی خودروهای جدید
١١	توسعه خط مترو
١٢	استفاده از خودرو هیبریدی
١٣	مراکز معاینه فنی با تجهیزات مدرن
١٤	استفاده از خودرو الکتریکی
١٥	اجرای طرح تردد نوبتی

رتبه‌بندی	گزینه‌ها
۱۶	سایر موارد در افزایش هزینه استفاده از خودروهای شخصی
۱۷	اعمال ممیزی‌های کیفیت هوا بر روی پروژه‌های حمل‌ونقل
۱۸	پرداخت عوارض سنگین برای ورود خودروها به مرکز شهر و مناطق شلوغ شهر
۱۹	ممنوعیت پارک کردن رایگان در خیابان‌هایی با تراکم بالا
۲۰	مالیات بر سوخت
۲۱	احداث راه‌های جدید، پل‌ها، تونل‌ها و زیرگذرها

با توجه به تجربی بودن انتخاب مقادیر آستانه بی‌تفاوتی و برتری و به‌منظور بررسی مناسب بودن
مقادیر انتخابی، با اعمال تغییرات ۱۰ ٪± در مقادیر پیش‌فرض برای پارامترهای p,q، اولویت‌بندی
راهکارهای پژوهش محاسبه و با رتبه‌بندی اولیه مقایسه می‌گردد که مشاهده می‌کنیم با توجه به بروز جابه‌جایی در اولویت‌های پایین جدول، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر در نظر گرفته‌شده برای پارامترهای p و q از دقت مناسبی برخوردارند.

٤. نتیجه‌گیری

۱- در دو روش پرومته و ویکور دو راهکار "استفاده از بی آرتی" و "بهبود کارایی اتوبوس‌رانی از طریق طراحی شبکه‌های کارآمدتر و ایجاد انگیزه برای بهبود از طریق ایجاد رقابت و تجاری‌سازی" اولویت اول و دوم می‌باشند، درحالی‌که توسعه مترو اولویت یازدهم است که می‌تواند به علت پوشش دهی بیشتر شبکه بی آر تی نسبت به مترو در سطح شهر باشد.

۲- روش ویکور فقط برترین گزینه را ارائه می‌دهد اما در روش پرومته با توجه به مقایسه زوجی تمامی گزینه‌ها در کلیه معیارها، رتبه‌بندی راهکارها به‌طور کامل است پس می‌توان نتیجه گرفت که اولویت‌بندی راهکارهای کاهنده آلودگی هوا به روش پرومته دقیق‌تر و محتمل‌تر است.

۳- در ده راهکار برتر شناسایی‌شده با روش پرومته، اولویت‌بندی راهکارها تمرکز بیشتری بر گروه "روش‌های کاهنده از جهت زیرساخت حمل‌ونقل" و "روش‌های کاهنده از جهت کیفیت سوخت" دارد. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته درصد اولویت راهکارها در ده راهکار برتر روش پرومته در جدول زیر نشان داده‌شده است.

جدول ۹. درصد اولویت راهکارها در ده راهکار برتر شناسایی‌شده با روش پرومته

روش‌های کاهنده از جهت موارد روبه‌رو	زیرساخت حمل‌ونقل	سیاست‌های مالی	بازرسی و نگهداری	کیفیت سوخت	استفاده از انواع وسایل نقلیه
پرومته	٪٤٠	٪۰	٪۱۰	٪۳۰	٪۲۰

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Multiple Criteria Decision Making
2. Air Quality Index
3. VIKOR, PROMETHEE
4. Engineer’s Joint Council on Air Pollution and Its Control
5. Opricovic & Tzeng
6. Vincke & Branc

٦. مراجع

– میرنجفی، ع، حسابرسی عملکرد پروژه کاهش آلودگی هوای شهر تهران ناشی از حمل‌ونقل، دیوان محاسبات کشور، ۱۳۸۹، ص ٤.

– قیدرخلجانی، ج.، اسفندیارپور، س.، اولویت‌بندی شیوه‌های کاهش آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از تکنیکهای تصمیم-گیری چندمعیاره، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ۱۳۹۰.

– کرمانی،م.، مقایسه پنج سال کیفیت بهداشتی هوای کلان‌شهر تهران بر اساس شاخص کیفیت هوا (AQI)، مجله تحقیقات سلامت در جامعه، ۲۰۱٦، ص ۳٦–۲۸.

– شفیع پور مطلق، م.، کمالان، ح.، بررسی میزان انتشار انواع آلاینده‌های ناشی از ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران (یادداشت فنی)، فنی و مهندسی مدرس، ۱۳۸٦(۲۹)، ص ۷۱.

– اصیلیان، ح.، قانعیان، م.، غنی زاده، ق.، آلودگی هوا: منابع، اثرات، روش‌های کنترل، قوانین و مقررات، استانداردها، ۱۳۸۹، آثار سبحان.

– عطائی، م.، تصمیم‌گیری چند معیاره. ۱۳۹۵, شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

– امیری، م.، دارستانی فراهانی، ا.، تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، ۱۳۹۲.

- Air Pollution Control Engineering. 2004, Humana Press.