

# Environmental Impact Assessment of Electric Public Transportation System Development in Tehran City

## Saeed Motesaddi Zarandi

1. Ph.D. Student, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran, R.Nasiri1371@sbm.ac.ir

## Rasul Nasiri

2. Ph.D. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

## Mahtab Mohammad Yousefi

## Bohlouli Ahmadi

\* MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran, (Corresponding Author):  
Email: ahmadimahtab0022@gmail.com

Received: 2022/03/15

Accepted: 2022/06/01

**Document Type:** Research article

## ABSTRACT

**Background and Aim:** The environmental sustainability is a requirement for modern urban transportation systems. Selecting the appropriate option for the public transport in any urban system does not lead only to the sustainable urban transportation development, but will adapt planning process to its people's characteristics and encourage the people to use it by increasing its productivity. Therefore, this study aims to assess the environmental effect of developing an electric public transport system in Tehran.

**Materials and methods:** In this study, after obtaining the documented and published data, including (books, transportation articles, and obtaining transportation statistics of Tehran from the bus companies and Municipal Transportation and Traffic Organization), AHP-TOPSIS method was used to select the best option for developing the public transportation in Tehran.

**Results:** The results showed that the option of implementing an electric transportation system with the private sector investment and government facilities (0.5798), using the electric transport systems in city center (0.3972), converting BRTs to electricity (0.2886), and non - implementation option (0.2672), respectively, had the highest and lowest priority among the development methods of public transport systems in Tehran.

**Conclusion:** To eliminate the use of fossil fuels in near distant future to prevent the climate change and eliminate environmental pollution from fossil fuels, Tehran's urban transportation system should be implemented to eliminate the fossil fuels, develop and transform its fleet into the electrical systems

**Keywords:** Environmental Impact Assessment, Electric Public Transport, AHP-TOPSIS, Tehran

► **Citation:** Motesaddi Zarandi S, Nasiri R, Ahmadi M. Environmental Impact Assessment of Electric Public Transportation System Development in Tehran city. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2022; 8(2): 193-210.

## ارزیابی اثرات زیست‌محیطی توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی در شهر تهران

### چکیده

**زمینه و هدف:** پایداری محیط زیست، یک الزام برای سیستم‌های حمل‌ونقل شهری مدرن است. انتخاب گزینه مناسب حمل و نقل عمومی در هر سیستم شهری نه تنها منجر به توسعه پایدار حمل‌ونقل شهری می‌گردد، بلکه فرآیند برنامه‌ریزی را با خصوصیات افراد آن جامعه تطبیق داده و سبب تشویق افراد به استفاده از آن و در نتیجه افزایش بهره‌وری آن می‌گردد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات زیست محیطی توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی در شهر تهران انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه پس از اخذ داده‌های مستند و منتشر شده (شامل کتب، مقالات حمل‌ونقلی و اخذ آمارهای حمل‌ونقل شهر تهران از شرکت‌های اتوبوس‌رانی و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری)، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش‌های ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده آل (AHP-TOPSIS) برای انتخاب بهترین گزینه جهت توسعه حمل‌ونقل عمومی در شهر تهران بهره گرفته شد.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، گزینه اجرای سیستم حمل‌ونقل برقی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و اعطای تسهیلات دولتی (۰/۵۷۹۸)، استفاده از سیستم حمل‌ونقل برقی در هسته مرکزی شهر (۰/۳۹۷۲)، تبدیل BRTها به اتوبوس برقی (۰/۲۸۸۶) و گزینه عدم اجرا (۰/۲۶۷۲) به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین اولویت را در بین روش‌های توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی شهر تهران داشتند.

**نتیجه‌گیری:** برای نیل به هدف حذف استفاده از سوخت‌های فسیلی در آینده‌ای نه چندان دور برای جلوگیری از تغییرات آب‌وهوایی و حذف آلودگی‌های محیطی حاصل از سوخت‌های فسیلی، سیستم حمل و نقل شهری تهران باید در جهت حذف سوخت‌های فسیلی، توسعه و تبدیل ناوگان خود به سیستم‌های برقی روی آورد.

**کلید واژه‌ها:** حمل و نقل عمومی برقی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ارزیابی اثرات زیست محیطی.

#### رسول نصیری

دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.

#### سعید متصدی زرنیدی

دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.

#### مهتاب محمد یوسفی بهلولی احمدی

\* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، تهران، ایران، (نویسنده مسئول):

ahmadimahtab0022@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

نوع مقاله: اصیل پژوهشی

◀ **استناد:** نصیری ر، متصدی زرنیدی س، یوسفی م. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی در شهر تهران. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۴۰۱: (۲): ۱۹۳-۲۱۰.

## مقدمه

با توجه به تغییرات آب و هوایی، محیطی و اجتماعی، نیاز زیادی به توسعه پایدار انسانی وجود دارد (۱). به طور مشخص بی توجهی به مسائل توسعه پایدار از سوی شهروندان از یک طرف و بی توجهی آنان به وظایف خود در قبال محیط زیست و همچنین بی توجهی به این اصل در برنامه ریزی مدیریت شهری، از عوامل تشدید کننده می باشد. بر این اساس، توسعه پایدار شهری، نظامات فضایی و محیطی را برای زندگی فراهم می کند که خطرات محیطی کاهش می یابد، دسترسی به منابع و فرصت های شهری را فراهم می سازد و مشارکت شهروندان را محقق می کند (۲). پایداری محیط زیست یک الزام برای سیستم های حمل و نقل شهری مدرن است (۳). بخش حمل و نقل، نقش مهمی در رشد کشورها ایفا می کند و در زندگی روزمره ما نیز نقش بسزایی دارد، اما منبع اصلی مصرف انرژی نیز می باشد. این بخش عمدتاً انرژی های تجدیدناپذیر را مصرف می کند که باعث ایجاد تأثیر منفی بر محیط زیست می شود و همچنین سهم عظیم و رو به افزایش انتشار گازهای گلخانه ای در سطح جهان را به خود اختصاص می دهد (۴). آلودگی هوا، یک تهدید جدی برای سلامت عمومی و یک چالش زیست محیطی مهم برای پایداری شهرهای سراسر جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه است (۵). میزان انتشار دی اکسید کربن ( $CO_2$ )<sup>۱</sup> یک نگرانی عمده در پایداری محیط زیست است. افزایش سریع وسایل نقلیه موتوری، سیستم های حمل و نقل ناکارآمد و استفاده محدود از سیستم های کنترل انتشار، وسایل نقلیه موتوری را به بزرگ ترین منبع آلودگی هوا در شهرهای در حال توسعه تبدیل کرده است (۶). تقریباً همه گزینه های حمل و نقل، آلاینده های خاصی مانند مونوکسید کربن ( $CO$ )<sup>۲</sup>، دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )<sup>۳</sup>، اکسید نیتریک ( $NO$ )<sup>۴</sup> و ذرات معلق ( $PM$ )<sup>۵</sup> منتشر می کنند، اگرچه فراوانی نسبی آلاینده ها بسته به شرایط سوخت و احتراق متفاوت است (۷).

سیستم حمل و نقل عمومی شامل اتوبوس، تاکسی و مترو

است. همواره از جمله پیشنهادهای که به طور کلی برای حل مشکلات حمل و نقل شهری ارائه می شود، افزایش زیرساخت های شهری، توسعه خدمات حمل و نقل همگانی و اصلاح نحوه مدیریت نظام شهری می باشد. بر همین اساس، شناسایی انواع سیستم های حمل و نقل عمومی ضرورت پیدا می کند. سیستم های حمل و نقل عمومی نظیر حمل و نقل اتوبوسرانی و قطار شهری به دلیل هزینه های کم راه اندازی، انعطاف پذیری مطلوب در عمل، توان قابل ملاحظه در جابجایی مسافران و هزینه های ناچیز سفر، نقش ویژه ای در جابجایی ساکنان شهرها و حل مشکلات شهرهای بزرگ ایفا می کنند (۸).

یک سیستم حمل و نقل عمومی کارآمد، فاصله زمانی کوتاه بین هر سفر، وقت شناسی و اطلاعات روشنی را به مسافران ارائه می دهد (۹). تدوین راهبردهای افزایش استفاده از حمل و نقل همگانی، مستلزم شناسایی عوامل تأثیرگذار بر رضایت افراد از سیستم حمل و نقل عمومی است؛ بدین ترتیب که تعیین شفاف عوامل تأثیرگذار بر رضایت یا عدم رضایت از حمل و نقل همگانی، کمک می کند تا با استفاده از سیاست گذاری های کارآمد، موانع تغییر در رفتار شهروندان (تغییر شیوه سفر از خودروی شخصی به سوی حمل و نقل همگانی) را از میان برداشت و به بهبود شرایط ترافیکی کمک شایانی نمود، لذا بررسی عوامل تأثیرگذار بر رضایت افراد از حمل و نقل همگانی به منظور ترغیب هرچه بیشتر افراد به استفاده از آنها و بهره گیری از مزایای آن امری ضروری است (۱۰). نگرانی های فزاینده در مورد پایداری انرژی و محیط زیست اخیراً منجر به افزایش علاقه عموم به استفاده از حمل و نقل پاک تر و مؤثرتر شده است (۱۱). همچنین کاهش انتشار کربن، دولت ها را بر آن داشته است تا سیستم های حمل و نقل عمومی از جمله حمل و نقل عمومی برقی را مورد بررسی قرار دهند (۱۲).

وسایل نقلیه الکتریکی (EVs)<sup>۶</sup> برتری قابل توجهی نسبت به وسایل نقلیه با سوخت معمولی دارند و جزء فناوری های پذیرفته

1. Carbon Dioxide
2. Carbon Monoxide
3. Sulfur Dioxide
4. Nitric Oxide
5. Particulate Matter

6. Electric Vehicle

شده در بخش حمل و نقل آینده هستند (۱۳). نقش وسایل نقلیه برقی (EVS) در آینده و قابلیت پویایی پایدار سیستم حمل و نقل بسیار مهم است (۱۴). الکتروموتوریک می‌تواند یکی از چندین راه‌حل برای چالش‌های زیست‌محیطی باشد که امروزه جامعه با آن روبرو است (۱۵). کاربرد عمده وسایل نقلیه الکتریکی، تغییرات عظیمی را در جامعه ایجاد می‌کند که نه تنها روش سفر ما را تغییر می‌دهد، بلکه انسان‌ها را از وابستگی به نفت آزاد می‌سازد و باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود (۱۶). همچنین استفاده از حمل و نقل عمومی برقی مانند اتوبوس‌های برقی به دلیل بهبود کارایی بالایی انرژی که ناشی از کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش سروصدا در مقایسه با اتوبوس‌های معمولی است، رواج یافته است (۱۷). با این حال، تعداد کل وسایل نقلیه برقی در دنیا هنوز سهم کوچکی در سهام خودروسازی دارد و دلایل اصلی آن شامل: (۱) هزینه بالای سرمایه‌گذاری در مقایسه با اتومبیل‌های معمولی، (۲) محدوده رانندگی اندک و (۳) دسترسی محدود به زیرساخت‌های شارژ می‌باشد (۱۸). علاوه بر این، توسعه ضعیف زیرساخت ایستگاه‌های شارژ، تعداد ناکافی مراکز تشخیصی و خدمات و عدم حضور پرسنل واجد شرایط، مانع توسعه بازار حمل و نقل برقی می‌شود (۱۹). در سال ۱۳۹۵ تهران با مساحت ۷۵۱ کیلومتر مربع و جمعیت ۸۶۹۳۷۰۶ نفر، بیش از ۱۰٪ جمعیت ایران را در خود جای داده است (۲۰) و بزرگ‌ترین کلان‌شهر در کشور و خاورمیانه است که با مشکلات جدی و عدیده‌ای در سیستم حمل و نقل خود مواجه است (۲۱).

عدم تدوین مناسب خط‌مشی‌ها در این حوزه به دلیل عدم هماهنگی و همکاری نهادها، موازی‌کاری نهادها، پیروی نکردن نهادها از یک ساختار منسجم و یکپارچه و .... منجر به ضعف حمل و نقل عمومی شهر تهران در شاخص‌های ملموسی نظیر قابلیت دسترسی، ظرفیت دسترسی، ارتباط مناسب مدهای حمل و نقلی، نوسازی ناوگان، فراوانی خدمات و فاصله زمانی ارائه خدمات شده است و به همین سبب جذابیت استفاده از آن کاهش یافته و شهروندان ترجیح می‌دهند از وسایل نقلیه شخصی خود علی‌رغم ایجاد مسائلی چون

ترافیک و آلودگی هوا استفاده نمایند (۲۲).

به کارگیری اتوبوس‌های برقی در مقایسه با دیزلی، باعث صرفه‌جویی زیادی در هزینه سوخت و انتشار کربن می‌شوند (۲۳). زمینه‌های تحقیقاتی بسیاری از جمله طراحی و توسعه، انتخاب مکان مناسب ایستگاه‌های شارژ با توجه به زمان انتظار مسافران و مدل مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی باتری برای اهداف استراتژیک وجود دارد (۲۴). دولت و شهرداری تهران از تحقیقات در حال انجام در مورد جنبه‌های مختلف کاربرد حمل و نقل برقی حمایت می‌کنند تا بینش عمیقی برای سیاست‌گذاری وسیله نقلیه الکتریکی فراهم آورند (۲۵). از طرفی به دلیل محدودیت‌های فنی، مالی و مدیریتی، قادر به ایجاد سریع همه انواع شبکه‌های حمل و نقل عمومی برقی نیستند. با این وجود، بهترین، ارزان‌ترین و سریع‌ترین گزینه، گسترش شبکه اتوبوسرانی برقی درون‌شهری است (۲۶).

هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی توسعه حمل و نقل عمومی برقی (اتوبوس و مینی‌بوس) در شهر تهران است. بازده بالا، آلاینده‌گی کم، مسافت قابل پیمایش بالا، ایمنی مطلوب و قیمت مناسب، استفاده از حمل و نقل برقی را برای رفت و آمدهای روزانه در شهرهای بزرگی مانند تهران، بسیار مناسب و مفید نموده است.

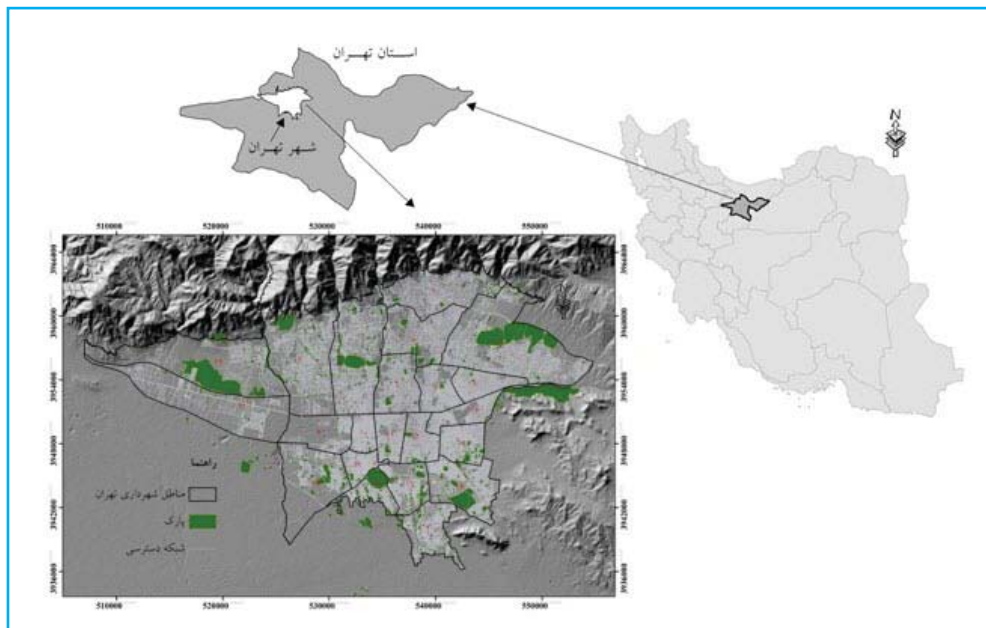
## روش کار

### معرفی منطقه مطالعاتی

شهر تهران واقع در استان تهران با مساحت بیش از ۶۰۰ کیلومتر مربع بین ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. ارتفاعات جنوبی البرز مرکزی، نواحی شمال و شمال شرقی تهران را در بر گرفته است. از سمت غرب، دشت ساوجبلاغ و از جنوب، کوه‌های منطقه ری و بی‌بی شهبانو و دشت‌های منتهی به کویر نمک، این شهر را محصور کرده‌اند. این ویژگی به خوبی در تفاوت ارتفاع مناطق مختلف تهران از سطح دریا که بین ۱۷۰۰ متر در مناطق شمالی تا ۱۰۰۰ متر در مناطق جنوبی تغییر می‌کند،

دارای شرایط بسیار بد و نامساعد زیست محیطی بوده و آلودگی هوای آن در سال‌های اخیر با محتوای گازهای سمی به صورت بسیار خطرناک عمل می‌نماید که تغییرات بسیار چشمگیر محیطی و اقلیمی را در آن موجب گردیده است. در ماه‌های سرد سال به علت وجود پدیده اینورژن و یا وارونگی دما، بر شدت آلودگی هوا در سطح شهر تهران افزوده شده و در صورت فقدان جریان‌ات جوی سیستمی، ممکن است به علت ساکن بودن هوا هر روز بر شدت آلودگی هوا افزوده گردد (۲۹). تهران به عنوان پایتخت ایران، بیش‌ترین توجه را از سوی دولت مرکزی ایران و محققان محیط‌زیست ملی و بین‌المللی دریافت کرده است؛ چراکه با توجه به توسعه ناپایدار، استانداردهای ناسازگار با کیفیت هوای محیط، افزایش شهرنشینی، افزایش و انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه بوده است (۳۰). اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها و اتومبیل‌ها، منابع مهم آلاینده‌های سمی در تهران هستند. میزان قابل توجهی انتشار گازهای گلخانه‌ای از اتوبوس‌های دیزلی در پایانه‌های اتوبوس، به‌ویژه هنگام سوار کردن و پیاده کردن مسافران و زمان توقف آن‌ها منتشر می‌شود (۳۱). شکل ۱ نقشه منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد (۳۲).

منعکس شده و بر مدل گسترش محدوده کلان‌شهر تهران تأثیر گذاشته است. شهر تهران از شمال به شهرستان شمیرانات، از شرق به شهرستان دماوند، از جنوب به شهرستان ورامین، ری و اسلامشهر و از غرب به شهرستان‌های شهریار و کرج محدود می‌شود. از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم شده است (۲۷)، و بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۸، جمعیتی معادل ۹,۴۲۳,۷۰۳ نفر را در خود جای داده است (۲۸). شهر تهران از لحاظ شرایط توپوگرافیکی نیز در حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. سه عامل رشته کوه‌های البرز، بادهای مرطوب غربی و وسعت استان در اقلیم شهر تهران نقش مؤثری ایفا می‌نمایند. در واقع رشته کوه البرز، آب‌وهوای تهران را معتدل کرده؛ به طوری که در شمال تهران، آب‌وهوا معتدل و کوهستانی و در نقاط کم‌ارتفاع، نیمه‌خشک است. در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب‌وهوای متفاوتی شکل گرفته است. در نتیجه باعث شده شهر تهران از پدیده‌های جوی (باد، بارش و پایداری هوا) مناسب برخوردار نباشد. همچنین اختلاف ارتفاع بارز شهری تهران منجر به رفتار طبیعی مختلف از لحاظ تجمع آلودگی و نشست زمین در بین مناطق ۲۲ گانه شهری شده است. در مجموع تهران



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

## روش کار

روش تحقیق در این پژوهش، ترکیبی از روش‌های توصیفی و تحلیلی بود. ابزار گردآوری داده‌ها در این تحقیق به صورت کتابخانه‌ای، اسنادی، پرسشنامه‌ای و استفاده از منابع سازمان‌های مربوطه بود. آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده و نقشه‌های تهیه شده از مراکز مورد نظر از ابزارهای لازم جهت انجام این تحقیق به شمار می‌روند که تمام آمار و اطلاعات جمعیتی، هوا، وضعیت گونه‌های گیاهی و جانوری، اطلاعات مربوط به وضعیت سیستم اتوبوس‌رانی شهر تهران و غیره از مراکز مختلف جمع‌آوری شد. این مراکز در تهران شامل: سازمان اتوبوس‌رانی، شرکت کنترل کیفیت هوا، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهری، مراکز آمار ایران و سازمان حفاظت محیط زیست بود.

همچنین در این مطالعه با استفاده از پژوهش‌ها و تحقیقاتی که در گذشته انجام شده‌اند و نظرات اساتید از جمله استاد راهنما و اساتید مشاور، معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌های مؤثر بر توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی شناسایی شد. معیارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل: محیط‌های فیزیکی، بیولوژیکی، اقتصادی و فرهنگی تعیین شد که هر یک از این معیارها دارای مؤلفه‌هایی از قبیل: محیط فیزیکی (شامل توپوگرافی، صدا، آلاینده‌های هوا  $SO_2$ ،  $NO_x$ ،  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$ ، شرایط اقلیمی اعم از باد و جهت باد و ریزش‌های جوی مؤثر بر توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی و زیرساخت شهری)، محیط بیولوژیکی (شامل گونه‌های گیاهی، گونه‌های جانوری، فضای سبز شهری)، محیط فرهنگی (شامل میزان پذیرش و مقبولیت اجتماعی حمل‌ونقل عمومی برقی و میزان مشارکت در توسعه حمل‌ونقل عمومی برقی) و محیط اقتصادی- اجتماعی (شامل جمعیت، رشد جمعیت، پراکندگی جمعیت در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، سرمایه‌گذاری و سهم مشارکت دولت برای توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی برقی، حمایت‌های دولتی اعم از میزان پرداخت یارانه و امثال آن برای توسعه حمل‌ونقل عمومی برقی، سرانه سوخت مصرفی برحسب لیتر سوخت مصرفی حمل‌ونقل عمومی به ازای جابه‌جایی هر

مسافر و متوسط هزینه سرانه سفر مسافر) می‌باشد. همچنین انواع گزینه‌های انتخابی در این تحقیق شامل: عدم اجرا، تبدیل BRT<sup>۱</sup> ها به اتوبوس برقی، استفاده از سیستم حمل‌ونقل برقی در هسته مرکزی شهر و اجرای سیستم حمل‌ونقل برقی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و اعطای تسهیلات دولتی بود.

تعیین اثرات مهم و قابل توجه، یک وظیفه کلیدی برای اطلاع از تصمیمات در مورد مقبولیت پروژه از طریق ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA)<sup>۲</sup> است (۳۳). با در نظر گرفتن این موضوع که ارزیابی تمامی اثرات زیست‌محیطی امری دشوار و غیرضروری است، بنابراین توجه به ارزیابی اثرات مهم مانند زمین، کیفیت و کمیت آب، آلودگی هوا، خدمات عمومی، تأمین انرژی، بهداشت عمومی، آلودگی صوتی و تغییرات فرهنگی مورد توجه قرار می‌گیرد. اثرات تجمعی زیست‌محیطی (اولیه و ثانویه یا کوتاه‌مدت و بلندمدت) پروژه یا اقدامی که به‌طور قابل توجهی بر کیفیت محیط زیست تأثیر می‌گذارد، به‌عنوان "تأثیرات مهم" شناخته می‌شود. این تأثیرات شامل اثرات سودمند و یا نامطلوب است. ممکن است در یک پروژه یا اقدام چندین مزیت مفید وجود داشته باشد، اما تنها یک یا چند اثر نامطلوب آن را از نظر سازگاری با محیط زیست به خطر بیندازد. بنابراین ارزیابی اثرات زیست‌محیطی زیان‌آور یک پروژه، یک اقدام بسیار ضروری است (۳۴). مهم‌ترین محیط متأثره در این پروژه که بر فاکتورهای زیست‌محیطی اثر می‌گذارد، محیط هوا از نظر انتشار آلاینده‌ها و انتشار صوت است. همچنین مهم‌ترین اثرگذاری فاکتور عملیاتی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و به‌دنبال آن کاهش میزان هزینه‌های اقتصادی است.

در این پژوهش از روش ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش‌های ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده آل AHP-TOPSIS استفاده شد. فرآیند AHP<sup>۳</sup> یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که

1. Bus Rapid Transit

2. Environmental Impact Assessment

3. Analytical Hierarchy Process

گام‌های لازم برای انجام پیاده‌سازی روش تاپسیس به صورت زیر است:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم فازی و ماتریس اهمیت نسبی معیارها با توجه به مقیاس‌های کلامی

گام دوم: نرمال کردن ماتریس تصمیم فازی و محاسبه ماتریس تصمیم فازی نرمال شده وزنی

گام سوم: تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی و راه‌حل ایده‌آل منفی فازی

گام چهارم: محاسبه اندازه فاصله‌ای هر کدام از گزینه‌ها از مقادیر ایده‌آل فازی مثبت و منفی

گام پنجم: محاسبه ضرایب نزدیکی و اولویت‌بندی گزینه‌ها (۴۰)

روش ادغامی AHP-TOPSIS در مواردی استفاده می‌شود که اگر با یک روش به تنهایی کار شود، وقت زیاد و محاسبات زیاد را در پی داشته باشد که در نتیجه باعث نتیجه نادرست می‌گردد. این روش تقریباً در تمامی مسائل تصمیم‌گیری، میزان محاسبات و مقایسات زوجی را حداقل به نصف کاهش می‌دهد که علاوه بر اینکه باعث دقت در محاسبات و نتایج می‌شود و راه‌حل قابل قبول و منطقی نیز می‌باشد (۴۱).

سپس بر مبنای شاخص‌های مورد بررسی، پرسش‌نامه‌ای جهت کارشناسی معیارها و زیرمعیارها تهیه و توزیع شد. قبل از توزیع پرسشنامه با توجه به ماتریسی بودن پرسش‌نامه، ابتدا توضیح دقیقی در مورد نحوه پر کردن داده‌ها با خبرگان داده شد تا بدین وسیله افراد با نحوه دقیق تکمیل پرسشنامه مطلع شوند. سپس ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از نظرات پاسخ‌گویان تشکیل شد. پرسشنامه پژوهش حاضر با هدف کسب نظر خبرگان راجع به میزان موافقت آن‌ها با مؤلفه‌ها و معیارهای مدل طراحی شد، لذا خبرگان از طریق طیف ۹ درجه آقای توماس ساعتی به صورت زیر است، میزان موافقت خود را ابراز نموده‌اند. از آنجایی که خصوصیات متفاوت افراد بر تعابیر ذهنی آن‌ها نسبت به متغیرهای کیفی اثرگذار است، لذا با تعریف دامنه متغیرهای کیفی، خبرگان با ذهنیت یکسان به سؤال‌ها پاسخ دادند. در این پرسشنامه از

اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد (۳۵). این روش با استفاده از مقایسه زوجی، اقدام به تعیین وزن شاخص‌ها و معیارها می‌نماید (۳۶). به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که روش AHP شامل سه گام اصلی: ۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی ۲- مقایسه دوبه‌دوی المان‌های ساختار مراتبی و ۳- ارزش‌دهی معیارها می‌باشد. البته مقادیر مربوط به مقایسه دوبه‌دو می‌بایست کاملاً به صورت کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیری اختیاری در نظر گرفته نشوند. در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها، وزن مطلق نامیده می‌شود. وزن نهایی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید (۳۷). AHP در آغاز برای تصمیم‌گیری‌های انفرادی در یک محیط متلاطم و فازی ارائه شد. سپس در دهه هشتاد به چگونگی استفاده از آن در تصمیم‌گیری‌های گروهی پرداخته شد. استفاده از AHP در تصمیم‌گیری‌های گروهی باعث خواهد شد که نه تنها مزایای فنون تصمیم‌گیری گروهی حفظ شود، بلکه معایب آن‌ها (مانند سرعت، هزینه و تک‌فکری) برطرف شود (۳۸). روش رتبه‌بندی بر اساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل یا همان Topsis، یکی از روش‌های ارزیابی چندمعیاره است که توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ایجاد شد. روش Topsis بر اساس این مفهوم ایجاد شده است که در آن گزینه‌هایی مناسب‌اند و اولویت بالاتری دارند که حداقل فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشند. معمولاً این روش را می‌توان برای وضعیت‌های گسسته که تعداد گزینه‌ها محدود و مشخص‌اند به کار برد. روش Topsis برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ترجیح هر فرد استفاده شده است (۳۹).

محیط فیزیکی (۰/۲۳۶) و محیط بیولوژیکی (۰/۰۸۶) به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را در تحلیل سلسله مراتبی به خود اختصاص دادند.

پس از بررسی و انجام مقایسه نهایی معیارهای بُعد فیزیکی، بیولوژیکی، اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی، این مقایسه‌ها در زمینه بُعد فیزیکی در محیط نرم‌افزار ترسیم گردید و مشاهده شد که مؤلفه "آلاینده‌های هوا که شامل  $SO_2$ ،  $NO_x$ ،  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  هستند" بیشترین وزن را داشته (۰/۲۷۸) و پس از آن شرایط اقلیمی که شامل "ریزش‌های جوی" (۰/۲۳۷) و "باد و جهت باد" (۰/۲۰۷) است، قرار داشتند. همچنین کم‌ترین وزن و ضریب اهمیت را نیز مؤلفه‌های "صدا" (با وزن ۰/۰۷۴) و "توپوگرافی" با وزن (۰/۰۷۳) داشتند. سپس نتیجه محاسبه مقایسه‌های زوجی زیرمعیارهای بُعد زیست محیطی ترسیم و به بررسی میزان ضریب اهمیت این زیرمعیارها پرداخته شد.

از بین ۳ مؤلفه زیست محیطی، مؤلفه اول یعنی "فضای سبز شهری" بیشترین ضریب اهمیت (۰/۵۸۲) و کم‌ترین ضریب اهمیت از آن مؤلفه "گونه‌های جانوری" (۰/۱۷۲) بود. پس از بررسی و انجام مقایسه نهایی معیارهای بُعد فرهنگی نتایج حاصل از آن نشان داد که مؤلفه "میزان پذیرش و مقبولیت اجتماعی" (۰/۵۸۰) ضریب اهمیت بالاتری نسبت به مؤلفه "میزان مشارکت اجتماعی" (۰/۴۲۰) دارد.

در نهایت نتیجه محاسبه مقایسه‌های زوجی زیرمعیارهای بُعد اقتصادی - اجتماعی ترسیم و به بررسی میزان ضریب اهمیت این زیرمعیارها پرداخته شد و مشخص گردید که مؤلفه "هزینه سرانه سفر مسافران" بیشترین وزن را داشته (۰/۲۴۶) و پس از آن به ترتیب "حمایت‌های دولتی" (۰/۲۰۱)، "سرمایه‌گذاری" (۰/۱۸۲)، "سرانه سوخت مصرفی" (۰/۱۶۷) بیشترین وزن و ضریب اهمیت را به خود اختصاص دادند. همچنین "پراکندگی جمعیت" (۰/۰۹۳)، "رشد جمعیت" (۰/۰۶۱) و "میزان جمعیت در سال ۱۳۹۸" (۰/۰۵۱) کمترین وزن و ضریب اهمیت را دارا بودند.

۱۵ نفر از افراد شامل کارشناسان، اساتید و مدیران شامل اساتید دانشگاهی، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهری شهرداری تهران، سازمان اتوبوس‌رانی شهر تهران و کارشناسان فعال در زمینه حمل و نقل و ترافیک شهری استفاده شد. پس از تکمیل پرسش‌نامه توسط خبرگان، وزن معیارها و زیرمعیارها از طریق مقایسه زوجی و با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس (EXPERT CHOICE) محاسبه شد.

مرحله بعدی، پیش‌بینی اثرات منفی و مثبت بر محیط‌های مختلف بود و نوع اثرات ناشی از عملیات پروژه بر هر یک از فاکتورهای تأثیرپذیر محیط زیست، شناسایی گردید.

در این مرحله، دامنه اثر (در سطح شهر ۱، استان ۲ و یا کشور ۳) و ارزش اثر که وزن‌های به دست آمده از روش AHP است، مشخص گردید، سپس اهمیت اثر را طبق فرمول زیر به دست آمد. در نهایت عدد به دست آمده از این روش وارد TOPSIS شده و ماتریس تصمیم تشکیل شد.

$$\text{ارزش اثر} \times \text{دامنه اثر} \times \text{ماهیت اثر} = \text{اهمیت اثر}$$

سپس پرسشنامه دیگری تدوین و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. رتبه‌بندی بر اساس طیف ۷ تایی چن انجام شد. سپس در گام دوم ماتریس تصمیم تاپسیس تشکیل شد و اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر روی توسعه حمل و نقل عمومی مشخص گردید.

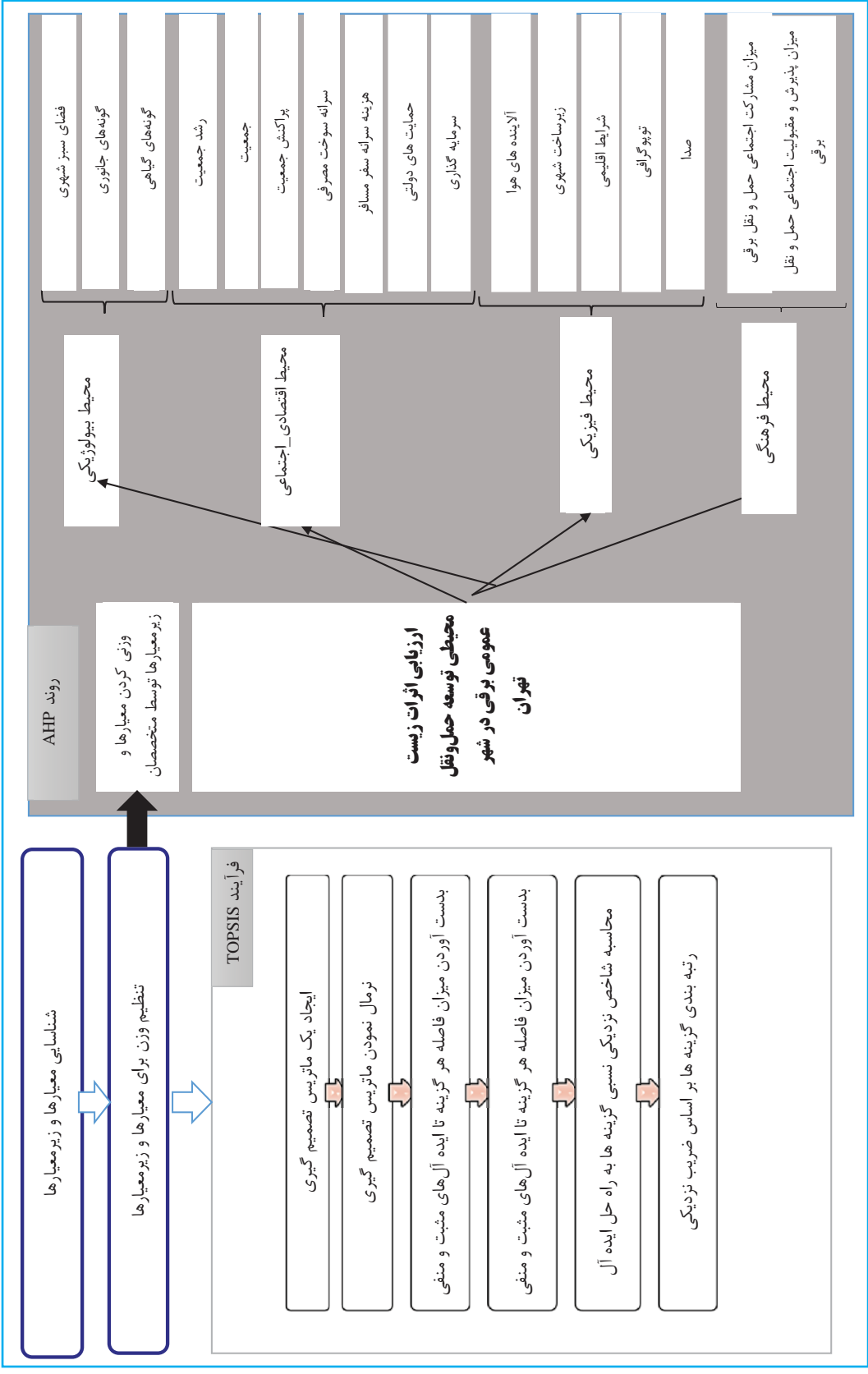
## یافته‌ها

پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط گروه خبرگان جهت آنالیز به نرم‌افزار EXPERT CHOICE جهت استخراج وزن معیارها و زیرمعیارهای از مقایسه زوجی منتقل شدند. شکل ۳ مقایسات و اولویت‌بندی شاخه‌ها و زیرشاخه‌های مختلف مدل پیش‌بینی شده در روش تحقیق را نشان می‌دهد.

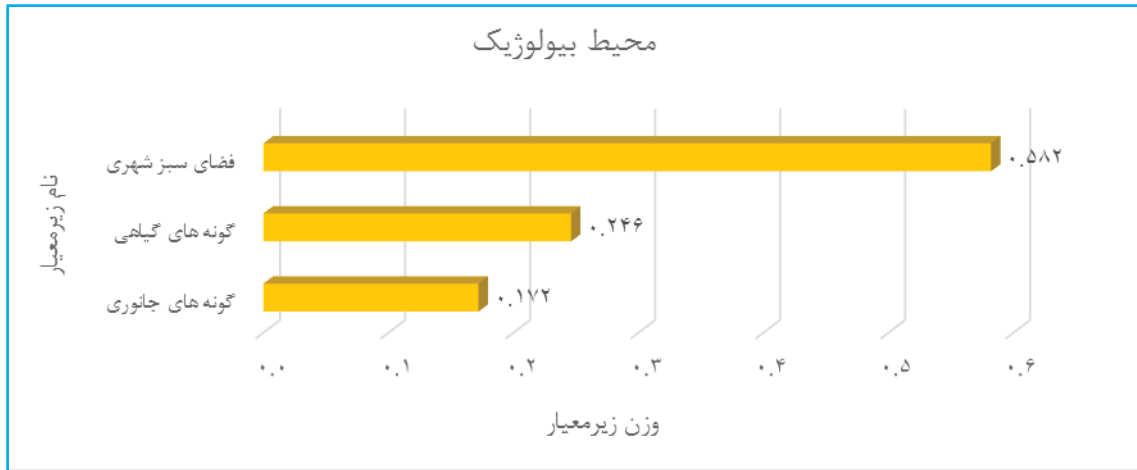
در ابتدا معیارهای چهارگانه فیزیکی، بیولوژیکی، فرهنگی و اقتصادی نسبت سنجیده شد. با توجه به شکل ۳ از میان معیارها، محیط اقتصادی - اجتماعی (۰/۳۹۵)، محیط فرهنگی (۰/۲۸۳)،



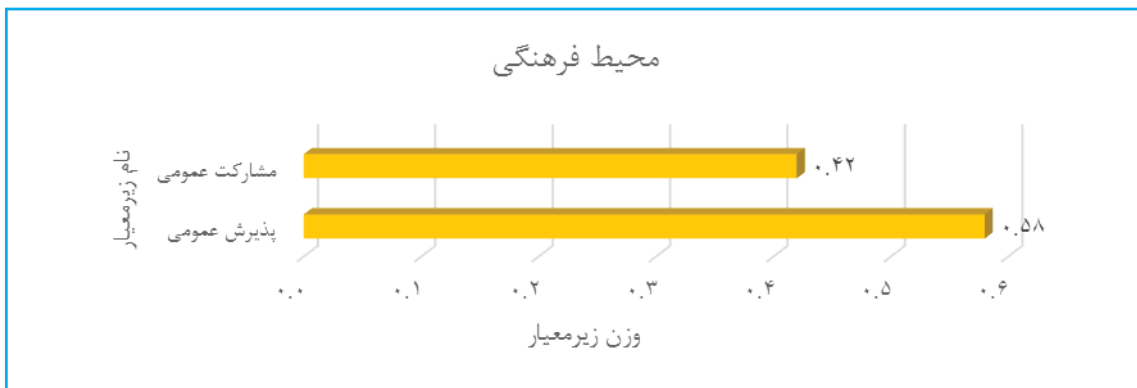
روش رتبه بندی گزینه ها



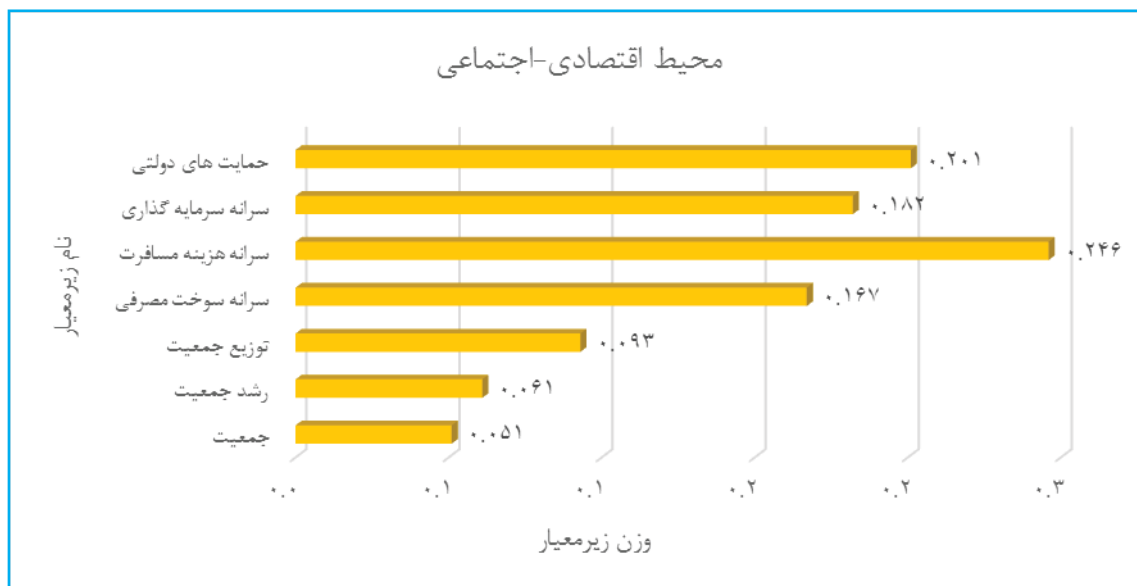
شکل ۲. روند اجرای الگوریتم تحقیق



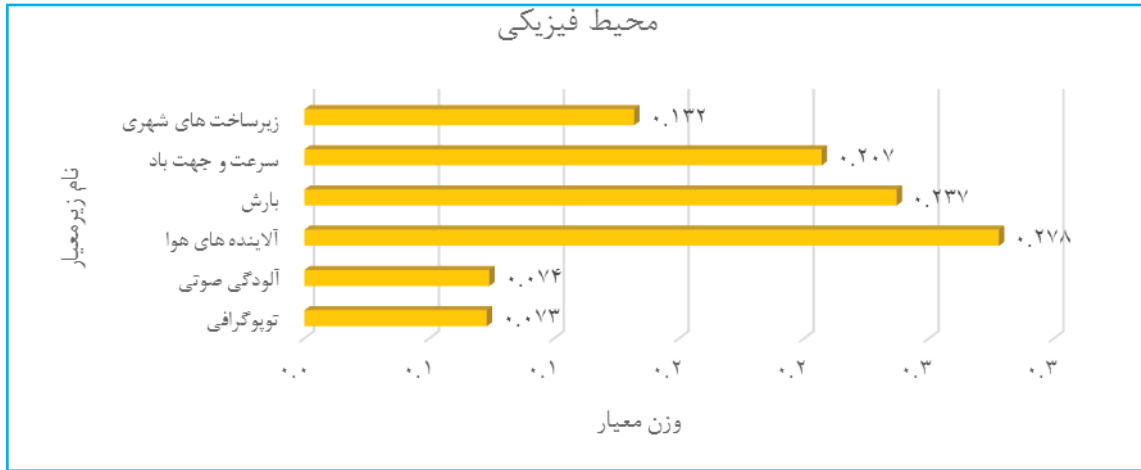
نمودار ۱. مقایسه های زوجی زیرمعیارهای بعد بیولوژیک



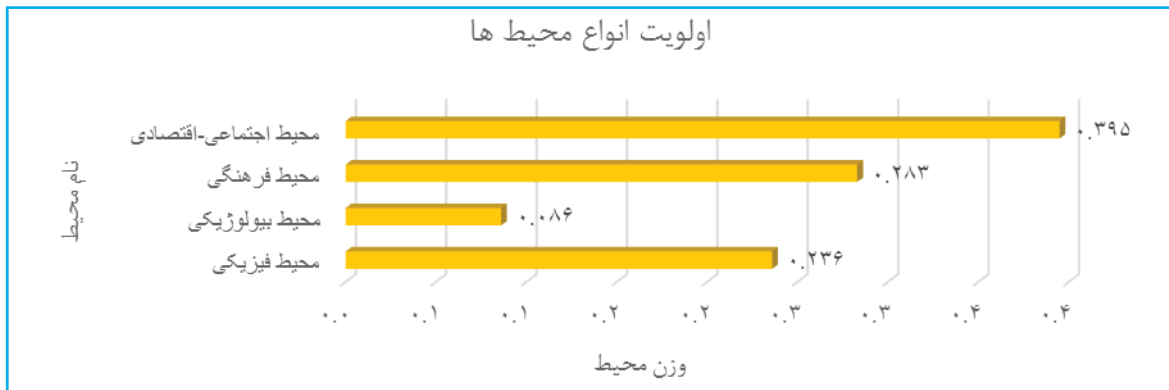
نمودار ۲. مقایسه زوجی زیرمعیارهای بعد فرهنگی



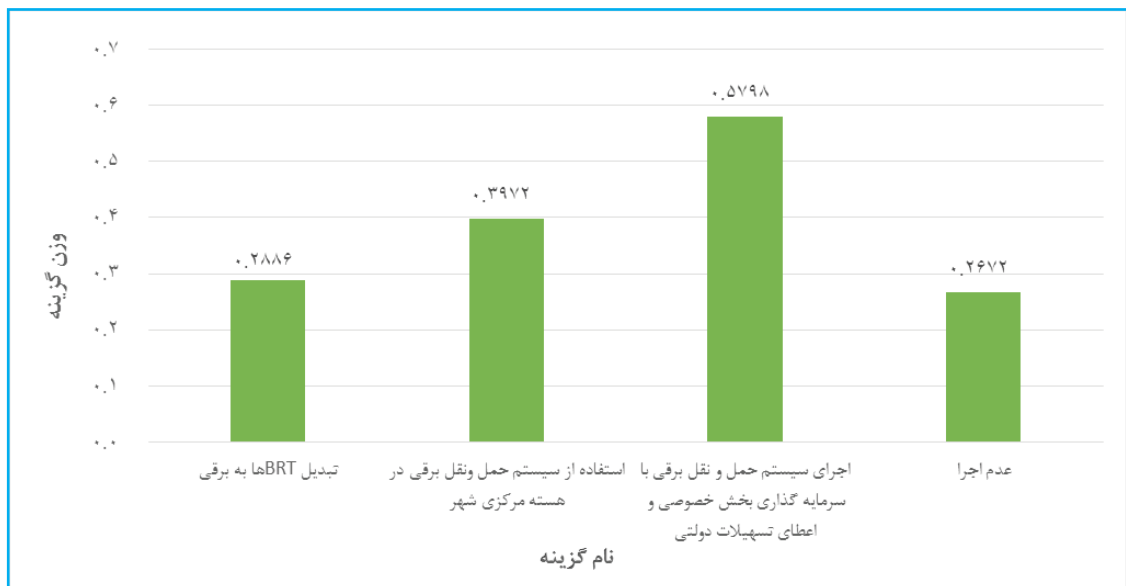
نمودار ۳. مقایسه زوجی زیرمعیارهای بعد اقتصادی-اجتماعی



نمودار ۴. مقایسه زوجی زیرمعیارهای بعد فیزیکی



نمودار ۵. اولویت بندی معیارها و زیرمحیطها نسبت به هدف توسعه حمل و نقل عمومی برقی در تهران



نمودار ۶. نمودار شباهت به راه حل ایده آل

دستاورد‌های این تحقیق بر اساس اطلاعات و آمار گردآوری شده از منطقه مورد مطالعه و فعالیت‌های پیش‌بینی شده ناشی از اجرای پروژه و تأثیر آن بر مؤلفه‌های زیست‌محیطی از نظر مقدار، دامنه و مدت زمان اثر ارزیابی شدند. بر اساس مطالعات انجام شده در بخش‌های شناخت پروژه و ویژگی‌های محیط زیست منطقه مورد مطالعه، پتانسیل انواع اثرات زیست‌محیطی ناشی از اجرای پروژه بر اجزای محیط‌های فیزیکی، بیولوژیک، فرهنگی و اقتصادی - اجتماعی مورد پیش‌بینی قرار گرفتند. به این منظور و برای پیش‌بینی اثرات طرح برای گزینه‌های در نظر گرفته شده با توجه به روش ارزیابی انتخاب شده، اقدام به ارزیابی اثرات گردید که نتایج به‌دست آمده نشان داد گزینه اجرای سیستم حمل و نقل برقی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و اعطای تسهیلات دولتی (۰/۵۷۹۸)، استفاده از سیستم حمل و نقل برقی در هسته مرکزی شهر (۰/۳۹۷۲)، تبدیل BRT ها به اتوبوس برقی (۰/۲۸۸۶) و گزینه عدم اجرا (۰/۲۶۷۲) به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین اولویت را در بین روش‌های توسعه سیستم حمل و نقل عمومی برقی شهر تهران داشتند (نمودار ۶).

## بحث

نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه وانگ و همکاران در چین و کیم و همکاران در کره جنوبی در مورد حمایت‌های دولتی از توسعه حمل و نقل برقی متفاوت بود. در مطالعه وانگ و کیم با محوریت عوامل مؤثر بر توسعه سیستم حمل و نقل برقی، معیارهای مختلفی مانند قیمت خرید، دسترسی به وسایل نقلیه برقی، معافیت از مالیات‌های خرید و هزینه بیمه، لغو محدودیت رانندگی و تخصیص یارانه برای گسترش حمل و نقل برقی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش‌ها نشان داد که در میان مشوق‌های سیاست‌گذاری، حمایت‌های مالی دولت مانند معافیت‌های مالیاتی و یارانه‌ها و شارژ برقی رایگان برای پذیرش آن‌ها، بیش‌ترین تأثیر را دارد. همچنین معیارهای غیرمالی مانند لغو محدودیت خرید و لغو محدودیت رانندگی خودروهای

الکتریکی، دسترسی آسان و سریع به خطوط اتوبوسرانی برقی نیز مؤثر بود. در صورتی که در این مطالعه معیارهای مختلفی شامل فاکتورهای بیولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی، فرهنگی و فیزیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۴۲، ۴۳). نتایج مطالعه حاضر نشان داد در میان این فاکتورها، عوامل اقتصادی- اجتماعی مهم‌ترین فاکتور اثرگذار می‌باشد، همچنین هزینه سرانه سفر مسافران بیشترین اهمیت را داشته و پس از آن به ترتیب حمایت‌های دولتی، سرمایه‌گذاری و سرانه سوخت مصرفی، بیشترین ضریب اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج مطالعه حاضر با مطالعه وو و همکاران در چین متفاوت بود. یافته‌های آنها نشان داد با توسعه زیرساخت‌های EV و سیستم‌های حمل و نقل، شرکت‌های بیشتری تمایل به سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای نوآوری تکنولوژیکی مدل‌های جدید EV داشتند (۴۲)، در حالی که در مطالعه حاضر حمایت‌های دولتی و تخصیص بودجه به بخش خصوصی باعث گسترش حمل و نقل برقی شده بود.

نتایج مطالعه حسینی در ایران نشان داد که حمایت‌های دولتی برای تجاری شدن حمل و نقل برقی ضروری است و پیاده‌سازی این سیستم، نیازمند شرکت‌هایی برای تولید پایدار است (۴۳) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. همچنین نتایج مطالعه راستی برزوقی و موون در کره جنوبی حاکی از آن بود که به‌منظور افزایش تعداد خودروی الکتریکی، کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از مونوکسیدکربن و افزایش درآمد حاصل از حمل و نقل برقی، دولت باید مالیات خودروهای بنزینی را افزایش داده و مالیات سوخت را کاهش دهد. همچنین با اعطای تسهیلات، یارانه تولیدکنندگان را افزایش داده و یارانه مشتریان خود را کاهش دهد (۴۴). در پژوهش حاضر نیز با در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف و انتخاب گزینه برتر اجرای سیستم حمل و نقل برقی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و اعطای تسهیلات دولتی، مشخص گردید که در ایران، اجرایی شدن زیرساخت‌های حمل و نقل برقی، ضرورت تخصیص بودجه کافی از سوی دولت و شهرداری‌ها را ایجاب

خصوصی بر گسترش سیستم حمل و نقل، مهم ترین فاکتور اثرگذار است.

نتایج مطالعه تیواری در انگلستان و مطالعه ولف و مادلر در آلمان با نتایج مطالعه حاضر متفاوت بود. آنها معتقدند آموزش، یعنی تجربه و استفاده از EV، مهم ترین عامل افزایش جذب حمل و نقل برقی بین مسافران است و مزایای EV و مشوق های مالیاتی بدون آموزش افراد ممکن است تأثیر اندکی بر نفوذ بازار داشته باشد (۴۹، ۵۰).

در مطالعه جونگ و همکاران در کشور کره جنوبی، معیارهای مختلفی اعم از راحتی، ایمنی، لذت رانندگی، مسافت قابل پیمایش، قیمت خرید و قابلیت اطمینان، زمان شارژ و دسترسی به ایستگاه های شارژ، شتاب و جادار بودن به عنوان عوامل زیبایی شناسی خودرو، محدوده رانندگی، حفاظت از محیط زیست و ارزش فروش مجدد (به عنوان خودروی دست دوم) را در نظر گرفتند. یافته های آنها نشان داد که عوامل اقتصادی مانند قیمت خرید، یارانه و زیرساخت های شارژ برای توسعه موفقیت آمیز EV در کره جنوبی ضروری هستند و به نقش حمایت های دولتی و سرمایه گذاری در این زمینه توجهی نکرده اند (۴۷)، در صورتی که نتایج مطالعه حاضر نشان داد مشوق های دولتی و مالی و ارائه تسهیلات ارزان قیمت برای سرمایه گذاران بخش خصوصی در توسعه حمل و نقل برقی بیشتر از سایر عوامل تأثیرگذار است.

مطالعه مرادی در ایران با در نظر گرفتن ویژگی های وسایل نقلیه برقی در چهار گروه: مالی، فنی، زیرساخت ها و مشوق های دولتی که شامل معیارهای مختلفی اعم از مسافت طی شده، مدت زمان شارژ، حداکثر سرعت، میزان مسافت طی شده با باتری پر، هزینه شارژ و مشوق های دولتی است، انجام گرفت. یافته های این تحقیق نشان داد که مشوق های دولتی بیش از سایر ویژگی ها بر تمایل به استفاده از حمل و نقل برقی تأثیرگذار است. همچنین ویژگی های قیمت، سرعت و مدت زمان شارژ در اولویت های بعدی مصرف کنندگان قرار دارد (۴۸) که با نتایج مطالعه حاضر مشابه بود، با توجه به اینکه در مطالعات معیارهایی مشابه و متفاوت

می کند. علاوه بر این، با ارائه تسهیلات و امکانات مناسب به بخش خصوصی می توان وسایل نقلیه برقی را تقویت و حضور آن ها را در حوزه حمل و نقل عمومی ارتقاء داد.

در مطالعه محمد در کانادا عواملی که مانع استفاده از اتوبوس های الکتریکی در حمل و نقل عمومی می شوند، شناسایی شد. این مطالعه معیارهای بسیاری شامل کاهش اثرات زیست محیطی (آلاینده های هوا و صدا)، میزان راحتی و دسترسی به حمل و نقل برقی، نوع فناوری حمل و نقل برقی در چندین مؤلفه (برد، زمان شارژ و باتری ها)، اطلاعات مربوط به تأثیر تغییرات دما بر عملکرد باتری، دوام قطعات الکتریکی در برف و باران، مقررات خطر، بهداشت و ایمنی حمل و نقل برقی، امکان سنجی عملیاتی و مالی سیستم برقی، زیرساخت های شهری مورد نیاز، در دسترس بودن منابع انسانی مانند افراد آموزش دیده در زمینه تعمیرات حمل و نقل برقی، هزینه های سرمایه گذاری، هزینه و اثرات زیست محیطی باتری ها، استانداردسازی فناوری برق (باتری، شارژ، ولتاژ) و حمایت های مالی از توسعه حمل و نقل برقی را در نظر گرفت (۴۵). تعدادی از معیارهای تعیین شده در مطالعه حاضر مشابه با مطالعه محمد بود. با این وجود در مطالعه حاضر برخی فاکتورها مانند اثرات زیست محیطی باتری ها و یا در دسترس بودن منابع انسانی برای بهره برداری و تعمیر حمل و نقل برقی در نظر گرفته نشد. همچنین محمد تأثیر رشد جمعیت و پراکندگی آن را در پژوهش خود لحاظ نکرد، اما نتایج هر دو مطالعه تا حدودی مشابه به هم بود؛ چراکه در هر دو مطالعه وجود مشوق های دولتی، کاهش هزینه ها و کاهش آلودگی محیط زیست، تأثیر بسیار زیادی در گسترش سیستم برقی داشت.

نتایج مطالعه حاضر با مطالعه سلطانی صبح در آمریکا متفاوت بود. معیارهای در نظر گرفته شده برای پژوهش سلطانی صبح شامل قیمت برق، مصرف سالانه سوخت و مشوق های دولتی بود. یافته ها نشان داد که از این عوامل، قیمت برق بیشترین تأثیر را بر توسعه وسایل نقلیه برقی دارد (۴۶)، در صورتی که نتایج مطالعه حاضر نشان داد وجود حمایت های دولتی و سرمایه گذاری بخش

از هم تعیین شده است، اما باز هم تأکید بر حمایت‌های مالی و مشوق‌های دولتی بیش از سایر معیارها دارای ضریب اهمیت است. نتایج مطالعه شلوتر و ویر در کشور آلمان نشان داد پذیرش خودروهای برقی در افرادی که در مناطق شهری از حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌کنند و دارندگان اتومبیل‌های سنتی و با سوخت دادن آنها به اشتراک خودرو الکتریکی بیشتر است. همچنین اقدامات دولتی و خصوصی شامل توسعه و گسترش ناوگان حمل‌ونقل برقی در مناطق شهری، به‌ویژه در نظر گرفتن کمک هزینه برای خودروهای برقی نیز مؤثر است و خیلی نگران زیرساخت‌ها مانند ایستگاه‌های شارژ و مشوق‌های مالی مانند قیمت خرید، هزینه‌های نگهداری و عملیاتی، قیمت فروش مجدد خودروهای برقی نیستند (۴۹) که با مطالعه حاضر همخوانی نداشت. در ایران استفاده مشترک از خودروهای برقی توسط مصرف‌کنندگان اهمیت ویژه‌ای ندارد و بیشتر به مشوق‌های دولتی و قیمت اهمیت می‌دهند.

نتایج مطالعه حاضر با مطالعاتی که در زمینه تأثیر استفاده از حمل‌ونقل برقی در کاهش اثرات زیست‌محیطی انجام شده است، مشابه است. در پژوهش حاضر معیارهای آلاینده‌های هوا شامل  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $SO_2$  و  $NO_x$  و سوخت مصرفی و شرایط اقلیمی شامل باد و ریزش‌های جوی، آلودگی صوتی، گونه‌های گیاهی و جانوری و فضای سبز شهری تعیین شدند. آلودگی هوا و آلودگی صوتی، امروزه بخش مهمی از دغدغه‌های محیط زیست به حساب می‌آید. از این رو کنترل و بررسی عوامل آلاینده به‌منظور جلوگیری از گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، بروز انواع بیماری‌های قلبی و تنفسی و نابودی گونه‌های حیوانی و گیاهی بسیار حائز اهمیت است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که به‌کارگیری حمل‌ونقل برقی، میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد که باعث کم شدن اثرات ناشی از آن‌ها می‌شود. نتایج مطالعه دسوزا و همکاران در برزیل و مطالعه بیسر و دینسر در کانادا که چرخه حیات زیست‌محیطی انواع سوخت‌ها را با در نظر گرفتن اثرات نوع سوخت بر گرمایش کره زمین، اسیدپایه، اکسیداسیون

فتوشیمیایی، سمیت برای انسان و افت آبیوتیک سوخت‌های فسیلی خودروها ارزیابی کردند، نشان داد که وسیله نقلیه الکتریکی باتری، کمترین تأثیرات زیست‌محیطی را دارد (۵۴، ۵۵). مطالعه یو و همکاران در چین و جینگ یو و همکاران در آمریکا که با توجه به فاکتورهای انتشار  $SO_2$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و  $CO_2$  و CO انجام شد، نشان داد که میزان انتشار آلاینده‌ها از EVs پایین‌تر از وسایل نقلیه با سوخت متداول است (۵۶، ۵۷). شی و همکاران در چین (۵۰) در مطالعه خود با توجه به اثرات پتانسیل گرمای جهانی، کاهش آبیوتیک و کاهش تخریب لایه ازن، اسیدپایه، اتروفیکاسیون، سمیت انسانی و سمیت محیط زیست (موجودات آبی و زمینی)، میزان انتشار ترکیبات آلی فرار (VOC)،  $PM_{2.5}$ ،  $NO_x$  و  $SO_x$  به این نتیجه رسیدند وسایل نقلیه الکتریکی، پتانسیل گرمایش جهانی، افت آبیوتیک و تخریب لایه ازن را کاهش می‌دهد، در حالی که اثرات اسیدپایه، اتروفیکاسیون، سمیت انسانی و سمیت محیط زیست را افزایش می‌دهند و میزان انتشار گاز گلخانه‌ای خودروی برقی نسبت به بنزینی کمتر است.

نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه لیب و همکاران در آلمان و مطالعه کامپلو و همکاران در اسپانیا مشابه بود. نتایج هر سه پژوهش نشان داد که هنگام استفاده از اتوبوس‌های برقی در مقایسه با اتوبوس‌های دیزلی، پتانسیل زیادی برای کاهش صدا وجود دارد. همچنین مشخص شد وسایل نقلیه الکتریکی بهترین گزینه برای جایگزینی خودروی موتور احتراق داخلی متعارف هستند (۵۹، ۶۰)، اما نتایج مطالعه حاضر با مطالعه خانم ماریا پاردو فریرا در اسپانیا متفاوت بود. یافته‌های آنها نشان داد که شنیدن صدای ماشین‌های الکتریکی برای سایر کاربران جاده به‌خصوص در سرعت‌های پایین و در محیط‌های شهری، دشوارتر است و این خطر جدیدی را برای آنها به‌همراه دارد و اقدامات پیشنهادی ایشان برای جبران کم صدا این بود که رانندگان توجه خود مانند آموزش این موضوع در دوره‌های رانندگی افزایش می‌دهند (۵۱).

نتایج مطالعه سیلیو و باباکان در ترکیه، یوسلا و کایا در

اتوبوسرانی به دلیل بهبود کارایی بالای انرژی که می‌تواند همراه با انتشار کم گازهای گلخانه‌ای و کاهش سر و صدا در مقایسه با اتوبوس‌های معمولی ایجاد شود، محبوبیت بیشتری پیدا می‌کند. به منظور گسترش و افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی برقی می‌بایست اقداماتی نظیر اعطاء کمک‌های بلاعوض یارانه‌ای به بخشهای غیردولتی مرتبط با اهداف توسعه سیستم حمل و نقل عمومی برقی، تامین سرمایه در قالب وام‌های بلند مدت و کم بهره برای شرکت‌ها و موسسات به منظور تجهیز و ایجاد زیرساختهای لازم برای ایستگاههای شارژ و حمل و نقل برقی، حمایت دولت و تسهیل فرآیند واردات و بومی سازی مواد اولیه و تجهیزات مورد نیاز، تدوین قوانین هماهنگی بین بخشی در میان دستگاه‌های دخیل در امر تولید، توزیع، خدمات و نظارتی، تدوین استانداردهای لازم در زمینه تجاری سازی حمل و نقل برقی و ایستگاه‌های شارژ در داخل کشور و تدوین قوانین هماهنگی بین بخشی در میان دستگاه‌های دخیل در امر تولید، توزیع، خدمات و نظارتی صورت گیرد.

همچنین توسعه فناوری حمل و نقل برقی در داخل کشور از طریق حمایت از همکاری فعالانه صنایع توانمند داخلی با پیشگامان این فناوری در دنیا انجام میشود. علاوه بر این ساخت برنامه‌های رسانه‌ای تبلیغی، ترویجی و فرهنگی، طرح‌های تشویقی برای استفاده از حمل و نقل عمومی برقی، کمک‌های دولتی در قالب وام و یا کاهش مالیات‌های صنایع خودروسازی باید توسط دولت‌ها تصویب و مورد پیگیری قرار گیرند تا این بخش نوپا از صنعت خودروسازی، بتواند روز به روز گسترش یابد. از سوی دیگر ایستگاههای شارژ و ایجاد زیرساخت‌های لازم و امکانات مورد نیاز برای توسعه ایستگاه شارژ سیستم حمل و نقل عمومی برقی برای توسعه این سیستم بسیار ضروری است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تحقیق حاضر در مجموع موفق بوده است، هرچند با محدودیت‌ها و مشکلاتی نیز روبرو بوده است.

**ملاحظات اخلاقی:** نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا

ترکیه (۵۲) و مطالعه لین و همکاران در چین (۵۳) نشان داد که زیرساخت شارژ کافی برای سرویس‌دهی ناوگان تاکسی برقی باید تشکیل شود و می‌توان پیشنهادهای مؤثر و مهمی را به شرکت‌های خصوصی و همچنین دولت در استفاده بهینه از اتوبوس‌های برقی ارائه کرد. علاوه بر این، تخصیص بودجه بیشتر در مراحل اولیه ساخت ایستگاه‌های شارژ می‌تواند باعث صرفه‌جویی بیشتر در هزینه‌ها شود. وقتی بودجه کافی باشد، امکانات بیشتری می‌تواند از قبل ایجاد کرد و در نتیجه، اتوبوس‌های الکتریکی می‌تواند گزینه‌های بیشتری را برای شارژ داشته باشد (۶۲-۶۴) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت.

نتایج مطالعه یانگ و همکاران در چین و کارس و همکاران در ایتالیا نشان داد که شیب جاده، باعث خالی شدن باتری می‌گردد و مصرف برق هر وسیله برقی در سربالایی یا سرازیری جاده افزایش می‌یابد. همچنین شیب می‌تواند مصرف سوخت اتوبوس را ۲ برابر کند (۶۵، ۶۶) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت.

نتایج مطالعه حاضر با مطالعه میاو و همکاران در آمریکا (۵۴) و مطالعه وو و لیائو در چین (۵۵) مشابه بود. در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن معیارهای میزان ریزش‌های جوی و وزش باد و جهت آن، مشخص گردید که شرایط آب‌وهوایی بر حمل و نقل عمومی برقی تأثیر بسیاری می‌گذارد و آب‌وهوای نامساعد مانند دمای خیلی بالا یا پایین و بارش زیاد و وزش سنگین باد، میزان استفاده از حمل و نقل عمومی برقی را کاهش می‌دهد.

همچنین یافته‌های حاصل از مطالعه جینگون وو نشان داد که شرایط آب و هوایی نامساعد می‌تواند به میزان زیادی بر سفرهای تفریحی تأثیر بگذارد، تقاضای سفر را کاهش داده و روش سفر را نیز تغییر دهد. آن‌ها دریافتند که هوای گرم باعث افزایش نرخ سفر می‌شود، در حالی که باد شدید، باران شدید و آلودگی هوا میزان سفرها را کاهش می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** در سطح جهانی، در حال حاضر توجه زیادی به کاهش اثرات زیست محیطی حمل و نقل با تغییر به سمت سوخت‌های پاک شده است. در این زمینه، برقی‌سازی حمل و نقل

حفاظت محیط زیست کشور و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران به منظور در اختیار گذاشتن موقعیت ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و داده‌های غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  تشکر و قدردانی می‌شود.

مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

**تشکر و قدردانی:** این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با کد اخلاق ۱۳۹۹،۱۱۵ در دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران می‌باشد. بدین وسیله از سازمان

## References

- Mikulčić H, Duić N, Dewil R. Environmental management as a pillar for sustainable development. *Journal of Environmental Management*. 2017;203:867-71.
- Mottaghi A GA, Mohammadi Z. Analysis of the role of local governments in sustainable urban development (case study; Iranian cities). *Journal of New Attitudes in Human Geography*. 2019;11(4):349-25.
- Muñoz-Villamizar A, Santos J, Montoya-Torres JR, Velázquez-Martínez JC. Measuring environmental performance of urban freight transport systems: A case study. *Sustainable Cities and Society*. 2020;52:101844.
- Raza SA, Shah N, Sharif A. Time frequency relationship between energy consumption, economic growth and environmental degradation in the United States: Evidence from transportation sector. *Energy*. 2019;1:706:20-73.
- Abas AP, Yong J, Mahlia TMI, Hannan M. Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. *IEEE Access*. 2019;7:98565-78.
- Fattah A, Morshed SR. Assessing the sustainability of transportation system in a developing city through estimating CO2 emissions and bio-capacity for vehicular activities. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2021;10:100361.
- Gallet M, Massier T, Hamacher T. Estimation of the energy demand of electric buses based on real-world data for large-scale public transport networks. *Applied Energy*. 2018;230:344-56.
- Danaie H GF. examining the effect of users' perceptions and satisfaction of the public transport system on their loyalty (studied: region 11 tehran). *New Applied Studies in Management, Economics and Accounting*. 2019;16.
- Hrelja R, Khan J, Pettersson F. How to create efficient public transport systems? A systematic review of critical problems and approaches for addressing the problems. *Transport Policy*. 2019.
- A M. Modeling and Evaluation of Factors Affecting Public Transportation System User Satisfaction (Case Study: Tehran Metro and BRT). *Journal of Road Science*. 2021;17.
- Holmberg K, Erdemir A. The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International*. 2019;135:389-96.
- Lemondé C, Arsenio E, Henriques R. Public transportation multimodality in the City of Lisbon. *Transportation research procedia*. 2021;58:75-82.
- Desta M, Lee T, Wu H. Life cycle energy consumption and environmental assessment for utilizing biofuels in the development of a sustainable transportation system in Ethiopia. *Energy Conversion and Management*: X. 2022;13:100144.
- Illgen S, Höck M. Electric vehicles in car sharing networks – Challenges and simulation model analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018;63:377-87.
- Lemme RFF, Arruda EF, Bahiense L. Optimization model to assess electric vehicles as an alternative for fleet composition in station-based car sharing systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2019;67:173-96.
- Li Y, Zhong Z, Zhang K, Zheng T. A car-following model for electric vehicle traffic flow based on optimal energy consumption. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2019;533:122022.
- Xylia M, Silveira S. The role of charging technologies in upscaling the use of electric buses in public transport: Experiences from demonstration projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2018;118:399-415.
- Ahmadi P. Environmental impacts and behavioral drivers of deep decarbonization for transportation through electric vehicles. *Journal of cleaner production*. 2019;225:1209-19.
- Gabsalikhova L, Sadygova G, Almetova Z. Activities to convert the public transport fleet to electric buses. *Transportation Research Procedia*. 2018;36:669-75.
- Shirazi H. Review of Public Transportation Policies in Tehran, Necessity of an Integrated Policy Package. *Strategic Studies of public policy*. 2020;10(37):336-58.
- Fallah E. Investigating barriers and problems facing sustainable transportation in Tehran. *Conference on Sustainable Urban Development; University of Tehran 2011*.
- Gheitashi Vand F SF, Hoseinpour D. designing a general policy framework with a network governance approach; study: public transport in tehran. *Public policy*. 2021;6:89-113.



23. Conti V, Orchi S, Valentini MP, Nigro M, Calò R. Design and evaluation of electric solutions for public transport. *Transportation Research Procedia*. 2017;27:117-24.
24. Zhang X, Nie S, He M, Wang J. Charging system analysis, energy consumption, and carbon dioxide emissions of battery electric buses in Beijing. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021;26:101197.
25. Hosseini S, Sarder MD. Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2019;105:110-22.
26. Jabari E SS. A new method for solving public transportation problem using linear programming and combined PS-ACO metaheuristic algorithm. *Transportation Engineering*. 2017;20.
27. E{Esmaili Alavijeh sA, Elham, Karimi S, Alavipoor F. Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic (case study: Tehran District 22). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;22(3):349-61.
28. Organization TMIaCT. *Tehran Statistical Year Book-98*. 2018;474.
29. Gharehbaghsh H, Mollaei M, Taghavi L. Interactions of Tehran Urban Management Indices and Environmental Performance Indices (EPI). *Human & Environment*. 2020;18(1):35-48.
30. Faridi S, Niazi S, Yousefian F, Azimi F, Pasalari H, Momeniha F, et al. Spatial homogeneity and heterogeneity of ambient air pollutants in Tehran. *Science of The Total Environment*. 2019;697:134123.
31. Jafari AJ, Delikhoon M, Rastani MJ, Baghani AN, Sorooshian A, Rohani-Rasaf M, et al. Characteristics of gaseous and particulate air pollutants at four different urban hotspots in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2021;70:10-29.
32. MOTESADDI ZS, Nasiri R. Spatio-temporal Analysis of PM2.5 Pollutant in Tehran Metropolis During the Years 2014-2017. 2020.
33. Duarte CG, Sánchez LE. Addressing significant impacts coherently in environmental impact statements. *Environmental Impact Assessment Review*. 2020;82:106373.
34. Mareddy AR. Conceptual facets of EIA. In: Mareddy AR, editor. *Environmental Impact Assessment: Butterworth-Heinemann*; 2017. p. 1-29.
35. Nouri J, Nourbaghsh Z, Nourbaghsh M, Tahmasbpour A, editors. *Managing Environmental Aspects and Impacts of Pulp and Paper Industries using Analytical Hierarchy Process (AHP)*.
36. Omidvari M, Ghandehari M. A pattern of Environmental System Assessment in Urban Management by AHP Method. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;21(7):207-19.
37. Samari Jahromi H, Hossein Zade Asl H. Comparing and ranking methods for monitoring NO2 in the air by using Analytical Hierarchy Process Model. *Human & Environment*. 2012;10(22):17-26.
38. Azar A MA. AHP is a new technique for group decision making. *Management Knowledge Quarterly*. 1373;11.
39. Mehri A, Salmanmahiny A. A review of rural land use planning models. *Human & Environment*. 2017;15(1):71-92.
40. Feyzi A, Hashemi T, Hashemi A. The Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Model for Performance Evaluation of Employees in Environmental Offices. *Human & Environment*. 2017;15(3):13-30.
41. Amini S. The combined method of AHP and TOPSIS: *Sanaye20.ir*; 2021 [
42. Wu YA, Ng AW, Yu Z, Huang J, Meng K, Dong ZY. A review of evolutionary policy incentives for sustainable development of electric vehicles in China: Strategic implications. *Energy Policy*. 2021;148:111983.
43. Hoseini T MM. Unpolluted urban logistics; Use of electric vehicles in the distribution chain and distribution of goods and urban traffic. *Scientific Quarterly of Traffic Management Studies*. 1395(41):91-114.
44. Rasti-Barzoki M, Moon I. A game theoretic approach for analyzing electric and gasoline-based vehicles' competition in a supply chain under government sustainable strategies: A case study of South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;146:111139.
45. Mohamed M, Ferguson M, Kanaroglou P. What hinders adoption of the electric bus in Canadian transit? Perspectives of transit providers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018;64:134-49.
46. Soltani-Sobh A, Heaslip K, Stevanovic A, Bosworth R, Radivojevic D. Analysis of the Electric Vehicles Adoption over the United States. *Transportation Research Procedia*. 2017;22:203.
47. Jung J, Yeo S, Lee Y, Moon S, Lee D-J. Factors affecting consumers' preferences for electric vehicle: A Korean case. *Research in Transportation Business & Management*. 2021:100666.
48. Moradi EMS. Factors affecting the willingness of consumers to pay for electric vehicles in the country. *Journal of Energy Planning and Policy Research*. 2020;6(1):195-227.
49. Schlüter J, Weyer J. Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2019;60:185-201.
50. Shi X, Wang X, Yang J, Sun Z. Electric vehicle transformation in Beijing and the comparative eco-environmental impacts: A case study of electric and gasoline powered taxis. *Journal of Cleaner Production*. 2016;137:449-60.

51. Pardo-Ferreira MdC, Rubio-Romero JC, Galindo-Reyes FC, Lopez-Arquillos A. Work-related road safety: The impact of the low noise levels produced by electric vehicles according to experienced drivers. *Safety Science*. 2020;121:580-8.
52. Uslu T, Kaya O. Location and capacity decisions for electric bus charging stations considering waiting times. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021;90:102645.
53. Lin Y, Zhang K, Shen Z-JM, Ye B, Miao L. Multistage large-scale charging station planning for electric buses considering transportation network and power grid. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2019;107:423-43.
54. Miao Q, Welch EW, Sriraj PS. Extreme weather, public transport ridership and moderating effect of bus stop shelters. *Journal of Transport Geography*. 2019;74:125-33.
55. Wu J, Liao H. Weather, travel mode choice, and impacts on subway ridership in Beijing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020;135:264-79.