فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۳، بهار ۱٤۰۱، ص. ۱۷۲۸-۱۷۱۱

مقاله پژوهشی

شناسائی عوامل موثر و میزان تمایل به انتخاب روش‌های مختلف همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس، مطالعه موردی: شهر اصفهان

محمد امین جزی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مهدی فلاح تفتی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

E-mail: fallah.tafti@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷ پذیرش: ۱٤۰۰/۰٦/۱٤

چکیده

یکپارچه‌سازی دو گونه حمل‌ونقلی دوچرخه‌سواری و اتوبوس‌های همگانی درون شهری، از طریق فراهم‌سازی امکان حمل دوچرخه شخصی با اتوبوس یا روش همسواری (Bike-on-Bus) را می توان یکی از رویکردهای موثر برای استفاده بیشتر از حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفت. در این مقاله، نتایج تحقیق انجام شده برای شناسایی پارامترهای مؤثر بر میزان تمایل رانندگان خودروهای شخصی به انتخاب این گونه حمل‌ونقل ترکیبی و روش همسواری مطلوبتر از منظر آنها ارائه شده‌است. اعمال برخی روش‌های دوچرخه‌سواری جدید، بررسی همسواری به جای جداسواری، اولویت‌بندی معیارهای مورد استفاده جهت انتخاب شیوه های مختلف همسواری و تعیین میزان تمایل به استفاده از این روش‌ها، از جمله نوآوریهای این تحقیق می باشند. اولویت‌بندی معیارها و روش‌های همسواری بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از اطلاعات حاصله از پرسشنامه‌هائی انجام گرفت که به روش مصاحبه‌ای از خبرگان حمل‌ونقل و رانندگان خودروهای شخصی اصفهان جمع آوری شده بودند. از داده‌های خبرگان برای تشکیل ماتریس هندسی مقایسه‌ی زوجی معیارها و از داده های شهروندان برای مقایسه زوجی بین گزینه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که بر اساس نظرات خبرگان، معیار زمان سفر با وزن نسبی ۰/۲۹٤، بیشترین تأثیر را در تعیین روش همسواری دارد و معیارهای مجموع هزینه‌های مسافر و احساس امنیت از سرقت دوچرخه به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۲۷ و ۰/۲۱۸ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین بر اساس نظرات شهروندان، روش‌های استفاده از اسکوترهای برقی، کابین‌های ویژه حمل دوچرخه و دوچرخه‌های تاشو به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲٤۹، ۰/۱۹۷ و ۰/۱۹۰، به عنوان مطلوبترین روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس شناخته شدند.

کلمات کلیدی: حمل‌ونقل ترکیبی، حمل‌ونقل همگانی، وسایل‌نقلیه غیر موتوری، همسواری دوچرخه و اتوبوس، تحلیل سلسله مراتبی

۱. مقدمه

رشد جمعیت و افزایش تعداد خودروهای شخصی در سطح شهرهای دنیا سبب ایجاد مشکلات متعددی نظیر ازدحام ترافیکی، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش ایمنی، افزایش زمان سفر، مصرف فزاینده سوخت و هدررفت انرژی و در نتیجه کاهش کیفیت زندگی شده است. از این‌رو تشویق مردم به استفاده از شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل نظیر استفاده از دوچرخه که به فضای کمتری نیاز داشته و آلودگی کمتری تولید می‌کند، در سفرهای کوتاه و نیز در قالب سیستم حمل‌ونقل ترکیبی[1] که حمل‌ونقل همگانی نقش اساسی در آن را بازی می‌کند، یکی از این راه حل‌ها است.

امروزه یکپارچه‌سازی رویکردهای مختلف حمل‌ونقل در قالب گونه‌های حمل‌ونقل ترکیبی، یکی از مؤثرترین راهکارها جهت کاهش معضلات ناشی از استفاده بیش از حد از خودروهای شخصی است. سیاست‌های یکپارچه‌سازی رویکردهای مختلف حمل‌ونقلی با هدف دست‌یابی به سیستمی کاراتر و پایدارتر و ایجاد مزایای بالقوه نظیر ایجاد نقش حمایتی، تکمیل‌کننده و تشدیدکننده فعالیت گونه‌های گوناگون می‌باشد که منجر به برآیند قابل توجه برای کاربران این سیستم می‌شود [Brand and et al. 2017].

در این پژوهش سعی گردیده که گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس و انواع آن که از جمله روش‌های یکپارچه‌سازی دوچرخه با اتوبوس است و به نظر می‌رسد که در کلان‌شهرهای کشور قابل اجرا باشد، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین شیوه‌ها یا اَشکالی از همسواری دوچرخه و اتوبوس که می‌تواند مورد پذیرش و استقبال حداقل بخشی از رانندگان خودروهای شخصی برای استفاده از این گونه ترکیبی در بخشی از سفرهای روزانه‌شان شود، شناسایی شوند تا با شکل‌گیری درست این رویکرد حمل‌ونقلی، استفاده از خودروهای شخصی کاهش و میزان استفاده از گونه حمل‌ونقلی[2] ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس‌های عمومی درون شهری افزایش یابد. علاوه بر این، در این پژوهش سعی شده است که پارامترها و معیارهایی که بر میزان تمایل رانندگان خودروهای شخصی به انتخاب این گونه حمل‌ونقل ترکیبی تأثیر گذارند، شناسایی و بهترین روش همسواری جهت اجرا مشخص گردد. همچنین با تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه‌ها، مهم‌ترین یا بحرانی‌ترین معیارها و میزان و چگونگی تأثیر آن‌ها در نتیجه حاصله و تغییر در اولویت‌بندی گزینه‌ها شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

با توجه به جمعیت قریب دو میلیون نفری کلان‌شهر اصفهان و پتانسیل جمعیت‌پذیری و نیز محدودیت‌های موجود در ظرفیت شبکه معابر این شهر، ارائه راهبردهایی مناسب با در نظر گرفتن پاسخگویی به رشد جمعیت و گسترش شهر در آینده ضروری به نظر می‌رسد. سیستم حمل‌ونقل کنونی کلان‌شهر اصفهان از محدودیت‌های فراوانی نظیر پایین بودن سهم گونه دوچرخه، پایین بودن سهم حمل‌ونقل همگانی، سهم بالای تاکسی‌ها و مسافربرهای غیررسمی برای جابجایی شهروندان و نیز افزایش روزافزون فاصله سفرهای کاری و غیرکاری رنج می‌برد که به دنبال خود عوارضی نظیر ازدحام ترافیکی، افزایش آلودگی هوا، مصرف فزاینده سوخت و هدر رفت انرژی و کمبود پارکینگ مخصوصاً در هسته‌ی اصلی شهر را به دنبال داشته است [Salavati. e Nunes da Silva and Haghshenas. 2020].

برای برآورده کردن اهداف مهم شهر شامل کاهش شلوغی، کاهش زمان سفر، بالابردن راندمان و کارآیی، کاهش زمان انتظار و استفاده بهینه از سطح شبکه معابر باید راهکارهایی مناسب در دستور کار قرار گیرد که یکی از این راهکارها اجرای رویکردهای جدید حمل‌ونقل ترکیبی نظیر همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس‌های عمومی درون شهری است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

نوآوری این تحقیق را به شرح ذیل می‌توان خلاصه نمود:

- افزودن برخی از روش‌های دوچرخه سواری جدید نظیر استفاده از دوچرخه‌های تاشو[4]، دوچرخه‌های الکتریکی[5] و اسکوترهای برقی[6]، به مدد پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی در زمینه ی ساخت باتری‌های لیتیومی با ظرفیت بالا، اندازه‌ی کوچک و وزن پایین،
- در نظر گرفتن روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس عمومی به جای در نظر گرفتن رویکرد استفاده مستقل از این گونه‌ها یا جداسواری، و
- اولویت‌بندی تمایل به استفاده از این روش‌ها بر اساس عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری افراد.

از دیگر ویژگی‌های این مطالعه، بررسی نتایج تحلیل حساسیت معیارها نسبت به گزینه‌هاست که می‌تواند سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران حوزه‌ی حمل‌ونقل و ترافیک را در جهت تصمیم-گیری بهتر برای اجرا و پیاده‌سازی روش‌های همسواری و فراهم نمودن زیرساخت‌های لازم یاری نماید.

۲. پیشینه مطالعاتی

استفاده از دوچرخه به عنوان یک گونه مستقل و ارزشمند حمل‌ونقلی، همواره یکی از رایج‌ترین گونه‌های قابل استفاده برای جابجایی افراد در کنار گونه پیاده‌روی بوده است [Pucher and Buehler. 2009]. استفاده از این گونه یکی از روش‌هایی است که برای سال‌ها در بسیاری از کشورهایی که با مشکلات جمعیتی، ترافیکی و زیست‌محیطی روبرو هستند، رواج دارد. با توسعه و گسترش شهرها، مسیرهای شهری دائماً در حال طولانی‌تر شدن هستند که این امر یک مانع بسیار مهم جهت استفاده از دوچرخه می‌باشد. وجود محدودیت‌های دیگر گونه دوچرخه سواری نظیر شرایط محیطی و توپوگرافی نامساعد به معنی صرف نظر کردن از این گونه ارزشمند نیست. بلکه در چنین شرایطی می‌بایست با یک طراحی هوشمندانه شبکه حمل‌ونقل و یکپارچه‌سازی با سایر گونه‌ها و قرار دادن گونه دوچرخه در قسمت‌های امکان‌پذیر شبکه، محدودیت‌های آن را برطرف نمود و یک سیستم مؤثر و مفید با محدوده‌ی عملکردی گسترده ایجاد کرد که این موضوع، همان هدفی است که سیاست‌های حمل‌ونقل ترکیبی که رویکرد دوچرخه‌سواری بخشی از آن است، دنبال می‌نمایند [Tafazzoli and Nabizadeh. 2011].

سیستم‌های حمل‌ونقل ترکیبی سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها از دو یا چند گونه حمل‌ونقلی در یک سفر استفاده شود. برای نمونه می‌توان به ترکیب گونه دوچرخه با اتوبوس و مترو و تشویق مسافران به استفاده از این گونه‌ها به جای خودروی شخصی اشاره کرد. سیستم‌های حمل‌ونقل ترکیبی را می‌توان هماهنگی بین اجزای مختلف سیستم حمل‌ونقل (یا گونه‌ها) و یا هماهنگی بین یک رویکرد حمل‌ونقلی جدید با سیستم‌ها و زیرسیستم‌های موجود نیز تعریف نمود. بنابراین یکپارچه‌سازی علاوه بر هماهنگ‌سازی درون سیستمی به هماهنگ‌سازی سیستم حمل‌ونقل با سیستم‌های مرتبط نیز می‌پردازد[Litman. 2017]. چندین دهه است که به مسئله یکپارچه‌سازی رویکردهای مختلف حمل‌ونقلی در کشورهای مختلف جهان پرداخته شده است. اولین یکپارچه‌سازی رویکرد حمل‌ونقل شهری در سال ۱۹۶۵ میلادی، درشهر هامبورگ آلمان و تحت عنوان فدراسیون رویکردهای حمل‌ونقل همگانی هامبورگ راه‌اندازی گردید [Wilson and Bell. 1985].

هرچند که اطلاعات دقیقی از یکپارچه‌سازی گونه دوچرخه‌سواری با سایر گونه‌های حمل‌ونقلی در دسترس نیست [Krizek and stonebraker. 2010]، اما به خاطر گسترش قابل توجه این رویکرد در دهه ۱۹۹۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا، این کشور را مبتکر این سیستم حمل‌ونقل ترکیبی دانسته‌اند که این ترکیب در ابتدا به صورت ایجاد پارکینگ دوچرخه در ایستگاه‌های اصلی اتوبوس بوده است. هیئت تحقیقات حمل‌ونقل ایالات متحده[7] در سال ۲۰۰۵ گزارش داد که در اواسط دهه ۲۰۰۰ میلادی در بسیاری از زیرساخت‌های حمل‌ونقل ایالات متحده امکاناتی برای توسعه دوچرخه‌سواری شامل نصب دوچرخه‌بند در اتوبوس‌ها، نصب دوچرخه‌بند در مراکز و ایستگاه‌های اصلی حمل‌ونقل فراهم کرده

است. این هیئت همچنین گزارش داد که از سال ۱۹۹٤ تا ۱۹۹۸، بیشتر شرکت‌های حمل‌ونقل در آمریکا شروع به برنامه‌ریزی برای استفاده ترکیبی از دوچرخه با سایر گونه‌های حمل‌ونقلی کردند[Wang and Liu. 2013].

جهت ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقلی و حصول اطمینان از کارکرد مناسب آن‌ها و نیز مقایسه با حالت مطلوب سیستم‌ها، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و همچنین محاسبه اوزان پارامترهای مؤثر در سنجش عملکرد سیستم‌ها، با توجه به اهداف مدنظر سیستم، اثرگذار خواهد بود [Sheikholeslami. 2011]. از این رو مسئله ارزیابی سیستم‌ها بر اساس استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری همواره مورد توجه کارشناسان حوزه حمل‌ونقل و ترافیک بوده است. در جدول ۱ برخی از این مطالعات ارائه شده است.

جدول ۱. مطالعات مرتبط با موضوع و روش مورد استفاده در این پژوهش

ردیف	خلاصه موضوع مورد مطالعه	معیارهای تصمیم‌گیری بررسی شده در مطالعه
۱	یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر اصفهان	در این مقاله گونه‌های حمل‌ونقل عمومی در شهر اصفهان بر اساس معیارهای هزینه ساخت، افزایش ایمنی، کاهش شلوغی، توزیع عادلانه و کاهش آلودگی، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شده‌اند [Salavati and Haghshenas. 2008].
۲	ارزیابی یکپارچه‌سازی حمل‌ونقل عمومی و دوچرخه‌سواری در شهر تهران	در این مطالعه به معیارهای هزینه، زمان، انعطاف‌پذیری، امنیت و اعتماد برای اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شده است [Haji Mohammadhasan. 2011].
۳	اولویت‌بندی روش‌های مختلف حمل‌ونقل ترکیبی دوچرخه با اتوبوس و مترو	در این مطالعه روش‌های مختلف حمل‌ونقل ترکیبی دوچرخه با وسایل حمل‌ونقل همگانی براساس معیارهای امنیت، اعتماد و اطمینان، انعطاف‌پذیری و هزینه، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند [Krizek. 2011].
٤	اولویت‌بندی روش‌های حمل‌ونقل عمومی در شهر تهران به منظور اصلاح نظام تخصیص بودجه	در این مطالعه گزینه‌های حمل‌ونقلی با استفاده از معیارهای هدف از سفر، زمان سفر، درآمد، هزینه سفر، سهولت دسترسی، محدوده ارائه خدمت و رعایت زمان‌بندی، براساس روش تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شده‌اند [Ahadi. Ghasemi and zakeri. 2012].
٥	تأثیر عوامل مختلف در استفاده از دوچرخه‌بندهای نصب شده بر روی اتوبوس‌ها	در این تحقیق افزایش تعداد دوچرخه‌بندها در اتوبوس‌ها، تأثیر شرایط آب‌وهوایی و تأثیر قیمت بنزین در افزایش یا کاهش تعداد کاربران این رویکرد، بررسی شده است [Flamm. 2013].
٦	هم‌افزایی برای بهبود یکپارچه‌سازی گونه دوچرخه‌سواری با حمل‌ونقل عمومی	در این مطالعه شاخص‌های زیرساخت حمل‌ونقل عمومی، فرهنگ، طرح‌های دوچرخه اشتراکی، امکانات پارکینگ‌های دوچرخه و ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و نیز مقررات استفاده از روش همسواری دوچرخه شخصی با حمل‌ونقل عمومی در نظر گرفته شده‌اند[Kager and Harms. 2017].
۷	مقایسه سیستم‌های دوچرخه‌های اشتراکی با استفاده از AHP در چین	در این مطالعه سیستم‌های مختلف دوچرخه‌های اشتراکی طبق معیارهای اقتصادی، ایمنی، راحتی، سهولت دسترسی، بهره‌وری و مزایای اجتماعی و محیط زیستی با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، سلسله مراتبی فازی و دلفی با یکدیگر مقایسه شده‌اند [Wang and et al. 2019].

ردیف	خلاصه موضوع مورد مطالعه	معیارهای تصمیم‌گیری بررسی شده در مطالعه
۸	ارزیابی سیستم حمل‌ونقل عمومی پایدار	در این مقاله گزینه‌های حمل‌ونقل عمومی براساس معیارهای ایمنی، سهولت استفاده، شرایط اختصاصی، تأثیرات اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش ارزیابی مبتنی بر فاصله ترکیبی انجام شده است [Seker and Aydin. 2020].
۹	انتخاب نقاط به اشتراک گذاری دوچرخه در سیستم دوچرخه‌های اشتراکی آزاد و شناور	در این مقاله نقاط به اشتراک‌گذاری دوچرخه با در نظر گرفتن شاخص‌های دسترسی به مقصد، توانایی پیاده‌روی کاربران تا مرکز حمل‌ونقلی، سهولت کرایه دوچرخه و برگرداندن آن و نیز علاقه کاربران به شرکت ارائه‌دهنده‌ی خدمات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [Cheng and Wei. 2020].
۱۰	طراحی شبکه هاب برای یکپارچه‌سازی خدمات گونه ترکیبی دوچرخه- همگانی به عنوان یک رویکرد رقابتی برای کاهش وابستگی به خودروهای شخصی	در این مقاله، در یک مطالعه موردی بر روی شهر اصفهان، یک مدل ریاضی ابتکاری برای به حداکثر رساندن قابلیت رقابت بین گونه ترکیبی دوچرخه- همگانی و گونه استفاده از خودرو شخصی در سفرهای بین ناحیه ای شهری برای مواردی که سیستم دوچرخه اشتراکی به تنهائی رقابت پذیر نیست، ارائه شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که اگر سیستمهای دوچرخه اشتراکی به عنوان تغذیه کننده حمل و نقل همگانی در بخشهای ابتدائی و انتهائی سفر افراد استفاده شوند، برخلاف حالت با عملکرد مستقل که عمدتا جایگزین سفرهای با حمل و نقل همگانی می شوند، می توانند باعث افزایش سهم سفرهای با گونه حمل و نقل همگانی شوند [Tavassoli and Tamannaei. 2020].

با بررسی مطالعات پیشینه ارائه شده در جدول ۱ می‌توان دریافت که تاکنون روش‌های همسواری جدیدتر نظیر استفاده از دوچرخه‌های تاشو، دوچرخه‌های الکتریکی و اسکوترهای برقی با اتوبوس‌های عمومی در شهرها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین اولویت‌بندی تمایل افراد به استفاده از این روش‌ها بر اساس عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری آن‌ها نیز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین این بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM[۸]) به نحو موفقیت آمیزی برای ارزیابی تصمیم‌گیری‌ها در موضوعات تحقیقی نزدیک به این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین در این تحقیق تصمیم گرفته شد که از این روش به منظور ارائه یک الگوی علمی مناسب جهت اولویت‌بندی تمایل افراد به استفاده از این روش‌ها، از طریق شناسایی و مبنا قرار دادن عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری آن‌ها در کلان‌شهری مانند اصفهان استفاده شود.

اصفهان یکی از کلان‌شهرهایی است که موضوع حمل‌ونقل در آن به موضوع روز و مشکلی اصلی تبدیل شده است. اما خوشبختانه به لحاظ ساختار، فرهنگ، اقتصاد و نیز وضعیت جغرافیایی شهر، هنوز فرصت‌های فراوانی برای اصلاح سیستم حمل‌ونقل به ویژه توسعه رویکرد دوچرخه‌سواری و نیز برنامه‌ریزی همه جانبه مبتنی بر حمل‌ونقل همگانی[۹] باقی است. در کلان‌شهر اصفهان با وسعتی در حدود ۲۶۰ کیلومتر مربع و با جمعیتی نزدیک به ۲ میلیون نفر، روزانه حدود ٤ میلیون سفر انجام می‌شود. ٤۰ درصد سفرهای انجام شده در اصفهان به مرکز شهر جذب می‌شوند که محل عمده جذب سفرها به شمار می‌رود. ضعف و کمبود اساسی شبکه معابر به علت عدم امکان تعریض و توسعه و هزینه‌های فراوان آزادسازی و همچنین بافت تاریخی و ارزشمند شهر، کارشناسان را به سمت یافتن راهکارهایی مبتنی بر استفاده بهینه از حمل‌ونقل همگانی برای

حل مشکلات ترافیکی شهر سوق داده است [Salavati and et al. 2016].

یکپارچه‌سازی رویکرد دوچرخه سواری و اتوبوس‌های عمومی زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که دوچرخه‌سوار انرژی و یا زمان کافی برای طی تمام مسیر را با دوچرخه نداشته باشد. این دو حالت یعنی کمبود انرژی و یا زمان کافی در شهرهای با وسعت زیاد بیشتر نمایان می‌شود. چرا که هنگامی که وسعت شهر زیاد باشد، تعداد قابل توجهی از مسافران باید مسیرهای طولانی را برای رسیدن به مقصد طی کنند که زمان زیادی صرف می‌شود. بنابراین استفاده از دوچرخه کاهش می‌یابد [Shelat. Huisman and van Oort. 2018]. یکی از ویژگی‌های منفی شهر اصفهان گسترده بودن و ویژگی مثبت آن مسطح بودن می‌باشد. یکی دیگر از ویژگی‌های این کلان‌شهر تقاضای زیاد سفر به‌خصوص در هسته‌ی مرکزی شهر است. بنابراین آنچه در این کلان‌شهر به صورت روزانه اتفاق می‌افتد اتلاف وقت، هدررفت سوخت، آلودگی هوا و سایر عوارض ناشی از ترافیک است. با وجود سهمیه‌بندی سوخت، تغییر چندانی در ترافیک شهری به وجود نیامده و به عبارتی هنوز جامعه ترجیح می‌دهد با وجود همه‌ی این معایب، به دلیل کمبودها در سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی و سایر سیستم‌ها، از خودروی شخصی آن هم به صورت تک‌سرنشین استفاده کند. تراکم سنگین ترافیک می‌تواند یک عامل تشویقی جهت استفاده کاربران از سایر رویکردهای حمل‌ونقلی تلقی شود. بنابراین چنانچه رویکرد همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس‌های عمومی با تمام امکانات و زیرساخت‌های لازم آماده و مهیا شود، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای بسیار مؤثر و سودمند جایگزین استفاده از خودروی شخصی معرفی گردد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

در مسائل و مباحث حوزه‌ی حمل‌ونقل و ترافیک عوامل زیادی نظیر عوامل اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مؤثر هستند، بنابراین جهت تجزیه و تحلیل این مسائل نمی‌توان تنها به یک عامل توجه نمود و فقط آن را در روند حل موضوع در نظر گرفت. در نتیجه برای تحلیل آن نیاز به روش‌هایی است که بتواند چندین عامل مؤثر را به طور همزمان مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتیجه‌ی مطلوبی را ارائه دهد. یکی از رایج‌ترین روش‌هایی که امروزه در دنیا برای تحلیل همزمان شاخص‌های کمی و کیفی در فرآیند حل یک مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM) می‌باشد که برای انتخاب برترین گزینه از بین گزینه‌های موجود، مورد استفاده قرار می‌گیرد [McBurney. 2012]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از تکنیک‌های قدرتمند طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی و همچنین درنظرگرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را داراست. این فرآیند، گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها را دارد. همچنین این روش بر مبنای مقایسه‌های زوجی بنا شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند و امکان بررسی سناریوهای مختلف را برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند [Żak and Kruszyński. 2015].

وجود این ویژگی‌ها در کنار راستی‌آزمایی داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها با کمک ضریبی به نام نرخ ناسازگاری سبب انتخاب این روش در این پژوهش گردید. با توجه به اینکه روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس در زمان جمع‌آوری پرسشنامه‌ها نمود عینی نداشتند و شهروندان و حتی متخصصان حوزه حمل‌ونقل نمی‌توانستند درک کاملاً صحیحی نسبت به این روش‌ها با وجود توضیحات فراوان آمارگیران پیدا کنند، به کمک این ضریب، پرسشنامه‌های مخدوش و فاقد اعتبار شناسایی و از دایره محاسبات خارج شدند.

به طور کلی فرآیند تصمیم‌گیری در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به شرح ذیل می‌باشد:

۱. تعریف مسئله یا موقعیت
۲. گردآوری اطلاعات مربوطه

۳. شناسایی معیارها برای مقایسه زوجی در مورد گزینه‌ها
٤. تعیین گزینه‌های اولیه
٥. ارزیابی گزینه‌ها برای تصمیم‌گیری در مورد بهترین آن-ها
٦. تعیین بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود

۳-۱ روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نخستین بار توسط توماس ال. ساعتی[۷] در دهه ۱۹۷۰ میلادی ارائه شد [Saaty.1990]. این روش بر اساس یک ساختار سلسله مراتبی بنا شده و به تحلیل‌گران این امکان را می‌دهد که جوانب مختلف مسئله را در داخل یک ساختار سلسله مراتبی، مدیریت نمایند. این روش با کاهش تصمیمات پیچیده به تعدادی موضوع قابل قیاس و رتبه‌بندی‌های ساده و سپس استخراج نتایج، به تحلیل‌گران در رسیدن به بهترین تصمیم ممکن کمک می‌کند و منطق روشنی را برای انتخاب برمی‌گزیند[Asadabadi. Chang and Saberi. 2019]. بعد از طراحی سلسله مراتب مسأله، تصمیم‌گیرنده می‌بایست مقایساتی بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس اهمیت هر معیار و قضاوت در مورد آن انجام دهد. سپس مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی، اهمیت یا ارجحیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر و نیز هر گزینه تصمیم را با توجه به معیارها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری کرده است، ایجاد نماید. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسات زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده اهمیت یا ارجحیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد.

برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های j ام استفاده می‌شود که این قضاوت‌ها به صورت کمی به اعداد بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌شوند که در جدول ۲ به آن اشاره شده است [Taherdoost. 2017].

برای محاسبه وزن نسبی معیارها بر مبنای ماتریس مقایسه زوجی از روش‌های مختلفی مانند روش حداقل مربعات، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی که خود به چهار روش مجموع سطری، ستونی، میانگین حسابی و هندسی تقسیم می‌گردد، استفاده می‌شود. از آنجایی که مقیاس‌های زوجی، داده‌هایی به صورت نسبت ایجاد می‌کنند و ماتریس حاصله ماتریسی مقایسه‌ای است، استفاده از میانگین هندسی در میان انواع میانگین‌ها مطلوب‌تر و مناسب‌تر می‌باشد [Asgharpoor. 2018]. در این روش با استفاده از میانگین هندسی، میانگین مقایسه‌ی جایگزین‌ها با معیارها نیز محاسبه می‌شود.برای محاسبه میانگین هندسی از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$A_{ij} = \left[\prod_{k=1}^{n} a_{ij}{}^{(k)}\right]^{\frac{1}{n}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

A_{ij} : میانگین هندسی معیار a،

ij : نام دو جایگزین که با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند،

a : معیاری که گزینه‌ها با آن مقایسه می‌شود،

k : کد شخصی که از وی پرسش به عمل آمده است و

$\prod$: علامت ضرب می‌باشد.

شاخص سازگاری دارای دو نوع محاسبه مجزا برای مقایسه انفرادی و گروهی می‌باشد. این رابطه به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (۲)$$

که در این رابطه:

λ_{max}: بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی و

n : مجموع مقادیر ویژه ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد.

ال. ساعتی و هارکر جدولی تهیه کردند که در آن شاخص ناسازگاری ماتریسِ تصادفی[۱۱] بر اساس گزینه‌های رقیب نشان داده شده است. در جدول ۳ شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی تا ۱۰ جایگزین آورده شده است [Harker. 1989 and Saaty. 1994].

جدول ۲. تعیین ارجحیت معیارها و گزینه‌های مورد انتخاب در مقایسات زوجی [Saaty. 2000].

شرح	تعریف	درجه اهمیت
دو عنصر اهمیت یکسانی داشته باشند.	اهمیت یکسان	۱
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، نسبتاً ترجیح داده می‌شود.	نسبتاً ارجح	۳
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، زیاد ترجیح داده می‌شود.	ترجیح زیاد	۵
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، بسیار زیاد ترجیح داده می‌شود.	ترجیح بسیار زیاد	۷
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، فوق‌العاده زیاد ترجیح داده می‌شود.	ترجیح فوق‌العاده زیاد	۹
	ارزش‌های بینابین در قضاوت‌ها	۲،٤،٦،۸

جدول ۳. شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی [Harker. 1989 and Saaty. 1994]

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٤۹

بدین ترتیب، امکان محاسبه نرخ ناسازگاری از طریق رابطه‌ی زیر به وجود می‌آید:

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R} \qquad (۳)$$

که در این رابطه:

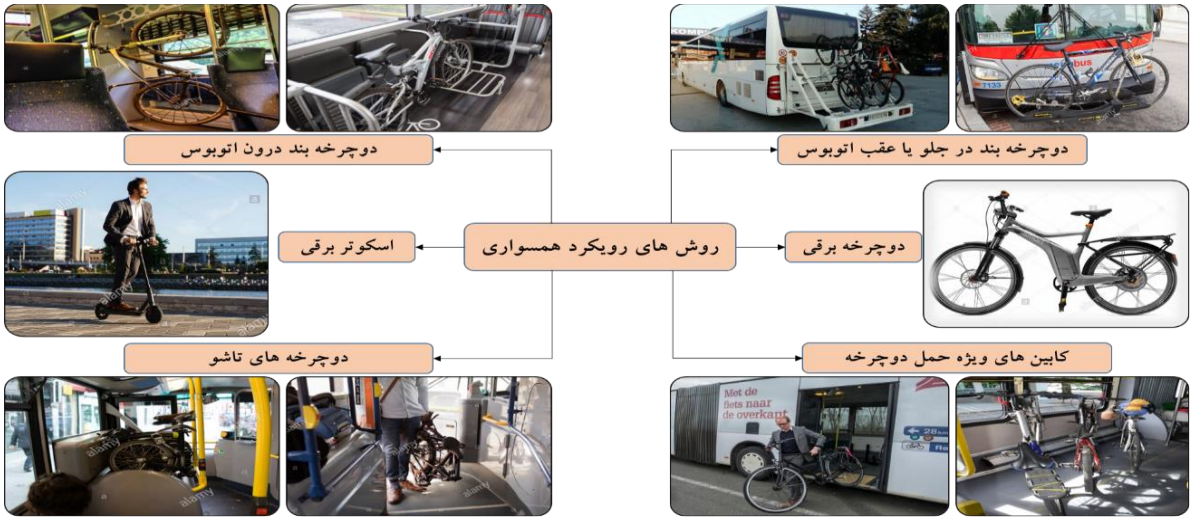
I.I : شاخص ناسازگاری و

I.I.R : شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می‌باشد [Asgharpoor. 2018].

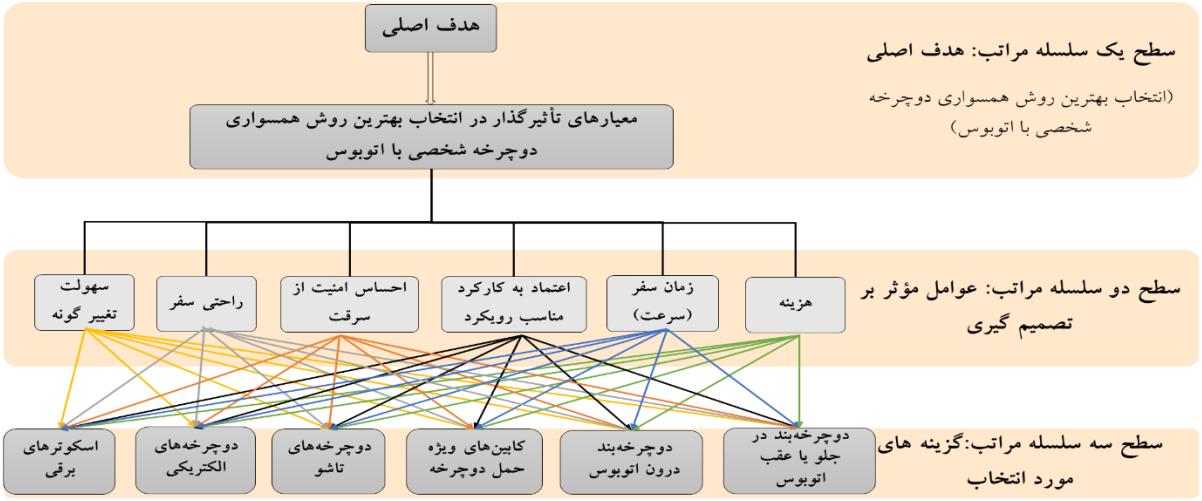
۳-۲ مراحل انجام تحقیق

در این تحقیق ابتدا مطالعات گسترده کتابخانه‌ای برای اولویت‌بندی روش‌های گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس برای سفرهای روزانه درون شهری انجام گرفت. سپس، کلان‌شهر اصفهان با توجه به ویژگی‌های ترافیکی، جمعیتی و جغرافیایی آن به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شد. سپس با استفاده از مطالعات گسترده انجام شده و نیز مشورت با خبرگان و کارشناسان حوزه حمل‌ونقل و ترافیک، شش عامل به عنوان معیارهای مؤثر در استفاده از روش‌های همسواری و شش گزینه‌ای که گمان می‌رود بیشتر مورد استقبال واقع شوند، برای طراحی پرسشنامه مناسب مشخص شدند. معیارهای مجموع هزینه‌های مسافر[۱۲]، مجموع زمان سفر[۱۳]، اعتماد به کارکرد مناسب رویکرد[۱٤] و فراهم بودن امکانات و تسهیلات لازم برای آن، احساس امنیت از سرقت[۱٥]، راحتی مسافر حین سفر[۱٦] و سهولت تغییر گونه[۱۷] (جابجایی از دوچرخه به اتوبوس و بالعکس) به عنوان عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری در نظر گرفته شدند. همچنین روش‌های دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس[۱۸]، دوچرخه‌بند درون اتوبوس[۱۹]، کابین‌های ویژه حمل دوچرخه[۲۰]، دوچرخه‌های تاشو، دوچرخه‌های الکتریکی و اسکوترهای برقی به عنوان روش‌های رویکرد همسواری مشخص شدند. شمایی از این روش‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

با مشخص شدن معیارها و گزینه‌ها، سلسله مراتب اولویت‌بندی معیارها و روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس به صورت شکل ۲ در نظر گرفته شد.



شکل ۱. شمایی از روش‌های رویکرد همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس



شکل ۲. سلسله مراتب اولویت‌بندی معیارها و روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس

در ادامه به منظور تعیین وزن معیارها، تعداد ۴۰ پرسشنامه‌ی مقایسه زوجی بین معیارها توسط خبرگان و کارشناسان، با توجه به دانش نظری و وقوف علمی آن‌ها نسبت به معیارها، به روش نمونه گیری هدفمند تکمیل و گردآوری شد. به منظور تعیین وزن روش‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها نیز تعداد ۱۰۰ پرسشنامه‌ی مقایسه زوجی بین گزینه‌ها براساس معیارها، در سطح شهر توسط شهروندان به عنوان کاربران اصلی استفاده از رویکرد حمل‌ونقلی، تکمیل و اطلاعات آن‌ها گردآوری شد.

شایان ذکر است که یکی از مزایای عمده روش AHP نسبت به روش MCDM آن است که به لحاظ آماری برای دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد، نیازمند اندازه نمونه بزرگی نیست [Dias and Ioannou. 1996 Doloi. 2008]. همچنین تعدادی از محققین استدلال می‌کنند که AHP یک روش تحقیقی ذهنی است که بر یک مسئله خاص تمرکز می‌کند و بنابراین نیازی نیست که از نمونه‌های بزرگ در آن استفاده شود [Lam and Zhao. 1998].

بنابراین با توجه به محدود بودن تعداد خبرگان و متخصصین حوزه‌ی حمل‌ونقل و ترافیک در شهر اصفهان، این واقعیت که در این نمونه گیری هدفمند، اکثریت افراد صلاحیت‌دار و متخصص در حوزه‌ی حمل‌ونقل شهر اصفهان شناسائی و مورد پرسش قرار گرفتند و با توجه به تنوع افراد صلاحیت‌داری که در این رابطه شناسائی و مورد پرسش قرار گرفتند به نظر می‌رسد که اندازه نمونه ٤٠ برای این گروه کافی باشد. چرا که استفاده از نمونه‌های کوچک برای کارشناسان در مطالعات مشابه که از روش AHP استفاده شده است از یکی دو نفر تا حداکثر چند ده نفر معمول بوده است [Ahadi. Ghasemi and Zakeri. 2012]. در رابطه با اندازه نمونه شهروندان نیز با توجه به اینکه در اکثر مطالعات گزارش شده مبتنی بر روش AHP ، اندازه نمونه بین ۲ تا حدود ۱۰۰ نفر بوده است، اندازه نمونه انتخابی در این مطالعه برابر با حد فوقانی این دامنه یعنی ۱۰۰ نفر در نظر گرفته شد [Doloi. 2008 Şahin Schmidt et al. 2015 and Yurdugül. 2018]. در مطالعات مشابه انجام شده در گذشته نیز تعداد نمونه های در نظر گرفته شده در همین حدود بوده است [Haji Mohammadhasan. 2011].

در مجموع، مصاحبه شوندگان شامل ۹٦ مرد (٦٨/٥٧ درصد) و ٤٤ زن (۳۱/٤۳ درصد) بودند که ۱۰۰ نفر (۷۱/٤۳ درصد) از آنان را متأهلین تشکیل می‌دادند. بر اساس آماره‌های توصیفی حاصله بیشترین سهم سفر روزانه متعلق به مردان و زنان با رنج سنی ۳۰ تا ٤٠ سال با ۳۱/٤۳ درصد و رنج سنی ۲۰ تا ۳۰ سال با ۲۷/۸٦ درصد می‌باشند که به آمار توزیع سنی افراد در سفرهای روزانه شهر اصفهان نزدیک است. بر اساس اطلاعات گردآوری شده، سهم افراد با شغل کارمند ۳۵/۷۱ درصد، شغل آزاد ۳۰ درصد، دانشجو ۱۰/۷۱ درصد، خانه‌دار ۷/۸٦ درصد، بازنشسته ٦/٤۳ درصد و دانش‌آموز ٤/۲۹ درصد در نمونه مورد استفاده بوده است. در نمونه افراد آمارگیری شده در این تحقیق، سهم سفرهای کاری ۵۰/۷۱ درصد، تحصیلی ۱۳/۵۷ درصد و کارشخصی ۱۰/۷۱ درصد بوده است که در مجموع حدود ۷۵ درصد سهم سفرها را در نمونه مورد بررسی تشکیل داده‌اند. همچنین بر مبنای اطلاعات حاصله، ۸٦ خانوار (٦۱/٤۳ درصد) دارای ۱ خودرو، ٤۷ خانوار (۳۳/۵۷ درصد) مالک ۲ خودرو و ۷ خانواده (۵ درصد) نیز بیش از ۲ خودرو داشته‌اند. این آمار، حاکی از تنوع کافی ویژگی‌های افراد مورد آمارگیری در این مطالعه می‌باشد.

مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها بر اساس مقدار ارزش طیفی ۱، ۳، ۵، ۷ و۹ انجام و به نسبت اهمیت هر عامل عددی تعلق گرفت. از میان ٤۰ پرسشنامه تکمیل شده توسط خبرگان، ۳ پرسشنامه و از میان ۱۰۰ پرسشنامه گردآوری شده از شهروندان، ۱۹ پرسشنامه به علت پاسخ‌های ضدونقیض و نرخ ناسازگاری بیش از ۰/۱ حذف و سایر پرسشنامه‌ها با بررسی نرخ ناسازگاری آن‌ها در حد مجاز ۱۰ درصد مورد استفاده قرار گرفتند. در پایان، پس از ورود اطلاعات در نرم‌افزار، وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها تعیین و بر اساس این اوزان، اولویت‌بندی روش‌های گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس مشخص گردید. لازم به ذکر است که در روش تحلیل سلسله مراتبی افزایش تعداد نمونه‌ها باعث افزایش محاسبات و در نتیجه افزایش احتمال خطا می‌گردد [Šakalys and et al. 2019]. از این‌رو، جهت کاهش درصد خطا و با در نظر گرفتن حجم نمونه‌های مورد استفاده در مطالعات مشابه گذشته [Haji Mohammadhasan. 2011] ، تعداد ۱۱۸ نمونه نهایی در نظر گرفته شده در این تحقیق برای دستیابی این پژوهش به نتیجه‌ای مناسب، کافی می‌باشد.

٤. نتایج تحقیق و تحلیل آن‌ها

با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و انجام محاسبات لازم، وزن هر یک از معیارها مطابق شکل ۳ مشخص شد. وزنی که هر معیار به خود اختصاص داده است، نشان‌دهنده‌ی میزان تأثیر آن معیار در انتخاب گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، بیشترین مقدار وزن مربوط به معیار مجموع زمان سفر است. این

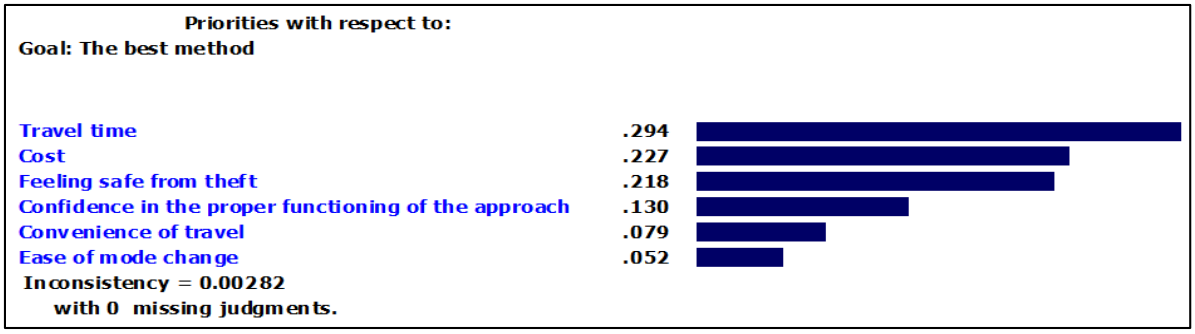
بدان معنی است که تأثیر این معیار در انتخاب گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس بیشتر از سایر معیارهاست و مجموع زمان سفر در مقایسه با سایر معیارها بیشترین تأثیر را در تصمیم‌گیری برای انتخاب این روش دارد. بنابراین جهت پیاده‌سازی روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس باید به این نکته توجه نمود و زیرساخت‌های لازم را جهت کاهش زمان سفر برای کاربران این روش فراهم کرد. پس از مجموع زمان سفر، معیارهای مجموع هزینه‌های مسافر، احساس امنیت از سرقت، اعتماد به کارکرد مناسب رویکرد و فراهم بودن امکانات و تسهیلات لازم، راحتی مسافر حین سفر و سهولت تغییر گونه به ترتیب در رتبه‌های بعدی اولویت‌بندی معیارها قرار گرفتند.طبق اطلاعات به دست آمده از نرم‌افزار، رتبه‌بندی شش روش رویکرد حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس در شکل ٤ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله استفاده از اسکوترهای برقی با وزن نسبی ۰/۲٤۹ به عنوان بهترین روش همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس شناخته شد. پس از آن گزینه‌های کابین‌های ویژه حمل دوچرخه، دوچرخه‌های تاشو، دوچرخه‌های الکتریکی، دوچرخه‌بند درون اتوبوس و روش دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

با توجه به شکل ٤، روش استفاده از اسکوترهای برقی به میزان قابل توجهی نسبت به سایرگزینه‌های موجود در اولویت نخست قرار دارد (۰/۲٤۹ از کل). استفاده از اسکوترهای برقی از نظر زمان سفر، به عنوان تأثیرگذارترین معیار در تصمیم‌گیری، بسیار مناسب و سریع هستند. همچنین استفاده از این روش به دلیل عدم نیاز به رکاب زدن و صرف انرژی از راحتی مناسبی در حین سفر برخوردار است. سهولت تغییر گونه به سبب حمل اسکوتر به داخل اتوبوس حتی در زمان اوج سفرها و در همه‌ی اتوبوس‌ها و نیز احتیاج نداشتن این روش به اتوبوس‌های مجهز به دوچرخه‌بند از دیگر ویژگی‌های استفاده از این روش است.

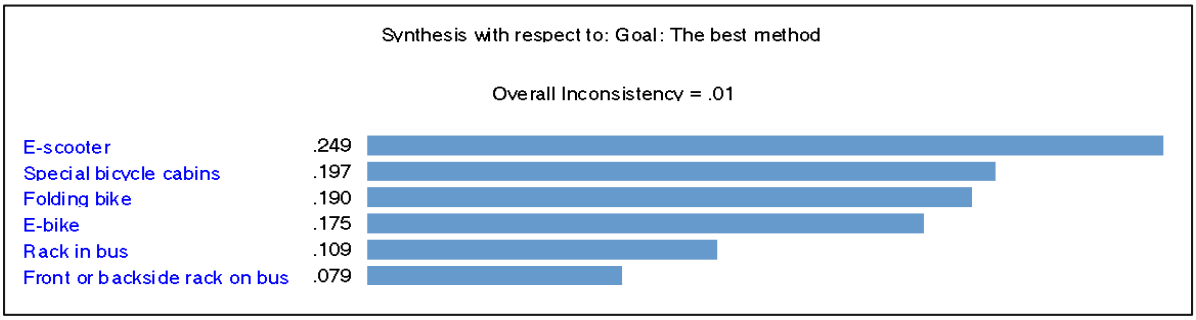
روش استفاده از کابین‌های ویژه حمل دوچرخه و دوچرخه‌های تاشو در رتبه دوم و سوم گزینه‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس قرار دارند. روش استفاده از کابین‌های ویژه حمل دوچرخه به دلیل امکان استفاده از دوچرخه‌های معمولی و مناسب بودن شرایط همسواری برای دوچرخه‌ها از لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه است. دوچرخه‌های تاشو نیز به دلیل جمع شدن و امکان انتقال آن به داخل اتوبوس، سبب آرامش خاطر کاربران از نظر سرقت دوچرخه، سهولت تغییر گونه و اعتماد به کارکرد مناسب این رویکرد توسط آن‌ها می‌گردد. گران بودن دوچرخه‌های الکتریکی، ایجاد مزاحمت برای خود و دیگران در استفاده از روش دوچرخه‌بند درون اتوبوس و نداشتن احساس امنیت از سرقت در روش دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس از مهمترین عوامل کاهش مطلوبیت این گزینه‌ها هستند. در شکل ٥، حساسیت روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس برحسب هر معیار به نمایش درآمده است.

تحلیل حساسیت در مدل‌های تصمیم‌گیری نقش مهمی دارد. هدف اصلی این کار تعیین میزان پایداری نتایج حاصله نسبت به ایجاد تغییرات در معیارهای مؤثر است. همچنین به کمک این کار می‌توان مهم‌ترین یا بحرانی‌ترین معیار و میزان و چگونگی اثربخشی آن را در نتایج و تغییر اولویت‌بندی معیارها شناسایی و ارزیابی نمود [Poh and Ang. 1999].

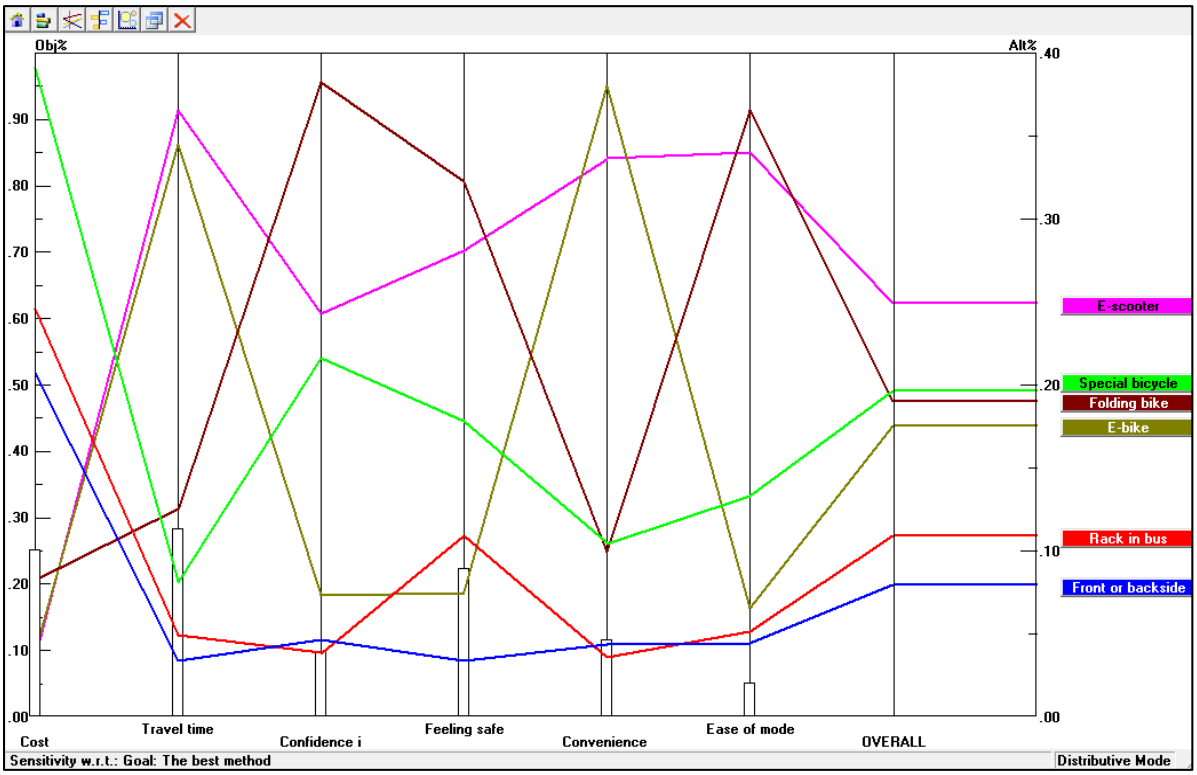
حساسیت گزینه‌ها نسبت به معیارها متفاوت است. در این تحقیق ایجاد تغییر در وزن هر یک از معیارها سبب تغییر در اولویت‌بندی روش‌ها شده است. جدول ٤ بیان کننده حداقل تغییر در درصد معیارها برای ایجاد تغییر در اولویت‌بندی روش‌های همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس است.



شکل ۳. وزن نهایی معیارها و رتبه‌بندی آن‌ها طبق نظر خبرگان



شکل ٤. وزن نهایی گزینه‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها طبق نظر شهروندان



شکل ۵. حساسیت روش‌ها نسبت به تغییر معیارهای انتخاب بهترین روش همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس

بر مبنای نتایج ارائه شده در این جدول، هرچقدر درصد تغییر در وزن یک معیار (اعم از مثبت یا منفی) برای ایجاد تغییر در اولویت یک روش همسواری کمتر باشد، حساسیت آن روش نسبت به آن معیار بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال ۲۷/۹ کمترین درصدی است که وزن معیار مجموع هزینه‌های مسافر باید افزایش یابد (از وزن فعلی ۲٤/۸ به وزن ۵۲/۷)، تا موجب تغییر در رتبه روش دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس شود و یا وزن معیار مجموع زمان سفر باید ۲۱/۳ درصد کاهش یابد تا موجب تغییر در اولویت‌بندی روش دوچرخه‌بند درون اتوبوس گردد.

جدول ٤. تغییر در اولویت روش‌های گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس بر حسب میزان تغییر در معیارها

	دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس	دوچرخه‌بند درون اتوبوس	کابین‌های ویژه حمل دوچرخه	دوچرخه‌های تاشو	دوچرخه‌های الکتریکی	اسکوترهای برقی
مجموع هزینه‌های مسافر	+ ٪۲۷/۹	+ ٪۱۸/٦	– ٪۲/۰۰	– ٪۲/۰۰	– ٪۵/٤	+ ٪۱۰/۰۰
مجموع زمان سفر	–	– ٪۲۱/۳	+ ٪۱۰/۳	+ ٪۵/۱	+ ٪٤/۸	– ٪۱٦/۸
اعتماد به کارکرد مناسب رویکرد و فراهم بودن امکانات و تسهیلات لازم	+ ٪۷۱/۷	+ ٪۷۳/۱	+ ٪۳/۸	+ ٪٤/۵	– ٪۵/۱	+ ٪۲۷/۵
احساس امنیت از سرقت	–	+ ٪۵۲/۲	+ ٪٤/۳	+ ٪٤/۳	– ٪۵/۷	+ ٪٤٦/۱
راحتی مسافر حین سفر	+ ٪۷۲/۹	+ ٪۷۲/۵	+ ٪٦/۷	+ ٪٤/۷	+ ٪٤/۷	+ ٪۵٤/٤
سهولت تغییر گونه	–	–	+ ٪۳/۲	+ ٪۳/۲	–	+ ٪٦۷/۲

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر میزان تمایل رانندگان خودروهای شخصی به استفاده از گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس و نیز مقایسه بین روش‌های همسواری به منظور تعیین بهترین روش، در یک مطالعه موردی بر روی شهر اصفهان استفاده شده است. به همین منظور از نظرات ٤۰ تن از خبرگان و کارشناسان حوزه حمل‌ونقل و ترافیک جهت ارزیابی و وزن دهی ٦ معیار انتخاب شده استفاده گردید. همچنین از نظرات ۱۰۰ تن از شهروندان برای اولویت‌بندی ٦ گزینه همسواری بر اساس ٦ معیار استفاده شد.

اطلاعات اولیه با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice بررسی و معیارها و گزینه‌های مورد نظر اولویت‌بندی شدند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، اولویت‌بندی عوامل موثر بر همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس به ترتیب عبارت است از: مجموع زمان سفر (با وزن ۰/۲۹٤٪)، مجموع هزینه‌های مسافر (با وزن ۰/۲۲۷٪)، احساس امنیت از سرقت (با وزن ۰/۲۱۸٪)، اعتماد به کارکرد مناسب رویکرد و فراهم بودن امکانات و تسهیلات لازم (با وزن ۰/۱۳۰٪)، راحتی مسافر حین سفر (با وزن ۰/۰۷۹٪) و سهولت تغییر گونه (با وزن ۰۵۲/۰٪).

همچنین ترتیب اولویت روش‌های همسواری نیز انتخابی شهروندان به ترتیب: استفاده از اسکوترهای برقی (باوزن ۰/۲٤۹٪)، کابین‌های ویژه حمل دوچرخه (با وزن ۰/۱۹۷٪)، دوچرخه‌های تاشو (با وزن ۰/۱۹۰٪)، دوچرخه‌های الکتریکی (با وزن ۰/۱۷۵٪)، دوچرخه‌بند درون اتوبوس (با وزن ۰/۱۰۹٪) و دوچرخه‌بند در جلو یا عقب اتوبوس (با وزن ۰/۰۷۹٪) مشخص شدند.

با توجه به انتخاب روش استفاده از اسکوترهای برقی به عنوان بهترین روش همسواری، لازم است زیرساخت‌های مورد نیاز این روش نظیر ایستگاه‌های شارژ الکتریکی این وسایل در نقاط مختلف شهر، بخصوص در نزدیکی ایستگاه‌های اتوبوس فراهم شود. ضمن اینکه بر اساس نتایج نهایی اولویت‌بندی روش‌ها، می‌بایست به تولید و تجاری‌سازی اسکوترهای برقی، دوچرخه‌های تاشو و دوچرخه‌های الکتریکی توجه ویژه‌ای گردد.

نتایج مربوط به تحلیل حساسیت نیز نشان داد که چه تغییری در وزن هر یک از معیارها سبب تغییر در اولویت‌بندی روش‌ها می‌گردد. این نتایج نشان داد که حساسیت نتایج اولویت‌بندی به معیار "مجموع هزینه‌های مسافر" بیش از سایر معیارها است. دو روش کابین‌های ویژه حمل دوچرخه و دوچرخه‌های تاشو نسبت به سه معیار مجموع هزینه‌های مسافر، احساس امنیت از سرقت و سهولت تغییر گونه حمل و نقلی دارای درصد تغییر وزن پایین‌تر و یکسانی بودند که این مسئله نشان‌دهنده‌ی حساسیت بسیار زیاد این دو گزینه نسبت به تغییر وزن معیارها و نزدیک بودن اولویت آن‌ها نسبت به یکدیگر است.

از نتایج حاصله به منظور تصمیم‌گیری در رابطه با روش‌های مناسب همسوای دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی در شهری مانند اصفهان می‌توان استفاده نمود. در شهرهای دیگر نیز با اتخاذ روش تحلیلی مشابه می‌توان روش‌های مورد اقبال بیشتر شهروندان را شناسایی نمود.

پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات بعدی، میزان تمایل به استفاده از گونه حمل‌ونقل ترکیبی همسواری دوچرخه شخصی با اتوبوس در قبال پیاده‌سازی سیاست‌های دفعی مانند اخذ عوارض ورود به محدوده مرکزی شهر، قیمت‌گذاری پارکینگ، افزایش قیمت سوخت و نیز سیاست‌های جذبی مانند کاهش قیمت بلیت کاربران استفاده‌کننده از این گونه حمل‌ونقل ترکیبی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می شود که تحقیقات بعدی مشابه، در جهت اطمینان بیشتر از کفایت حجم نمونه مورد مطالعه، بر روی حجم نمونه بزرگتر مثلا حجم نمونه حدود ٤٠٠ تائی آنچنانکه از روش های نمونه گیری تصادفی عمومی مانند فرمول کوکران بدست می آید، انجام شود.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Multimodal transportation
2. Transportation mode
3. Analytic Hierarchy Process
4. Folding bike
5. E-bike
6. E-scooter
7. Transportation Research Board
8. Multiple Attribute Decision Making
9. Transit Oriented Development or TOD
10. Saaty L. Tomas
11. Inconsistency Index of Random Matrix (I.I.R)
12. Cost
13. Travel time
14. Confidence in the proper functioning of the approach
15. Feeling safe from theft
16. Convenience of travel
17. Ease of mode change
18. Front or backside rack on bus
19. Rack in bus
20. Special bicycle cabins

٧. سپاسگزاری

از کارشناسان معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری و استانداری اصفهان، سازمان اتوبوسرانی، کارشناسان پلیس راهنمایی و رانندگی، اساتید دانشکده برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشکده عمران و حمل‌ونقل دانشگاه اصفهان که با تکمیل پرسشنامه‌های مربوطه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

٨. منابع

– احدی، حمیدرضا، قاسمی صاحبی، منان و ذاکری سردرودی، جبارعلی (۱۳۹۲) "اولویت‌بندی روش‌های حمل‌ونقل عمومی در

شهر تهران به منظور اصلاح نظام بودجه"، فصلنامه مهندسی حمل-ونقل، سال چهارم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۲، ص ۱۹۷–۲۰۸.

– اصغرپور، محمد جواد (۱۳۹۷) " تصمیم‌گیری‌های چند معیاره"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

– تفضلی، محمد سروش و نبی زاده، مهدی (۱۳۹۰) "ارایه سیستم ترکیبی دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی و طراحی مسیر یکپارچه دوچرخه با دیگر مدهای حمل‌ونقل"، اولین کنفرانس بین‌المللی دوچرخه شهری، تهران.

– حاجی محمدحسن، مجید (۱۳۹۰) "ارزیابی یکپارچه‌سازی حمل‌ونقل عمومی و دوچرخه‌سواری در شهر تهران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حسن قهرمانی، قزوین: دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

– شیخ‌الاسلامی، عبدالرضا، محمدی، محمدرضا و گهرپور، علی اصغر (۱۳۹۰) "ارزیابی سیستم اتوبوس سریع BRT در شهر تبریز به روش AHP"، یازدهمین کنفرانس بین المللی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران.

– صلواتی، علیرضا و حق‌شناس، حسین (۱۳۸۷) "یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی به روش AHP، مطالعه موردی: شهر اصفهان"، هشتمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران.

- Asadabadi, M. R., Chang, E. and Saberi, M. (2019) “Are MCDM methods useful? A critical review of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP)”, Cogent Engineering, 6(1), 1623153.

- Brand, J., Hoogendoorn, S., van Oort, N., and Schalkwijk, B. (2017) “Modelling multimodal transit networks integration of bus networks with walking and cycling”, In 2017 5th IEEE international conference on models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) (pp. 750-755).

- Cheng, M. and Wei, W. (2020) “An AHP-DEA Approach of the Bike-Sharing Spots Selection Problem in the Free-Floating Bike-Sharing System”, Discrete Dynamics in Nature and Society.

- Doloi, H. (2008) “Application of AHP in improving construction productivity from a management perspective”, Construction Management and Economics, 26(8).

- Dias Jr, A., & Ioannou, P. G. (1996) “Company and project evaluation model for privately promoted infrastructure projects”, Journal of Construction Engineering and Management, 122(1), 71-82.

- Flamm, B. J. (2013) “Determinants of bicycle-on-bus boardings: A case study of the Greater Cleveland RTA”, Journal of Public Transportation, 16(2), 4.

- Harker, P. T. (1989) “The art and science of decision making: The Analytic Hierarchy Process”, In The Analytic Hierarchy Process, Springer, Berlin, Heidelberg, (pp. 3-36).

- Kager, R. and Harms, L. (2017) “Synergies from Improved Cycling-Transit Integration: Towards an integrated urban mobility system”.

- Krizek, K. J. (2011) “Bicycling access and egress to transit: Informing the possibilities”.

- Krizek, K. J. and Stonebraker, E. W. (2010) “Bicycling and transit: A marriage unrealized”, Transporttion Research Record, 2144(1), 161-167.

- Litman, Todd. (2017) "Introduction to multi-modal transportation planning", Canada: Victoria Transport Policy Institute.

- McBurney, A. P. A (2012) "Glimpse of Bike-n-Bus: an exploratory survey of the United States (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology".

- Poh, K. L. and Ang, B. W. (1999) "Transportation fuels and policy for Singapore: an AHP planning approach", Computers and Industrial Engineering, Vol. 37, No. 3, November, pp. 507-525.

- Pucher, J. and Buehler, R. (2009) "Integrating bicycling and public transport in North America", Journal of Public Transportation, 12(3), 5.

- Saaty, T. L. (1990) "Decision making for leaders: the Analytic Hierarchy Process for decisions in a complex world", RWS publications.

- Saaty, T. L. (1994) "Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process", European journal of operational research, 74(3), 426-447.

- Saaty, T. L. (2000) "Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process (Vol. 6)", RWS publications.

- Şahin, M., & Yurdugül, H. (2018) "A content analysis study on the use of analytic hierarchy process in educational studies", Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology, 9(4).

- Šakalys, R., Sivilevičius, H., Miliauskaitė, L. and Šakalys, A. (2019) "Investigation and evaluation of main indicators impacting synchromodality using ARTIW and AHP methods". Transport, 34(3), 300-311.

- Salavati, A., Jose e Nunes da Silva, F. and Haghshenas, H. (2020) "Comparing Public Transport Alternatives Using AHP-TOPSIS and Sustainability Indicators -Case Study: City of Isfahan", *International Journal of Transportation Engineering*, 8(1), 85-106.

- Salavati, A., Haghshenas, H., Ghadirifaraz, B., Laghaei, J. and Eftekhari, G. (2016) "Applying AHP and Clustering Approaches for Public Transportation Decision making: A Case Study of Isfahan City, Journal of Public Transportation, 19(4), 3.

- Shelat, S., Huisman, R., & van Oort, N. (2018) "Analysing the trip and user characteristics of the combined bicycle and transit mode". Research in transportation economics, 69, 68-76.

- Schmidt, K., Aumann, I., Hollander, I. Damm, K. and Schulenburg, J.M.G. (2015) "Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting", Journal of BMC Medical Informatics and Decision Making, 15:112.

- Seker, S. and Aydin, N. (2020) "Sustainable Public Transportation System Evaluation: a novel two-stage hybrid method based on IVIF-AHP and CODAS", International Journal of Fuzzy Systems, 22(1), 257-272.

- Taherdoost, H. (2017) "Decision making using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A step by step approach", International Journal of Economics and Management Systems, 2.

- Tavassoli, K. and Tamannaei, M. (2020) "Hub network design for integrated Bike-and-Ride services: A competitive approach to reducing automobile dependence", Journal of Cleaner Production, 248, 119247.

- Wang, L., Wei, Z., Qiu, S. and Feng, Q. (2019) "Development and AHP based comparison of bike-sharing systems in china", Proceedings of the 2019 World Transport Convention Beijing, China, June 13-16.

- Wang, R. and Liu, C. (2013) "Bicycle-transit integration in the United States, 2001–2009", Journal of Public Transportation, 16(3), 6.

- Wilson, T. K. and Bell, M. C. (1985) "Transport co-ordination and integration in West Germany. Highways & Transportation, 10(32).

- Żak, J. and Kruszyński, M. (2015) "Application of AHP and ELECTRE III/IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects", Transportation Research Procedia, 10, 820-830.

محمد امین جزی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی راه آهن را در سال ۱۳۹٦ از دانشگاه اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-راه و ترابری را در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه یزد اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل و نقل می باشد.

مهدی فلاح تفتی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳٦۸ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-راه و ترابری را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۷۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی ترافیک از دانشگاه ولز-کاردیف انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه سازی ترافیک، سیستمهای هوشمند حمل و نقلی، ایمنی ترافیک، کاربرد تکنیکهای هوش مصنوعی در حمل و نقل، روشهای مدیریت ترافیک و سیستمهای حمل و نقل عمومی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه یزد می باشد.