مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره اول(پیاپی۷۶)،بهار ۰۲، ص ص۳۱-۱۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

اولویت‌بندی اثرات زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی بر انتخاب دوچرخه در سفرهای شهری با استفاده از یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

غلامعلی بهزادی[1]، مجتبی کیانی[2]*، امید تی‌تی‌دژ[3]
۱- استادیار، دانشگاه شمال، گروه مهندسی عمران، آمل، ایران
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه شمال، گروه مهندسی عمران، آمل، ایران
۳- استادیار، دانشگاه شمال، گروه مهندسی عمران، آمل، ایران

رسید مقاله: ۱۸ تیر ۱۴۰۱
پذیرش مقاله:۲۱ آذر ۱۴۰۱

چکیده

انتخاب دوچرخه به‌عنوان شیوه سفر شهری متاثر از متغیرهای متعددی است. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که علاوه بر متغیرهای هزینه و زمان سفر، انتخاب سفر دوچرخه به عوامل دیگری همچون زیرساخت‌ها شهری، شرایط محیطی و کاربری زمین وابسته است. در این مطالعه تلاش شده است تا با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به شناسایی و رتبه‌بندی این متغیرها پرداخته شود. در این تحقیق ۱۸ متغیر در سه گروه فوق شناسایی و تعیین شدند. یافته‌های تحقیق نشان دادند که در گروه زیرساخت‌ها، متغیرهای مسیر دوچرخه تفکیک‌شده، کیفیت روسازی، تراکم تقاطع‌ها، توپوگرافی مسیر و سطح تنش ترافیک شبکه خیابان‌ها به ترتیب بیشترین اولویت را در تحلیل فازی به دست آوردند. متغیرهای ترکیب کاربری‌ها و طراحی شهری محله محور به ترتیب بیشترین اولویت را در گروه کاربری زمین و متغیرهای کنترل تقاطع‌ها با چراغ راهنمایی و تسهیلات رفاهی دوچرخه به ترتیب بیشترین اولویت را در گروه شرایط محیطی داشتند. تحلیل میزان پراکندگی وزن نسبی متغیرها، انحراف از معیار بسیار اندکی را نشان داد که بیان‌کننده سازگاری ماتریس‌های فازی و قابل‌اتکا بودن نتایج است. همچنین، متغیرهای وابسته به معیار کاربری زمین، وزن نهایی قابل‌توجهی داشتند که نشان می‌دهد هرچند بسیاری از مطالعات گذشته از نقش معیار کاربری زمین در انتخاب دوچرخه غافل بوده‌اند، اما این معیار از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج این تحقیق توانسته مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه در سفرهای شهری را شناسایی کند و نیز راهگشای مطالعات آتی با نگاهی ویژه به متغیرهای مرتبط با کاربری زمین باشد.

کلمات کلیدی: شبکه دوچرخه‌سواری، ایمنی، حمل‌ونقل پایدار، تحلیل سلسله مراتبی فازی، زیرساخت‌های شهری، شرایط محیطی، کاربری زمین.

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: mojtaba.kiani.shomalu@gmail.com

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

۱ مقدمه

دوچرخه‌سواری به‌عنوان یک شیوه سفر همواره تحت تاثیر برخی از پارامترهای محدودکننده بوده است. تنها زمانی می‌توان انتظار توسعه دوچرخه‌سواری در شهرها را داشت که این عوامل شناسایی و اقدامات متقابل در جهت غلبه بر آن‌ها صورت پذیرد. مطالعات گذشته درزمینه تحلیل انتخاب شیوه سفر نشان داده است که انتخاب دوچرخه‌سواری از بین انواع مدهای سفر یک امر رقابتی است و به‌منظور پیروزی آن لازم است تا ضعف‌های مد دوچرخه‌سواری شناسایی و مدیریت شود[۱]. بسیاری از مطالعات گذشته مرتبط با مدل‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ازجمله انتخاب شیوه سفر و مسیریابی بر پایه پارامترهای زمان و هزینه سفر استوار هستند[۲-۳]. این در حالی است که دسته دیگری از مطالعات اخیر نشان داده‌اند که پارامترهای متعدد دیگری وجود دارند که می‌توانند بر انتخاب شیوه سفر اثرگذار باشند. ازجمله این متغیرهای می‌توان به طراحی شبکه معابر، ایمنی ترافیکی (تراکم تقاطع‌ها و دسترسی‌ها)، شرایط محیطی (تمیزی و زیبایی مسیر) و شرایط کاربری زمین اشاره نمود[۴-۸]. سفر دوچرخه در محیط‌های شهری نسبت به سایر شیوه‌های سفر به‌طور قابل‌تاملی در رابطه با عوامل فوق‌الذکر دارای ضعف است اما می‌توان آن را از طریق ارایه برخی تسهیلات و شیوه شهرسازی تقویت کرد تا توان رقابت با سایر مدها دست یابد. مطالعات متعددی به بررسی اثرات تسهیلات مختلف به‌منظور افزایش ایمنی دوچرخه‌سواری مانند انواع مسیرهای دوچرخه، تابلوها و علایم ایمنی، مدیریت ایمنی در تقاطع‌ها، تسهیلات آسودگی مسیر دوچرخه مانند فضای سبز، زیبایی و تمیزی مسیر و همچنین تسهیلات بهبود شرایط آب‌وهوایی مانند فضای سبز به‌منظور ایجاد سایه و یا سرپناه‌هایی در شرایط بارندگی پرداخته‌اند[۹-۱۰]. بررسی ادبیات تحقیق نشان داده است که تحقیقات مرتبط با انتخاب شیوه سفر دوچرخه‌سواری نیاز به مطالعات جامع‌تری دارد. ارزیابی مطالعات گذشته نشان داده است که این کمبود ادبیات، در خصوص مطالعات جامعی که به بررسی معیارهای زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی به‌طور هم‌زمان بپردازند، بیش‌ازپیش وجود دارد. از طرف دیگر، شکاف مطالعات گذشته به‌طور ویژه درزمینه بررسی عوامل مرتبط با بافت شهری، انواع کاربری‌ها و توزیع آن‌ها بر انتخاب سفرهای دوچرخه عمیق‌تر است. با توجه به این موضوع، هدف این تحقیق کاهش شکاف موجود در مطالعات گذشته است. در این تحقیق تلاش شده است تابه این سوال‌های اصلی پاسخ داده شود: ۱) عوامل اثرگذار بر انتخاب مسیر دوچرخه ازنقطه‌نظر زیرساخت‌های شهری، شرایط محیطی و کاربری زمین کدام‌اند؟ و ۲) اهمیت هر یک از این متغیرها در جهت توسعه دوچرخه‌سواری به‌عنوان یک شیوه سفر چگونه است؟ در این تحقیق از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (Fuzzy-AHP) برای تجزیه‌وتحلیل استفاده‌شده است. رویکرد فازی به‌عنوان یکی از موفق‌ترین روش‌های مواجهه با شرایط غیرقطعی در این تحقیق به کار گرفته‌شده است. بسیاری از مطالعات پیشین، هنگام برخورد با تصمیمات غیرقطعی و مبهم برای بیان ارزش نسبی پارامترها، از مجموعه‌های فازی یا اعداد فازی استفاده نموده‌اند [۳، ۱۱]. در ادامه مقاله، در بخش ۲ به مطالعات گذشته تحقیق و مدل پیشنهادی پرداخته‌شده است. در بخش ۳، مراحل حل مدل و الگوریتم آن بررسی‌شده، بخش ۴ به تجزیه‌وتحلیل پرداخته و درنهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری اختصاص داده‌شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

۲ ادبیات تحقیق

۲-۱ بررسی مطالعات گذشته

لویی[1] و همکاران به توسعه یک مدل مقیاس بزرگ حمل‌ونقل با تمرکز بر دوچرخه‌سواری پرداختند. این مدل از یک شبکه دقیق و با جزییات دوچرخه استفاده کرده که حاوی اطلاعاتی در مورد زیرساخت‌های موجود دوچرخه است و در آن دوچرخه‌سواری به‌عنوان گزینه‌ای برای دسترسی به حمل‌ونقل عمومی در نظر گرفته‌شده است. متغیرهای به‌کار رفته در مدل‌سازی این تحقیق، تقاضای دوچرخه‌سواری برای اهداف مختلف را با در نظر گرفتن تاثیرات زیرساخت‌های دوچرخه، ویژگی‌های کاربری زمین و ویژگی‌های اجتماعی / اقتصادی خانوار بررسی نموده است[۱۲]. سرورو[2] و همکاران به بررسی اثر طراحی شبکه و زیرساخت‌ها و شرایط محیطی بر میزان سفرهای دوچرخه‌سواری باهدف سفرهای کاری در شهرهای انگلستان پرداختند. یافته‌ها نشان داده که مسیرهایی همراه با ترکیب کاربری‌ها متعدد و فعالیت‌های خرده‌فروشی، به‌عنوان محل‌های اصلی سرمایه‌گذاری به‌منظور برقراری پارکینگ ایمن دوچرخه و محافظت‌شده برای تسهیل سفر با دوچرخه هستند. در مقابل، مسیرهای با ترافیک سریع و حداقل محافظت از دوچرخه‌سواران، به‌طورقطع نیاز به سرمایه‌گذاری برای ایجاد مسیرهای دوچرخه حفاظت‌شده دارند. از طرف دیگر درحالی‌که دلایل زیادی برای ایجاد فضای سبز متعدد و زیباسازی شهرها وجود دارد، نتایج تحلیل‌های این تحقیق نشان می‌دهد که ترویج یک شیوه زندگی فعال می‌تواند مزیت مهم‌تری در برداشته باشد [۱۳]. پانارا و راکساوین[3] در تحقیقی به مقایسه عوامل فیزیکی بر میزان دوچرخه‌سواری در مسیرهای دوچرخه تایلند پرداختند. این عوامل فیزیکی شامل پنج گروه یعنی فاکتورهای محیطی مسیر دوچرخه‌سواری (مانند طول و عرض مسیر، تعداد مسیرهای دوچرخه، پیوستگی مسیر، استحکام رویه مسیر و ...)، فضای سبز، تجهیزات رفاهی، متغیرهای ایمنی ترافیکی (مانند چراغ راهنمایی دوچرخه، تابلوهای و علائم راهنمایی و رانندگی و ...) و متغیرهای امنیتی (مانند سیستم‌های دوربین مداربسته، کارکنان امنیتی و افسران پلیس، باجه‌های تلفن‌های اضطراری و ...) و زیبایی محیطی (مانند المان های شهری، مجسمه ها و ...) است. نتایج تحقیق نشان داده که تغییرات در مبلمان و تسهیلات شهری و تأمین نیازهای فیزیکی پیاده‌ها و دوچرخه‌سواران مانند ورزش، آرامش، سفر و تفریح از طریق بهبود کیفیت مسیر می‌تواند در نرخ سفر مدهای غیر موتوری اثرگذار باشد[۹]. آندرید[4] و همکاران به بررسی زیرساخت‌های دوچرخه و کیفیت طراحی در راستای بهبود دوچرخه‌سواری پرداختند. آن‌ها سه محدوده را برای بررسی‌های میدانی انتخاب کردند: منطقه ۱: منطقه‌ای اشتراکی در هسته شهر، منطقه ۲: توسعه مسیر دوچرخه که محدوده بیرون شهر را به ایستگاه مرکزی شهر متصل می‌کند و منطقه ۳: یک پل مختص عابر پیاده و دوچرخه که از روی رودخانه شهر عبور می‌کند. نتایج تحقیق نشان داده که نقش ارتباطات سریع و باندهای دوچرخه‌سواری با سرعت‌بالا در انگیزه به دوچرخه‌سواری برای استفاده مکرر بسیار قابل‌توجه بوده است. همچنین نتایج مشخص ساخته‌اند که بخش زیادی از افراد نسبت به

[1] Liu
[2] Cervero
[3] Pannara and Raksawin
[4] Andrade

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

فضاهای اشتراکی دوچرخه‌سواری احساس ایمنی مناسبی ندارند [۱۴]. چن[1] به بررسی دوچرخه‌سواری و محیط پیرامونی آن پرداختند. نتایج تحقیق نشان داده که تغییرات فاکتورهایی مانند کاربری زمین، شبکه معابر و طراحی آن، راحتی مسیر، ایمن بودن و جذابیت مسیر به تمایل به دوچرخه‌سواری، بر انتخاب مسیر تاثیرگذار است. همچنین مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار اهمیت‌یافته محیط پیرامونی مسیر، در نتایج تحقیق عبارت‌اند از: ترکیب کاربری‌ها، تراکم افراد ساکن، تراکم افراد شاغل، انواع تسهیلات دوچرخه‌سواری، پارک‌ها، کاربری‌های تجاری، روشنایی خیابان، درختان خیابان، شیب مسیر و محدودیت سرعت [۱۵]. خبیری و سلیمی به شناسایی عامل‌های مؤثر بر ایمنی دوچرخه‌سواری با استفاده از تحلیل عاملی و طبقه‌بندی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داده است که شاخص‌های کیفی مسیر و فاصله از شبکه معابر موتوری بیشترین تاثیر را بر ایمنی و کاهش ریسک دوچرخه‌سواری دارد. همچنین، عامل وجود وسایل نقلیه موتوری تندرو شدیدترین تاثیر را بر کاهش احساس ایمنی دوچرخه‌سواران وارد می‌کند[۱۶].

۲-۲ تعیین متغیرهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از سابقه تحقیق، عوامل اثرگذار بر شرایط رقابت‌پذیری انتخاب شیوه سفر دوچرخه را می‌توان در سه گروه کلی زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی طبقه‌بندی کرد. برخی از مهم‌ترین عوامل مبتنی بر مطالعات گذشته به شرح زیر است:

زیرساخت‌ها:۱) انواع راه‌های دوچرخه، ۲) تعداد مسیرها، ۳) طول مسیر، ۴) پیوستگی مسیرها، ۵) عرض مسیر، ۶) راه‌های دسترسی به شبکه اصلی، ۷) ارتباط با مسیرهای پیاده، ۸) شرایط توپوگرافی و غیره[۱۷-۱۹]. علاوه بر عوامل فوق، باید عواملی که تعامل شرایط ترافیکی شبکه معابر شهری و شرایط طراحی شبکه دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهند نیز بررسی گردند. بدین منظور در این تحقیق از فاکتور تنش دوچرخه‌سواری در شبکه معابر شهری استفاده شده است که رابطه مستقیمی با سرعت تردد وسایل نقلیه موتوری، نقش عملکردی معابر دارد. به‌عبارت‌دیگر هرچه سرعت و نقش عملکردی شبکه معابرافزایش یابد فاکتور تنش دوچرخه‌سواری افزایش می‌یابد[۱۳].

فاکتورهای ایمنی: ۱) چراغ‌های راهنمایی دوچرخه و پیاده در تقاطع‌ها، ۲) رنگ متفاوت مسیرهای دوچرخه به‌خصوص در تقاطع‌ها و محدوده‌های اطراف، ۳) علائم راهنمایی عابر پیاده و دوچرخه، ۴) موانع فیزیکی آرام‌سازی ترافیک، ۵) خطوط عبور عرضی عابر پیاده و دوچرخه، ۶) پل‌های عابر پیاده و دوچرخه و غیره [۲۰-۲۳].

فاکتورهای امنیتی: ۱) سیستم‌های امنیتی نظارتی، ۲) مراکز سرویس امنیتی و ایستگاه‌های پلیس و نگهبانی، ۳) روشنایی کافی، ۴) سرزندگی محیطی و غیره[۲۴-۲۶].

فاکتورهای رفاهی: ۱) ایستگاه‌های آب آشامیدنی، ۲) محیط‌های غذاخوری، ۳) فضاهای رفاهی چندمنظوره، ۴) اتاق‌های سرویس بهداشتی، دوش و تعویض لباس و ...، ۵) علایم و نقشه‌های مسیریابی، ۶) تجهیزات برای افراد

[1] Chen

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

ناتوان، ۷) فضای پارک برای وسایل نقلیه موتوری و غیرموتوری، ۸) تعمیرگاه‌ها و مراکز سرویس دوچرخه، ۹) سطل آشغال، صندلی و محل‌های استراحت و غیره[۲۷-۳۰].

فاکتورهای زیبایی: ۱) زیبایی و نظم محیطی، ۲) تعمیر و نگهداری منظم زیرساخت‌ها، رسیدگی به فضای سبز و باغبانی، تمیزی، المان‌ها و غیره[۳۱-۳۴].

فاکتورهای کاربری زمین: ترکیب کاربری‌ها توزیع کاربری‌ها بر اساس توسعه دوچرخه محور و توسعه و طراحی محیط‌های شهری بر مبنای توسعه دسترسی شرایطی را می‌تواند ایجاد کند که سفرهای دوچرخه امکان انتخاب بیشتری داشته باشند و نیز ارتباط بین کاربری‌های مختلف می‌تواند مسیرهای مرتبط و پیوسته‌ای را برای سفرهای زنجیره‌ای دوچرخه به وجود آورد. ایجاد سناریوهای تاثیرپذیر از ترکیب کاربری‌ها و توزیع آن می‌تواند اثر انتخاب مد دوچرخه بر این موضوع را ارزیابی نماید. بر اساس مطالعات گذشته مشخص‌شده است که محیط‌های شهری منسجم، تراکم ساختمانی بالا، سهم بیشتر ترکیب کاربری‌ها، دسترسی‌های بیشتر، بلوک و محله‌های پرتراکم و مقصدهای سفر نزدیک‌تر به مبدا از عوامل اصلی کاهش زمان سفر بوده و درنتیجه برای سفرهای غیر موتوری مناسب‌تر هستند[۳۵-۳۷].

با توجه به موارد فوق، جدول ۱ معیارهای اثرگذار بر تابع هدف و هجده زیر معیار وابسته اثرگذار بر انتخاب دوچرخه‌سواری موردبررسی در این تحقیق را نشان می‌دهد. انتخاب متغیرها در دو بخش صورت گرفته است.

جدول ۱. معیارها و زیر معیار وابسته اثرگذار بر انتخاب دوچرخه‌سواری

معیارهای اثرگذار بر تابع هدف	زیرساخت‌ها (INF)	شرایط محیطی (BE)	کاربری زمین (LU)
زیر معیارهای تحقیق	مسیر دوچرخه تفکیک‌شده (INF1)	کنترل تقاطع‌ها با چراغ راهنمایی (BE1)	ترکیب کاربری‌ها در طول مسیر (LU1)
	عرض مفید مسیر دوچرخه (INF2)	تمیزی (BE2)	طراحی شهری محله محور (LU2)
	توپوگرافی و شیب مسیر (INF3)	روشنایی مسیر (BE3)	زیبایی مسیر (کاربری‌های پارک و فضای سبز) (LU3)
	پارکینگ دوچرخه (INF4)	سرزنده بودن مسیر (BE4)	تراکم کاربری‌ها در طول مسیر (LU4)
	ایستگاه حمل‌ونقل عمومی در مسیر (INF5)	تابلوها و علائم ترافیکی و راهنمای مسیر (BE5)	
	کیفیت روسازی مسیر (INF6)	تسهیلات رفاهی در طول مسیر (BE6)	
	سطح تنش ترافیک خیابان (INF7)		
	تراکم تقاطع‌ها (INF8)		

منبع: نگارنده

ابتدا لیست کلی از معیارها و متغیرهای اثرگذار بر تابع هدف تحقیق از مطالعات پیشین مرتبط به موضوع، گردآوری شدند. سپس متغیرها از طریق یک پرسشنامه امتیازدهی با مقیاس لیکرت (امتیاز ۱ تا ۵، که امتیاز ۱ به

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

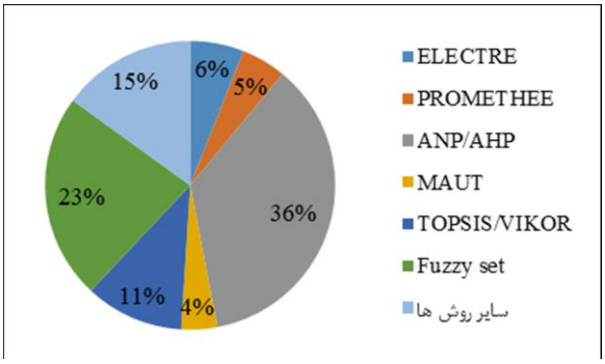
[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

معنی کمترین اهمیت و امتیاز ۵ به معنی بیشترین اهمیت است) که از ۱۵ متخصص سوال شده است، مورد ارزیابی قرار گرفتند و متغیرهایی که دارای امتیازی بیش از ۲ بودند برای تحلیل‌های بیشتر انتخاب شدند. متخصصین انتخاب‌شده از اساتید دانشگاهی و فارغ‌التحصیلان مرتبط با موضوع تحقیق بوده‌اند.

۳ روش تحقیق

۳-۱ مدل‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی اثرات فاکتورهای متعدد بر انتخاب دوچرخه در سفرهای شهری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده‌شده است. امروزه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بسیاری از مطالعات سیستم‌های حمل‌ونقل رواج یافته‌اند. با استفاده ازاین‌روش‌ها امکان شناسایی، مقایسه و رتبه‌بندی نتایج و راه‌حل‌ها برای مشکلات پیچیده که شامل اهداف متناقض و متعدد است، وجود دارد و می‌توان یافته‌های مشخص و متمایزی را برای مسایل پیچیده ارایه کرد. روش‌های متعدد تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در دهه‌های گذشته توسعه یافته است. مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1])، تحلیل شبکه‌ای (ANP[2])، MAUT[3]، ELECTRE، PROMETHEE[4]، TOPSIS، شبیه‌سازی و غیره. هر یک از این‌ها علی‌رغم داشتن ویژگی‌های مشترک، خصوصیات و نقاط قوت منحصربه‌فردی نیز دارند[۳۸، ۳۹]. در طی سال‌های گذشته محققان زیادی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده نموده‌اند. شکل ۱ دسته‌بندی از مطالعات با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در حوزه‌های مختلف حمل‌ونقل را نشان می‌دهد.



شکل ۱. روش‌های MCDA مورداستفاده در مطالعات مرتبط با حمل‌ونقل در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲[۴۰]

در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP[5]) برای تجزیه‌وتحلیل استفاده‌شده است. روش AHP از متداول‌ترین ساختارهای طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است، زیرا امکان تجزیه مسایل پیچیده را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند. علاوه بر آن امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی را در

[1] Analytic Hierarchy Process
[2] Analytic network process
[3] Multiple attribute utility theory
[4] Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations
[5] Fuzzy AHP

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]
[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

مساله داشته و این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها برای بررسی استحکام مدل طراحی‌شده را نیز دارد[۴۱]. هرچند این روش مزایای زیادی دارد، اما AHP ساده که از عبارات کلامی با مقادیر غیر فازی (ثابت) تشکیل‌شده است نمی‌توانند به‌طور مناسب شرایط غیرقطعی را تحلیل نمایند. تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده و نامعلوم به‌طورکلی مستلزم برخورد با مشکلاتی است که در آن‌ها توصیف محیط و عناصر تصمیم‌گیری و همچنین قضاوت‌ها ازنظر ماهیت مبهم و/یا غیردقیق هستند. به‌ویژه استفاده از معیارهای ارزیابی کیفی و مسایل پیچیده مربوط به انتخاب که معمولاً در تصمیم‌گیری به‌وسیله متخصصان مورداستفاده قرار می‌گیرد، ممکن است باعث شود تصمیم‌گیرندگان اطلاعات یکسانی را به طرق مختلف تفسیر کنند. در چنین شرایطی، به دست آوردن قضاوت دقیق، یعنی برآورد نقطه‌ای، ممکن است غیرواقعی و غیرعملی باشد[۴۲]. ازاین‌رو در بسیاری از مطالعات، هنگام برخورد با تصمیمات مبهم برای بیان ارزش نسبی پارامترها، از مجموعه‌های فازی یا اعداد فازی استفاده می‌نمایند، که مبهم بودن و غیرقطعی بودن شرایط را در نظر می‌گیرد[۴۳].

روش FAHP مشابه اکثر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از مجموعه‌ای گام‌های پی‌درپی تشکیل‌شده است که پس از طی شدن هر مرحله وارد مرحله بعدی شده و درنهایت منجر به تعیین وزن هر یک از متغیرها بر تابع هدف می‌گردد.

مرحله اول-ماتریس مقایسات زوجی فازی: درروش FAHP، عناصر تصمیم در هر قسمت با توجه به اهمیت آن‌ها در کنترل معیار به‌صورت زوجی مقایسه می‌گردند. ماتریس مقایسات زوجی از طریق تبدیل عبارات کلامی به داده‌های فازی تبدیل می‌شوند. عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دوبه‌دو مقایسه می‌شوند. تاثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل‌ارایه است[۴۴]. در این تحلیل به‌منظور تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و نیز تعیین وزن‌ها و بردارهای ویژه از روش تحلیل فازی چانگ[1] استفاده‌شده است که بر مبنای اعداد فازی مثلثی استوار است[۴۵]. یک عدد فازی زمانی یک عدد فازی مثلثی است که بتواند شرایط رابطه (۱) را داشته باشد. بازه عدد فازی $\tilde{A}$ که با پارامتر $\widetilde{a_{ij}}$ نشان داده می‌شود بر اساس بازه (l, m, u) با سه مقدار است که l نشان‌دهنده کمترین مقدار، m خوش‌بینانه‌ترین مقدار و u بزرگ‌ترین مقدار ممکن برای رخداد عدد A است[۴۶]. رابطه (۲) نشان‌دهنده ماتریس فازی $\tilde{A}$ در بعد $(n \times n)$ است که تمامی عناصر آن با $\widetilde{a_{ij}}$ نشان داده‌شده است به‌طورقطع تمامی $i, j \in \{۱,۲, \dots, n\}$ هستند.

$$\mu A(x) = \begin{cases} \left(x - \frac{l}{m} - l\right), l \le x \le m \\ \left(u - \frac{x}{u} - m\right), m \le x \le u \\ ۰, \quad \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱)$$

[1] Chang

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

$$A = a_{ij} = \begin{bmatrix} (۱,۱,۱) & a_{۱۲} & \dots & a_{۱n} \\ a_{21} & (۱,۱,۱) & \dots & a_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n۱} & a_{n۲} & \dots & (۱,۱,۱) \end{bmatrix} \quad (۲)$$

متغیرهای کلامی فازی برای نشان دادن اعداد فازی اساسی مورداستفاده در تحلیل‌ها در جدول ۲ ارایه‌شده است. این تعاریف برای سهولت استفاده از مقایسه‌های زوجی در سیستم‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر فازی استفاده می‌شود تا بتوان برای اهمیت هر فاکتور، معیارها و زیر معیارها را با یکدیگر مقایسه نمود.

جدول ۲. اعداد فازی و عبارات کلامی مرتبط با آن[۴۷]

عبارات کلامی	اعداد فازی	تابع عضویت
ترجیح برابر	$\tilde{۱}$	(۱،۱،۳)
ترجیح متوسط	$\tilde{۳}$	(۱،۳،۵)
ترجیح زیاد	$\tilde{۵}$	(۳،۵،۷)
ترجیح خیلی زیاد	$\tilde{۷}$	(۵،۷،۹)
ترجیح کاملاً زیاد	$\tilde{۹}$	(۷،۹،۹)
عبارات میانی	$\tilde{۲},\tilde{۴},\tilde{۶},\tilde{۸}$	

مرحله دوم-بررسی سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی: تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به‌دست‌آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. بر اساس مطالعات پیشین، اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد سازگاری مقایسات قابل‌قبول بوده و در غیر این صورت مقایسه‌ها باید تجدیدنظر شود[۴۷].

بر اساس روش گوگوس و بوچر[1] گام‌های زیر برای محاسبه نرخ ناسازگاری به کار می‌روند [۴۴]:

گام ۱) در مرحله اول ماتریس مثلثی فازی را با فرض عدد فازی مثلثی را به دو ماتریس تقسیم می‌کنیم. ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی تشکیل می‌شود $Am=[a_{ijm}]$ و ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی است $Ag=[a_{iju}.a_{ijL}]$.

گام ۲) بردار وزن هر ماتریس (Wm, Wg) را با توجه به روش ساعتی بر اساس تئوری AHP ساده به روش نرمال‌سازی ستونی و میانگین‌گیری سطری به دست می‌آوریم.

گام ۳) بزرگ‌ترین مقدار ویژه هر ماتریس (λmax) را با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌کنیم.

[1] Gogus and Boucher

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

$$\lambda_{max}^{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ijm}\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \quad (۳)$$

$$\lambda_{max}^{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}\right)\times\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \quad (۴)$$

گام ۴) شاخص سازگاری با توجه به روابط (۵) و (۶) به دست می‌آید.

$$Ci_m = \frac{\lambda_{max}^{m} - n}{n-1} \quad (۵)$$

$$Ci_g = \frac{\lambda_{max}^{g} - n}{n-1} \quad (۶)$$

گام ۵) نرخ سازگاری: برای محاسبه نرخ سازگاری (CR)، شاخص (CI) را بر مقدار شاخص تصادفی (RI) از جدول ۳ تقسیم می‌کنیم. درصورتی‌که مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد ماتریس سازگار و قابل‌استفاده است.
نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر، سازگاری در مقایسات زوجی را بیان می‌دارد. به‌طور کل هرگاه هر دو رابطه (۷) و (۸) برای ماتریس صادق باشد، ماتریس سازگار است و در غیر این صورت ماتریس موردنظر از فرایند ارزیابی حذف و یا برای اصلاح به نظر دهنده برگشت داده می‌شود.

$$CR_m = \frac{CI_m}{RI_m} \quad (۷)$$

$$CR_g = \frac{CI_g}{RI_g} \quad (۸)$$

جدول ۳. شاخص سازگاری تصادفات F-AHP (CIR) [۴۶]

اندازه ماتریس	RIm	Rig
۱	۰	۰
۲	۰	۰
۳	۰/۴۸۹۰	۰/۱۷۹۶
۴	۰/۷۹۳۷	۰/۲۶۲۷
۵	۱/۰۷۲۰	۰/۳۵۹۷
۶	۱/۱۹۹۶	۰/۳۸۱۸
۷	۱/۲۸۷۴	۰/۴۰۹۰
۸	۱/۳۴۱۰	۰/۴۱۶۴

مرحله سوم-محاسبه Si: این مقادیر برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی است که بر اساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

$$Si = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \times \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{i} \right] \quad (9)$$

مرحله چهارم-محاسبه درجه بزرگی Si: درجه بزرگی عناصر نسبت به یکدیگر که از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$V\left(M_2 \geq M_1\right) = hgt\left(M_1 \bigcap M_2\right) = \lambda_{m2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \end{cases} \quad (10)$$

مرحله پنجم-محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها در ماتریس مقایسه زوجی که بر اساس رابطه (۱۱) تعیین می‌شود.

$$d'(A_i) = \text{Min}V(S_i \geq S_k) \quad K = 1,2,\ldots,n, k \neq i \quad (11)$$

مرحله ششم-محاسبه بردار وزن نهایی بر اساس رابطه (۱۲) است.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T \quad (12)$$

مرحله هفتم-تلفیق وزن‌ها: با توجه به وزن معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش بردار ویژه، وزن نهایی هر یک از زیر معیارها تعیین می‌شود (رابطه (۱۳)). که در آن w_j نشان‌دهنده وزن معیار j و a_{ij} وزن زیر معیار i نسبت به معیار j است.

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} w_j a_{ij} \quad (13)$$

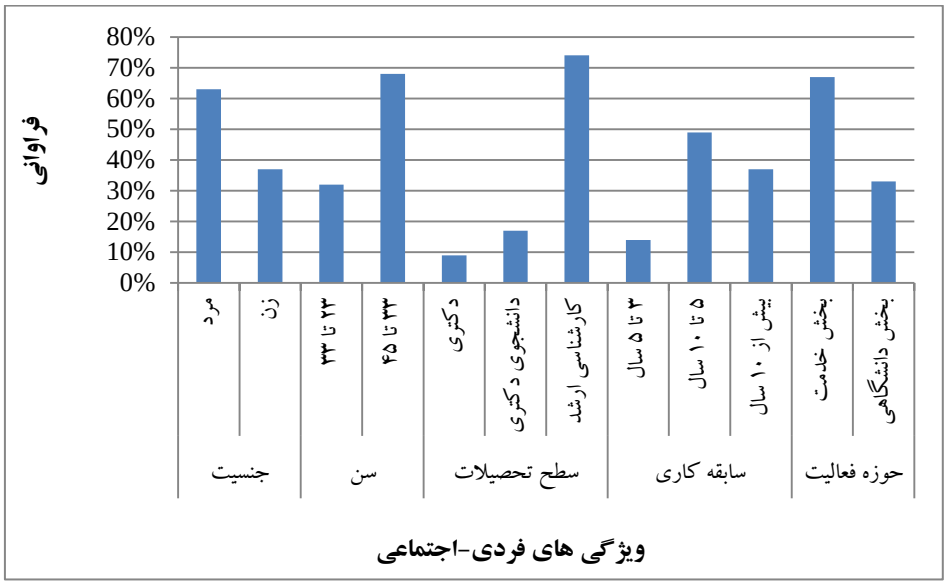
۳-۲ گردآوری اطلاعات

گردآوری اطلاعات در این تحقیق از خبرگان و متخصصین درزمینه حمل‌ونقل غیرموتوری (عابر پیاده و دوچرخه) بوده است. نمونه آماری پرسشنامه از بین متخصصین و خبرگان در بخش خدمات (شرکت‌های مهندسین مشاور ترافیک) و نیز در بخش دانشگاه (اساتید دانشگاه و دانشجویان مقطع دکتری رشته حمل‌ونقل) انتخاب‌شده‌اند. تأکید این تحقیق بر استفاده ازنظر متخصصین در بخش شرکت‌های مهندسین مشاور در کنار متخصصین دانشگاهی بوده است تا بتوان از تجربه عملکردی آن‌ها در برخورد با مشکلات موجود برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در خصوص موضوع تحقیق و میزان موفقیت راهکارهای بهبود آن برای شرایط فعلی شهرهای کشور بهره جست. همچنین، انتخاب متخصصین از دو بخش خدمات و دانشگاه، محدودیت کمبود تجربه برخی از متخصصین علمی مانند دانشجویان مقطع دکتری در خصوص برخورد با مشکلات و شرایط واقعی مرتبط با موضوع تحقیق را کاهش می‌دهد. در تعیین حداقل افراد موردنیاز برای انجام تحلیل‌ها به انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مطالعات مختلف حداقل حجم نمونه مختلفی را ارایه داده‌اند. برخی محققان اشاره داشتند که تعداد متخصصین لازم برای مصاحبه نباید زیاد باشد و پیشنهاد کردند که تعداد ۵ تا ۱۵ متخصص برای

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

مصاحبه کافی است[۴۸]. از طرف دیگر مطالعات مختلفی که در سال‌های اخیر درزمینه حمل‌ونقل غیرموتوری انجام‌شده و از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند تعداد متخصصین مناسب برای گردآوری اطلاعات را در محدوده ۳۰ تا ۴۰ نفر در نظر گرفته‌اند[۴۹، ۵۰]. با توجه به این موارد در این تحقیق از یک جامعه آماری شامل ۴۵ نفر از متخصصین در گردآوری اطلاعات استفاده‌شده است که از جامعه آماری مطالعات مشابه بزرگ‌تر بوده است. در این تحقیق با بررسی میزان تجربه و میزان همخوانی حوزه‌های تحقیقاتی متخصصین، این خبرگان شناسایی شدند و پس از ارتباط با آن‌ها (از طریق ایمیل، تلفن و برخی موارد به‌صورت حضوری) و اعلام آمادگی آن‌ها، در مراحل گردآوری اطلاعات موردنیاز این تحقیق شرکت کردند. شکل ۲ ویژگی‌های فردی-اجتماعی نمونه آماری تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکندگی جامعه آماری ازنقطه‌نظر ویژگی‌های فردی-اجتماعی

٤ تجزیه‌وتحلیل

بر اساس نتایج پرسشنامه‌های گردآوری‌شده از جامعه آماری از ۴۵ فرد پرسش‌شونده ۴۰ پرسشنامه صحیح به دست آمد که برای تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و تجزیه‌وتحلیل‌های آن استفاده‌شده است. جداول ۴ تا ۹ ماتریس مقایسات زوجی برای معیارها و زیر معیارهای اثرگذار را نشان می‌دهد. مقادیر Si و وزن نسبی W نیز در این جداول ارایه‌شده است. همچنین، نتایج ماتریس‌های مقایسات زوجی ازنقطه‌نظر نرخ ناسازگاری مورد ارزیابی قرار داده شد و مشخص شد که تمامی ماتریس‌ها دارای نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ بوده‌اند که نشان‌دهنده سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی است[۵۱]. نتایج نرخ ناسازگاری هر یک از ماتریس‌ها در جدول ۱۰ ارایه‌شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

جدول ٤. ماتریس مقایسات زوجی و وزن نسبی معیارهای تحقیق

	INF			BE			LU			Si		W
LU	(۱	۱	۱)	(۰/۲۵	۱/۴۵	۷)	(۰/۲۰	۰/۷۷	۸)	(۰/۰۲	۰/۴۱	۲/۸۶)	۰/۳۳۵۶
BE	(۰/۱۱	۰/۶۹	۸)	(۱	۱	۱)	(۰/۱۶	۰/۷۲	۷)	(۰/۰۲	۰/۳۵	۲/۸۶)	۰/۳۰۱۹
INF	(۰/۲۰	۱/۳۰	۹)	(۰/۲۵	۱/۳۹	۹)	(۱	۱	۱)	(۰/۰۲	۰/۱۶	۲/۸۶)	۰/۳۶۲۵

جدول ۵. ماتریس مقایسات زوجی و وزن نسبی زیر معیارهای کاربری زمین

	LU1			LU2			LU3			LU4			Si		W
LU1	(۱	۱	۱)	(۰/۲	۱/۱۵	۷)	(۰/۱۳	۲/۸	۹)	(۰/۱۳	۴/۸۵	۷)	(۰/۰۲	۰/۴۱	۲/۸۶)	۰/۲۹۸۸
LU2	(۰/۲	۰/۸۷	۷)	(۱	۱	۱)	(۰/۲۰	۲/۳۵	۶)	(۰/۱۶	۴/۲۲	۶)	(۰/۰۲	۰/۳۵	۲/۸۶)	۰/۲۶۳۴
LU3	(۰/۲	۰/۳۶	۹)	(۰/۱۷	۰/۴۳	۶)	(۱	۱	۱)	(۰/۱۳	۲/۱۵	۸)	(۰/۰۲	۰/۱۶	۲/۸۶)	۰/۲۳۷۴
LU4	(۰/۱۴	۰/۲۱	۸)	(۰/۱۳	۰/۲۴	۸)	(۰/۱۶	۰/۴۷	۷)	(۱	۱	۱)	(۰/۰۲	۰/۰۸	۲/۳۵)	۰/۲۰۰۴

جدول ٦. ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای شرایط محیطی

	BE1	BE2	BE3	BE4	BE5	BE6
BE1	(۱،۱،۱)	(۰/۲۵ ،۳/۶ ،۷)	(۰/۱۳ ،۲/۷۵ ،۹)	(۰/۲ ،۲/۴۵ ،۸)	(۰/۳۳ ،۵.۱۵ ،۸)	(۰/۱۱ ،۲/۶۵ ،۹)
BE2	(۰/۱۴ ،۰/۲۸ ،۷)	(۱،۱،۱)	(۰/۲ ،۱/۳ ،۷)	(۰/۱۶ ،۱/۲۱ ،۷)	(۰/۲ ،۳/۶ ،۶)	(۰/۱۳ ،۰/۴۵ ،۸)
BE3	(۰/۲۵ ،۰/۳۶ ،۹)	(۰/۱۷ ،۰/۷۷ ،۸)	(۱،۱،۱)	(۰/۱۴ ،۰/۶۵ ،۶)	(۰/۲ ،۱/۸ ،۸)	(۰/۲ ،۰/۵۶ ،۹)
BE4	(۰/۱۷ ،۰/۴۱ ،۷)	(۰/۲ ،۰/۸۳ ،۹)	(۰/۲۳ ،۱/۵۴ ،۷)	(۱،۱،۱)	(۰/۱۶ ،۳/۲ ،۷)	(۰/۱۶ ،۰/۳۵ ،۷)
BE5	(۰/۱۳ ،۰/۱۹ ،۸)	(۰/۱۷ ،۰/۲۸ ،۷)	(۰/۲ ،۰/۵۶ ،۸)	(۰/۱۴ ،۰/۳۱ ،۶)	(۱،۱،۱)	(۰/۱۷ ،۰/۲۵ ،۸)
BE6	(۰/۱۳ ،۰/۳۸ ،۹)	(۰/۱۴ ،۲/۲۵ ،۹)	(۰/۱۴ ،۱/۷۹ ،۶)	(۰/۱۶ ،۲/۸۶ ،۸)	(۰/۲ ،۴/۲۵ ،۷)	(۱،۱،۱)

جدول ۷. درجه بزرگی و وزن نسبی زیر معیارهای شرایط محیطی

	Si	W
BE1	(۰/۰۱ ،۰/۳۳ ،۲/۶۹)	۰/۲۱۶۷
BE2	(۰/۰۱ ،۰/۱۷ ،۱/۸۷)	۰/۱۶۴۳
BE3	(۰/۰۱ ،۰/۰۷ ،۱/۸۷)	۰/۱۳۲۵
BE4	(۰/۰۱ ،۰/۱ ،۲/۲۸)	۰/۱۷۶۱
BE5	(۰/۰۱ ،۰/۰۴ ،۱/۸۲)	۰/۱۱۹۲
BE6	(۰/۰۱ ،۰/۱۱ ،۲/۲۱)	۰/۱۹۱۲

جدول ۸. ماتریس مقایسات زوجی زیر معیارهای زیرساخت‌ها

	INF1	INF2	INF3	INF4	INF5	INF6	INF7	INF8
INF1	(۱،۱،۱)	(۰/۲۵ ،۱/۱۵ ،۹)	(۰/۱۶ ،۰/۸۵ ،۶)	(۰/۲،۲۵/۷،۸)	(۰/۲،۲۳/۸،۱)	(۰/۱،۱۶/۷،۸۵)	(۰/۱۳ ،۰/۵۵ ،۷)	(۰/۱۳ ،۰/۴ ،۷)
INF2	(۰/۲ ،۰/۸۷ ،۷)	(۱،۱،۱)	(۰/۵ ،۰/۴۱ ،۸)	(۰/۱،۲/۶،۲۵)	(۰/۲ ،۴/۳ ،۷)	(۰/۲،۳۳/۷ ،۹)	(۰/۲ ،۰/۴۵ ،۸)	(۰/۰،۱۳/۶،۳۱)
INF3	(۰/۱۷ ،۱/۲ ،۶)	(۰/۲۵ ،۲/۴۴ ،۷)	(۱،۱،۱)	(۰/۲،۲۵/۷،۹)	(۰/۳،۲۵/۵،۳۴)	(۰/۳۳ ،۳/۲ ،۷)	(۰/۱۶ ،۰/۶ ،۹)	(۰/۰،۲/۴۵ ،۵)
INF4	(۰/۹،۰.۳۶،۱۶)	(۰/۱۷ ،۰/۸ ،۶)	(۰/۲ ،۰/۳۴ ،۷)	(۱،۱،۱)	(۰/۲،۱۶/۷،۱۵)	(۰/۲ ،۱/۷ ،۶)	(۰/۱۳ ،۰/۳۵ ،۵)	(۰/۰،۱۶/۵،۲۶)

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

INF5	(۰/۰،۱۴/۴،۴۸)	(۰/۲۳ ،۵) (۰/۱۴	(۰/۲ ،۰/۳ ،۸)	(۰/۰،۱۴/۶،۵)	(۱،۱،۱)	(۰/۰،۱۶/۹،۹۵)	(۰/۴۲ ،۶) (۰/۱۳	(۰/۰،۱۶/۸،۳۵)
INF6	،۷) (۰/۰،۱۷/۴۸	(۰/۲۳ ،۵) (۰/۱۴	(۰.۲۵،۰.۳،۷)	(۰.۱۷،۰.۶،۵)	(۰/۲ ،۱/۰۵ ،۶)	(۱،۱،۱)	(۰/۵۱ ،۶) (۰/۱۵	(۰/۰،۱۳/۷،۴۵)
INF7	(۰/۱۳ ،۱/۸ ،۶)	(۲/۲ ،۷) (۰/۱۶	(۰/۱۳ ،۱/۷ ،۶)	،۷) (۰/۲،۱۵/۹	(۰/۱۴ ،۲/۴ ،۷)	(۰/۱،۱۷/۷،۹۶)	(۱،۱،۱)	(۰/۰،۱۳/۵،۸۵)
INF8	(۰/۱۶ ،۲/۵ ،۸)	(۲/۲۵ ،۶) (۰/۱۳	(۲/۲۴ ،۹) (۰/۱۳	(۰.۱۶،۳.۹،۶)	(۰/۱۳ ،۲/۸ ،۹)	(۰/۲،۲/۲۵ ،۸)	(۱/۱۸ ،۹) (۰/۱۵	(۱،۱،۱)

جدول ۹. درجه بزرگی و وزن نسبی زیر معیارهای زیرساخت‌ها

	W	Si
INF1	۰/۲۰۵۸	(۰/۰۱ ،۰/۲۱ ،۲/۵۲)
INF2	۰/۱۱۰۵	(۰/۰۱ ،۰/۱۸ ،۲/۲۴)
INF3	۰/۱۳۷۴	(۰/۰۱ ،۰/۱۳ ،۲/۰۸)
INF4	۰/۰۶۱۹	(۰/۰۱ ،۰/۰۸ ،۲/۱۹)
INF5	۰/۰۵۰۶	(۰/۰۱ ،۰/۰۵ ،۲/۱۳)
INF6	۰/۱۶۱	(۰/۰۱ ،۰/۰۹ ،۲/۳۱)
INF7	۰/۱۲۱۱	(۰/۰۱ ،۰/۱۲ ،۲/۵۲)
INF8	۰/۱۵۱۷	(۰/۰۱ ،۰/۱۴ ،۲/۱۹)

جدول ۱۰. نتایج نرخ ناسازگاری ماتریس‌های تحقیق

شاخص‌های سازگاری	ماتریس معیارها	ماتریس معیار زیرساخت‌ها	ماتریس شرایط محیطی	ماتریس کاربری زمین
بررسی سازگاری CIm	۰/۰۵۱۲<۰/۱	۰<۰/۱	۰<۰/۱	۰/۰۲۴۵<۰/۱
بررسی سازگاری CIg	۰/۰۷۳۲<۰/۱	۰<۰/۱	۰<۰/۱	۰/۱۲۷<۰/۱

بر اساس رابطه (۱۴)، می‌توان وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده برای هر یک از معیارها و زیر معیارها را در هم تلفیق و وزن نسبی زیر معیارهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه را شناسایی نمود. جدول ۱۱ مقادیر محاسبه‌شده برای وزن نهایی زیر معیارهای تحقیق را نشان می‌دهد. بر اساس این وزن نهایی رتبه‌بندی فاکتورها امکان‌پذیر می‌شود. وزن نهایی تلفیقی حاصل‌ضرب وزن نسبی متغیرها در وزن نسبی معیارهای مربوطه است. از طرفی با توجه به این‌که گروه‌های متغیرها ازنظر تعداد متغیرها یکنواخت نیستند، لازم است تا وزن نهایی به‌دست‌آمده از این نظر اصلاح شوند. تعداد متغیرهای گروه متغیرهای زیرساخت‌ها برابر با ۸، تعداد متغیرهای گروه شرایط محیطی ۶ و تعداد متغیرهای گروه کاربری زمین برابر با ۴ است. به‌منظور یکنواخت‌سازی یافته‌های تحقیق ازنظر تعداد متغیرها، با توجه به این‌که بیشترین تعداد متغیرها در گروه زیرساخت‌هاست، سایر گروه‌ها بر اساس تعداد متغیرهای این گروه یکنواخت‌سازی شده است. به‌طورقطع وزن نهایی تلفیقی متغیرهای گروه شرایط محیطی در $\binom{۶}{۸}$ و گروه کاربری زمین در $\binom{۴}{۸}$ ضرب شده است و وزن نهایی نرمال شده محاسبه‌شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

جدول ۱۱. وزن نهایی زیر معیارهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه در سفرهای شهری

وزن نسبی معیارها		وزن نسبی زیر معیارها		وزن نهایی تلفیقی	وزن نهایی نرمال شده بر اساس تعداد درایه‌های هر ماتریس
کاربری زمین (LU)	۰/۳۳۵۶	LU1	۰/۲۹۸۸	۰/۱۰۰۳	۰/۰۵۰۱
		LU2	۰/۲۶۳۴	۰/۰۸۸۴	۰/۰۴۴۲
		LU3	۰/۲۳۷۴	۰/۰۷۹۷	۰/۰۳۹۸
		LU4	۰/۲۰۰۴	۰/۰۶۷۳	۰/۰۳۳۶
شرایط محیطی (BE)	۰/۳۰۱۹	BE1	۰/۲۱۶۷	۰/۰۶۵۴	۰/۰۴۹۱
		BE2	۰/۱۶۴۳	۰/۰۴۹۶	۰/۰۳۷۲
		BE3	۰/۱۳۲۵	۰/۰۴۰۰	۰/۰۳۰۰
		BE4	۰/۱۷۶۱	۰/۰۵۳۲	۰/۰۳۹۹
		BE5	۰/۱۱۹۲	۰/۰۳۶۰	۰/۰۲۷۰
		BE6	۰/۱۹۱۲	۰/۰۵۷۷	۰/۰۴۳۳
زیرساخت‌ها (INF)	۰/۳۶۲۵	INF1	۰/۲۰۵۸	۰/۰۷۴۶	۰/۰۷۴۶
		INF2	۰/۱۱۰۵	۰/۰۴۰۱	۰/۰۴۰۱
		INF3	۰/۱۳۷۴	۰/۰۴۹۸	۰/۰۴۹۸
		INF4	۰/۰۶۱۹	۰/۰۲۲۴	۰/۰۲۲۴
		INF5	۰/۰۵۰۶	۰/۰۱۸۳	۰/۰۱۸۳
		INF6	۰/۱۶۱	۰/۰۵۸۴	۰/۰۵۸۴
		INF7	۰/۱۲۱۱	۰/۰۴۳۹	۰/۰۴۳۹
		INF8	۰/۱۵۱۷	۰/۰۵۶۹	۰/۰۵۶۹

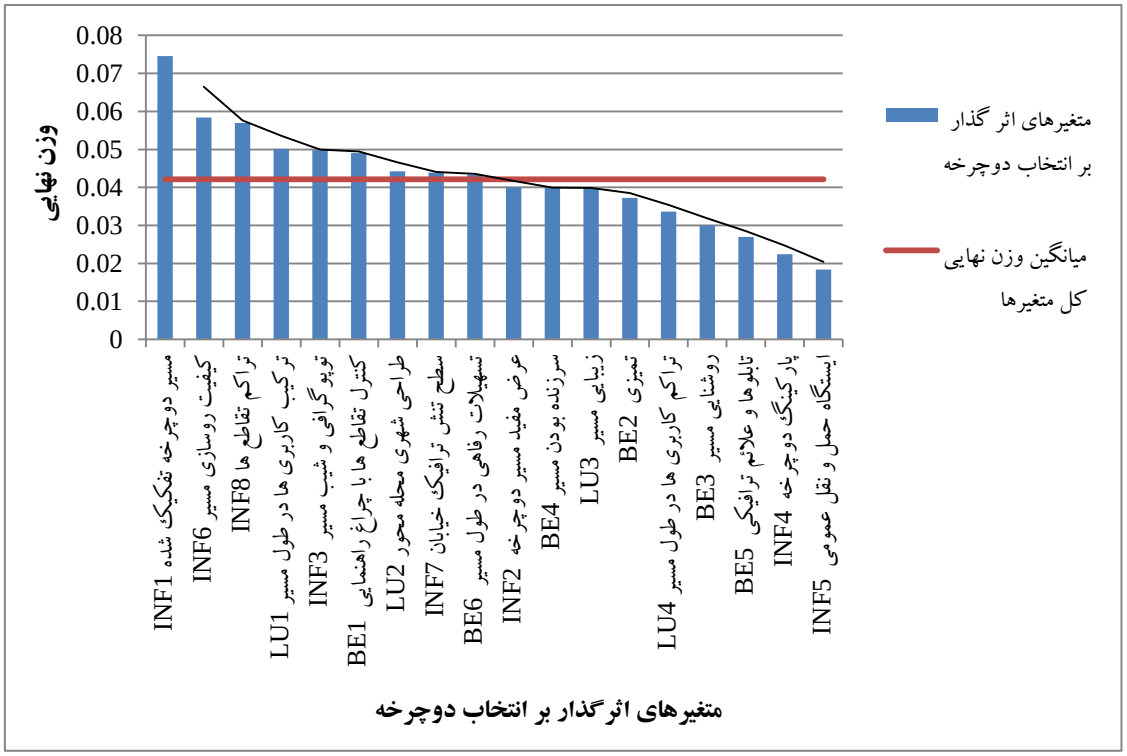
۵ بحث

بر اساس وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده امکان بررسی میزان اثرگذاری هر یک از زیر معیارهای تحقیق بر انتخاب دوچرخه به‌عنوان یک مد حمل‌ونقلی در سفرهای شهری وجود دارد. به‌طورقطع وزن نهایی هر یک از فاکتورها نشان‌دهنده سهم آن در معیار مربوطه است. همان‌طور که از جدول ۱۱ مشاهده‌شده است، از بین معیارهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه، زیرساخت‌ها دارای بیشترین وزن هستند، سپس معیار کاربری زمین اولویت‌یافته است و درنهایت معیار شرایط محیطی. همچنین اهمیت هر یک از فاکتورهای اثرگذار بر انتخاب دوچرخه بر اساس اولویت در شکل ۴ نشان داده‌شده است. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی متغیرهای دارای اهمیت، از مقدار میانگین وزن نهایی کل متغیرها استفاده‌شده است. به‌طورقطع، آن دسته متغیرهایی که وزن نهایی آن‌ها از مقدار میانگین بیشتر بوده است، به‌عنوان متغیرهای دارای اهمیت زیاد در انتخاب دوچرخه تعیین‌شده‌اند. این اولویت‌دهی ازاین‌جهت حایز اهمیت است که نشان می‌دهد تمرکز در بهبود کدام دسته از متغیرها می‌تواند برافزایش انتخاب دوچرخه اثرگذاری بیشتری داشته باشد. همان‌طور که از شکل ۳ مشاهده می‌شود، متغیرهای مسیر دوچرخه تفکیک‌شده، کیفیت روسازی، تراکم تقاطع‌ها، توپوگرافی مسیر و سطح تنش ترافیک خیابان به ترتیب بیشترین اولویت‌ها را در گروه زیرساخت‌ها داشته‌اند. متغیرهای ترکیب کاربری‌ها در طول مسیر، و طراحی شهری محله

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

محور بیشترین اولویت را به ترتیب در گروه کاربری زمین داشته‌اند و متغیرهای کنترل تقاطع‌ها با چراغ راهنمایی و تسهیلات رفاهی در طول مسیر به ترتیب در گروه شرایط محیطی اولویت یافته‌اند.

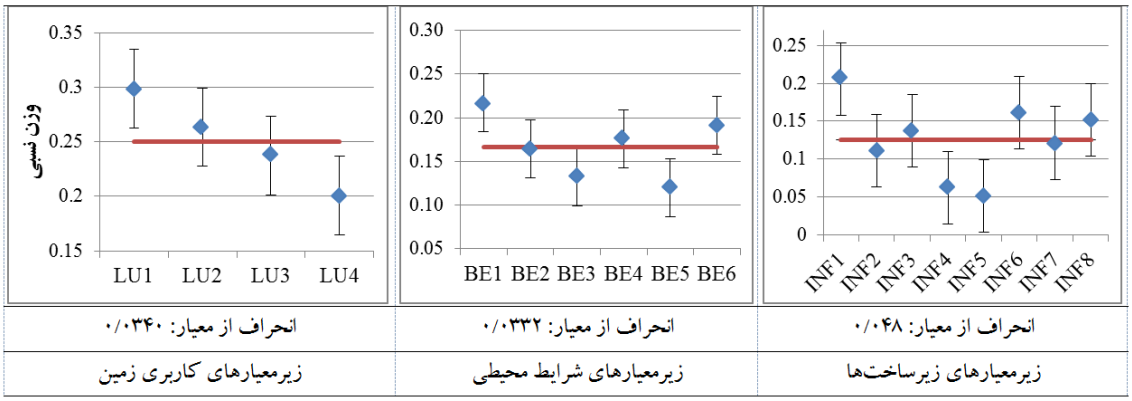


شکل ۳. وزن نهایی و میانگین وزن نهایی کل متغیرهای بر انتخاب دوچرخه

به‌منظور ارزیابی میزان پراکندگی وزن نسبی محاسبه‌شده از روند تحلیل F-AHP، میزان انحراف معیار وزن نسبی هر یک از متغیرها در همان گروه متغیرها مورد ارزیابی قرارگرفته است. هر چه میزان انحراف از معیار به‌دست‌آمده کمتر باشد، نشان‌دهنده یکپارچگی بیشتر نتایج حاصل از ماتریس مقایسات زوجی و اعتبار بالاتر یافته‌های تحقیق است. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود متغیرها از انحراف معیار اندکی نسبت به یکدیگر برخوردارند، به‌طورقطع انحراف معیار در هر گروه متغیرها بسیار اندک و همگی کمتر از ۰/۰۵ هستند (این مقدار برای گروه‌های متغیرهای کاربری زمین، شرایط محیطی و زیرساخت‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۳۴۰، ۰/۰۳۲۲، ۰/۰۴۸ است). این موضوع نشان‌دهنده سازگاری ماتریس مقایسات زوجی بوده و به‌عبارت‌دیگر کم بودن انحراف معیارها نشان‌دهنده وزن‌های نزدیک به هم و قابل‌اتکا بودن نتایج تحلیل‌ها است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]



شکل ٤. مقایسه متغیرهای گروه‌های زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی ازنظر انحراف از معیار و مقدار میانگین

٦ نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شده است تا به ارزیابی اثر متغیرهای متعدد بر انتخاب دوچرخه به‌عنوان یک شیوه حمل‌ونقل در سفرهای شهری پرداخته شود. با توجه به این‌که انتخاب شیوه سفر از بین مدهای مختلف حمل‌ونقلی امری رقابتی است، انتخاب دوچرخه نیاز به ایجاد شرایط مناسب ازنظر طراحی شبکه، ایمنی، تسهیلات رفاهی و کاربری‌های شهری دارد. این مطالعه با کاربرد تئوری فازی در روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از معتبرترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تلاش کرده است تا به ارزیابی اثر ۱۸ متغیر در گروه‌های زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی بپردازد. گردآوری اطلاعات از طریق پرسشنامه مقایسات زوجی فازی از ۴۵ خبره درزمینه حمل‌ونقل غیر موتوری صورت پذیرفته است. در انتخاب جامعه آماری پارامترهای حوزه فعالیت (خدمات و دانشگاه)، سابقه کاری و میزان تحصیلات در نظر گرفته شدند.

بر اساس نتایج تحقیق، وزن نسبی هر یک از متغیرها محاسبه شد که نشان‌دهنده سهم آن‌ها در معیار مربوطه بوده است. بر اساس یافته‌های تحقیق، متغیرهای مسیر دوچرخه تفکیک‌شده، کیفیت روسازی، تراکم تقاطع‌ها، ترکیب کاربری‌ها، توپوگرافی مسیر، کنترل تقاطع‌ها با چراغ راهنمایی، طراحی شهری محله محور، سطح تنش ترافیک خیابان و تسهیلات رفاهی در طول مسیر به ترتیب بیشترین اهمیت را در انتخاب دوچرخه داشتند. علاوه بر این، وزن نسبی متغیرها از انحراف معیار اندک در هر گروه برخوردار است که نشان‌دهنده سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی و قابل‌اتکا بودن نتایج تحلیل‌ها است. همچنین، یافته‌ها نشان داده است که معیار کاربری زمین، از بین سه معیار تحقیق در رتبه دوم بعد از زیرساخت‌ها قرارگرفته است و متغیرهای ترکیب کاربری‌ها و طراحی شهری محله محور، ازجمله متغیرهای دارای وزن نهایی قابل‌توجه بوده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که هرچند بسیاری از مطالعات از نقش معیار کاربری زمین در انتخاب دوچرخه به‌عنوان یک شیوه سفر در نواحی شهری غافل بوده‌اند، اما این معیار از اهمیت بالایی در این امر برخوردار است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

۷ پیشنهادهای آتی برای محققان

این تحقیق ازجمله اولین مطالعات درزمینه انتخاب دوچرخه‌سواری به‌عنوان یک شیوه سفر درون‌شهری است که به مقوله اثرات کاربری زمین به‌ویژه در ایران پرداخته است. با توجه به این‌که بحث کاربری زمین و بافت شهری امروزه یکی از مسایل پیچیده در انواع شیوه‌های حمل‌ونقلی در انواع شهرهای کوچک، متوسط و بزرگ کشور است، انتظار می‌رود که محققان به اثرسنجی متغیرهای وابسته به این متغیر مهم درزمینه مطالعات غیرموتوری بیشتر بپردازند و مسایل مرتبط با آن را واکاوی و تحلیل نمایند. در این راستا بهره‌جویی از روش‌های تحلیلی آماری مانند روش آزمون ترجیحات بیان‌شده و استفاده از مدل‌سازی‌های انتخاب گسسته و تحلیل رفتاری افراد در انتخاب دوچرخه ناشی از متغیرهای سه گروه زیرساخت‌ها، کاربری زمین و شرایط محیطی می‌تواند بستری برای مطالعات آتی درزمینه انتخاب دوچرخه به‌عنوان یک شیوه سفر شهری باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از داوران محترم که با ارسال نقطه نظرات خود در بهبود نسخه‌های اصلاحی مقاله همکاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع مالی

این مقاله تحت حمایت مالی هیچ سازمانی نیست.

تعارض با منافع

نویسندگان تضمین می‌کنند که مقاله، اثر اصلی آن‌ها است، قبلاً چاپ‌نشده، و در حال حاضر تحت انتشار نیست.

منابع

[1] Jordi-Sánchez, M. (2018). Social perceptions of the promotion of cycling as a mode of transport for children in Andalusia (Spain). Journal of transport geography, 72, 86-93.
[2] Parvasi P, Patoghi A, Rahimi Moghadam M, Roghanian E. Presenting a school bus routing problem with consideration of students outsourcing possibility. jor 2017; 14 (3):99-115. (In persian)
[3] Shakouri G, Nasseri S H, Paydar M M. Fuzzy Mathematical Programming Approach for Transportation Problem with Flexible Constraints. jor 2022; 19 (3):29-44. (In Persian)
[4] Willis, D. P., Manaugh, K., & El-Geneidy, A. (2015). Cycling under influence: summarizing the influence of perceptions, attitudes, habits, and social environments on cycling for transportation. International Journal of Sustainable Transportation, 9(8), 565-579.
[5] Handy, S., Van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting cycling for transport: research needs and challenges. Transport reviews, 34(1), 4-24.
[6] Galway, L. P., Deck, E., Carastathis, J., & Sanderson, R. (2021). Exploring social-ecological influences on commuter cycling in a midsize northern city: A qualitative study in Thunder Bay, Canada. Journal of transport geography, 92, 102995.
[7] Larsen, J., & El-Geneidy, A. (2011). A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada. Transportation research part D: transport and environment, 16(2), 172-177.
[8] Pucher, J., & Buehler, R. (2012). Integration of cycling with public transportation. Pucher. J, Buehler, R, eds. City Cycling, MIT Press, Cambridge, Mass, 157-181.
[9] Pannara, T., & Raksawin, K. (2019). The physical factors comparison on running-bicycle route in Chiangmai. Environment-Behaviour Proceedings Journal, 4(11), 109-115.
[10] Chen, P., Zhou, J., & Sun, F. (2017). Built environment determinants of bicycle volume: A longitudinal analysis. Journal of transport and land use, 10(1), 655-674.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

[11] Nikouei M A, Amiri M. Application of Experimental Design Methods and Fuzzy Multi-Criteria Decision Making in The Determination of The Optimal Reliability of The Two-stage Assembly Flow Shop Scheduling System. jor 2022; 19 (3):45-62. (In Persian)
[12] Liu, C., Tapani, A., Kristoffersson, I., Rydergren, C., & Jonsson, D. (2020). Development of a large-scale transport model with focus on cycling. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 134, 164-183.
[13] Cervero, R., Denman, S., & Jin, Y. (2019). Network design, built and natural environments, and bicycle commuting: Evidence from British cities and towns. Transport policy, 74, 153-164.
[14] Andrade, V., Jensen, O. B., Harder, H., & Madsen, J. C. (2011). Bike infrastructures and design qualities: Enhancing cycling. Tidsskrift for Kortlægning og Arealforvaltning, 119(46), 16-16.
[15] Chen, P. (2016). Bicycling and the built environment: route choice and road safety (Doctoral dissertation).
[16] Wilson, A., & Mitra, R. (2020). Implementing cycling infrastructure in a politicized space: Lessons from Toronto, Canada. Journal of Transport Geography, 86, 102760.
[17] Kheybari, M., &Salimi, Z. (2019).Identifying factors affecting cycling safety using factor analysis and classification - a case study of Isfahan and Yazd cities. ASAS scientific research journal, 22(60), 5-18. (In Persian)
[18] Rossetti, T., Saud, V., & Hurtubia, R. (2019). I want to ride it where I like: Measuring design preferences in cycling infrastructure. Transportation, 46(3), 697-718.
[19] Boss, D., Nelson, T., & Winters, M. (2018). Monitoring city wide patterns of cycling safety. Accident Analysis & Prevention, 111, 101-108.
[20] Ferster, C. J., Nelson, T., Winters, M., & Laberee, K. (2017). Geographic age and gender representation in volunteered cycling safety data: A case study of BikeMaps. org. Applied geography, 88, 144-150.
[21] Schepers, P., Hagenzieker, M., Methorst, R., van Wee, B., & Wegman, F. (2014). A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. Accident Analysis & Prevention, 62, 331-340.
[22] Van Cauwenberg, J., Clarys, P., De Bourdeaudhuij, I., Ghekiere, A., De Geus, B., Owen, N., & Deforche, B. (2018). Environmental influences on older adults' transportation cycling experiences: A study using bike-along interviews. Landscape and urban planning, 169, 37-46.
[23] Garrard, J., Rose, G., & Lo, S. K. (2008). Promoting transportation cycling for women: the role of bicycle infrastructure. Preventive medicine, 46(1), 55-59.
[24] Titze, S., Stronegger, W. J., Janschitz, S., & Oja, P. (2007). Environmental, social, and personal correlates of cycling for transportation in a student population. Journal of Physical Activity and Health, 4(1), 66-79.
[25] Márquez, L., & Soto, J. J. (2021). Integrating perceptions of safety and bicycle theft risk in the analysis of cycling infrastructure preferences. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 150, 285-301.
[26] Latham, A., & Wood, P. R. (2015). Inhabiting infrastructure: exploring the interactional spaces of urban cycling. Environment and Planning A, 47(2), 300-319.
[27] Datey, A., Darji, V., Patel, T., & Mahadevia, D. (2012). Walking and cycling in Indian cities: A struggle for reclaiming road edges. Center for Urban Equality (CUE).
[28] Procopiuck, M., Segovia, Y. N. S., & Procopiuck, A. P. V. (2021). Urban cycling mobility: management and urban institutional arrangements to support bicycle tourism activities—case study from Curitiba, Brazil. Transportation, 48(4), 2055-2080.
[29] Leksomboon, K., Nilkaew, P., & Angkasith, R. (2017). Infrastructure Factors Influencing Urban Cycling in a Cultural Heritage City. Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts), 10(4), 319-334.
[30] Manton, R., & Clifford, E. (2012). Identification and classification of factors affecting route selection of cycling routes in Ireland. Cycl. Res. Int, 3, 136-153.
[31] Su, J. G., Winters, M., Nunes, M., & Brauer, M. (2010). Designing a route planner to facilitate and promote cycling in Metro Vancouver, Canada. Transportation research part A: policy and practice, 44(7), 495-505.
[32] Spinney, J. (2007). Cycling the city: Non-place and the sensory construction of meaning in a mobile practice. Cycling and society, 2545.
[33] Bakogiannis, E., Vlastos, T., Athanasopoulos, K., Vassi, A., Christodoulopoulou, G., Karolemeas, C., ... & Tzika, E. (2020). Exploring motivators and deterrents of cycling tourism using qualitative

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]

social research methods and participative analytical hierarchy process (AHP). Sustainability, 12(6), 2418.
[34] Prato, C. G., Halldórsdóttir, K., & Nielsen, O. A. (2018). Evaluation of land-use and transport network effects on cyclists' route choices in the Copenhagen Region in value-of-distance space. International journal of sustainable transportation, 12(10), 770-781.
[35] Boulange, C., Gunn, L., Giles-Corti, B., Mavoa, S., Pettit, C., & Badland, H. (2017). Examining associations between urban design attributes and transport mode choice for walking, cycling, public transport and private motor vehicle trips. Journal of transport & health, 6, 155-166.
[36] Lu, Y., Sun, G., Sarkar, C., Gou, Z., & Xiao, Y. (2018). Commuting mode choice in a high-density city: Do land-use density and diversity matter in Hong Kong?. International journal of environmental research and public health, 15(5), 920.
[37] Pohekar, S.D., Ramachandran, M., (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 8 (4), 365–381.
[38] Macharis, C., & Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. Transport policy, 37, 177-186.
[39] Hayati, M., & Atayi, M. (2016).Choosing the right drilling machine using multi-criteria decision-making methods, case study: Sangan iron ore mine. Journal of Operational Research in Its Applications, 2(10). (In Persian)
[40] Yosefi, M., & Mohamadi, N. (2022). Choosing the best materials in the manufacture of automotive polymer parts with a fuzzy multi-criteria decision-making approach. Operational Research in Its Applications, 19(1). (In Persian)
[41] Ahadi, H., Ghazanfari Rad, F. (2011). Presenting a mixed model of fuzzy multi-criteria decision-making methods to determine the location of construction of specialized railway industrial town. Operational Research in Its Applications, 8(4). (In Persian)
[42] Khatami Firrozabadi, A., Heydari., A. (2012). Identification and ranking of organizational stressors in industrial environments with Fuzzy AHP (case study: South Pars Gas Complex). Operational Research in Its Applications, 9(1). (In Persian)
[43] Esmailpour, R., Motaghi Eskachai, M., Gholizadeh, M. (2015). Risk prioritization of customer relationship management projects using a combination of fuzzy multi-criteria decision making techniques. Operational Research in Its Applications, 12(1). (In Persian)
[44] Aggarwal R., & Singh S. (2013). AHP and extent fuzzy AHP approach for prioritization of performance measurement attributes. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering.
[45] Taleghani, M., Shahroodi, K., Saneyi., F. (2012). Comparative comparison of AHP and fuzzy AHP in the ranking of purchase preferences (case study: home appliance industry). Operational Research in Its Applications, 19(1). (In Persian)
[46] Vaidya, O.S., Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. Eur. J. Oper. Res. 169 (1), 1–29.
[47] Tavakoli, E. (2014). Determining the effect of priority of cycling facilities on increasing cycling and its safety using discrete selection models, (Master thesis, Shomal University). (In Persian)
[48] Behzadi,G., Tavakoli, E, & Nabipour, M. (2014). Evaluation and prioritization of facilities effective in increasing the cycling. 8th National Congress of Civil Engineering, Noshirvani University of Technology and Engineering, Babol, Iran, Babol. (In Persian)
[49] Asadolahi,R., Hoseinpour, Sh, & Bagheri, R. (2011). Investigating the role of bicycles in the planning of urban transportation systems and providing solutions to increase the use of cycling. The first international city bike conference, Iran, Tehran. (In Persian)
[50] Habibian,M., Hamouni, P, & Haghshenas, P. (2017). Determining the best route for the construction of a cycling line with a sustainable transportation approach (Case study: District 1 of Shiraz), Amirkabir Civil Engineering Journal, 49(3),593-602. (In Persian)
[51] Nehi HM, Drayab A. (2013) Duality theorems in fuzzy optimization problems. Fuzzy Information and Engineering. 5(1), 87-98.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-02]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.13]