فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۵، شماره ۱، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۳۳۳۵-۳۳۱۷

مقاله پژوهشی

مکان‌یابی و مسیریابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری

مطالعه موردی: شهر رشت

حمزه امین‌طهماسبی (مسئول مکاتبات)، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی شرق گیلان، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

E-mail: amintahmasbi@guilan.ac.ir

محمدحسین اصغرپور، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، پردیس فنی (۱)، دانشگاه یزد، یزد، ایران

محمد فکوری، دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی شرق گیلان، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

افزایش سرعت شهرنشینی، مشکلات عدیده‌ای را در شهرها نظیر تراکم وسایل نقلیه و آلودگی‌های محیط زیستی به وجود آورده است. یکی از راه حل‌های این مشکلات استفاده از دوچرخه به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل است، ازاین‌رو در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته سیستم اشتراک دوچرخه راه‌اندازی شده است. هدف از انجام این پژوهش تعیین معیارهای انتخاب مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه‌سواری و مسیرهای بهینه دوچرخه اشتراکی است. در این راستا، ابتدا با استفاده از تکنیک دلفی در دو مرحله، معیارهای مؤثر در انتخاب مکان‌های مناسب جهت احداث ایستگاه‌ها شناسایی شد. سپس با روش بهترین بدترین (BWM) میزان اهمیت معیارها به دست آمد. درنتیجه، عوامل نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی، نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری و فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای انتخاب مکان بهینه شناخته شدند. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مکان‌های مناسب جهت احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی مشخص گردید. در انتها با توجه به مسیرهای قابل استفاده موجود، بهترین مسیر پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی: ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی، مکان‌یابی، مسیریابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش بهترین بدترین

۱. مقدمه

در جهان امروزی به دلیل افزایش استفاده از وسایل حمل‌ونقل موتوری به‌خصوص خودروها، شهرها با مشکلات متعددی مانند آلودگی صوتی، آلودگی محیطی، مصرف بیش‌ازحد منابع تجدیدناپذیر و تراکم ترافیک مواجه شده‌اند. این عوامل باعث تشدید مشکلات دیگر نظیر انتشار آلاینده‌ها و مصرف منابع تجدیدناپذیر و همین‌طور اتلاف وقت بسیار زیادی می‌شوند. لذا می‌توان این‌گونه بیان کرد که تمام موارد ذکرشده نشات گرفته از افزایش میزان شهرنشینی می‌باشد و این روند همچنان ادامه دارد به‌طوری‌که در حال حاضر حدود ۵۵ درصد از جمعیت زمین در شهرها ساکن هستند و روند روبه افزایشی را در این زمینه شاهدیم.

یکی از خواسته‌های اساسی افراد در جوامع شهری امروزی بی شک بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل عمومی است [Amin-Tahmasbi and Nikjoo 2021]، در مسائل حمل‌ونقل رویکردی با عنوان توسعه پایدار مطرح می‌شود که منظور تمرکز بر سه زمینه‌ی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد و این امر با تکیه‌بر مفهوم حمل‌ونقل پایدار منجر به توسعه‌ی رویکردی نوین در این عرصه شده است [Aboutalebi Esfahani and Babaee Dehkordi, 2013]، به همین دلیل است که هدف سیاست‌گذاران و مدیران ترویج این سیستم‌ها برای تضمین پایداری شهری است [Chen et al, 2018]، [Jain and Tiwari, 2016]، [Burke and Darren, 2018]. لازم به ذکر است که دوچرخه‌سواری بخش مهمی از حمل‌ونقل عمومی پایدار است.

امروزه در کشورهای توسعه‌یافته با توجه به ایجاد مسیرهای مختص دوچرخه‌سواران و استفاده از دوچرخه به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل و علاوه بر این‌ها راه‌اندازی سیستم دوچرخه اشتراکی سهم قابل‌توجه ای از حمل‌ونقل شهری را به خود اختصاص داده است [Berridge, 2012]. مزیت قابل‌توجه دیگری از دوچرخه‌سواری این است که قابلیت اتصال به مسیرهای حمل‌ونقل عمومی و راه‌آهن‌ها را دارد و مزیت دیگر آن سریع بودن در کنار فرار از ترافیک است [Faghih-Imani et al, 2017]، [Kaplan et al, 2019]. استفاده از دوچرخه به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل در کنار دوستدار محیط‌زیست بودن مزایای دیگری نظیر صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل دارد و همچنین موجب افزایش فعالیت بدنی و درنتیجه آن نقش مهمی در سلامت عمومی شهروندان خواهد داشت [Wang et al, 2005]. برای آن دسته از شهروندان که مالک خودرو شخصی نیستند و یا به دلایل مختلف ازجمله نداشتن گواهینامه رانندگی، رانندگی نمی‌کنند دوچرخه‌سواری گزینه‌ای مناسب و مهم برای سفرهایی که امکان استفاده از حمل‌ونقل عمومی وجود ندارد و یا ملزم به پیاده‌روی طولانی‌مدت است، می‌باشد [Murphy and Knoblauch, 2004].

در سال‌های اخیر در غالب کلان‌شهرها سیستم دوچرخه اشتراکی به‌منظور سوق دادن شهروندان به استفاده از این وسیله به‌عنوان یکی از طرق سفر در شهرها ایجاد و در حوزه‌ی حمل‌ونقل عمومی محبوب شده است. سیستم دوچرخه اشتراکی متشکل از بخش اصلی شامل: دوچرخه، ایستگاه‌ها و مراکز کنترل است. مراکز کنترل از راه دور به‌صورت آنلاین و برخط، مسافران را کنترل نموده تا درصورت نیاز، اقدامات ضروری صورت پذیرد. پاسخ سریع برای هر مشکلی که ممکن است برای کاربران سیستم اشتراک دوچرخه در خصوص پرداخت یا کاربری، ایجاد شود مهم است. یک مرکز خدمات مشتری که حتی در ساعات غیرکاری تماس‌ها را دریافت می‌کند و مسائل را بیست‌وچهار ساعت در روز رسیدگی می‌کند. شیوه کار به این صورت است که کاربران دوچرخه را از یک ایستگاه گرفته و پس از انجام سفر آن را رها می‌کنند. هزینه به نسبت زمان استفاده محاسبه و از کارت اعتباری فرد کسر می‌شود [Yuan et al, 2019].

برای کرایه دوچرخه روش‌های مختلفی مانند استفاده کارت‌های اعتباری و یا برنامه‌های تلفن‌های هوشمند می‌تواند در دسترس

کاربران قرار گیرد [Ricci, 2015]. البته در سیستم هایی که در حال حاضر در شهرهای کشورمان وجود دارد، به دلیل اینکه امکان پرداخت بر اساس زمان استفاده و یا مسافت طی‌شده وجود ندارد و دوچرخه‌ها در ایستگاه‌های مشخصی تحویل داده یا تحویل گرفته می‌شود، فاقد مراکز کنترل از راه دور می‌باشند.

شهرستان رشت در سال‌های اخیر با افزایش روند شهرنشینی و سیل مهاجرت از سایر شهرها و استان‌ها روبرو شده و درنتیجه تعداد وسایل نقلیه شخصی رشد چشمگیری داشته که به‌موجب آن، تعداد خودرو و ترافیک شهری بسیار شدیدتر شده است. همین‌طور شهر رشت، پرتراکم‌ترین شهر کشور ازلحاظ وسعت نسبت به جمعیت است، به همین علت استفاده از دوچرخه به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل می‌تواند کمک شایانی به کاهش بار ترافیکی شهر کند. وجود مسیرهای مخصوص دوچرخه‌سواری و سیستمی که امکان استفاده از دوچرخه را برای تمام اقشار جامعه فراهم کند، می‌تواند درافزایش انگیزه شهروندان در استفاده از آن مثمر ثمر باشد. همچنین یکی از کلیدهای موفقیت سیستم اشتراک دوچرخه، مکان ایستگاه‌های دوچرخه و ارتباط آن‌ها با معیارهای مختلف تقاضای سفر است. لذا در این پژوهش ضمن تعیین معیارهای مؤثر بر راه‌اندازی مکان بهینه احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی با توجه به شرایط خاص شهر رشت، مسیر بهینه دوچرخه‌سواری پیشنهاد می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

شروع سیستم دوچرخه اشتراکی را می‌توان سال ۱۹۶۵ میلادی دانست، زمانی که در آمستردام با نام "دوچرخه‌های سفید" ظهور کردند و با گذر زمان به شکل محسوسی تکامل یافتند و امروزه می‌توان گفت در اکثر کلان‌شهرهای دنیا از این سیستم به‌عنوان وسیله‌ای برای حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌شود. در ایران نیز در سال ۲۰۰۸ در کلان‌شهر تهران که با مشکلات عدیده‌ای در حوزه حمل‌ونقل مواجه بود، برنامه‌ریزان حمل‌ونقل سیستم اشتراک دوچرخه را در برخی از نواحی این شهر باهدف اضافه کردن دوچرخه به‌عنوان یک طریقه حمل‌ونقل راه‌اندازی کردند. از اهداف اصلی این طرح کاهش مصرف سوخت، کاهش تردد در خیابان‌های شهر و کاهش آلودگی‌های صوتی و محیطی را بود.

به‌منظور بررسی این فرضیه که آیا استفاده از دوچرخه منجر به کاهش حجم ترافیک شهری خواهد شد، آتش‌پنجه و همکاران (۲۰۱۱) جهت بررسی چگونگی ایجاد مسیرهای ویژه دوچرخه سواری و کاهش حجم ترافیک شهری به‌ویژه در بافت‌های تاریخی، به این نتیجه رسیده‌اند که صرفاً افزایش استفاده از دوچرخه‌سواری در کاهش حجم ترافیک مؤثر نیست، بلکه عوامل دیگری همچون ایجاد مسیرهای ویژه دوچرخه‌سواری و طراحی فضای شهری نقش مهمی در کاهش ترافیک خواهند داشت. [Atashpanjeh, Amanpoor and Naghipoor, 2011]. در مناطق شهری، یافتن فضای اضافی برای ساخت مسیرهای دوچرخه معمولاً دشوار است و در صورت عدم تعریض جاده، می‌تواند منجر به تشدید ترافیک شود. در مواجهه با این چالش‌ها، زو و وی (۲۰۱۹) به‌منظور افزایش اتصال خطوط دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی با حداقل رساندن اثرات بر وسایل نقلیه موتوری و هزینه، یک مدل برنامه‌ریزی سیستماتیک را معرفی کردند. [Zuo and Heng Wei, 2019].

جوادی و همکاران (۲۰۱٤) یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS[1] را جهت برنامه‌ریزی مکانی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی ارائه دادند. شاخص‌های دسترسی‌پذیری و نزدیکی به تقاطع‌های مهم و پارکینگ‌های عمومی مدنظر ایشان قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کارایی مدل در برنامه‌ریزی مکانی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی و همچنین تعیین میزان محدودیت‌ها و توانایی‌های هر نقطه از محدوده موردنظر در رابطه با شاخص‌ها بود [Javadi et al, 2014]. رضایی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش سلسله مراتبی (AHP) به تحلیل و ارزیابی مسیرهای موجود در شهر یزد پرداختند و با

استفاده از مقایسات زوجی آن‌ها را رتبه‌بندی و بهترین و بدترین مسیر را مشخص نمودند [Rezaei et al, 2013].

امین طهماسبی و همکاران (۲۰۲۰) به بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری با روش ترکیبی دلفی، بهترین و بدترین و پرومته[۲] پرداختند [Amin-Tahmasbi et al, 2020]. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۷) به مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه‌سواری و همچنین مشخص نمودن ظرفیت آن‌ها با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. اهداف مدل، کمینه کردن ظرفیت و تعداد ایستگاه‌هایی که باید احداث گردند در کنار بیشینه‌سازی فاصله دو ایستگاه از هم بود. [Tavakoli Moghadam et al, 2017]. در پژوهشی دیگر در شهر استانبول ترکیه مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی با در نظر گرفتن زیرساخت‌های آن با بهره‌جستن هم‌زمان از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک‌های GIS انجام شد [Guler and Yomralioglu, 2021].

پروار و کیامهر (۲۰۱۷) به مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه در محدوده مرکز شهر زنجان پرداختند. آن‌ها در مقاله خود با بهره‌گیری از روش AHP و استفاده از نرم‌افزار expert choice معیارها را وزن دهی کردند و درنهایت با استفاده از GIS به ۱۷ مکان بهینه برای احداث ایستگاه‌های دوچرخه رسیدند [Parvar and Kiamehr, 2017]. در پژوهشی دیگر در شهر رشت، آزاده و همکاران (۲۰۲۰) به تعیین مسیرهای بهینه دوچرخه‌سواری با استفاده از مدل‌های کمی پرداختند. ایشان با در نظر گرفتن نظرات کسانی که از تنها مسیر موجود دوچرخه‌سواری در رشت استفاده می‌کنند، از مدل تحلیل SWOT، ماتریس QSPM و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کردند تا بهینه‌ترین محدوده جهت احداث مسیر دوچرخه‌سواری مشخص شود [Azadeh et al, 2020].

سلبی و همکاران (۲۰۱۸) یک سیستم دوچرخه اشتراکی با تخصیص ظرفیت را طراحی نمودند. به بیان دقیق‌تر با در نظر گرفتن تصمیمات مکان و تخصیص ظرفیت، یک رویکرد یکپارچه را برای طراحی یک سیستم دوچرخه اشتراکی ارائه نمودند. نتایج اجرای طراحی سیستم دوچرخه اشتراکی برای پردیس Ayazağa دانشگاه فنی استانبول نشان داد که رویکرد آن‌ها با یکسان کردن میانگین تقاضا و نرخ بازگشت، یک شبکه دوچرخه اشتراکی متعادل را فراهم می‌کند [Çelebi et al, 2018].

کاگیانی و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل مبتنی بر برابری برای مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی را در تحرک چندوجهی دوچرخه–حمل و نقل عمومی ارائه نمودند. هدف پژوهش آن‌ها به حداقل رساندن نابرابری‌ها در تحرک دوچرخه–حمل و نقل عمومی در میان گروه‌های جمعیتی مشاهده‌شده است که تلاش می‌کنند سطوح مشخصی از دسترسی و پوشش را هم‌زمان حفظ کنند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که به حداکثر رساندن دسترسی یا پوشش به‌تنهایی، بدون در نظر گرفتن برابری، ممکن است به توزیع نابرابر دسترسی در بین جمعیت منجر شود و تبعیض بین گروه‌های مختلف ایجاد کند [Caggiani et al, 2020].

چن و همکاران (۲۰۲۱) به‌منظور رفع معضل هدر رفت فضای شهری عمومی به دلیل ایستگاه‌های اضافی و کم‌مصرف یک برنامه‌ریزی پویا برای ایستگاه‌های دوچرخه در سیستم دوچرخه اشتراکی طراحی نمودند و با استفاده از شبکه عصبی گراف دروازه‌ای[۳]، به‌صورت پویا چیدمان ایستگاه دوچرخه را برای شبکه ارائه نمودند. برنامه‌ریزی پویا طراحی‌شده شامل چهار ماژول خوشه‌بندی مکان رهاکردن دوچرخه، مدل‌سازی نمودار ایستگاه دوچرخه، پیش‌بینی مکان ایستگاه دوچرخه و توصیه چیدمان ایستگاه دوچرخه می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها اطمینان می‌دهد که چیدمان ایستگاه توصیه‌شده، برای مدیریت شهر، درآمد فروشنده و راحتی کاربر مناسب است [Chen et al, 2021].

ژوچوسکا و همکاران (۲۰۲۱) یک روش مبتنی بر GIS برای ارزیابی ادغام فضایی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی در تجمعات

شهری ارائه نمودند. این پژوهش با استفاده از چهار مدل فرعی سیستم ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی، شبکه جاده و خیابان، تقاضا برای سواری دوچرخه اشتراکی، مسیریابی دوچرخه اشتراکی و ماتریس ارزش اقدامات ادغام فضایی، امکان شناسایی دسته‌های مختلف بخش‌های شبکه جاده‌ای و خیابانی مورد استفاده برای سفرهای دوچرخه‌سواری را فراهم می‌کند و شناسایی مجموعه‌ای از بخش‌هایی را که باید به زیرساخت‌های مناسب دوچرخه‌سواری ارتقا داده شوند را امکان‌پذیر می‌سازد [Kubaľák et al, 2021].

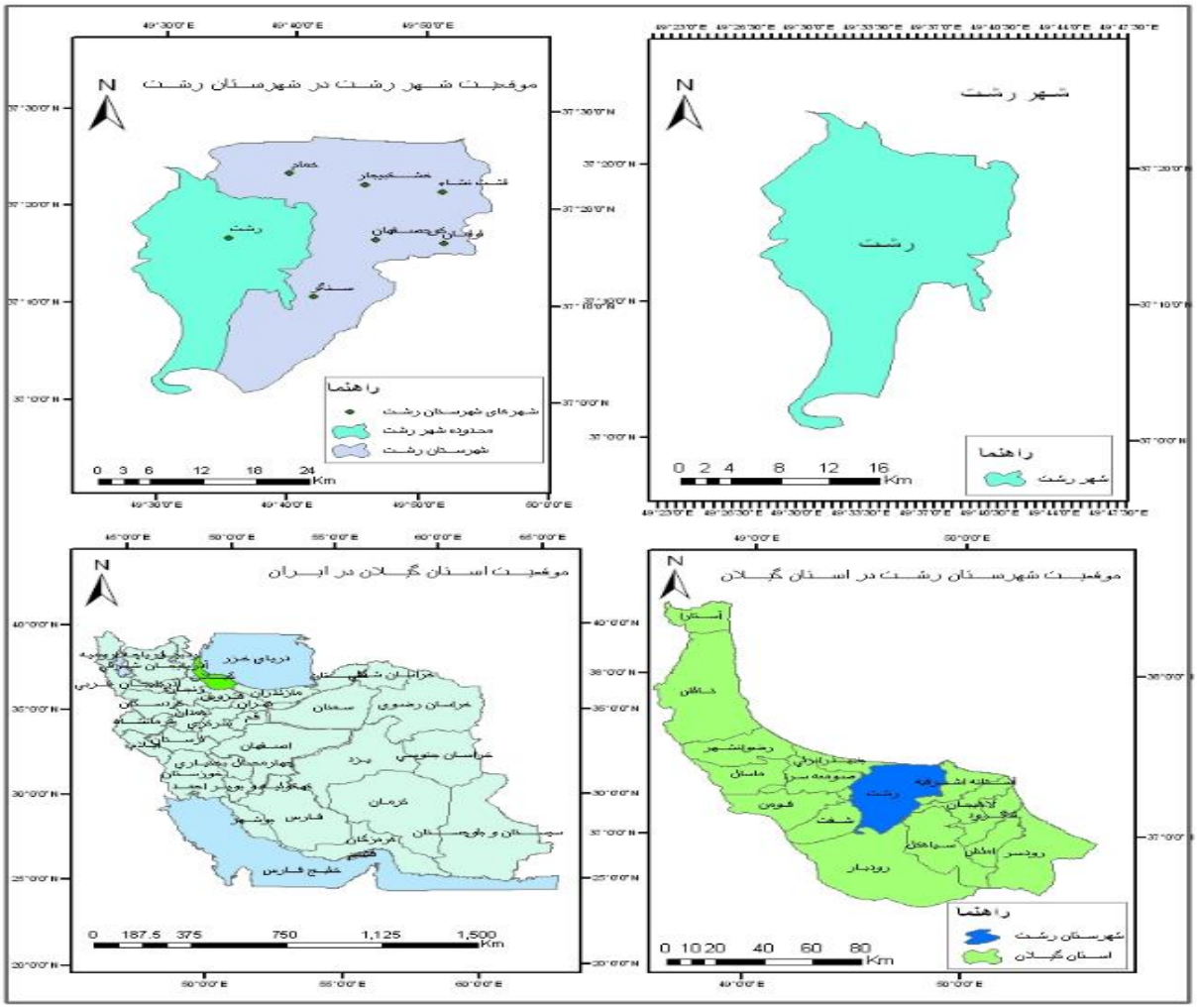
جدول ۱ به‌طور خلاصه پیشینه پژوهش حاضر و شکاف موجود را نمایش می‌دهد. با توجه به مرور پیشینه این حوزه، مشخص می‌شود که محققان انگشت‌شماری در کشور به بررسی مکان‌یابی احداث ایستگاه‌های دوچرخه پرداخته‌اند. با در نظر گرفتن این نکته و علاوه بر آن نیاز مبرم شهر رشت به حل مسئله تراکم ترافیک، در این پژوهش به مکان‌یابی احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی و مسیریابی خطوط دوچرخه‌سواری پرداخته می‌شود. پرداختن به مکان‌یابی و مسیریابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی، وجه تمایز این پژوهش است.

جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش

پژوهش	نوع مسئله			روش حل					استفاده از نرم‌افزار GIS	دارای مطالعه موردی
	مکان‌یابی	مسیریابی	تصمیم‌گیری چندمعیاره	متاهیورستیک	آنالیز SWOT	شبکه عصبی	رویکرد تلفیقی			
جوادی و همکاران (۲۰۱٤)	✓		✓						✓	✓
پروار و کیامهر (۲۰۱۷)	✓		✓						✓	✓
توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۷)	✓			✓						✓
سلبی و همکاران (۲۰۱۸)	✓			✓						✓
زو و وی (۲۰۱۹)		✓	✓							✓
آزاده و همکاران (۲۰۲۰)		✓	✓		✓		✓			✓
کاگیانی و همکاران (۲۰۲۰)	✓			✓						
گولر و یومرالی اوغلو (۲۰۲۱)	✓		✓						✓	✓
چن و همکاران (۲۰۲۱)	✓					✓				
ژوچوسکا و همکاران (۲۰۲۱)	✓								✓	✓
پژوهش حاضر	✓	✓	✓				✓		✓	✓

۲-۱ محدوده موردمطالعه

رشت یکی از کلان‌شهرهای ایران، مرکز استان گیلان در شمال ایران و مرکز شهرستان رشت است. شهر رشت در ٤٩ درجه و ٣٦ دقیقه طول شرقی و ٣٧ درجه و ١٦ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و مساحت آن حدود ١٣٦ کیلومتر می‌باشد. این کلان‌شهر همچنین پرجمعیت‌ترین شهر شمال ایران در بین سه استان حاشیه دریای خزر، بزرگ‌ترین سکونت‌گاه سواحل جنوبی دریای مازندران محسوب می‌شود. بر اساس سرشماری رسمی سال ١٣٩٥، جمعیت شهر رشت تعداد ٦٧٩٬٩٩٥ نفر است. جمعیت شناور ثابت روزانه شهر رشت به‌عنوان مرکز استان گیلان بالغبر ١٬٠٠٠٬٠٠٠ نفر است. جمعیت این شهر در تعطیلات و ماه‌های گردشگری سال بالغبر دو میلیون نفر است. رشت فشرده‌ترین شهر ایران به لحاظ نسبت جمعیت به وسعت است. در حال حاضر هیچ ایستگاه دوچرخه‌ای در شهر رشت وجود ندارد و تنها یک مسیر مخصوص دوچرخه‌سواری بسیار کوتاه در این شهر موجود است. در شکل ١، موقعیت استان گیلان در کشور، شهرستان رشت در استان گیلان و شهر رشت در شهرستان رشت مشاهده می‌شود.



شکل ١. نقشه شهر رشت و موقعیت جغرافیایی آن

۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر ازنظر نوع در دسته کاربردی قرار دارد و روش بررسی نیز توصیفی-تحلیلی است که با هدف مکان‌یابی و مسیریابی ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی انجام شده است. جهت گزینش معیارهای نهایی از تکنیک دلفی استفاده شده است. گردآوری داده‌ها به روش کتابخانه‌ای انجام شده و معیارهای اولیه پژوهش با بررسی دقیق پیشینه پژوهش استخراج گردیده است. سپس انجام فرآیند گزینش معیارهای بهینه توسط خبرگان انجام می‌شود. خبرگان پژوهش حاضر متشکل از کارشناسان بخش ترافیک و عمران و شهرسازی شهرداری رشت که دارای حداقل مدرک لیسانس و حداقل ده سال سابقه کار باشند و همچنین دوچرخه‌سواران حرفه‌ای که در پنج سال گذشته از دوچرخه به‌عنوان وسیله حمل‌ونقل در شهر رشت استفاده نموده‌اند، تشکیل شده است که بر اساس تعداد نمونه در دسترس، تعداد این خبرگان برابر ۱۲ نفر مشخص شد.

پس از مشخص نمودن خبرگان پژوهش، از طریق طرح پرسشنامه و با استفاده از روش دلفی در دو مرحله، معیارهای بهینه انتخاب می‌شود. تکنیک دلفی یک روش ارتباطی - ساختاری و راهی سریع برای دستیابی به اجماع نظرات خبرگان برای هرگونه تصمیم‌گیری است. در مرحله اول روش دلفی طبق نظر خبرگان، میزان آرای موافق برای هر معیار جمع‌بندی می‌شود و معیارهایی که تعداد آرای موافق آن‌ها کمتر از میانگین آرای موافق معیارها باشد، حذف می‌گردند. در مرحله دوم روش دلفی، مجدداً نظر خبرگان با استفاده از پرسشنامه طیف لیکرت پنج گزینه‌ای جدول ۲ دریافت شده، سپس ضریب پراکندگی معیارها محاسبه‌شده و میانگین آن‌ها نیز به دست می‌آید و معیارهایی که ضریب پراکندگی آن‌ها بیشتر از میانگین ضریب پراکندگی معیارها باشد، حذف خواهند شد. ضریب پراکندگی برای هر معیار از حاصل تقسیم انحراف استاندارد امتیازات داده‌شده به آن معیار بر میانگین امتیازات آن به دست می‌آید. درواقع ضریب پراکندگی نمایانگر تفاوت نظر خبره‌ها در امتیاز یک معیار می‌باشد.

جدول ۲. مقادیر عددی گزینه‌های پرسشنامه طیف لیکرت

میزان اهمیت	کاملاً مخالفم	مخالفم	ممتنع	موافق	کاملاً موافقم
مقادیر عددی	۱	۲	۳	٤	٥

در گام دوم با استفاده از روش BWM[٤] اهمیت معیارها مشخص شد. روش BWM یکی از جدیدترین و کاراترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به‌منظور وزن دهی معیارهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود. در این روش می‌توان معیارها را توسط مقایسه‌های زوجی با بهترین و بدترین معیار براساس نظرات خبرگان رتبه‌بندی و آن‌ها را از بااهمیت‌ترین به کم‌اهمیت‌ترین مرتب نمود. بنا بر پژوهش رضایی [Rezaei, 2015] ابداع‌کننده روش BWM برای انجام این تکنیک نیاز به اجرای مراحل زیر است:

- تعیین مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری.
- تعیین بهترین و بدترین معیار (بهترین می‌تواند مطلوب‌ترین یا مهم‌ترین معیار باشد).
- انجام مقایسه‌های زوجی بین بهترین معیار با سایر معیارها و تشکیل ماتریس (A_B) به‌صورت $A_{B=}(a_{B1},\ldots,a_{Bn})$. مقادیر a_{Bj} نسبت ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها را نشان می‌دهد که بر اساس طیف ۱ تا ۹ ساعتی، توسط خبرگان در پرسشنامه تعیین می‌شود. در طیف ساعتی اعداد از ۱ تا ۹ به نظرات خبرگان تخصیص می‌یابند و در آن عدد ۱ به منزله ارجحیت یکسان تا عدد ۹ به منزله ارجحیت بسیار زیاد است.

- انجام مقایسه‌های زوجی بین سایر معیارها نسبت به بدترین معیار و تشکیل ماتریس (A_W) به‌صورت $A_W=(a_{1W},\dots,a_{nW})^T$. مقادیر a_{jW} نسبت ارجحیت سایر معیارها را نسبت به بدترین معیار نشان می‌دهد که بر اساس طیف ۱ تا ۹ ساعتی، توسط خبرگان در پرسشنامه تعیین می‌شود.
- یافتن بهینه‌ترین اوزان W_j^* با استفاده از مدل رابطه (۱):

$$\begin{aligned} &\min\ \xi \\ &s.t \\ &\left|\frac{W_B}{W_j}-a_{Bj}\right|\le \xi \ \text{for all j} \\ &\left|\frac{W_j}{W_W}-a_{jW}\right|\le \xi \ \text{for all j} \\ &\sum W_j=1 \\ &W_j\ge 0.\ \text{for all j} \end{aligned} \qquad (۱)$$

جدول ۳. شاخص‌های سازگاری تکنیک BWM

a_{BW}	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
CI	۰,۰۰	۰,٤٤	۱,۰۰	۱,٦۳	۲,۳۰	۳,۰۰	۳,۷۳	٤,٤۷	٥,۲۳

مدل (۱) یک مدل غیرخطی برای به‌دست آوردن اوزان شاخص‌ها با استفاده از روش BWM می‌باشد. در این پژوهش، برای حل این مدل از نرم‌افزار گمز[٥] استفاده شد که یک نرم‌افزار پرکاربرد برای حل مدل‌های بهینه‌سازی است. با حل مدل بالا وزن بهینه هر یک از شاخص‌ها (W_j^*) به‌دست می‌آید که مجموع آن‌ها برابر ۱ خواهد بود. به‌منظور محاسبه نرخ ناسازگاری (IR) در روش BWM از رابطه (۲) استفاده می‌شود. نرخ ناسازگاری با هدف بررسی اعتبار و اطمینان مقایسات صورت گرفته محاسبه می‌شود. در این رابطه، CI شاخص سازگاری و ξ^0 مقدار بهینه ξ به‌دست‌آمده از رابطه (۱) می‌باشد. مقدار CI با توجه به مقدار a_{BW} (میزان ارجحیت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار) با استفاده از جدول ۳ تعیین می‌شود.

$$IR=\frac{\xi^0}{CI} \qquad (۲)$$

پس از مشخص شدن معیارهای نهایی و اوزان آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه‌سواری و سپس مشخص نمودن مسیرهای پیشنهادی جهت احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی پرداخته می‌شود. به‌منظور مکان یابی در ArcGIS پارامترهای پژوهش از نقشه‌های اتوکدی هر منطقه به‌صورت شیپ‌فایل تبدیل‌شده استخراج شده و طبق تحلیل‌های انجام‌شده برای آن‌ها بافر زده می‌شود. پس از بافر زدن نقشه‌های موجود، به آن‌ها نقشه‌های وکتوری گفته می‌شود که اساس کار مکان‌یابی است. در گام بعد نقشه‌های وکتوری به نقشه‌های رستری تبدیل خواهند شد و پس‌ازآن بر اساس پارامترهای مناسب، خشی و نقشه‌های موجود سطح‌بندی می‌شوند.

٤. یافته‌ها و بحث

پس از بررسی پژوهش‌های پیشین در این حوزه، ۱۹ معیار به‌عنوان معیارهای اولیه انتخاب مکان ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی به دست آمدند که این معیارها در جدول ٤ قابل‌مشاهده می‌باشد. سپس با استفاده از تکنیک دلفی به بررسی معیارهای استخراج‌شده پرداخته شد.

جدول ٤. لیست معیارهای مورداستفاده در مقالات پیشین جهت مکان‌یابی ایستگاه‌ها و مسیرهای دوچرخه‌سواری

کد معیار	عنوان معیار	رفرنس
C_1	نزدیکی به پارک‌ها	[Khan Ahmadi et al, 2014], [Guler and Yomralioglu, 2021]
C_2	فاصله ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی از یکدیگر	[Javadi et al, 2014]

کد معیار	عنوان معیار	رفرنس
C_3	تراکم جمعیت منطقه (مسکونی)	[Khan Ahmadi et al, 2014], [Amin-Tahmasbi et al, 2020] [Guler and Yomralioglu, 2021], [Sadeghi et al, 2018], [Parvar and kiamehr, 2017]
C_4	نزدیکی به مراکز اداری	[Khan Ahmadi et al, 2014], [Sadeghi et al, 2018]
C_5	نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی	[Sadeghi et al, 2018], [Guler and Yomralioglu, 2021], [Azadeh et al,2020]
C_6	نزدیکی به مراکز فرهنگی-تاریخی	[Khan Ahmadi et al, 2014], [Amin-Tahmasbi et al, 2020]
C_7	نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری (مسیرهای مخصوص)	[Rezaei et al, 2013], [Guler and Yomralioglu, 2021]
C_8	شیب منطقه	[Rezaei et al, 2013], [Guler and Yomralioglu, 2021], [Parvar and kiamehr, 2017], [Azadeh et al,2020]
C_9	نزدیکی به خطوط اتوبوس	[Guler and Yomralioglu, 2021]
C_{10}	نزدیکی به هتل‌ها و مهمانسراها	[Amin-Tahmasbi et al, 2020]
C_{11}	نزدیکی به مراکز آموزشی	[Amin-Tahmasbi et al, 2020], [Guler and Yomralioglu, 2021]
C_{12}	فاصله تا تقاطع‌ها و میدان‌های مهم	[Javadi et al, 2014], [Sadeghi et al, 2018]
C_{13}	نزدیکی به مراکز تفریحی	[Sadeghi et al, 2018]
C_{14}	زیبایی منطقه و مسیر	[Rezaei et al, 2013], [Guler and Yomralioglu, 2021]
C_{15}	نزدیکی به مراکز صنعتی	[Amin-Tahmasbi et al, 2020], [Khan Ahmadi et al, 2014]
C_{16}	نزدیکی به پایانه‌های مسافربری	[Amin-Tahmasbi et al, 2020], [Sadeghi et al, 2018]
C_{17}	نزدیکی به مراکز خرید	[Khan Ahmadi et al, 2014], [Sadeghi et al, 2018], [Guler and Yomralioglu, 2021]
C_{18}	دسترسی‌پذیری منطقه	[Javadi et al, 2014]
C_{19}	نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی	[Javadi et al, 2014], [Khan Ahmadi et al, 2014], [Parvar and kiamehr, 2017]

در مرحله اول تکنیک دلفی ۱۹ معیار اولیه مورد ارزیابی قرار گرفتند و از خبرگان درخواست شد معیارهای اساسی و مهم‌تر را انتخاب کنند. نتایج نظرات خبرگان در جدول ۵ قابل‌مشاهده است و پس‌ازآن میزان آرای موافق برای هر معیار جمع‌بندی شد. سپس میانگین آرای موافق معیارها به دست آمد (عدد ۹) و معیارهایی که تعداد آرای موافق آن‌ها کمتر از این مقدار بود حذف شدند. بر این اساس معیارهای C_{10},C_{14},C_{15},C_{16},C_{18} حذف شدند.

جدول ۵. مرحله اول روش دلفی: انتخاب معیارهای مهم

کد معیارها	خبرگان												مجموع
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
C_1	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	**۱۲**
C_2	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	**۱۲**
C_3	❋	❋	❋	❋		❋	❋	❋	❋	❋	❋		**۱۰**

کد معیارها	خبرگان												مجموع
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
C_4	*	*		*	*	*	*	*	*	*		*	۱۰
C_5	*		*	*	*	*	*		*	*		*	۹
C_6	*	*	*		*		*	*	*		*	*	۹
C_7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۱۲
C_8	*		*	*	*	*	*		*	*	*		۹
C_9		*	*	*	*		*	*	*	*		*	۹
C_{10}	*	*						*		*			۴
C_{11}	*	*	*	*	*		*	*		*	*	*	۱۰
C_{12}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۱۲
C_{13}		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	۱۰
C_{14}	*	*	*				*		*	*			۶
C_{15}		*	*		*	*		*		*	*		۷
C_{16}			*				*						۲
C_{17}	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	۱۰
C_{18}		*						*					۲
C_{19}	*	*	*	*		*	*		*	*	*	*	۱۰
	میانگین=۹												

در مرحله دوم با طرح پرسشنامه طیف لیکرت نظر خبرگان نسبت به میزان موافقت یا مخالفت آن‌ها با ١٤ معیار باقیمانده موردسنجش قرار گرفت. در این مرحله پرسشنامه‌های پرشده توسط خبرگان تجمیع شده و در جدول ٥ قابل‌مشاهده است. در این جدول نظرات خبرگان با استفاده از جدول ٢ به‌صورت عددی تبدیل شدند. هدف اصلی در این مرحله شناسایی معیارهایی است که در بین خبرگان اختلاف‌نظر کمتری نسبت به آن‌ها وجود دارد؛ بنابراین در این مرحله استفاده از شاخص پراکندگی الزامی است. برای به دست آوردن ضریب پراکندگی ابتدا میانگین امتیازات هر معیار و انحراف استاندارد آن‌ها نیز محاسبه می‌شود. سپس ضریب پراکندگی برای هر معیار به دست آمد که در ستون آخر در جدول ٦ قابل مشاهده است. سپس مجموع ضریب پراکندگی معیارها محاسبه و میانگین آن‌ها به دست آمد و معیارهایی که ضریب پراکندگی آن‌ها کمتر از ضریب پراکندگی میانگین بود، باقی ماندند. این معیارها، معیارهایی بودند که در بین خبرگان اختلاف‌نظر کمتری در گزینش آن‌ها وجود داشت. همین‌طور معیارهایی که ضریب پراکندگی آن‌ها بیشتر از میانگین (عدد ۰,۱۹۷۳) بود حذف شدند و درنهایت ۸ معیار باقی ماندند که معیارهای اصلی و مبنای مراحل بعدی هستند.

جدول ٦. مرحله دوم روش دلفی: تجمیع نظر خبرگان و محاسبه ضریب پراکندگی (CV)

کد معیارها	خبرگان												ضریب پراکندگی
	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
C_1	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۴	۵	۴	۰,۰۹۸۸

ضریب پراکندگی	خبرگان												کد معیارها
	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱	
۰,۱۷۱۳	۵	۳	۵	۴	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۵	۵	C_2
۰,۰۸۴۰	۵	۴	۵	۵	۵	۵	۴	۵	۵	۵	۵	۵	C_3
۰,۲۳۴۷	۵	۵	۴	۳	۳	۵	۵	۵	۳	۳	۵	۴	C_4
۰,۱۲۵۳	۳	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	C_5
۰,۳۶۴۸	۴	۲	۵	۲	۵	۴	۲	۴	۲	۵	۴	۵	C_6
۰,۱۲۵۲	۵	۵	۳	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۳	C_7
۰,۴۶۵۸	۲	۵	۱	۲	۵	۴	۵	۴	۲	۵	۲	۱	C_8
۰,۲۲۸۹	۳	۵	۲	۴	۴	۴	۵	۴	۴	۴	۳	۲	C_9
۰,۱۷۹۵	۵	۳	۴	۴	۴	۵	۳	۵	۴	۴	۵	۴	C_{11}
۰	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	C_{12}
۰,۲۹۶۱	۵	۳	۱	۴	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۵	۱	C_{13}
۰,۲۸۲۴	۵	۳	۴	۲	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۵	۴	C_{17}
۰,۱۰۵۹	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۴	۴	۴	۴	C_{19}

در این مرحله با بهره‌گیری از نظر خبرگان به وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارهای نهایی با روش بهترین-بدترین مبادرت شد. پس از غربال‌شدن معیارها در روش دلفی و تعیین معیارهای نهایی برای روش BWM، در ابتدا هریک از خبرگان بهترین (بااهمیت‌ترین) معیار و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار از نظر خود را از بین معیارهای باقی‌مانده مشخص نمودند و سپس معیارهایی که داری بیشترین مُد بودند به‌عنوان بهترین و بدترین معیار در نظر گرفته‌شد. طبق پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط خبرگان، بهترین معیار، نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی (C_5) و بدترین معیار نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی (C_{19}) در نظر گرفته شدند. پس از مشخص شدن بهترین و بدترین با استفاده از اعداد ۱ تا ۹ میزان ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها تعیین شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷. مقایسه مهم‌ترین معیار با سایر معیار

معیارها	C_1	C_2	C_3	C_5	C_7	C_{11}	C_{12}	C_{19}
C_5	٦	۳	٥	۱	۲	۷	٤	۹

همان‌طور که در جدول ۷ قابل‌مشاهده است، عدد مقابل معیار C_5 (نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل) یک می‌باشد، این بدان معنی است که این معیار مهم‌ترین معیار مسئله حاضر می‌باشد. از سوی دیگر معیار C_{19} (فاصله تا پارکینگ‌های عمومی) عدد ۹ را در مقابل خود دارد و این نشان‌دهنده این موضوع است که این معیار، کم‌اهمیت‌ترین معیار مسئله حاضر است. معیار C_7 (نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری) عدد ۲ را دریافت کرده و این امر نشان‌دهنده آن است که ارجحیت معیار C_5 نسبت به این معیار ۲ است. در مرحله بعد در جدول زیر میزان ارجحیت نسبت به بدترین معیار با اعداد ۱ تا ۹ تعیین‌شده است، نتایج حاصل در جدول ۸ قابل‌مشاهده است.

جدول ۸. مقایسه کم‌اهمیت‌ترین معیار با سایر معیارها

معیارها	C_1	C_2	C_3	C_5	C_7	C_{11}	C_{12}	C_{19}
C_{19}	٤	٧	٥	٩	٨	٣	٦	١

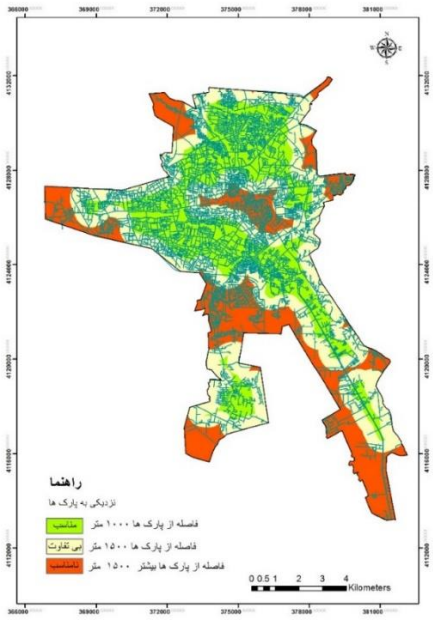
همان‌طور که در جدول ۸ مشخص است، سایر معیارها نسبت به بدترین معیار یعنی معیار C_{19} (نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی) مقایسه و رتبه‌بندی شدند. معیار C_5 (نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل) که بااهمیت‌ترین معیار ازنظر خبرگان است بیشترین فاصله را با این معیار دارد و معیار C_7 (نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری) که پس‌ازآن در رده دوم بااهمیت‌ترین معیار قرار دارد عدد ۸ را کسب کرده که نشان‌دهنده فاصله زیاد آن با بدترین معیار است. همچنین معیار C_{11} (نزدیکی به مراکز آموزشی) که نزدیک‌ترین معیار به C_{19} بوده عدد ۳ را دریافت کرده که نشان‌دهنده همین موضوع است.

درنهایت به‌منظور به دست آوردن وزن معیارهای نهایی، نسبت به محاسبه اوزان با استفاده از رابطه ۱ اقدام شد. نتایج حاصل از محاسبات با استفاده از نرم افزار گمز و رتبه‌بندی معیارها در جدول ۹ ذکر شده است. طبق نتایج، معیار C_5 (نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی) با وزن **۰,۳۳۰۵** مهم‌ترین معیار است و پس‌ازآن معیارهای C_7 (نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری) با وزن ۰,۲۰۱۱ و C_2 (فاصله ایستگاه‌ها از هم) با وزن ۰,۱۳٤۱ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند و از سوی دیگر معیار C_{19} با وزن ۰,۰۲۸۷ در رتبه آخر اهمیت قرار گرفت. همین‌طور نرخ ناسازگاری با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید و مقدار ۰,۰۷۲ به دست آمد که مقداری قابل‌قبول است.

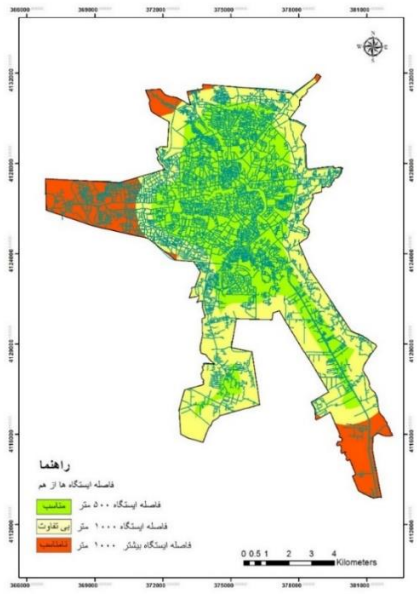
جدول ۹. وزن و اولویت‌بندی نهایی معیارها

معیار	C_1	C_2	C_3	C_5	C_7	C_{11}	C_{12}	C_{19}
	نزدیکی به پارک‌ها	**فاصله ایستگاه‌ها از هم**	**تراکم جمعیت**	**نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل**	**نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری**	**نزدیکی به مراکز آموزشی**	**فاصله تا تقاطع‌ها و میدان‌های مهم**	**نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی**
وزن	۰,۰٦۷۰	۰,۱۳٤۱	۰,۰۸۰٥	۰,۳۳۰٥	۰,۲۰۱۱	۰,۰٥۷٥	۰,۱۰۰٦	۰,۰۲۸۷
رتبه	٦	٣	٥	١	٢	٧	٤	٨

پس از مشخص شدن رتبه معیارها، اقدام به پیاده‌سازی اطلاعات موجود در ArcGIS شد، به همین جهت به ازای هر معیار یک نقشه تهیه‌شده و بر اساس همان معیار با سه وضعیت مناسب، بی‌تفاوت، نامناسب سطح‌بندی شده و درنهایت تمام نقشه‌ها بر اساس رتبه‌بندی مشخص‌شده و با در نظر گرفتن وزن‌ها و رتبه‌های به‌دست‌آمده باهم تجمیع و نقشه نهایی به دست آمد. در شکل‌های ۲ و ۳ منطقه موردمطالعه (شهر رشت) به ترتیب ازنظر معیارهای نزدیکی به پارک‌ها و فاصله ایستگاه‌های دوچرخه از همدیگر موردبررسی قرار گرفت.

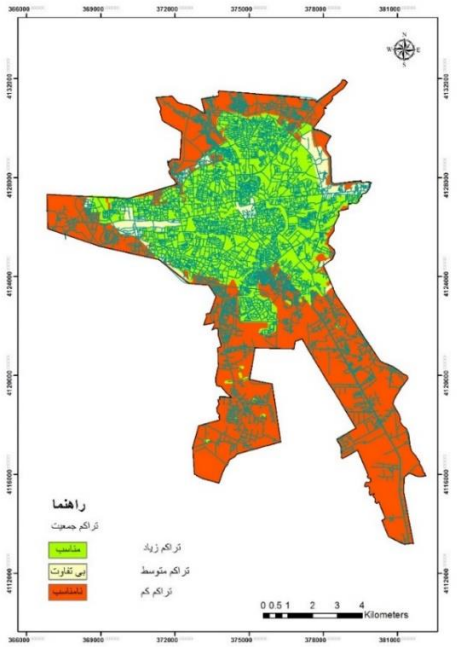


شکل ۲. فاصله از پارک‌ها

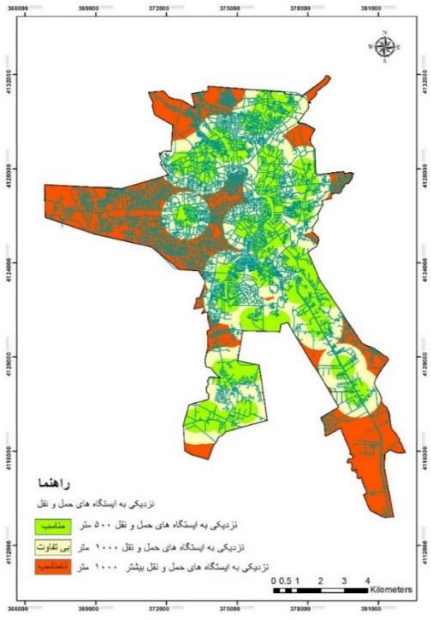


شکل ۳. فاصله ایستگاه‌های دوچرخه از یکدیگر

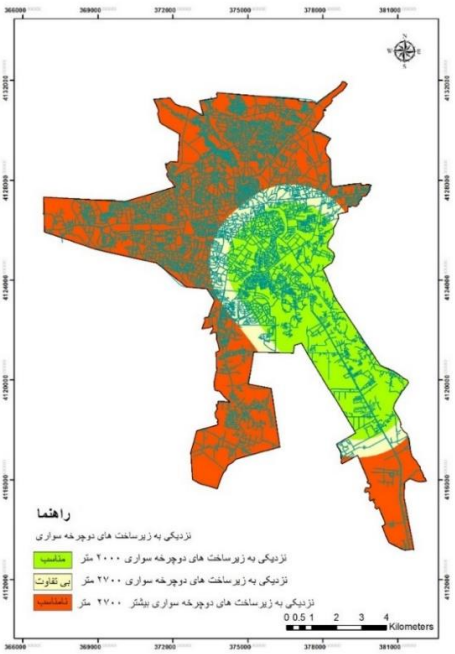
همین‌طور در شکل‌های ٤ و ٥ نیز منطقه موردنظر با در نظر داشتن معیارهای تراکم جمعیت و نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و در شکل‌های ٦ و ٧ معیارهای نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری و نزدیکی به مراکز آموزشی موردبررسی قرار گرفت و نتایج آن با سه حالت مناسب، بی تفاوت (خنثی) و نامناسب مشخص شد. نقشه منطقه موردمطالعه با توجه به معیارهای فاصله تا تقاطع‌ها و میدان‌های مهم و نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی نیز در شکل‌های ٨ و ٩ قابل‌مشاهده است.



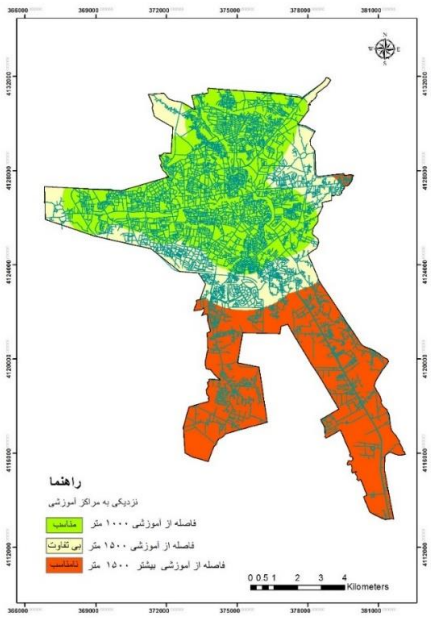
شکل ٤. تراکم جمعیت



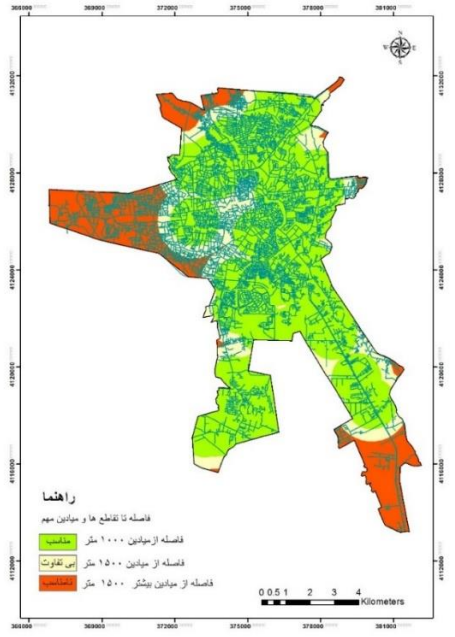
شکل ٥. نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی



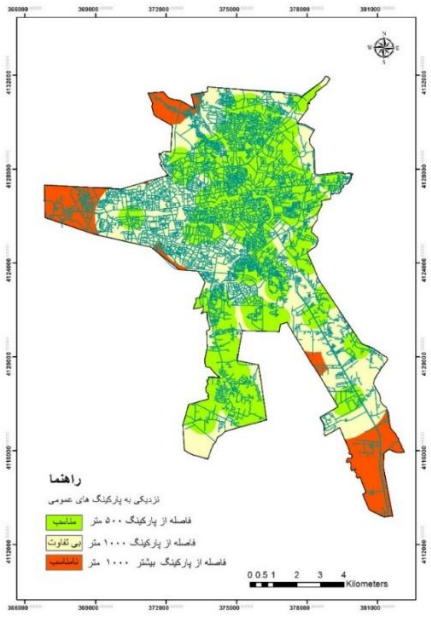
شکل ٦. نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری



شکل ۷. فاصله از مراکز آموزشی

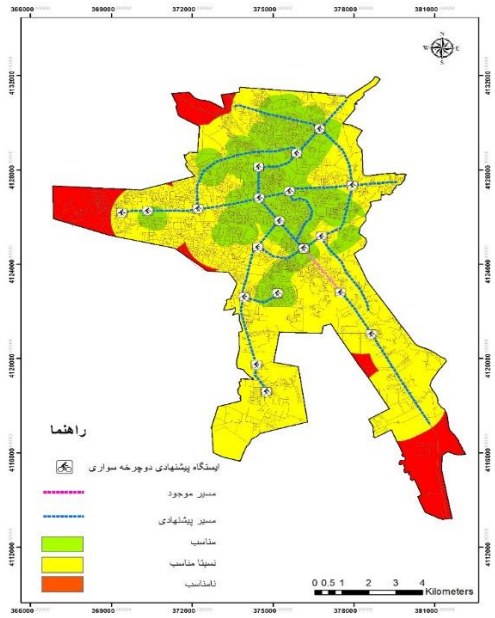


شکل ۸. فاصله از تقاطع‌ها و میدان‌های مهم



شکل ۹. فاصله از پارکینگ‌های عمومی

پس از سطح‌بندی نقشه محدوده موردمطالعه بر اساس هرکدام از معیارها، ۸ نقشه به‌دست آمد. سپس نقشه‌ها با استفاده از ArcGIS و وزن و رتبه به‌دست‌آمده از روش BWM ترکیب شدند و سپس مکان‌های مناسب توسط نرم‌افزار مشخص شدند. در ادامه مسیرهای پیشنهادی بر اساس ایستگاه‌های مشخص‌شده و خیابان‌ها و تقاطع‌های موجود مابین ایستگاه‌ها، تعیین شد.



شکل ۱۰. نقشه نهایی و مکان‌های پیشنهادی ایستگاه دوچرخه

۵. نتیجه‌گیری

یکی از اصلی‌ترین عوامل موفقیت یا شکست طرح دوچرخه اشتراکی انتخاب بهینه مکان ایستگاه‌های آن و وجود مسیر مخصوص دوچرخه‌سواری است. در این راستا با توجه به این‌که در حال حاضر هیچ ایستگاه و سیستم اشتراک دوچرخه‌ای در شهر رشت وجود ندارد، در این پژوهش به مکان‌یابی و مسیریابی احداث ایستگاه‌های دوچرخه اشتراکی جهت کمک به برنامه‌ریزان شهری و سرمایه‌گذارانی که قصد فعالیت در این حوزه را دارند، پرداخته شد.

پس از شناسایی معیارها، با تبیین نظرات خبرگان پژوهش با استفاده از روش بهترین بدترین، وزن معیارها محاسبه گردید و بر اساس آن معیارهای مسئله مورد رتبه‌بندی قرار گرفتند که معیارهای نزدیکی به ایستگاه‌های حمل‌ونقل، نزدیکی به زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری و فاصله ایستگاه‌های پیشنهادی از یکدیگر به ترتیب بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. پس از تحلیل‌های انجام‌شده با در نظر گرفتن اوزان معیارها و رتبه آن‌ها با استفاده از ArcGIS مکان‌های پیشنهادی جهت احداث ایستگاه‌های دوچرخه‌سواری مشخص شد و در ادامه مسیر پیشنهادی بر اساس ایستگاه‌های مشخص‌شده ارائه گردید. با توجه به اینکه شهر رشت ازنظر قیمت اراضی جزو شهرهای گران‌قیمت است، ایجاد و توسعه مسیرهای جدید مستلزم سرمایه‌گذاری زیاد بوده و جزو طرح‌های جامع و بزرگ شهری به‌حساب می‌آید، لذا در این پژوهش، توسعه مسیر دوچرخه‌سواری در خیابان‌های موجود و با درنظر گرفتن زیرساخت‌ها و قابلیت توسعه مسیر در آن‌ها، پس از بازدیدهای میدانی توسط نویسندگان و پیاده‌سازی آن در نرم افزار ArcGIS تعیین گردید. مسیر پیشنهادی به تنها مسیر مخصوص دوچرخه‌سواری موجود متصل است و همچنین آن را امتداد خواهد داد. ایستگاه‌ها و مسیر پیشنهادی مناطق مهم، پرتراکم و پرترافیک شهر رشت مانند خیابان امام خمینی (ره)، سبزه‌میدان، چهارراه گلسار، بلوار معلم و مسکن مهر را تا حد قابل قبولی پوشش خواهد داد. البته اشاره به این نکته نیز حائز اهمیت است که در بعضی از مناطق شهر رشت به دلیل بافت قدیمی و عدم تعریض جاده‌ها مانند محله ساغریسازان و چله‌خانه، امکان احداث مسیر دوچرخه‌سواری میسر نمی‌باشد. تمامی موارد ذکرشده در مسیر پیشنهادی موردنظر در نظر گرفته‌شده است. همچنین شایان‌ذکر است که تنها مسیر مخصوص

دوچرخه‌سواری در شهر رشت که مابین میدان توشیبا و گیل قرار دارد طبق بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش، در منطقه کم تراکم‌تر با وجود مراکز آموزشی کمتر و مراکز تجاری و پارک‌ها نسبت به سایر مناطق شهر قرار دارد و بهتر است که انجام چنین طرح‌هایی با مطالعه بیشتر و دقیق‌تر صورت گیرد. برای مطالعات آینده اولویت‌بندی احداث ایستگاه‌ها و تعریض و توسعه مسیر پیشنهادی با توجه به محدودیت منابع مالی در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تا با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی کامل و چندهدفه، ظرفیت و هزینه‌های ساخت مکان‌های پیشنهادی ایستگاه‌ها و هزینه‌های توسعه مسیرهای پیشنهادی در نظر گرفته شود.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Geographic Information System
2. PROMETHEE
3. Gated Graph Neural Network
4. Best Worst Method
5. GAMS

٧. منابع

- ابوطالبی اصفهانی، محسن و بابائی دهکردی، حمید (۱۳۹۲) "اجرای سیستم دوچرخه‌سواری به منظور بهبود شرایط فردی،اجتماعی، ترافیکی و زیست محیطی شهر و شهروندان"، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران: ۷-۸ اسفند ۱۳۹۱.

- امین طهماسبی، حمزه و نیکجو، زهرا (١٤٠٠) "رتبه‌بندی شرکت‌های مسافربری اتوبوس‌رانی برون‌شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هجدهم، شماره ۳، صص ۲۵۹-۲۷٦.

- امین طهماسبی، حمزه، میراکبری، سیدمحمود و نصیرزاده، حسین (۱۳۹۹) "بهینه‌سازی مکان‌یابی استقرار کاربری‌های شهری با روش‌های ترکیبی Delphi- BWM- PROMETHEE (نمونه موردی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر اهواز) "، دانش شهرسازی، سال چهارم، شماره ۳، صص ۸۹-۱۱۰.

- آتش‌پنجه، آزاده، امان‌پور، زهرا و نقی پور، محدمهدی (۱۳۹۰) "نقش دوچرخه در سیستم حمل و نقل شهر پایدار"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران، اسفند ۱۳۹۰.

- پروار، مجتبی و کیامهر، رامین (١٣٩٦) "مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه در معابر پرترافیک شهری با استفاده از GIS در راستای گسترش حمل و نقل پایدار (مورد مطالعه بخش مرکزی شهر زنجان)"، اولین همایش اندیشه ها وفناوری های نوین در علوم جغرافیایی، زنجان: ۲۸ شهریور ١٣٩٦.

- توکلی مقدم، رضا، توکلی، محمدمهدی و جابری، محمد (۱۳۹۷) "مدل‌سازی ریاضی دوهدفه برای مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه با در نظر گرفتن تعداد سفر-مطالعه موردی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال نهم، شماره ٤، صص ٤٨٣-٤٩٦.

- جوادی قاسم، طالعی محمد و آقامحمدی، میثم (۱۳۹۳) "برنامه‌ریزی مکانی ایستگاه‌های دوچرخه عمومی با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چند معیاری"، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری سال سوم، شماره ٤، صص ٦٤-٥٣.

- خان احمدی، مرضیه، عربی، مهدی، وفایی نژاد، علیرضا، و رضائیان، هانی. (۱۳۹۳) "مکانیابی ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از تلفیق منطق Fuzzy و AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: ناحیه ۱ منطقه ۱۰ تهران)"، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر» دوره ۲۳، شماره ۸۹، صص ۸۸-۹۸.

- رضایی، محمدرضا، حیدری، یاسر و نظری‌مهر، امیرحسین (۱۳۹۱) "ارزیابی معیارهای مکان‌گزینی مسیرهای پیشنهادی دوچرخه‌سواری با استفاده از مدل AHP نمونه موردی: شهر یزد"، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران: اسفند ۱۳۹۱.

- صادقی دروازه، سعید، قاسمی، احمدرضا، رسولی تیله نوئی، ندا و شول، عباس (۱۳۹۶) "مکان‌یابی پارکینگ‌های مکانیزه با رویکرد توسعه پایدار (مورد مطالعه: شهر قم)"، فصلنامه علمی- پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۱۱۱-۱۲۷

- Azadeh, S.R., Shafiee haghshenas, M. and Khaksar shahmirzadi, S. (2020) “sustainable urban development plan by determining optimal cycling routes using quantitative models, case study: Rasht metropolis”, Journal of urban ecology research, Vol.11, No.21, pp. 43-58.

- Berridge G., (2012) “The promotion of cycling in London: The impact of the (2007) Tour de France Grand depart on the image and provision of cycling in the capital”, Journal of Sport & Tourism, Vol.17, No.1, pp.61-43.

- Burke, C.M. and Darren M.S. (2018) “Identifying ‘Sensible Locations’ for Separated Bike Lanes on a Congested Urban Road Network: A Toronto Case Study” The Professional Geographer, Vol.70, No.4, pp. 541–551.

- Caggiani, L., Colovic, A. and Ottomanelli, M. (2020) “An equality-based model for bike-sharing stations location in bicycle-public transport multimodal mobility.” Transportation Research Part A: Policy and Practice, 140, 251-265.

- Çelebi, D., Yörüsün, A. and Işık, H. (2018) “Bicycle sharing system design with capacity allocations.” Transportation research part B: methodological, 114, 86-98.

- Chen, J., Li, K., Li, K., Yu, P. S. and Zeng, Z. (2021) “Dynamic planning of bicycle stations in dockless public bicycle-sharing system using gated graph neural network.” ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 12(2), 1-22.

- Faghih-Imani, A., Sabreena, A., Miller, E.J. and Naveen, E. (2017) “Hail a Cab or Ride a Bike? A Travel Time Comparison of Taxi and Bicycle-Sharing Systems in New York City” Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.101, No.7, pp.11–21.

- Guler, D. and Yomralioglu, T. (2021) “Location Evaluation of Bicycle Sharing System Stations and Cycling Infrastructures with Best Worst Method Using GIS”, The Professional Geographer, Vol.73, No.3, pp.535-552.

- Jain, D. and Tiwari, G. (2016) “How the Present Would Have Looked like? Impact of Non-Motorized Transport and Public Transport Infrastructure on Travel Behavior, Energy Consumption and CO2 Emissions – Delhi, Pune and Patna.” Sustainable Cities and Society, Vol.22, No.4, pp.1–10.

- Kaplan, S., Wrzesinska, D.K. and Prato, C.G. (2019) “Psychosocial Benefits and Positive Mood Related to Habitual Bicycle Use” Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.64, No.7, pp.342–352.

- Meng, Y., Zhang, Q., Wang, B., Liang, Y. and Zhang, H. (2019) “A Mixed Integer Linear Programming Model for Optimal Planning of Bicycle Sharing Systems: A Case Study in

Beijing" Sustainable Cities and Society, Vol.47, No.5, pp.101515.

- Murphy, N.B. and Knoblauch, R. (2004) "Hispanic pedestrian and bicycle safety. The Federal Highway Administration (FHWA) and National Highway Transportation Safety Administration", Washington, DC (2004).

- Rezaei, J. (2016) "Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method: Some Properties and a Linear Model" Vol.64, pp.126–130.

- Ricci, M. (2015) "Bike Sharing: A Review of Evidence on Impacts and Processes of Implementation and Operation." Research in Transportation Business & Management, Vol.15, pp.28–38.

- Wang, G., Macera, C.A., Schmid, T., Pratt, M. and Buchner, D. (2005) "A Cost-Benefit Analysis of Physical Activity Using Bike/Pedestrain Trails", Health Promotion Practice, Vol. 6, No. 2, pp. 174-179.

- Yuan, C., Bouferguene, A., Li, H.X., Liu, H., Shen, Y. and Al-Hussein, M. (2019) "Spatial Gaps in Urban Public Transport Supply and Demand from the Perspective of Sustainability" Journal of Cleaner Production, Vol.195, No.9, pp.1237–1248.

- Żochowska, R., Jacyna, M., Kłos, M. J. and Soczówka, P. (2021) "A GIS-based method of the assessment of spatial integration of bike-sharing stations." Sustainability, 13(7), 3894.

- Zuo, T. and Wei, H. (2019) "Bikeway Prioritization to Increase Bicycle Network Connectivity and Bicycle-Transit Connection: A Multi-Criteria Decision Analysis Approach." Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.129, No.11, pp.52–71.

حمزه امین‌طهماسبی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸٤ با گرایش تولید صنعتی از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه تهران اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۹۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع در گرایش مدیریت تولید و عملیات گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی، مدیریت زنجیره تأمین و مدیریت سیستم‌های سلامت می‌باشد. پروژه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی و عملیاتی مختلفی را در صنعت و جامعه انجام داده و در حال حاضر استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه گیلان است.

محمدحسین اصغرپور درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱٤۰۰ از دانشگاه گیلان اخذ نمود. او در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع گرایش سیستم‌های کلان در دانشگاه یزد است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان فناوری بلاکچین، زنجیره تأمین و تجزیه و تحلیل سیستم‌ها است.