

مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای با در نظر گرفتن تقاضای پارک با استفاده از رویکرد تلفیقی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (نمونه موردی: شهر کرمان)

مقاله علمی - پژوهشی

مجتبی رجبی بهاء‌آبادی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

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

میثم امیری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مرکز پژوهشی حمل و نقل پایدار، دانشگاه یزد، یزد، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Fallah.Tafti@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۱ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

صفحه ۹۱-۱۱۴

چکیده

افزایش جمعیت شهری و رشد مالکیت خودرو، تقاضا برای پارکینگ در بخش‌های مرکزی شهرها را به شکل قابل توجهی افزایش داده و مشکلاتی مانند پارک دوبل، افزایش زمان جستجوی جای پارک، افزایش زمان سفر را به دنبال داشته است. احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای جدید، یکی از سیاست‌های عرضه محور جهت رفع مسائل فوق است. با توجه به محدودیت فضایی و منابع مالی، مکان‌یابی باید به گونه‌ای صورت گیرد که به اتلاف منابع منجر نشده و به نیاز واقعی شهر پاسخ دهد. در این پژوهش، به منظور افزایش کارایی و بهره‌وری پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای، علاوه بر مجموعه‌ای از معیارهای مطرح در مطالعات پیشین جهت مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای، تقاضای پارک و به تبع آن میزان کمبود فضای پارک به عنوان عاملی کلیدی مدنظر قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با کنکاشی در ادبیات موضوع و استفاده از نظرات خبرگان، فهرستی از مهمترین عوامل موثر بر مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای تهیه و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ضریب اهمیت آن‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که از نظر نخبگان عوامل فاصله از مراکز جذب سفر و میزان کمبود پارکینگ بیش‌ترین اهمیت را دارند. فاصله از معابر اصلی، فاصله از پارکینگ‌های موجود و ارزش ملک به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در یک مطالعه موردی برای شهر کرمان، ۱۵ محدوده عملکردی کمبود پارکینگ شناسایی شد. در نهایت بر مبنای نتایج روش AHP و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، در هر کدام از محدوده‌های کمبود پارکینگ، زمین‌های مناسب جهت افزایش ظرفیت پارکینگ (از طریق طبقاتی کردن پارکینگ‌های موجود یا احداث پارکینگ جدید) پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، AHP-GIS، مکان‌یابی پارکینگ، پارکینگ غیرحاشیه‌ای

۱- مقدمه

به شمار می‌رود. به تبع آن، توسعه شهر و زیرساخت‌های مرتبط با آن از جمله فضای مورد نیاز برای پارک خودروها، مبتنی بر این گونه حمل‌ونقل انجام می‌شود. به طور متوسط، یک

اگرچه در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای انسان‌محور کردن شهرها صورت گرفته است؛ اما هنوز، خودروی شخصی به عنوان یک شیوه غالب سفر در تمامی شهرهای کشور

خودرو در طول روز تقریباً ۲۳ ساعت (۹۵ درصد از زمان) در حالت سکون قرار دارد و از انواع تسهیلات پارکینگ، اعم از حاشیه‌ای و غیرحاشیه‌ای، بهره‌برداری می‌کند (Ben-Joseph, 2012). از سوی دیگر به طور میانگین، فضای مورد نیاز برای یک جای پارک برای خودروی شخصی در حالت حاشیه‌ای حدود ۱۵ مترمربع و در حالت غیرحاشیه‌ای حدود ۲۰ مترمربع است (Milosavljevic and Simicevic). بنابراین، سطح قابل توجهی از اراضی شهری به فضای پارک خودروها اختصاص می‌یابد و لازم است برنامه‌ریزی و مدیریت پارکینگ‌های شهری به گونه‌ای انجام شود که استفاده بهینه‌ای از این میزان اراضی شهری صورت پذیرد.

در بسیاری از شهرهای کشور، پارکینگ‌های حاشیه‌ای واقع در مناطق شهری با جذب سفر بالا، به تنهایی قادر به برآوردن تقاضای پارکینگ موجود نیستند؛ در نتیجه، کمبود فضای پارک منجر به پارک دوبله در حاشیه خیابان و به تبع آن کاهش ظرفیت معبر، کاهش ایمنی، افزایش زمان سفر، افزایش آلودگی هوا، افزایش مصرف سوخت، افزایش اثرات نامطلوب روانی و غیره می‌شود. همچنین بخشی از سرریز تقاضای پارکینگ ترافیک غیرمحلی به خیابان‌ها و کوچه‌های محلی انتقال می‌یابد که بر کیفیت زندگی و دسترسی ساکنین آنها تأثیر منفی زیادی می‌گذارد. بنابراین در کنار سیاست‌های مدیریت تقاضای سفر، ایجاد پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای متناسب با میزان کمبود پارکینگ در مناطق با جذب سفر بالا اجتناب ناپذیر است تا از بروز مسائل فوق جلوگیری شود.

واضح است که در افق برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت، باید تلاش شود تا سهم شیوه‌های سفر پاک افزایش یابد و از مطلوبیت نسبی سفر با خودروی شخصی به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار حمل‌ونقل و بهبود زیست‌پذیری شهر کاسته شود (Hrelja and Rye, 2023). با این وجود، حتی با اعمال روش‌های مدیریت تقاضای سفر و توسعه سایر شیوه‌های سفر غیرخودرویی، بخشی از تقاضا برای سفر با خودرو باقی می‌ماند که نیاز است به تقاضای پارک آن پاسخ داده شود. براین اساس، لازم است که برای استفاده کارآمد و بهینه از تسهیلات پارکینگ موجود و حل معضلات ناشی از کمبود فضای پارکینگ تدابیری اندیشیده شود. افزایش ظرفیت فضای پارکینگ از طریق احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای از جمله این اقدامات است. با توجه به محدودیت اراضی و هزینه بالای

احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای، لازم است که پیش از احداث پارکینگ، مکان‌یابی آن‌ها به گونه‌ای بهینه صورت گیرد که بتوانند به نیازهای واقعی کمبود پارکینگ در سطح شهر پاسخ داده و مسئله پارکینگ در محدوده‌های هدف را رفع کنند. در شهر کرمان نیز مشابه بسیاری از شهرهای کشور، بخش عمده‌ای از سفرهای روزانه با استفاده از خودروهای شخصی انجام می‌شود؛ به گونه‌ای که می‌توان به وضوح خودروهای شخصی را به عنوان شیوه غالب سفر در این شهر در نظر گرفت. عدم توجه کافی به برنامه‌ریزی در زمینه کاربری زمین و همچنین دسترسی نامناسب مسافران به سایر شیوه‌های حمل‌ونقل، از جمله حمل‌ونقل همگانی و زیرساخت‌های سفر اشتراکی، به افزایش وابستگی شهر به خودروهای شخصی دامن زده است. موارد پیش‌گفته منجر به بروز مشکل کمبود پارکینگ شده است و ضرورت وجود فضای کافی و مناسب برای پارک خودروها را به وضوح نمایان می‌سازد. به ویژه مناطق مرکزی شهر (مانند خیابان‌های منتهی به میدان ارگ، خیابان‌های معلم و قدس) و معابر بلافاصله کاربری‌های عمده تجاری شهر (مانند خیابان‌های شریعتی، جهاد، استقلال، حافظ، نامجو و بخشی از بلوار جمهوری اسلامی) به دلیل تراکم بالای جمعیت و جاذب سفر بودن، با کمبود فضای پارکینگ مواجه هستند که این امر باعث صرف زمان زیاد برای یافتن محل پارک می‌شود. این وضعیت نه تنها منجر به اتلاف وقت قابل توجهی برای رانندگان می‌گردد، بلکه مصرف سوخت را افزایش داده، آلودگی هوا را تشدید می‌کند و به استهلاک خودروها و اثرات منفی روانی نیز منجر می‌شود. همچنین، پارک کردن خودروها در حاشیه خیابان‌ها، به ویژه در نواحی مرکزی شهر، موجب کاهش ظرفیت ترافیکی، کاهش سرعت حرکت، افزایش تصادفات و کاهش ایمنی در این خیابان‌ها و همچنین آسیب به بافت تاریخی و با ارزش کرمان و کاهش کیفیت زیست در آن ناحیه شده است. باتوجه به مسائل پیش‌گفته و اهمیت مکان‌یابی بهینه پارکینگ متناسب با میزان کمبود فضای پارک، در پژوهش حاضر مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای با در نظر گرفتن میزان تقاضای مؤثر پارکینگ انجام شده است. بدین منظور ضمن شناسایی محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ جهت افزایش ظرفیت فضای پارکینگ، علاوه بر سایر عوامل که پژوهش‌های پیشین جهت مکان‌یابی پارکینگ در نظر گرفته‌اند، در این پژوهش، یک رویکرد جدید برای مکان‌یابی پارکینگ‌های

استفاده شده است. مدل ریاضی ارائه شده دو سطحی است که در سطح اول مکان‌یابی و در سطح دوم تخصیص پارکینگ انجام می‌شود. برای حل این مدل ریاضی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

اغلب پژوهش‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند که عمده آن‌ها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهره برده‌اند (قاضی عسگری و ورشوساز، ۱۳۸۳؛ سرایی و قانع بافقی، ۱۳۹۰؛ دهقانپور و همکاران، ۱۳۹۷؛ قنبری و همکاران، ۱۳۹۶؛ فرزنامتش و دیگران، ۲۰۱۰؛ حسینلو و دیگران، ۲۰۱۲؛ اقبال، ۲۰۲۰؛ اورتگا و دیگران ۲۰۲۱؛ پیتال و دیگران ۲۰۲۲؛ جنوزی و دیگران، ۲۰۲۴؛ دهقانی و سلطانی، ۲۰۲۴). همچنین در چند پژوهش، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به همراه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس^۲ استفاده شده است (غضنفرپور و همکاران، ۱۳۹۴؛ کامیابی و طاهری، ۱۳۹۴؛ کزازی دارانی، ۲۰۱۸). پژوهش‌هایی که از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند محدود هستند. این پژوهش‌ها یا از روش تحلیل شبکه‌ای^۳ (ANP) به تنهایی استفاده کرده‌اند (یغفوری و همکاران، ۱۳۹۵؛ افضل‌ی و مقنعی طبری، ۱۴۰۳) و یا روش ANP را در ترکیب با روش‌های دیگر به کار برده‌اند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۶). به منظور ارزیابی میزان کارایی روش‌های مختلف در مکان‌یابی پارکینگ، شهابی و همکاران (۱۳۹۰) در مقایسه و ارزیابی روش‌های رتبه‌ای و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی پارکینگ‌ها، از چهار روش وزن‌دهی نظیر همبستگی آماری، تحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل سلسله مراتبی ساختاریافته و تحلیل سلسله مراتبی^۳ درجه‌ای استفاده نمودند و بدین ترتیب چهار سناریوی مکان‌یابی به دست آوردند. امتیاز محل‌های به‌دست‌آمده برای هر سناریو، با استفاده از روش‌های استاندارد کردن به سه رده مطلوبیت بالا، متوسط و پایین تقسیم شدند که در نهایت با توجه به روش‌های محاسباتی مورد استفاده، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی مناسب‌ترین روش برای مکان‌یابی پارکینگ در منطقه مورد مطالعه شناخته شده است. قنبری و قاضی عسکرانینی (۱۳۹۰) نیز به مقایسه چندین روش مبتنی بر GIS جهت مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی در مرکز تجاری شهر اصفهان پرداختند. طبق نتایج مطالعه پیش‌گفته، تلفیق منطق فازی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند گزینه مناسبی جهت مکان‌یابی پارکینگ

غیرحاشیه‌ای ارائه شده است که در آن میزان کمبود پارکینگ به عنوان عامل مؤثر در مکان‌یابی پارکینگ لحاظ شده است. این اقدام با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (جهت امتیازدهی به معیارهای مکان‌یابی) و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (جهت محاسبه میزان مطلوبیت اراضی از نظر احداث پارکینگ) صورت گرفته است. برای نشان‌دادن عملکرد متدولوژی پیشنهادی، ناحیه مرکزی شهر کرمان به عنوان محدوده مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و امتیازدهی به معیارها و همچنین محاسبه میزان کمبود پارکینگ با نظر به شرایط محدوده مورد مطالعه انجام شده است.

۲- پیشنهاد تحقیق

در مطالعات پژوهشی خارجی و داخلی انجام‌شده پیرامون مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای در دو دهه گذشته، روش‌های تحلیلی و مدل‌سازی متعددی مورد بررسی و پیشنهاد قرار گرفته‌اند که این روش‌ها به دو دسته کلی «مدل‌سازی ریاضی» و «تصمیم‌گیری چندمعیاره» تقسیم‌بندی می‌شوند. در پژوهش‌های معدودی از مدل‌سازی ریاضی جهت مکان‌یابی پارکینگ استفاده شده است. برای مثال، اسکندری و همکاران (۱۳۹۲) یک مدل ریاضی جهت مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای در شهر اصفهان ارائه کرده‌اند. در تحقیق پیش‌گفته، سه هدف اصلی برای مکان‌یابی پارکینگ‌ها تعیین شده که شامل حداکثر کردن تقاضای پوشش‌یافته، حداقل کردن فاصله پیاده‌روی و کاهش هزینه‌های مرتبط است. با ترکیب دو مورد از این اهداف، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات پارکینگ غیرحاشیه‌ای پیشنهاد گردیده است. در این مدل، فاصله پوشش پارکینگ‌ها به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده و همچنین انواع مختلف پارکینگ‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت، مدل پیشنهادی در منطقه مرکزی شهر اصفهان پیاده‌سازی و برای حل مدل از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه استفاده شده است. در پژوهشی دیگر، بابایی (۲۰۲۴)، یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی جهت مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای در سطح نواحی ترافیکی ارائه کرده‌اند (Babaei, 2024). همانند مطالعه پیش‌گفته، در مطالعات بازنگری طرح جامع حمل‌ونقل شهر قم (گروه مشارکت مهندسين مشاور طرح هفتم و مهندسين مشاور آوند طرح و اندیشه، ۱۳۹۸) نیز از مدل ریاضی جهت مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای در شهر قم

به عنوان جمع‌بندی، برخی از پژوهش‌های پیشین در زمینه مکان‌یابی پارکینگ در جدول ۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، روش‌های مکان‌یابی پارکینگ را می‌توان به دو دسته کلی مدل‌سازی ریاضی و روش‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره تقسیم نمود که اغلب پژوهش‌های مبتنی بر دسته دوم، از روش AHP بهره برده‌اند. همچنین در خصوص معیارهای به‌کاررفته، در اکثر پژوهش‌های پیشین از سه معیار «فاصله از کاربری‌های جذب سفر»، «دسترسی و فاصله از معابر» و «ارزش ملک» استفاده شده است.

لازم به یادآوری است که علیرغم اهمیت معیار میزان کمبود پارکینگ در مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای، این معیار در مطالعات پیشین به خصوص پژوهش‌های مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی نیز، تقاضای پارک در سطح نواحی ترافیکی براساس داده‌های تقاضای سفر تخمین زده شده است و به صورت دقیق مقدار واقعی تقاضای پارکینگ اندازه‌گیری نشده است. بنابراین در مطالعه حاضر برای شهر کرمان، در کنار معیارهای پرتکرار، معیار میزان کمبود پارکینگ به عنوان عامل اصلی مؤثر در مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای و افزایش ظرفیت فضای پارکینگ در محدوده‌های هدف، مورد توجه قرار گرفته است.

عمومی باشد. در خصوص محدوده مورد مطالعه این پژوهش نیز به طور مشخص غضنفرپور و همکاران (۱۳۹۴) به نیازسنجی احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای در شهر کرمان با استفاده از سه روش وزنی قراردادی، تحلیل سلسله‌مراتبی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس در محیط نرم‌افزار ArcGIS پرداختند. در پژوهش پیش‌گفته، معیارهای مختلفی نظیر فاصله از بازار مرکزی شهر، تراکم مراکز تجاری، تراکم مراکز درمانی، تراکم مراکز اداری، جمعیت، فاصله از بزرگراه، فاصله از بلوار، فاصله از خیابان، فاصله از مراکز آموزش عالی، فاصله از فرهنگ‌سراها و فاصله از پارک‌ها در نظر گرفته شد. براساس این مطالعه، بیش‌تر پهنه‌های با نیاز زیاد به پارکینگ در مرکز شهر کرمان واقع گردیده‌اند.

علاوه بر تفاوت در روش پژوهش‌های پیشین، تعیین معیارهای مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای نیز نقطه تمایز مهمی در میان آن‌ها محسوب می‌شود.

بررسی معیارهای منتخب این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در اکثر آن‌ها معیارهای «فاصله از مراکز جذب سفر»، «دسترسی و فاصله از معابر» و «ارزش ملک» تکرار شده است. معیارهایی دیگری مانند «کیفیت و عمر بنا» (شهابی و همکاران، ۱۳۹۰ و صادقی و همکاران، ۱۳۹۶) و «فاصله از پارکینگ موجود» (Iqbal, 2020؛ Jonuzi et al., 2024؛ Pitale et al., 2022) نیز به صورت موردی استفاده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در پژوهش‌های پیشین، به ویژه آن‌هایی که از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند، توجه کم‌تری به معیار «میزان کمبود فضای پارک» شده است؛ در حالی که هدف اساسی در احداث پارکینگ غیرطبقاتی، پاسخ به تقاضای موجود برای پارکینگ است.

در این زمینه شکیب اقبال (۲۰۲۰) در پژوهشی در زمینه تجزیه و تحلیل تقاضای پارکینگ و مکان‌یابی پارکینگ در منطقه پندیک شهر استانبول، به این معیار توجه کرده است. در مطالعه پیش‌گفته، از تلفیق روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت مکان‌یابی پارکینگ استفاده شده است (Iqbal, 2020).

جدول ۱. جمع‌بندی روش‌ها و معیارهای استفاده‌شده در پژوهش‌های پیشین

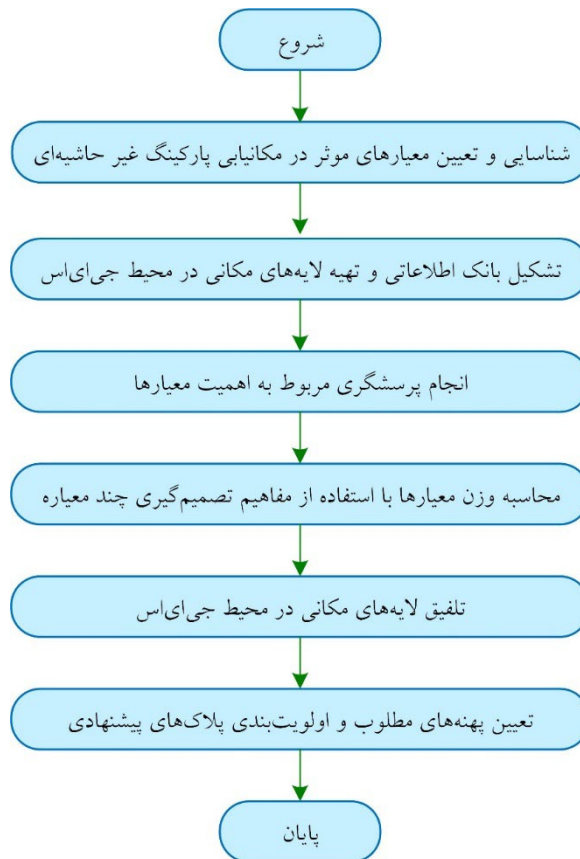
ردیف	پژوهش	روش	معیار انتخاب											
			فاصله مراکز جذب و سفر	دسترسی و فاصله از معابر	فاصله پیاده‌روی	ارزش ملک	هزینه ساخت	کیفیت و عمر بنا	تراکم جمعیت	فاصله پارکینگ موجود	کاربری مناسب	تقاضای پارک	فاصله زمین بایر	محیط زیست
۱	دهقانپور و همکاران (۱۳۹۶)	AHP	✓	✓									✓	
۲	قنبری و همکاران (۱۳۹۶)		✓	✓							✓			
۳	باصری و همکاران (۱۳۹۳)		✓	✓		✓			✓		✓			
۴	طرح جامع اصفهان (۱۳۹۲)		✓	✓		✓		✓				✓		
۵	سرایی و قانعی (۱۳۹۰)		✓	✓							✓		✓	
۶	شهابی و همکاران (۱۳۹۰)		✓	✓		✓		✓						
۷	قنبری و عسکری (۱۳۹۰)		✓	✓		✓			✓		✓			
۸	عسکری و ورشوساز (۱۳۸۳)		✓	✓		✓			✓		✓			
۹	دهقانی و سلطانی (۲۰۲۴)		✓	✓		✓			✓			✓		
۱۰	جونوزی و همکاران (۲۰۲۴)											✓		
۱۱	پیتال و همکاران (۲۰۲۲)		✓	✓							✓			
۱۲	اورتگا و همکاران (۲۰۲۱)		✓	✓		✓				✓				✓
۱۳	شکیب اقبال (۲۰۲۰)		✓	✓		✓				✓			✓	
۱۴	حسینلو و همکاران (۲۰۱۲)		✓	✓		✓								
۱۵	فرزانمنش و همکاران (۲۰۱۰)		✓	✓		✓				✓		✓		
۱۶	کامیابی و طاهری (۱۳۹۴)	AHP و TOPSIS	✓	✓		✓			✓			✓		
۱۷	غضنفرپور و همکاران (۱۳۹۴)		✓	✓				✓						
۱۸	دارانی و همکاران (۲۰۱۸)		✓	✓		✓			✓				✓	
۱۹	افضلی و طبری (۱۴۰۳)	ANP	✓	✓										
۲۰	بغفوری و همکاران (۱۳۹۴)		✓	✓										
۲۱	صادقی و همکاران (۱۳۹۶)	ANP و PROMETHEE	✓	✓		✓		✓		✓			✓	
۲۲	طرح جامع قم (۱۳۹۸)	مدل‌سازی ریاضی			✓	✓	✓							
۲۳	اسکندری و همکاران (۱۳۹۱)				✓	✓	✓							
۲۴	آیدن (۲۰۲۲)		✓	✓		✓	✓	✓						
۲۵	اسکندری و شاهنده (۲۰۱۸)				✓	✓	✓							
۲۶	بابایی (۲۰۲۴)							✓	✓					

۳- روش‌شناسی تحقیق

در این بخش، فرآیند مکان‌یابی پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای با بهره‌گیری از تلفیق «تحلیل سلسله‌مراتبی» و سامانه اطلاعات جغرافیایی تشریح می‌شود. این رویکرد با ترکیب توانمندی‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و پردازش‌های فضایی، امکان شناسایی پهنه‌های مطلوب و اولویت‌بندی پلاک‌های مستعد جهت احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای را فراهم می‌سازد.

شکل ۱ چارچوب مدل تلفیقی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، رویکرد تلفیقی شامل شش گام اصلی به صورت ذیل است.

-گام اول (شناسایی و تعیین معیارهای مؤثر): در گام نخست، معیارهای مؤثر بر انتخاب مکان مناسب برای پارکینگ غیرحاشیه‌ای با بررسی پیشینه پژوهش استخراج می‌شود.



شکل ۱. مراحل روش تلفیقی

لایه‌های اطلاعاتی با اوزان به‌دست‌آمده ترکیب می‌شوند. نحوه پیاده‌سازی تلفیق لایه‌های مکانی در ادامه تشریح می‌شود.

-گام ششم (تعیین پهنه‌های بهینه جهت احداث پارکینگ و اولویت‌بندی پلاک‌های پیشنهادی): پس از تحلیل‌های مکانی، نتایج به‌صورت نقشه مطلوبیت مکانی با سطوح مختلف اولویت ارائه می‌گردد. این نقشه نشان می‌دهند که کدام پهنه‌ها دارای بیشترین پتانسیل برای احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای هستند. همچنین، در پهنه‌های اولویت‌دار، پلاک‌های مستعد برای احداث پارکینگ استخراج و اولویت‌بندی می‌شوند.

در ادامه به صورت مفصل‌تر جزئیات رویکرد تلفیقی تشریح می‌شود.

۳-۱- تعیین معیارهای مؤثر بر مکانیابی پارکینگ

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، «فاصله از مراکز جذب سفر»، «فاصله از معابر اصلی» و «ارزش ملک» بیش از هر معیار دیگری در پژوهش‌های پیشین استفاده شده‌اند. با توجه به اهمیت سه معیار فوق، این سه معیار در پژوهش حاضر

-گام دوم (تهیه بانک اطلاعاتی و لایه‌های مکانی در جی‌ای‌اس): برای تحلیل مکانی، داده‌های مربوط به معیارهای انتخاب‌شده به‌صورت لایه‌های اطلاعاتی در محیط جی‌ای‌اس سازمان‌دهی می‌شوند. این بانک داده شامل اطلاعات مکانی (نظیر شبکه معابر و کاربری زمین) و اطلاعات توصیفی (نظیر قیمت زمین و تقاضای پارک) است.

-گام سوم (انجام پرسش‌گری جهت وزن‌دهی به معیارها): برای سنجش میزان اهمیت هر یک از معیارها (محاسبه وزن معیارها)، از ابزار پرسش‌نامه استفاده شد که در ادامه تشریح می‌شود.

-گام چهارم (محاسبه وزن معیارها با استفاده از مفاهیم تصمیم‌گیری چندمعیاره): در این مرحله از روش تحلیل فرآیند سلسله‌مراتبی برای محاسبه وزن نهایی هر معیار استفاده می‌شود. این وزن‌ها نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری هر معیار در فرآیند تصمیم‌گیری هستند و نقش کلیدی در تحلیل‌های بعدی دارند.

-گام پنجم (تلفیق لایه‌های مکانی با وزن معیارها در محیط جی‌ای‌اس): با استفاده از قابلیت تحلیل مکانی نرم‌افزار ArcGIS،

-ارزش ملک: به ویژه در شهرهای پرجمعیت که قیمت زمین قابل توجه است، اهمیت ویژه‌ای در مکان‌یابی پارکینگ دارد؛ زیرا هزینه تملک می‌تواند بخش عمده‌ای از بودجه پروژه را به خود اختصاص دهد و انتخاب مکان‌هایی با ارزش ملک مناسب، نه تنها موجب افزایش تحقق‌پذیری طرح می‌شود، بلکه با صرفه‌جویی در هزینه‌های اجرایی، امکان تخصیص بودجه به سایر جنبه‌های کیفی پروژه را نیز فراهم می‌کند.

-فاصله از پارکینگ‌های موجود: دیگر معیار مؤثر در بهینه‌سازی مکان‌یابی پارکینگ است که موجب جلوگیری از تمرکز بی‌رویه پارکینگ‌ها در محدوده‌ای خاص و تسهیل دسترسی عادلانه تمامی شهروندان به این خدمات می‌گردد. البته باید توجه داشت که هسته مرکزی شهر به خاطر تجمع کاربری‌های جاذب سفر، پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای به صورت متعدد وجود دارند اما همچنان تقاضای پارکینگ بالا بوده و احداث پارکینگ جدید را ضروری می‌نماید. از این رو، مطابق با طرح جامع حمل و نقل اصفهان (دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۲)، این معیار برای پارکینگ‌های موجود با ظرفیت بیش از ۶۰ خودرو در نظر گرفته شده است.

-میزان کمبود پارکینگ: این معیار نقش تعیین‌کننده‌ای در توجیه‌پذیری و بهره‌وری مکان‌یابی پارکینگ دارد. احداث پارکینگ در مناطقی که کمبود پارکینگ در آن‌ها قابل توجه است، نه تنها از هدررفت منابع مالی جلوگیری می‌کند، بلکه تضمین‌کننده استفاده بهینه از بودجه و بازده اقتصادی مطلوب است. غفلت از این معیار می‌تواند منجر به احداث پارکینگ‌هایی با تقاضای پارک اندک، تحمیل هزینه‌های نگهداری غیرضروری و اتلاف فرصت‌های سرمایه‌گذاری در مناطق پرنیاز است.

۳-۲- تشریح رویکرد تلفیقی جهت مکان‌یابی پارکینگ

تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، از جمله فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در برنامه‌ریزی محیطی و مدیریت محیط زیست کاربرد فراوانی دارد. اکثر تجزیه و تحلیل‌ها با این روش در زمینه تخصیص منابع، برنامه‌ریزی کاربری زمین و ارزیابی مکانی و مکان‌یابی انجام می‌شود. مدل MCDM-GIS می‌تواند داده‌های گرافیکی و غیرگرافیکی را با ویژگی‌های مختلف جمع و پردازش کند. این رویکرد با ترکیب توانمندی‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و پردازش‌های فضایی، امکان شناسایی

نیز لحاظ شدند. همچنین، معیار «فاصله از پارکینگ موجود» به دلیل اهمیتی که در بهینه‌سازی مکان‌یابی پارکینگ دارد، مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این، معیار «کمبود فضای پارک» نیز در مطالعه حاضر مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا، پارکینگ‌های جدید بهتر است در مکان‌هایی احداث شوند که کمبود فضای پارک نیز وجود داشته باشد. از میان سایر معیارهای پرکاربرد در پژوهش‌های پیشین، «کاربری مناسب» و «کیفیت و عمر بنا» به عنوان محدودیت مکان‌یابی در نظر گرفته شده‌اند. به عبارتی کاربری‌هایی که احداث پارکینگ در آن‌ها محدودیت دارد، از جمله ساختمان‌های نوسازی که ارزش تخریب و ایجاد پارکینگ ندارند، از ابتدای فرآیند مکان‌یابی از گزینه‌های ممکن کنار گذاشته می‌شوند. در این پژوهش معیارهای پیش‌گفته در محاسبه مطلوبیت حذف شدند و به جای آن ابتدا امتیاز مطلوبیت تمامی زمین‌های واقع در محدوده‌های کمبود پارکینگ محاسبه و سپس زمین‌های مناسب برای احداث پارکینگ (زمین بایر یا ساختمان مخروبه و متروکه و زمین با کاربری پارکینگ در طرح تفصیلی) در پهنه‌های پیش‌گفته شناسایی و بر اساس امتیاز کسب‌کرده در مرحله قبل اولویت‌بندی شدند. به طور خلاصه، در این مطالعه پنج معیار زیر به عنوان معیارهای مکان‌یابی در نظر گرفته می‌شوند:

-فاصله از مراکز جذب سفر: این معیار از جمله عوامل کلیدی در مکان‌یابی پارکینگ محسوب می‌شود. این مراکز شامل واحدهای تجاری مقیاس شهر، اداره‌های دولتی، جاذبه‌های گردشگری و مراکز درمانی می‌شود که عامل بسیاری از سفرهای شهری هستند. بهتر است که فاصله پارکینگ از مراکز جاذب سفر به گونه‌ای باشد که استفاده‌کنندگان با حداقل پیاده‌روی به مقصد برسند.

-فاصله از معابر اصلی: در مکان‌یابی پارکینگ‌ها اهمیت بسزایی دارد. اگر پارکینگ‌ها در نزدیکی معابر اصلی قرار گیرند، با فراهم کردن دسترسی سریع‌تر و راحت‌تری برای رانندگان، از شلوغی در مناطق پرترافیک جلوگیری می‌کنند.

علاوه بر این، پارکینگ‌های نزدیک به معابر اصلی، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی مانند ایستگاه‌های مترو و اتوبوس را زیاد کرده و به کاربران این امکان را می‌دهد که پس از پارک خودرو، به راحتی به سایر نقاط شهر دسترسی پیدا کنند. این ویژگی‌ها موجب افزایش استفاده از پارکینگ‌ها، بهینه‌سازی فضاها و کاهش مشکلات ترافیکی می‌شود.

پربکارترین این روش ها است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، بردار ویژه مرتبط با بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی به عنوان بردار اولویت در نظر گرفته می شود.

لازم به ذکر است پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، بررسی میزان سازگاری قضاوت ها ضروری است. به عنوان مثال، اگر سه معیار ۱، ۲ و ۳ فرض شود، یک خبره بیان می کند که معیار ۱ مهم تر از معیار ۲ است و معیار ۲ از ۳ اهمیت بیشتری دارد. طبق اصل انتقال پذیری، بنابراین معیار ۱ باید از معیار ۳ مهم تر باشد و این یک قضاوت سازگار است. به بیانی دقیق تر، در ماتریس مقایسه A ، اگر a_{ij} نشان دهنده اهمیت گزینه i نسبت به گزینه j ، a_{jk} نشان دهنده اهمیت گزینه j نسبت به گزینه k و a_{ik} نشان دهنده اهمیت گزینه i نسبت به گزینه k باشد، برای اینکه قضاوت ها سازگار باشند، رابطه زیر باید برقرار باشد:

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \quad (3)$$

با توجه به تعدد و پیچیدگی قضاوت ها، ممکن است برخی از خبرگان قضاوت های کاملاً سازگاری بیان ننمایند؛ بنابراین، برخی از ناسازگاری های قضاوتی قابل قبول است. در عمل، برای بررسی میزان سازگاری در قضاوت ها، از شاخص سازگاری به صورت زیر استفاده می شود:

$$CR(A) = \frac{CI(A)}{RI_n} \quad (4)$$

در رابطه فوق، $CI(A)$ به صورت زیر محاسبه می شود.

$$CI(A) = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

در رابطه فوق، $\lambda_{\max}$ ، بیانگر بزرگترین مقدار ویژه متناظر با ماتریس A و n نشان دهنده بعد ماتریس A است. شایان ذکر است RI_n در رابطه (۴) بیانگر یک شاخص تصادفی است که برآوردی از میانگین شاخص سازگاری است که از مجموعه ای از ماتریس های تصادفی تولید شده با اندازه n به دست می آید. جدول ۲ مقادیر شاخص پیش گفته را به ازای مقادیر مختلف n نشان می دهد.

جدول ۲. مقادیر شاخص RI_n به ازای مقادیر مختلف n

n	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI_n	۰/۴۱۶	۰/۸۵۱	۱/۱۱۵	۱/۱۵۰	۱/۳۴۵	۱/۳۳۴	۱/۳۱۵	۱/۴۲۰

پهنه های مطلوب و اولویت بندی پلاک های مستعد جهت احداث پارکینگ غیرحاشیه ای را فراهم می سازد. این مدل شامل ۲ مرحله است؛ مرحله اول به انجام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مرحله دوم به پیاده سازی نتایج آن در سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی اختصاص دارد.

در اولین گام، مسئله تصمیم گیری به صورت سلسله مراتبی ساختار بندی می شود که در آن هدف مسئله در بالای سلسله مراتب قرار دارد و سطح دوم نمایانگر معیارها و سطح پایانی نیز در صورت وجود گزینه های مشخص، به گزینه های مربوطه اختصاص دارد. در این سطح، لازم است که معیارهای مورد نظر تعیین شود که این اقدام در مطالعه حاضر با بررسی پیشینه پژوهش و ضمن مشورت با کارشناسان حوزه حمل و نقل صورت گرفت. در گام دوم، مقایسه های زوجی بین معیارها نسبت به هدف اصلی و بین گزینه ها (در صورت وجود) نسبت به هر معیار انجام می شود. این امر منجر به ایجاد یک ماتریس مقایسه زوجی به ازای مجموعه معیارها و هر گزینه می شود. در پژوهش حاضر با توجه به مشخص نبودن گزینه ها، مقایسات زوجی بین معیارها و از طریق پرسشنامه انجام شد. مقایسات با استفاده از یک مقیاس عددی انجام می شود که نشان می دهد هر معیار نسبت به معیار دیگر چقدر اهمیت بیشتری دارد. برای مقایسه زوجی، تصمیم گیرندگان ابتدا نظرات خود را به صورت کلامی بیان کرده و سپس این قضاوت ها به مقادیر عددی تبدیل می شوند. به طور کلی، یک ماتریس مقایسه ای زوجی به صورت زیر قابل نمایش است.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

در رابطه فوق، a_{ij} بیانگر اهمیت نسبی معیار i ام نسبت به معیار j ام است. لازم به ذکر است با توجه به اهمیت یکسان هر معیار نسبت به خود آن معیار، مقدار هر درایه مربوط به قطر اصلی برابر با ۱ است. همچنین، همواره رابطه زیر بین درایه ها وجود دارد.

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (2)$$

پس از ایجاد ماتریس های مقایسه ای زوجی، به ازای هر ماتریس، «بردار اولویت محلی» (بردار وزن ها) محاسبه می شود. روش های مختلفی جهت محاسبه بردار اولویت وجود دارد (Françoze et al., 2023). روش بردار ویژه یکی از

در نرم افزار، از ابزار *Raster Calculator* استفاده شد. بدین صورت که ضرایب اهمیت هر شاخص در لایه مرتبط با آن ضرب شده و حاصل همه لایه‌ها با هم جمع شدند. این چنین، امتیاز نهایی هر پیکسل از شهر محاسبه و نتایج به صورت نقشه میزان مطلوبیت مکانی ارائه گردید. این نقشه نشان می‌دهد که کدام پهنه‌ها بیشترین پتانسیل را برای احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای دارند. در نهایت، پلاک‌های مستعد برای احداث پارکینگ در محدوده‌های عملکردی کمبود، استخراج و بر اساس میزان مطلوبیت حاصل از روش فوق، اولویت‌بندی می‌شوند.

۳-۳- برآورد میزان عرضه، تقاضا پارک و کمبود فضای پارک

پیشتر بیان شد یکی از معیارهای کلیدی در مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای، معیار کمبود فضای پارک است. به عبارتی دیگر، اشاره گردید که برای مکان‌یابی بهینه پارکینگ، لازم است هر موقعیت جدید در محلی تعیین شود که تقاضای مؤثر پارک وجود داشته باشد؛ از این رو، تعیین میزان کمبود پارکینگ ضروری است. به منظور برآورد میزان کمبود فضای پارک، ابتدا هر معبر به چندین قطعه تقسیم شده است. سپس، میزان تقاضای پارک، عرضه پارکینگ (ظرفیت پارکینگ حاشیه‌ای) و کمبود فضای پارک به ازای هر قطعه معبر محاسبه شده است. ظرفیت پارکینگ حاشیه‌ای یک قطعه از معبر متناظر با حالتی است که تمام طول آن قطعه از معبر توسط خودروها اشغال شده و هیچ جای خالی برای پارک موجود نباشد. در این مطالعه، این وضعیت به عنوان «حالت اشباع پارک» تعریف می‌شود.

برای محاسبه ظرفیت یک قطعه مشخص از معبر، فرض شود طول کل قطعه L_j برابر با L_j (متر) باشد و طول متوسط پارک هر خودرو در حالت اشباع پارک، برابر با S متر باشد. بر این اساس، ظرفیت پارک حاشیه‌ای آن قطعه از طریق نسبت طول کل معبر به طول متوسط پارک هر خودرو در حالت اشباع پارک قابل محاسبه است و به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$C_j = \frac{L_j}{S} \quad (7)$$

طول هر قطعه معبر از نقشه‌های موجود شهر قابل استخراج است؛ اما لازم است طول متوسط پارک در حالت اشباع برآورد

با توجه به توصیه مطالعات پیشین، ضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ مناسب است (Saaty and Vargas, 2012). در مطالعه حاضر، در صورتی که ضریب سازگاری یک پرسشنامه کمتر از ۰/۱ بود، از نتایج آن پرسشنامه به صورت مستقیم در محاسبه وزن معیارها استفاده شد. در صورتی که ضریب سازگاری پرسشنامه بیش از ۰/۱ و کمتر از ۰/۳ بود، با استفاده از روش پیشنهادی در مطالعه بنیتز و همکاران (۲۰۱۱)، ماتریس مقایسات زوجی اصلاح و از ماتریس اصلاح‌شده جهت محاسبه وزن معیارها استفاده شد (Benítez et al., 2011). در نهایت، در صورتی که ضریب سازگاری برای یک پرسشنامه بیش از ۰/۳ بود، از آن پرسشنامه استفاده نشد.

پس از بررسی سازگاری و تأیید امتیاز معیارها و زیرمعیارهای پژوهش، مرحله دوم توسعه مدل مکانیابی شامل گام‌های مربوط به استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی آغاز می‌شود. برای تحلیل مکانی، داده‌های مربوط به معیارهای انتخاب‌شده به صورت لایه‌های اطلاعاتی در محیط Arcmap سازمان‌دهی می‌شوند. این بانک داده شامل اطلاعات مکانی (نظیر موقعیت عوارضی چون قطعات ملکی و معابر) و اطلاعات توصیفی (نظیر کاربری زمین قطعات ملکی و میزان تقاضای پارکینگ معابر) است که بر اساس معیارها و یا زیرمعیارهای تعریف‌شده برای آن‌ها، ارزش‌گذاری می‌شوند. سپس با ابزار Euclidean Distance، عوارض هر لایه و پیرامون آن را به یک لایه رستری تبدیل می‌شود. اکنون می‌توان با استفاده از ابزار Reclassify، فواصل مختلف پیرامون هر عارضه را ارزش‌گذاری کرد. اکنون میزان مطلوبیت پهنه شهر جهت استقرار پارکینگ غیرحاشیه‌ای به تفکیک هر معیار مشخص شده و لازم است که با اعمال ضریب اهمیت حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای هر معیار، لایه‌های مختلف با هم ترکیب شوند تا مطلوبیت نهایی پهنه شهر جهت استقرار پارکینگ غیرحاشیه‌ای مشخص شود. در این مطالعه، جهت ترکیب لایه‌ها از روش «وزن‌دهی چندگانه»^۴ استفاده شد. در این روش، امتیاز هر پیکسل از پهنه شهر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^m w_i S_{ip}}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (1)$$

در رابطه فوق، w_i بیانگر وزن لایه i ام و S_{ip} بیانگر امتیاز p امین کلاس در لایه i ام است. به منظور پیاده‌سازی روش فوق

شود. طول متوسط پارک در حالت اشباع برای محدوده مطالعاتی را می‌توان به عنوان شیب نمودار رابطه بین تعداد خودروهای پارک‌شده و طول قطعه در نظر گرفت. برای این منظور، تعداد خودروهای پارک‌شده مجاز بر معبر قطعات اشباع (قطعاتی که جای خالی برای پارک در آن قطعه پیدا نمی‌شود) در زمان‌های اوج پارک شمارش شده است. سپس، رابطه بین طول اشغال شده معبر و تعداد خودروهای پارک‌شده با استفاده از «رگرسیون مقاوم»^۵ برازش داده شد. شیب خط برازش شده برابر با متوسط طول پارک در حالت اشباع خواهد بود. با داشتن طول متوسط پارک در حالت اشباع، ظرفیت هر قطعه معبر از رابطه (۷) محاسبه شد. فرض شود برای قطعه j با طول I_j متر، به ترتیب N_j^L بیانگر تعداد خودروی پارک‌شده بر معبر j به صورت مجاز و N_j^{II} تعداد خودروی پارک‌شده به صورت غیرمجاز باشند. همچنین فرض شود N_j^A خودرو به عنوان سرریز از معبر اصلی در کوچه‌های محلی منتهی به قطعه j پارک کرده باشند. بر این اساس، میزان کمبود فضای پارک برای قطعه j به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$PSS_j = \max(0, N_j^L + N_j^{II} + \beta N_j^A - C_j) \quad (2)$$

در رابطه فوق، ضریب β بیانگر سهمی از خودروهای پارک‌شده در کوچه‌های محلی منتهی به قطعه j معبر است که به عنوان «تقاضای پارک مؤثر» معبر اصلی منظور می‌شود. سایر متغیرها در بخش‌های قبل معرفی شده‌اند. یبلیل دیلیل در بلبرای مقایسه نسبی میزان کمبود فضای پارک قطعات و حذف اثر طول قطعه، شاخص «درصد کمبود پارکینگ» به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$PSI_j = \frac{PSS_j}{C_j} \times 100 \quad (9)$$

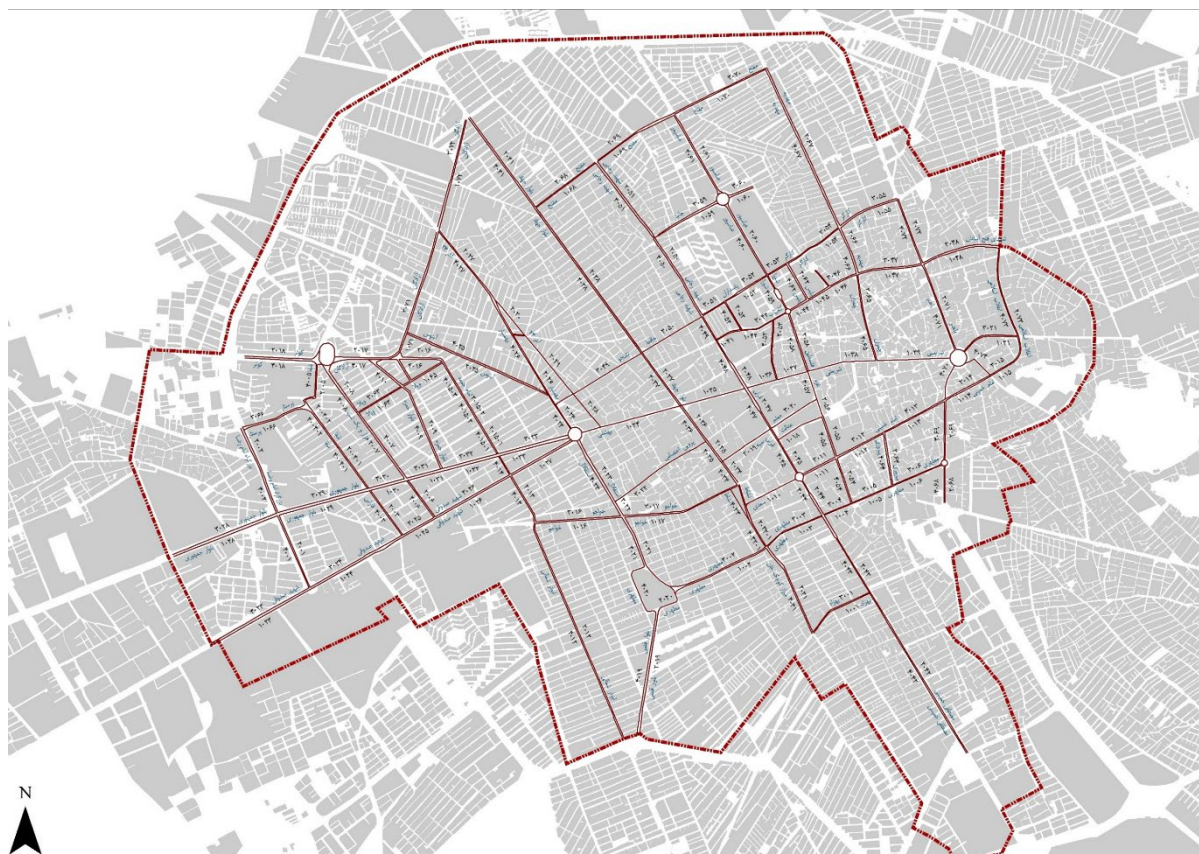
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، داده‌های ردیف ۱ تا ۵ از پایگاه داده‌های موجود قابل حصول هستند. اما محاسبه کمبود پارکینگ نیاز به برداشت میدانی دارد که در ادامه نحوه برداشت میدانی با جزئیات بیشتر تشریح می‌شود.

در پژوهش حاضر با توجه به بازدیدهای میدانی و بررسی وضعیت پارکینگ در شهر کرمان، ناحیه مرکزی شهر و معبری که با کمبود محسوس پارکینگ مواجه بودند، به عنوان محدوده مطالعه در نظر گرفته شد. به منظور برداشت میدانی تعداد خودروهای پارک‌شده در هر قطعه معبر، تمامی قطعات معابر مورد مطالعه با کدهای چهاررقمی شماره گذاری شدند. شکل ۲ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه کمبود فضای پارک در ساعات مختلف روز برای هر قطعه از معبر یکسان نیست، ابتدا نیاز است ساعات اوج تقاضای پارک مشخص شوند.

بر اساس گزارش طرح جامع حمل و نقل کرمان (دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۰۳)، دو بازه اوج تقاضا قابل شناسایی شد: (۱) بازه اول بین ساعات ۱۰ تا ۱۳ و (۲) بازه دوم بین ساعات ۱۷ تا ۲۰. به منظور تعیین دقیق‌تر این بازه‌های اوج تقاضای پارک، برخی معابر به صورت نمونه انتخاب شدند و فیلم‌برداری‌هایی از معابر منتخب مشخص شده در شکل ۳ در دو بازه زمانی ۹:۳۰ تا ۱۲:۴۵ برای ساعات صبح و ۱۷:۰۰ تا ۲۰:۱۵ برای ساعات عصر انجام شد. این معابر به گونه‌ای انتخاب شدند که طیف نسبتاً گسترده‌ای از کاربری‌ها را پوشش دهند و مشکل کمبود پارکینگ در آن‌ها مشهود باشد.

پس از انجام فیلم‌برداری‌ها، تعداد خودروهای پارک‌شده در زمان‌های مختلف از روی فیلم‌ها شمارش و ثبت شد. شکل ۳ و شکل ۴، به ترتیب، تعداد خودروهای پارک شده در معابر مورد بررسی را به ازای زمان‌های مختلف برای دوره‌های زمانی صبح و عصر نشان می‌دهند.

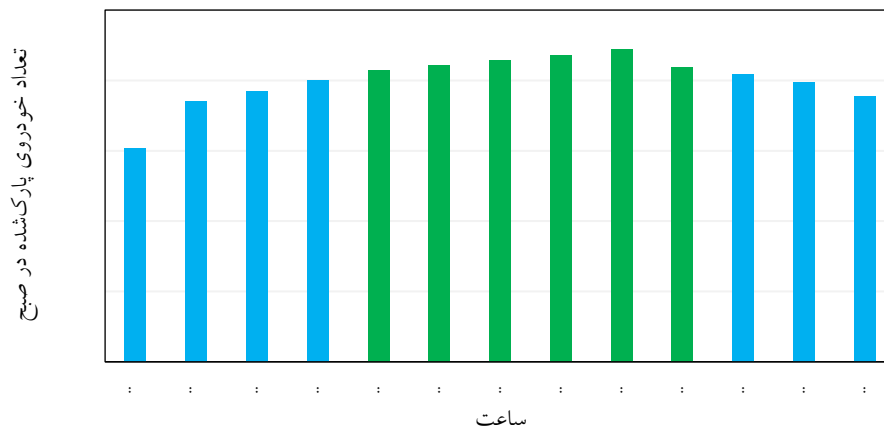
همانطور که مشخص است تقاضای پارکینگ در بازه زمانی ۱۰:۳۰ تا ۱۲:۰۰ در دوره صبح و ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۳۰ در عصر نسبتاً ثابت و بیش از سایر بازه‌های زمانی روز است. بر این اساس، فیلم‌برداری از کلیه معابر مورد مطالعه (محدوده مشخص شده در شکل ۲) در این دو بازه زمانی انجام شد.



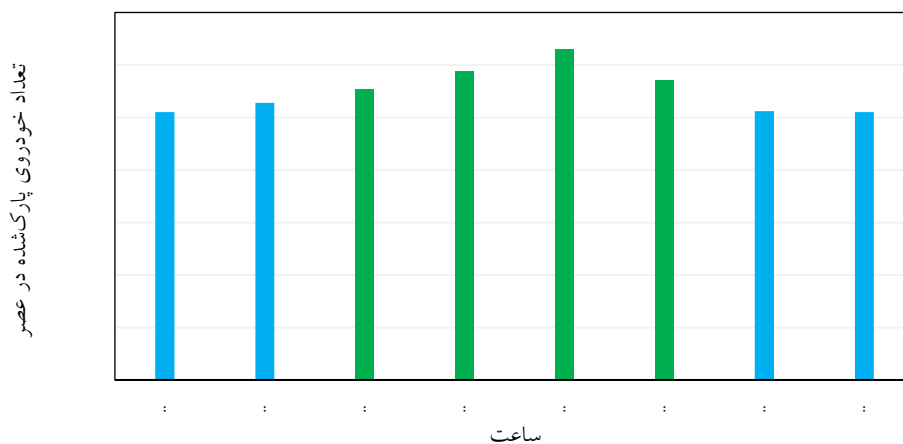
شکل ۲. محدوده مورد مطالعه



شکل ۳. معابر منتخب جهت تدقیق بازه زمانی اوج پارکینگ



شکل ۴. تعداد خودروی پارک شده در معابر منتخب به ازای بازه‌های زمانی مختلف صبح



شکل ۵. تعداد خودروی پارک شده در معابر منتخب به ازای بازه‌های زمانی مختلف عصر

همانگونه که پیشتر در بخش روش شناسی پژوهش اشاره شد، تعیین امتیاز معیارهای مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای، با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مبتنی بر نظر خبرگان صورت گرفت. جدول ۵ وزن نهایی مستخرج از پرسشنامه‌ها را نشان می‌دهد. معیار «نزدیکی به مراکز جذب سفر» بیشترین اهمیت را در مکان‌یابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای به خود اختصاص داد. پس از آن با اختلاف کمی «کمبود فضای پارک در حوالی پارکینگ غیرحاشیه‌ای» قرار دارد. معیارهای «فاصله از پارکینگ‌های موجود» و «ارزش ملک» نیز نسبت به سایر معیارها، کم‌اهمیت‌تر معرفی شدند.

در فیلمبرداری از معابر محدوده مورد مطالعه (در هر دوبازه اوج تقاضای پارک صبح و عصر)، تمامی خودروهای پارک شده در معابر اصلی مورد مطالعه و کوچه‌های منتهی به آن‌ها (که به دلیل کمبود فضای پارک در معابر اصلی، مورد استفاده قرار می‌گیرند) به تفکیک موارد زیر شمارش و ثبت شدند:

پارک مجاز: تعداد خودروی مجاز پارک شده در هر معبر

پارک غیرمجاز: تعداد خودروی پارک شده غیرمجاز (شامل توقف در پیاده‌رو، پارک در مقابل تابلوهای پارک ممنوع، پارک دوبل و غیره)

پارک در کوچه‌های منتهی به معابر اصلی: سرریز تقاضای پارکینگ مربوط به معابر اصلی به کوچه‌های محلی مجاور هر معبر.

لازم به ذکر است مجموع طول معابر فیلمبرداری شده در بازه صبح و عصر برابر با ۳۶۰ کیلومتر است.

جدول ۵. وزن معیارهای مکان‌یابی مستخرج از پرسشنامه

ردیف	عنوان معیار	امتیاز
۱	نزدیکی به مراکز جذب سفر	۰/۲۸
۲	کمبود فضای پارک	۰/۲۷
۳	نزدیکی به معابر اصلی	۰/۲۱
۴	فاصله از پارکینگ‌های موجود	۰/۱۳
۵	ارزش ملک	۰/۱۱

شانس انتخاب‌شدن دارد. در مقابل، در معیار «میزان کمبود پارکینگ»، با توجه به نقش اساسی این معیار در توجیه احداث پارکینگ، برای نواحی فاقد کمبود پارکینگ یا زمین‌هایی که در شعاع بالاتر از ۳۵۰ متری معابر دارای کمبود قرار دارند، امتیاز صفر در نظر گرفته شد. این تصمیم به منظور حذف گزینه‌هایی اتخاذ شد که علیرغم احتمال مطلوبیت از منظر سایر معیارها، به دلیل نبود تقاضای واقعی، فاقد توجیه اجرایی برای احداث پارکینگ هستند.

۳) برای ارزش‌گذاری معیار میزان کمبود پارکینگ، ابتدا میانگین شاخص PSI رفت و برگشت هر معبر محاسبه شد. سپس مقدار به‌دست‌آمده برای هر قطعه معبر، به شعاع تأثیر ۳۵۰ متری اطراف آن تعمیم داده شد تا اثر فضایی کمبود بر اراضی پیرامونی نیز لحاظ گردد. در مواردی که محدوده‌های پوشش فضایی چند معبر، با یکدیگر همپوشانی داشتند (نظیر تقاطع‌ها)، بیشترین مقدار شاخص PSI در ناحیه همپوشانی لحاظ شد تا اثر غالب تقاضا منعکس شود.

در گام بعد، لایه‌ای مستقل جهت تحلیل فاصله اراضی از معابر دارای تقاضای پارکینگ تولید شد. در این لایه، براساس فاصله از معابر مطالعه‌شده، چهار بازه مکانی تعریف و به آن‌ها به صورت زیر امتیازدهی شد: امتیاز ۳ برای فاصله کمتر از ۱۰۰ متر، امتیاز ۲ برای فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، امتیاز ۱ برای فاصله ۲۰۰ تا ۳۵۰ متر و امتیاز صفر برای فاصله بیش از ۳۵۰ متر. این ارزش‌گذاری با هدف تمرکز مکان‌یابی در مجاورت نواحی با تقاضای بالا انجام گرفت؛ به نحوی که هرچه فاصله یک مکان از معبر کمتر باشد، امتیاز آن مکان بیشتر خواهد بود. در ادامه، لایه فاصله با لایه مربوط به شدت تقاضای پارکینگ تلفیق شد و ارزش‌گذاری نهایی هر پیکسل نقشه از حاصل ضرب امتیاز فاصله و مقدار شاخص PSI متناظر محاسبه گردید و نهایت به روش Quantile به ۹ دسته تقسیم و از صفر تا هشت ارزش‌گذاری شد.

شکل ۶ تا شکل ۱۰ به ترتیب، ارزش‌گذاری (امتیاز) مربوط به معیارهای فاصله از مراکز جذب سفر، فاصله از معابر اصلی، فاصله از پارکینگ‌های موجود، ارزش ملک و در نهایت کمبود فضای پارک را برای محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

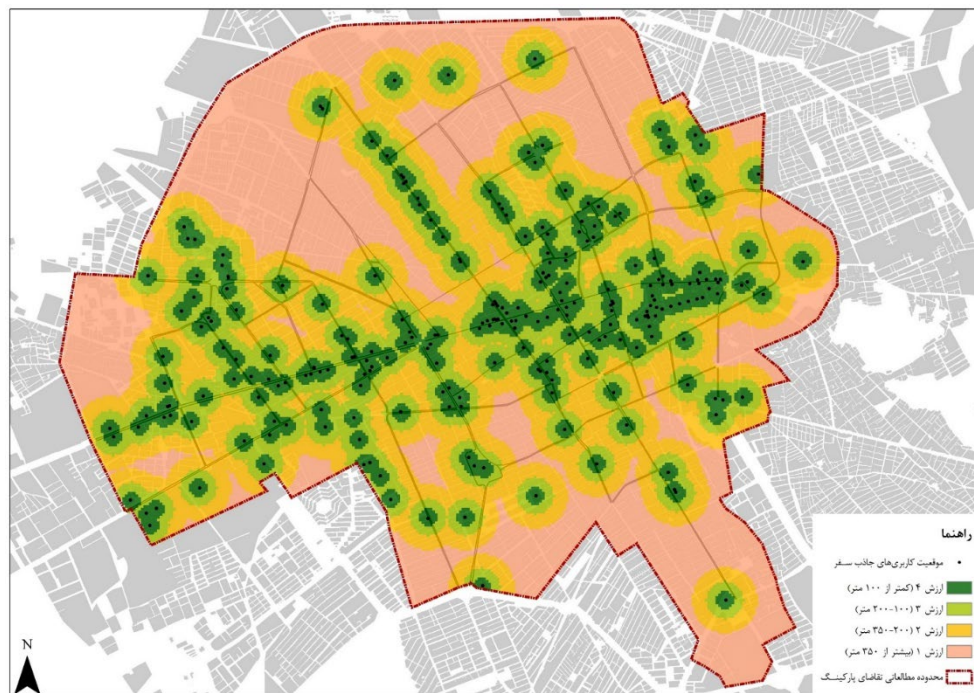
پیش از انجام هم‌پوشانی وزنی لایه‌ها در محیط ArcGIS (بر اساس وزن‌های محاسبه‌شده در جدول ۴)، لازم است برای تمامی واحدهای مکانی محدوده مطالعه (معادل پیکسل‌های نقشه) امتیاز هر معیار به‌طور جداگانه محاسبه شود. سپس با اعمال اوزان استخراج‌شده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، نقشه مطلوبیت نهایی جهت احداث پارکینگ‌های غیرحاشیه‌ای تهیه گردید.

در پژوهش حاضر، در خصوص ارزش‌گذاری معیارها و زیرمعیارها اشاره به سه نکته ضروری است:

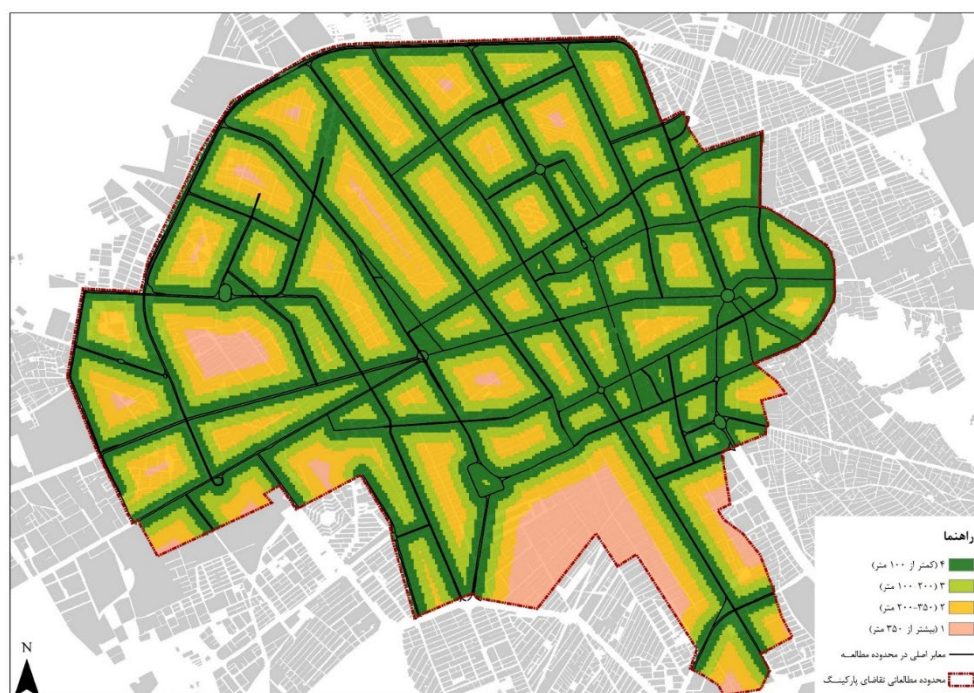
۱) در سه معیار فاصله از مراکز جذب سفر، فاصله از معابر اصلی و فاصله از پارکینگ‌های موجود که «فاصله» به عنوان زیرمعیار تعریف شد که شامل چهار بازه «کمتر از ۱۰۰ متر»، «۱۰۰ تا ۲۰۰ متر»، «۲۰۰ تا ۳۵۰ متر» و «بیش از ۳۵۰ متر» است. تعیین این بازه‌ها با یافته دیگر پژوهش‌ها از جمله مطالعات جامع حمل‌ونقل کلان شهر اصفهان (دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۲) و پژوهش دهقانی و سلطانی (۲۰۲۴) هم‌راستا است.

۲) در معیارهای فاصله از مراکز جذب سفر، فاصله از معابر اصلی، فاصله از پارکینگ‌های موجود و ارزش ملک، ارزش‌گذاری زیرمعیارها به صورت ترتیبی و با فواصل عددی یکسان انجام شد. یعنی برای معیارهای با چهار زیرمعیار، عدد ۱ به کم‌ارزش‌ترین و عدد ۴ به باارزش‌ترین زیرمعیار اختصاص یافت. در معیار ارزش ملک که شش طبقه قیمتی دارد، امتیازها از ۱ تا ۶ تخصیص داده شد.

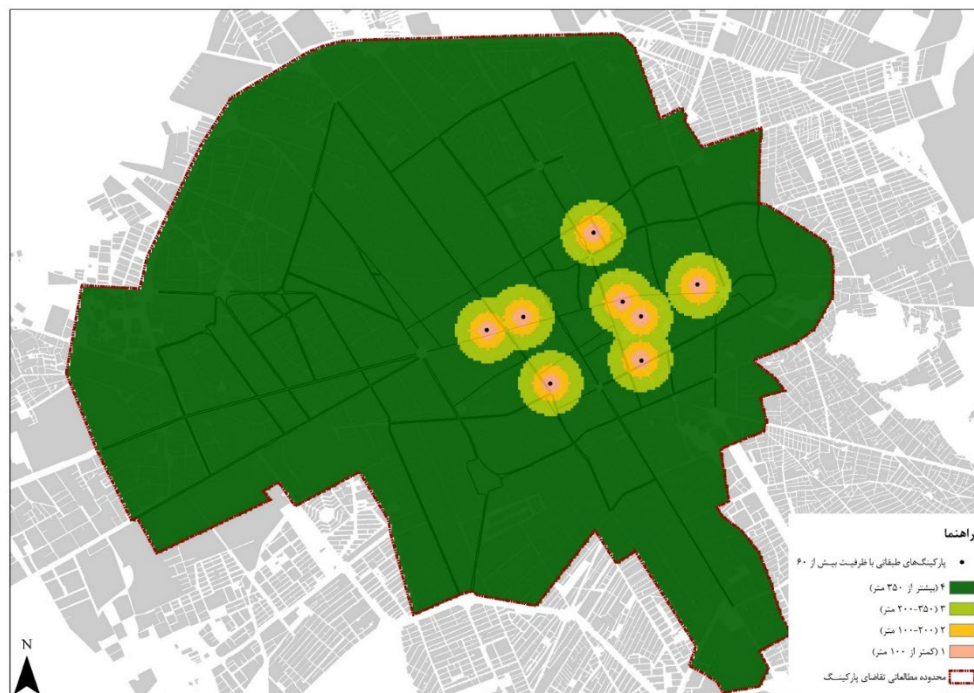
انتخاب عدد ۱ به عنوان حداقل امتیاز (به جای صفر)، با هدف پرهیز از حذف یک گزینه از فرآیند ارزیابی نهایی صورت گرفت. برای مثال، اگر زمینی در فاصله بیش از ۳۵۰ متر از مرکز جذب سفر باشد، اما شدت تقاضای پارکینگ در آن محدوده بالا باشد و یا در دیگر معیارها امتیاز بالایی داشته باشد، همچنان



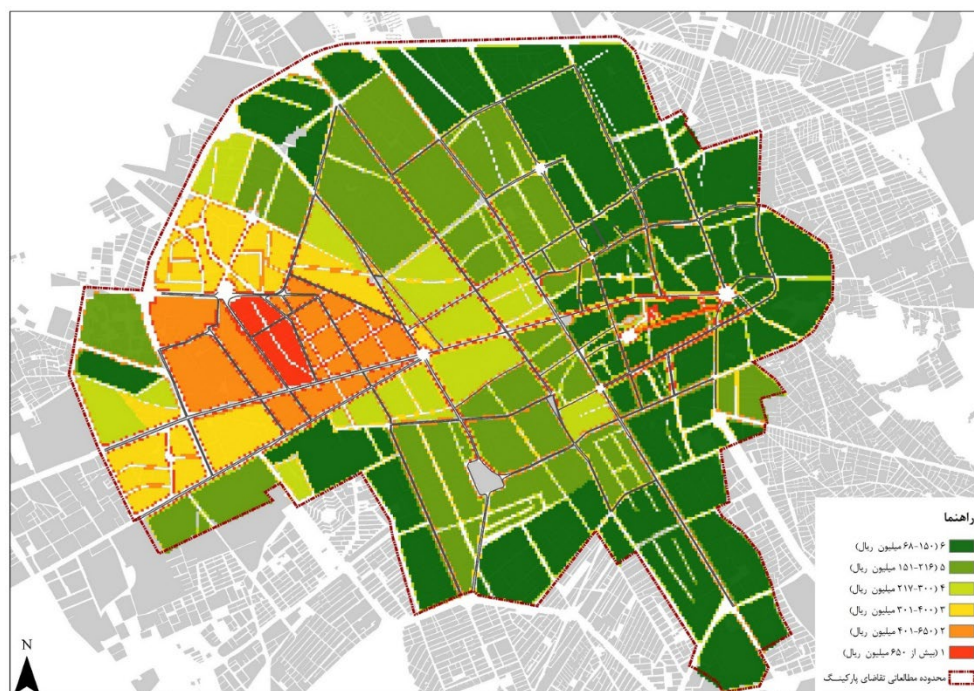
شکل ۶. ارزش گذاری معیار فاصله از مراکز جذب



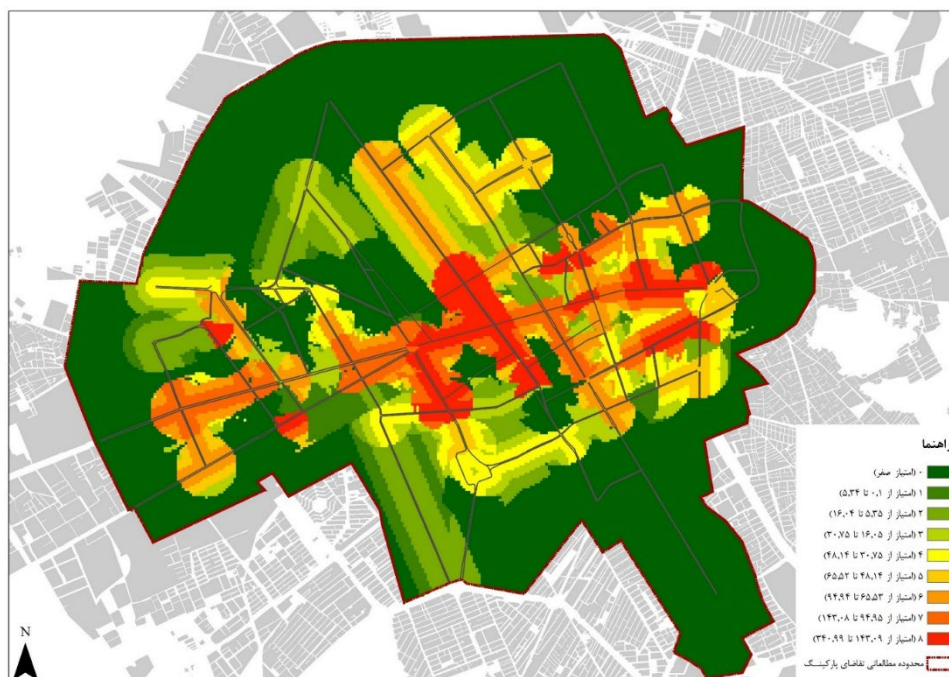
شکل ۷. ارزش گذاری معیار فاصله از معابر اصلی



شکل ۸. ارزش‌گذاری معیار فاصله از پارک‌های موجود



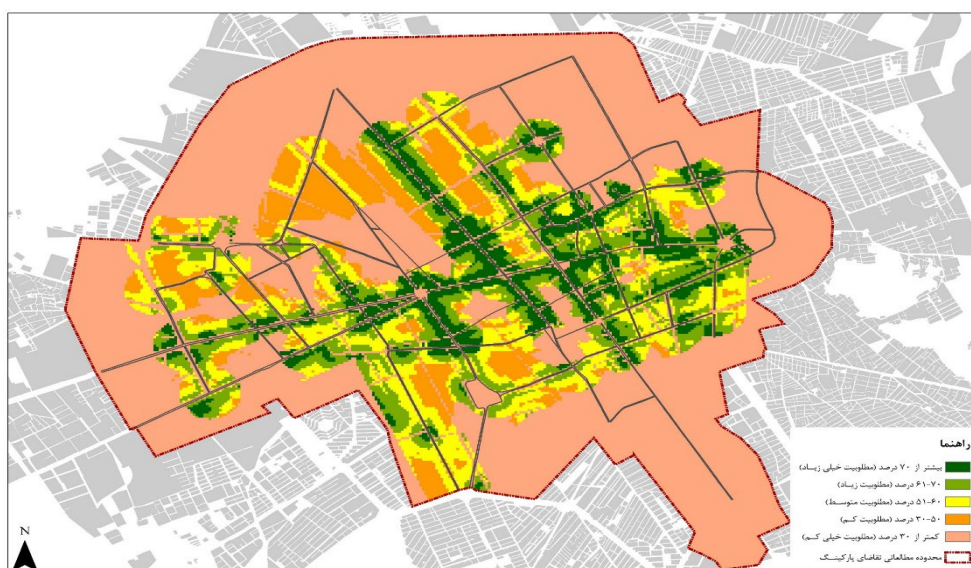
شکل ۹. ارزش‌گذاری معیار قیمت ملک



شکل ۱۰. ارزش‌گذاری معیار کمبود فضای پارک

۱۱ درصد از مساحت کل محدوده مطالعه مطلوبیت خیلی زیاد برای احداث پارکینگ دارد. در مقابل پهنه «مطلوبیت خیلی کم» ۴۶ درصد از محدوده مطالعه را شامل می‌شود. این محدوده به پهنه‌ای اطلاق گردیده که امتیاز آن برابر صفر است؛ یعنی محدوده‌ای که یا کمبود پارکینگ نداشته و یا فاصله آن از معابر دارای کمبود، بیش از ۳۵۰ است. جدول ۶ بازه امتیازات و مساحت هر پهنه را نشان می‌دهد.

در نهایت با نرمال‌کردن وزن هر معیار و تجمیع امتیاز نهایی آن‌ها با اعمال وزن‌های مندرج در جدول ۴، میزان مطلوبیت محدوده مطالعه برای احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای محاسبه شد. مطابق شکل ۱۱ محدوده مطالعه از نظر میزان مطلوبیت احداث پارکینگ، در پنج طبقه از «مطلوبیت خیلی زیاد» تا «مطلوبیت خیلی کم» دسته‌بندی گردید. پهنه‌بندی محدوده مطالعه بر اساس میزان مطلوبیت احداث پارکینگ، نشان‌داده شده در شکل ۱۱، نشان می‌دهد که



شکل ۱۱. پهنه‌بندی محدوده مطالعه بر اساس میزان مطلوبیت برای احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای

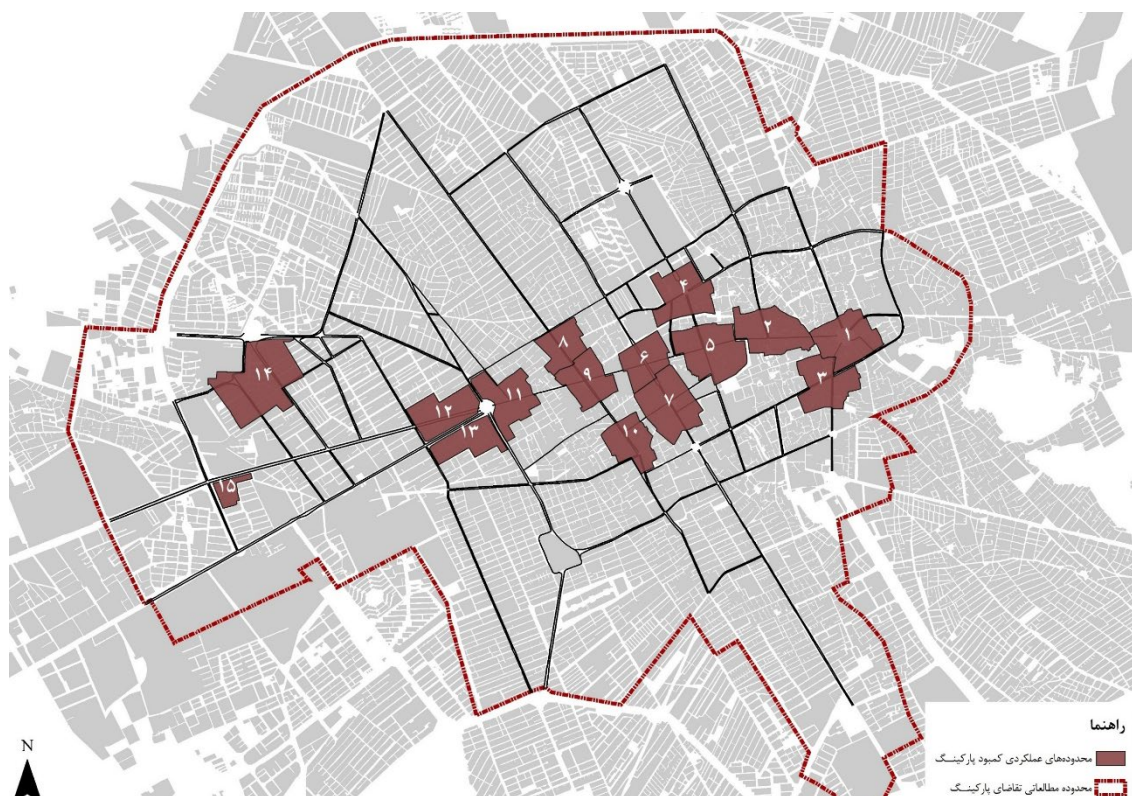
جدول ۶. پهنه‌بندی بر اساس میزان مطلوبیت احداث پارکینگ

رتبه	میزان مطلوبیت	بازه امتیازات (درصد)	مساحت (هکتار)	سهم از مساحت کل (درصد)
۱	خیلی زیاد	بیشتر از ۷۰	۲۹۲	۱۱
۲	زیاد	۶۱-۷۰	۴۰۵	۱۵
۳	متوسط	۵۱-۶۰	۴۱۶	۱۶
۴	کم	۳۰-۵۰	۳۱۱	۱۲
۵	خیلی کم	کمتر از ۳۰	۱۲۱۷	۴۶

پس از شناسایی معابر دارای کمبود فضای پارک، معابری که میزان کمبود آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد ظرفیت موجود بود، در اولویت مداخلات مدیریتی شامل سامان‌دهی پارک حاشیه‌ای و اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری قرار گرفتند. در مقابل، برای معابری که با کمبود شدیدتری مواجه بودند ($PSI > 10$)، «محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ» تعریف گردید. میزان کمبود در هر محدوده عملکردی از طریق تجمیع کمبود فضای پارک معابر واقع در آن محدوده محاسبه شد. در این فرآیند، کمبود فضای پارک هر معبر متناسب با طول آن در محدوده عملکردی وزن‌دهی گردید تا سهم فضایی آن در برآورد کمبود کل محدوده به‌طور دقیق منعکس شود.

شکل ۱۲ محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ را نشان می‌دهد و جدول ۷ میزان کمبود جای پارک را در سال پایه و نیز در افق ۱۴۱۲ به تفکیک هر محدوده عملکردی ارائه می‌کند. برآورد کمبود در افق کوتاه‌مدت (۱۴۱۲) با استفاده از ضریب رشد استخراج شده از مطالعات جامع حمل‌ونقل شهر کرمان و اعمال آن بر تقاضای فعلی پارکینگ انجام شده است.

لازم به تأکید است که سطوح «مطلوبیت بسیار زیاد» در شکل ۱۱ لزوماً بیانگر ضرورت احداث پارکینگ جدید نیست؛ زیرا مقدار مطلوبیت، حاصل تلفیق وزنی مجموعه‌ای از معیارهای مکانی است و تصمیم‌گیری برای احداث پارکینگ طبقاتی منوط به وجود کمبود معنادار ظرفیت پارک در محدوده مربوطه می‌باشد. در مواردی که میزان کمبود فضای پارک ناچیز باشد، به‌کارگیری راهکارهای مدیریت تقاضای سفر می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای کارآمد و کم‌هزینه‌تر نسبت به توسعه فیزیکی ظرفیت پارکینگ مدنظر قرار گیرد. بر این اساس، در پژوهش حاضر،

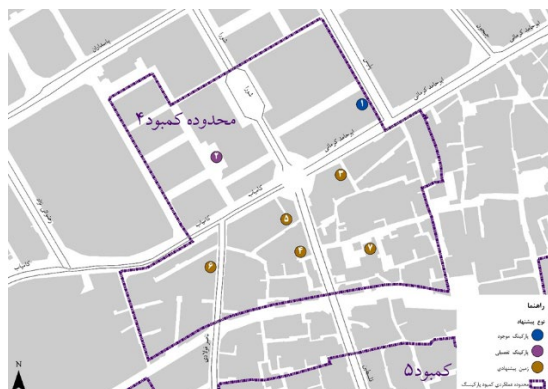


شکل ۱۲. محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ

جدول ۷. میزان کمبود جای پارک به تفکیک نواحی عملکردی جهت مکانیابی پارکینگ غیرحاشیه‌ای

شماره ناحیه	کمبود در سال پایه	کمبود ۱۴۰۱۲
۱	۹۵	۱۲۲
۲	۶۱	۷۸
۳	۶۰	۷۷
۴	۱۰۰	۱۲۹
۵	۸۰	۱۰۳
۶	۵۶	۷۲
۷	۶۶	۸۵
۸	۹۶	۱۲۳
۹	۹۱	۱۱۷
۱۰	۳۸	۴۹
۱۱	۵۰	۶۴
۱۲	۹۶	۱۲۳
۱۳	۷۰	۹۰
۱۴	۸۳	۱۰۷
۱۵	۵۰	۶۴

محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ را ارائه می‌کنند. برای تمامی محدوده‌های عملکردی شناسایی‌شده نیز نقشه و شناسنامه‌ای مشابه تهیه شده است.



شکل ۱۳. نمونه نقشه موقعیت گزینه‌های احداث پارکینگ

جدول ۸. نمونه شناسنامه گزینه‌های احداث پارکینگ

ردیف	کاربری وضع موجود	کاربری طرح تفصیلی	مساحت (m ²)	مختصات مرکز قطعه	
				Y	X
۱	پارکینگ	تجاری- خدمت‌ماتی	۲۱۰۲	۳۳۵۱۸۳۰	۵۰۶۹۹۶
۲	پارکینگ	حمل و نقل و انبار	۱۵۲۶	۳۳۵۱۷۳۷	۵۰۶۷۳۸
۳	بایر	تجاری- خدمت‌ماتی	۱۰۱۷	۳۳۵۱۷۰۶	۵۰۶۹۵۸
۴	بایر	مسکونی	۵۰۰	۳۳۵۱۵۷۰	۵۰۶۸۸۷
۵	بایر	مسکونی- صنعتی	۱۵۰۰	۳۳۵۱۶۱۹	۵۰۶۸۵۱
۶	بایر	مسکونی	۴۰۰	۳۳۵۱۵۴۳	۵۰۶۷۲۸
۷	بایر	مسکونی	۹۰۸	۳۳۵۱۵۷۵	۵۰۷۰۱۰

در فرآیند مکان‌یابی، محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ به‌عنوان واحد تصمیم‌گیری مبنا قرار گرفتند. بدین ترتیب، در هر یک از ۱۵ محدوده عملکردی شناسایی شده، پارکینگ‌های غیرطبقه‌ای موجود، پارکینگ‌های پیشنهادی طرح تفصیلی و همچنین اراضی بایر یا مخروبه-متروکه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی این قطعات بر اساس معیارهایی نظیر مساحت، کیفیت دسترسی، مجاورت با کانون‌های کمبود پارکینگ، کاربری پیشنهادی در طرح تفصیلی (به‌عنوان شاخصی مؤثر بر ارزش زمین) و ملاحظات خاصی همچون محدودیت‌های ساخت‌وساز در بافت تاریخی انجام شد. در نهایت، گزینه‌های واجد شرایط بر مبنای امتیاز مطلوبیت حاصل از تحلیل چندمعیاره (خروجی شکل ۱۱) اولویت‌بندی شدند. به‌طور کلی، در صورت وجود پارکینگ غیرطبقه‌ای موجود یا پارکینگ پیشنهادی در طرح تفصیلی در یک محدوده عملکردی کمبود، این قطعات به دلیل مزیت نسبی از حیث هزینه‌های تملک زمین و سهولت فرایندهای اداری مرتبط با تغییر کاربری، در اولویت بالاتری قرار گرفتند. با این حال، در مواردی که این گزینه‌ها از مطلوبیت مکانی کافی برخوردار نبودند، اراضی بایر یا مخروبه-متروکه به‌عنوان گزینه‌های جایگزین پیشنهاد شدند. همچنین در خصوص پارکینگ‌های غیرطبقه‌ای موجود، سیاست اصلی بر افزایش ظرفیت از طریق طبقه‌سازی آن‌ها استوار است تا حتی‌الامکان از احداث پارکینگ جدید اجتناب شود. شکل ۱۳ و جدول ۸ نمونه‌ای از نقشه موقعیت و شناسنامه قطعات پیشنهادی برای احداث یا توسعه پارکینگ در

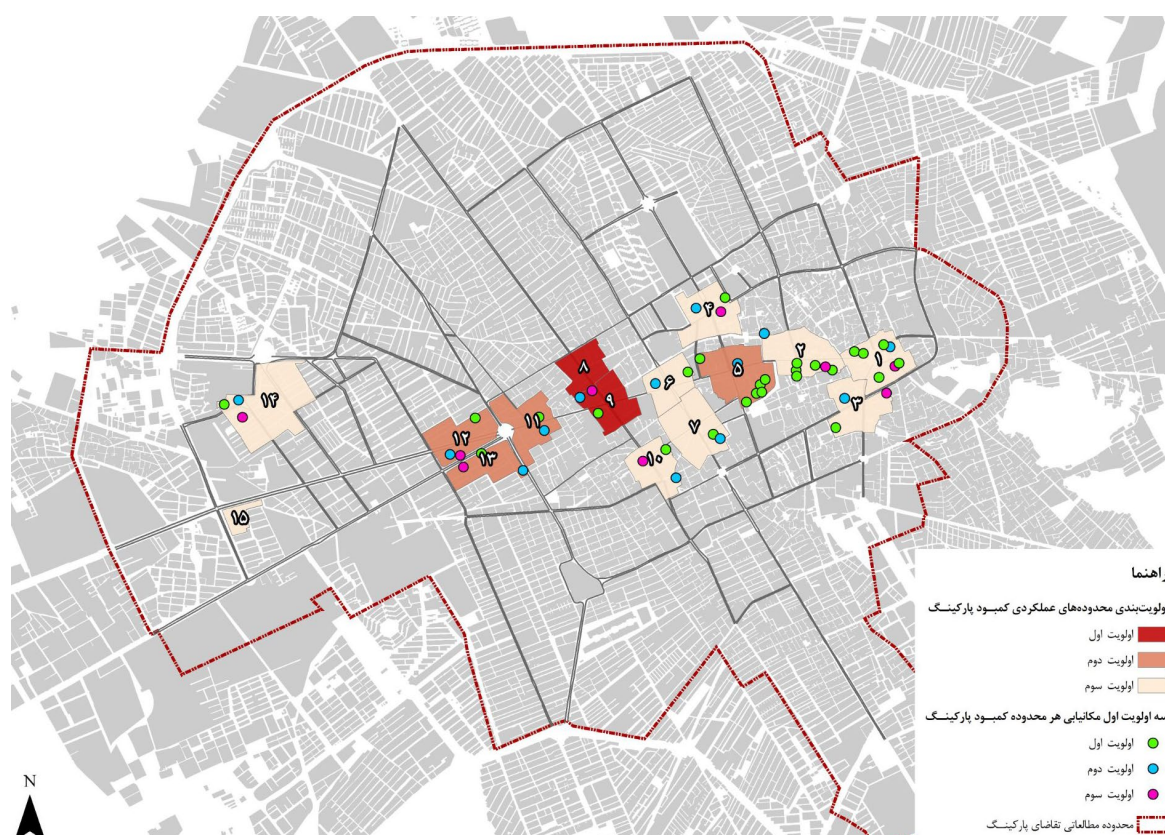
احداث پارکینگ جدید)، اولویت اقدام برای هر گزینه پیشنهادی مشخص شد. در واقع گزینه اول از محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ شماره هشت و نه اولویت اول اقدام در نظر گرفته می‌شود. در صورت عدم تحقق این گزینه، گزینه‌های دو و سه در همان محدوده‌ها قابلیت بهره‌برداری دارند.

با پاسخ به نیاز موجود در این محدوده، اقدام مشابهی برای محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ که در اولویت دوم قرار دارند مد نظر است. شکل ۱۴ اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های پیشنهاد مکان‌یابی پارکینگ را نمایش می‌دهد.

جدول ۹. اولویت‌بندی محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ

اولویت	بازه شاخص <i>PSI</i> (درصد)	محدوده عملکردی کمبود پارکینگ
۱	بیش از ۷۵	۸ و ۹
۲	۵۰ تا ۷۵	۵ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳
۳	۳۰ تا ۵۰	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۶ و ۷ و ۱۰ و ۱۴

از سوی دیگر، بر اساس تجمیع مقدار شاخص کمبود پارکینگ معیاری که در هر یک از محدوده‌های عملکردی کمبود قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲)، شدت کمبود پارکینگ هر محدوده عملکردی به دست آمد. بر این اساس، محدوده‌های عملکردی شماره ۸ و ۹ که شاخص آن‌ها بیش از ۷۵ درصد است، با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر محدوده‌ها دچار کمبود پارکینگ هستند؛ از این رو، در اولویت اول اقدام قرار گرفتند. همچنین محدوده‌های ۵ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ نیز که شاخص کمبود پارکینگ آن‌ها بین ۵۰ تا ۷۵ درصد است، اولویت دوم اقدام در نظر گرفته شدند. شاخص کمبود پارکینگ دیگر محدوده‌ها بین ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد، که نشان می‌دهد شدت کمبود پارکینگ در آن‌ها کمتر است و در اولویت پایین‌تری قرار دارند. جدول ۹ اولویت‌بندی محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ را نشان می‌دهد. با مشخص شدن اولویت اقدام در هر کدام از محدوده‌های عملکردی کمبود پارکینگ و همچنین شناسایی و اولویت‌بندی قطعات مناسب جهت افزایش ظرفیت پارکینگ در آن محدوده (از طریق طبقاتی کردن پارکینگ‌های موجود یا



شکل ۱۴. الویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی مکان‌یابی پارکینگ

۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به مکان یابی پارکینگ بر اساس میزان تقاضای مؤثر، با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته شد. این اقدام در قالب سه گام کلی انجام پذیرفت: ۱- شناسایی معیارهای اثرگذار بر مکان یابی پارکینگ و میزان اهمیت آن ها از طریق روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ۲- شناسایی محدوده های عملکردی کمبود پارکینگ و ۳- مکان یابی و اولویت بندی پارکینگ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. طبق نتایج حاصل از این مطالعه، ۵ معیار «فاصله از مراکز جذب سفر»، «فاصله از معابر اصلی»، «فاصله از پارکینگ های موجود»، «میزان کمبود فضای پارکینگ» و «ارزش ملک» در مکان یابی پارکینگ قابل طرح هستند که طبق نظر خبرگان، فاصله از مراکز جذب سفر و میزان کمبود فضای پارکینگ بیشترین اهمیت را دارند. فاصله از معابر اصلی، فاصله از پارکینگ های موجود و ارزش ملک نیز به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند.

به منظور بهینه سازی مکان یابی پارکینگ بر اساس وجود تقاضای مؤثر، ۱۵ «محدوده عملکردی کمبود پارکینگ» در شهر کرمان پیشنهاد گردید که این نواحی بیشترین میزان کمبود پارکینگ را دارند. محدوده پیرامون تقاطع خیابان بهشتی با بلوارهای جهاد و فردوسی بیشترین کمبود پارکینگ را دارد از این رو افزایش ظرفیت پارکینگ در این محدوده اولویت بالاتری به خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج مکان یابی پارکینگ در زمین های دارای پتانسیل واقع در هر کدام از محدوده های عملکردی کمبود پارکینگ، پیشنهاد می شود به منظور تحقق پذیری بالاتر، افزایش ظرفیت پارکینگ ها ابتدا از طریق طبقاتی کردن پارکینگ های غیرطبقاتی موجود صورت گیرد. قطعات زمینی که مطابق طرح تفصیلی شهر، کاربری پارکینگ دارند در اولویت بعدی قرار می گیرند و در نهایت زمین های بایر یا مخروبه و متروکه با کاربری های غیرتجاری پیشنهاد می شوند تا از هزینه های تملک پایین تری داشته باشند. همچنین پیشنهاد می شود در نگاه بلندمدت و با هدف کاهش استفاده از خودروی شخصی، حفاظت از بافت تاریخی باارزش شهر کرمان و همچنین ارتقاء کیفیت زیست شهر، با تعریف ناحیه های محدودیت سفر، از گزینه های پیشنهادی دارای پتانسیل بهره گیری به عنوان زیرساخت های مدیریت تقاضای سفر مانند پارک-پیاده^۶ و پارک-سوار^۷ استفاده شود.

۶- پی نوشت ها

1. Analytic Hierarchy Process (Ahp)
2. Technique For Order Of Preference By Similarity To Ideal Solution (Topsis)
3. Analytic Network Process (Anp)
4. Weighted Overlay Method
5. Robust Regression
6. Park & Walk
7. Park & Ride

۷- سپاسگزاری

این پژوهش در قالب یک طرح پژوهشی توسط مرکز پژوهشی حمل و نقل پایدار دانشگاه یزد برای معاونت برنامه ریزی شهرداری کرمان انجام گرفته است. در اینجا لازم است از همکاری مدیران و کارشناسان محترم معاونت برنامه ریزی و توسعه منابع انسانی و نیز سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل و نقل شهرداری کرمان که همکاری های لازم در انجام این طرح را داشته اند، تشکر و قدردانی بعمل آید.

۸- مراجع

- اسکندری، مهدی، شاهنده، علی، شتاب بوشهری، نادر و افتخاری، قدرت (۱۳۹۲). ارائه یک مدل کمی برای مکان یابی پارکینگ های غیرحاشیه ای بر روی شبکه حمل و نقل شهری. پنجمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، مشهد، ایران.
- افضلی، آتیکه و مقنعی طبری، مسعود (۱۴۰۳). مکان یابی پارکینگ های عمومی با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و فرایند تحلیل شبکه. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۳۳(۱۲۹)، ۷۹-۸۹.
- بغفوری، حسین، فتوحی، صمد و مسجیدی، نجمه (۱۳۹۵). بررسی توزیع فضایی-مکانی پارکینگ های عمومی و مکان یابی بهینه آن (مطالعه موردی: منطقه ۲ و ۸ شهرداری شیراز). پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۲۴(۷)، ۱۹۰-۱۷۳.
- دانشگاه تربیت مدرس (۱۴۰۳). گزارش مطالعات جامع حمل و نقل شهر کرمان و حومه: آماربرداری.
- دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۲). مطالعات جامع حمل و نقل کلان شهر اصفهان.
- دهقانپور، علیرضا، سلمانی ندوشن، محمدعلی و رضایی، حجت. (۱۳۹۷). مکان یابی محل های مناسب جهت احداث پارکینگ های عمومی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بافت قدیم شهر یزد). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی

- Ben-Joseph, E. (2012). Rethinking a lot. The design and culture of parking, *MIT Press*.
- Benítez, J., Delgado-Galván, X., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2011). Achieving matrix consistency in AHP through linearization. *Applied Mathematical Modelling*, 35(9), 4449–4457.
- Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E., & Edwards, D. J. (2019). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436–452.
- Dehghani, A., & Soltani, A. (2024). Site selection of car parking with the GIS-based fuzzy multi-criteria decision making. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 23(02), 715–740.
- Farzanmanesh, R., Naeeni, A. G., & Abdullah, A. M. (2010). Parking site selection management using fuzzy logic and multi criteria decision making. *Environment Asia*, 3(3), 109–116.
- Françoze, R. V., Junior, L. S. V. U., Carrapateira, E. S., Pacheco, B. C. S., Oliveira, M. T., Torsoni, G. B., & Yari, J. (2023). A web-based software for group decision with analytic hierarchy process. *MethodsX*, 11, 102277.
- Hrelja, R., & Rye, T. (2023). Decreasing the share of travel by car. Strategies for implementing ‘push’ or ‘pull’ measures in a traditionally car-centric transport and land use planning. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 446–458.
- Hosseini, M. H., Balal, E., Massahi, A., & Ghiasi, I. (2012). Developing optimal zones for urban parking spaces by Arc GIS and AHP. *Indian Journal of Science and Technology*, 5(11), 3618–3622.
- Iqbal, A. S. (2020). A GIS-based parking demand analysis and site selection for parking area: Pendik-Istanbul case. In: *Gebze Technical University*.
- Jonuzi, E., Alkan, T., Durduran, S. S., & Selvi, H. Z. (2024). Using GIS-supported MCDA method for appropriate site selection of parking lots: The case study of the city of Tetovo, North Macedonia. *Transportation Planning and Technology*, 47(1), 1–15.
- منطقه‌ای)، ۸(۴)، ۳۳۳۳–۳۲۳.
- سربابی، محمدحسین. و قانع باقی، روح‌الله (۱۳۹۰). ارزیابی مکانیابی پارکینگ‌های عمومی در بافت مرکزی شهر یزد. چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، ۶(۱۵)، ۸۸–۷۰.
- شهابی، هومن. برزگر، صادق. کیهان‌فرد، سروش. و کیهان‌فرد، سعید (۱۳۹۰). مقایسه و ارزیابی روش‌های رتبه‌ای و AHP در مکان‌یابی پارکینگ‌ها (مطالعه موردی: ناحیه ۴ منطقه ۱۵ تهران). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۲۱).
- صادقی دروازه، سعید. قاسمی، احمدرضا. رسولی تیلو، نوئی، ن.ا. و شول، عباس (۱۳۹۶). مکان‌یابی پارکینگ‌های مکانیزه با رویکرد توسعه پایدار (مورد مطالعه: شهر قم). اقتصاد و مدیریت شهری، ۲۱(۲)، ۱۱۱–۱۲۷.
- غضنفرپور، حسین. آقاعلیخانی، مرضیه. افشارمنش، حمیده و قلی‌زاده، آیلان (۱۳۹۴). نیازسنجی پارکینگ‌های عمومی در مناطق شهری با استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری مورد شناسی: شهر کرمان. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، ۵(۱۴)، ۱۳۸–۱۲۳.
- قاضی عسگری، آرمان. و ورشو ساز، مسعود (۱۳۸۳). ارائه روشی مناسب جهت مکانیابی پارکینگ عمومی. همایش ژئوماتیک ۸۳، تهران، ایران.
- قنبری، حسین. نوبخت حقیقی، شهاب و محمدی، مریم (۱۳۹۶). مکان‌یابی پارکینگ‌های طبقاتی در شهر رشت. پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۸(۱)، ۶۲–۴۱.
- قنبری، سیروس. و قاضی عسکرنایینی، آرمان (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌های مختلف مکان‌یابی در مدیریت احداث پارکینگ‌های عمومی در مرکز تجاری شهر اصفهان با استفاده از GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۲)، ۱۹۸–۱۸۳.
- کامیابی، سعید. و طاهری، سیدمجتبی (۱۳۹۴). بررسی و مکان‌یابی مراکز پارکینگ طبقاتی با استفاده از روش AHP و TOPSIS (مطالعه موردی: شهر سمنان). مطالعات برنامه‌ریزی شهری، ۳(۹)، ۴۱–۲۷.
- گروه مشارکت مهندسين مشاور طرح هفتم و مهندسين مشاور آوند طرح و اندیشه (۱۳۹۸). مطالعات بازنگری طرح جامع حمل‌ونقل شهر قم.
- Babaei, M. (2024). Determination of car park locations to accommodate maximum dynamic demand. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 12(1), 2422357.

- Milosavljevic, N., & Simicevic, J. (2019). *Sustainable Parking Management: Practices, Policies, and Metrics*. Elsevier .
- Ortega, J., Moslem, S., Palaguachi, J., Ortega, M., Campisi, T., & Torrisi, V. (2021). An integrated multi criteria decision making model for evaluating park-and-ride facility location issue: A case study for Cuenca city in Ecuador. *Sustainability*, 13(13), 61-74.
- Pitale, A. M., Parida, M., & Sadhukhan, S. (2022). GIS-MCDM-based approach to determine the potential facility locations for park-and-ride facilities along transit corridors. *Journal of Urban Planning and Development*, 148(1), 05021065.
- Saaty, T. L & ,Vargas, L. G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, *Springer* .
- Sonar, H. C., Khanzode, V. V., & Akarte, M. M. (2021). Ranking of additive manufacturing implementation factors using analytic hierarchy process (AHP). *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 102(2), 421–426.
- Macedonia. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(1), 86–98 .
- Kazazi Darani, S., Akbari Eslami, A., Jabbari , M., & Asefi, H. (2018). Parking lot site selection using a fuzzy AHP-TOPSIS framework in Tuyserkan, Iran. *Journal of Urban Planning and Development*, 144(3), 04018022 .
- Kriswardhana, W., Toaza, B., Esztergar-Kiss, D., & Duleba, S. (2025). Analytic hierarchy process in transportation decision-making: A two-staged review on the themes and trends of two decades. *Expert Systems with Applications*, 261, 125491.
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4).
- Miller, L. A., & Lovler, R. L. (2018). Foundations of psychological testing: A practical approach. *Sage publications* .

Off-Street Parking Site Selection Considering Parking Demand Using an Integrated AHP–GIS Approach (Case Study: Kerman, Iran)

*Mojtaba Rajabi-Bahaabadi, Assistant Professor, Highway and Transportation Eng.,
Civil Eng., Dep., Yazd University, Yazd, Iran.*

***Mehdi Fallah Tafti**, Associate Professor, Civil Engineering Department,
Faculty of Eng., Yazd University, Yazd, Iran.*

*Meysam Amiri, M.Sc., Grad., Sustainable Transportation Research Center,
Yazd University, Yazd, Iran.*

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

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Urban population growth and increasing vehicle ownership have substantially intensified parking demand in central urban areas, resulting in issues such as double parking, extended search times for parking spaces, longer travel times, and a decline in overall urban livability. Expanding parking capacity through the development of off-street parking facilities is a supply-side strategy to mitigate these challenges. Given spatial and financial constraints, the site selection of parking facilities must be optimized to avoid resource wastage and effectively meet actual urban demand. In this study, to enhance the efficiency and utilization of off-street parking, parking demand and the corresponding shortage of parking spaces were incorporated as key factors alongside a set of criteria identified in previous studies. Through a comprehensive literature review and expert consultation, the most influential criteria for off-street parking site selection were identified, and their relative importance was quantified using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Results indicated that distance from trip attraction centers and parking shortage were the most critical factors according to expert judgment, followed by distance from main roads, proximity to existing parking facilities, and land value. In a case study of Kerman City, 14 functional parking shortage zones were delineated. Based on AHP results and GIS analysis, suitable sites for increasing parking capacity, either through expansion of existing multi-level parking facilities or the establishment of new ones, were proposed within each shortage zone.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process, AHP–GIS, Parking Site Selection, Off-Street Parking