Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری، سال یازدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۳، شمارهٔ پیاپی ۲۴

DOI: 10.22067/JGUSD.2022.76351.1190
مقالهٔ علمی- پژوهشی

شناسایی محدوده‌های مستعد ایجاد توسعه حمل‌ونقل محور در خطوط مترو نمونه موردی خطوط مترو سه گانه شهر اصفهان

شهره عزتیان (دکتری شهرسازی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، نویسنده مسئول)
ezzatian_sh@ut.ac.ir
سید مهدی ابطحی (دانشیار حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران)
mabtahi@ut.ac.ir
علی نعمان (کارشناسی ارشد حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران)
ariobarzan9006@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۶ **تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵**
صص ۹۲-۷۳

چکیده

رویکرد توسعه حمل‌ونقل محور[1] نوعی از توسعه به همراه اختلاط کاربری، فشردگی و تراکم بالا است که با دسترسی آسان به حمل‌ونقل عمومی تعریف می‌شود. در ایران تعریف این رویکرد به اشتباه به نگاه نقطه‌ای و ایستگاهی تقلیل پیدا کرده است، معمولاً طراحی محدوده‌های توسعه حمل‌ونقل‌محور به ایستگاه‌های بلندمرتبه با کاربری تجاری و اداری محدود شده‌اند و نتوانسته‌اند خواسته‌ها و انتظارات مدیران و شهروندان را بر مبنای تعریف این نوع توسعه در شهر محقق کند. در این تحقیق ابتدا شاخص‌های توسعه حمل‌ونقل محور تدوین شده و ظرفیت خطوط مترو در شهر اصفهان سنجیده شده‌اند تا محدوده‌هایی که مستعد ایجاد رویکرد توسعه حمل‌ونقل‌محور هستند؛ شناسایی شود. به عبارتی نقاط ایستگاهی در خطوط مترو اصفهان با ارائه الگوریتم رتبه‌بندی و آزمون آن، در قالب مناطق مستعد در شبکه مترو اصفهان به صورت اولویت‌بندی معرفی شده‌اند. ایستگاه‌های دروازه دولت، میدان عتیق و میدان آزادی بیشترین امتیاز برای تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور را به دست آورده‌اند. این ایستگاه‌ها، به دلیل استقرار در مناطق مناسب برای دسترسی عموم به حمل‌ونقل، جانمایی در نقاط استراتژیک شهر و وجود تنوع عملکردی، منتخب نقاط مستعد در شهر اصفهان بوده‌اند. همچنین در نتیجه تحقیق از طریق روش خوشه‌بندی در نرم افزار Expert choise چارچوب برنامه‌ریزی برای محدوده‌های مستعد پیشنهاد شده است. به گونه‌ای که هر خوشه با یک رویکرد منحصر پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اصفهان، توسعه حمل‌ونقل‌محور، خوشه‌بندی، شبکه خطوط مترو، نقاط ایستگاهی

1. Transit Oriented Development (TOD)

۱. مقدمه

رویکرد توسعه حمل‌ونقل‌محور گونه‌ای از توسعه فضاهای زندگی و کار است که بر مبنای فاصله از ایستگاه حمل‌ونقل عمومی تعریف می‌شود. در این محدوده‌ها برای عابرین پیاده در فاصله ٤٠٠ تا ٨٠٠ متری و یا فاصله حدود ۵ تا ۱۰ دقیقه پیاده‌روی، قابلیت حرکت راحت و ایمن فراهم می‌شود. در این رویکرد طیفی از شدت کاربری و تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها وجود دارد؛ بدین معنا که در نواحی نزدیک‌تر به ایستگاه، خدمات بیشتری به پیاده و خدمات کمتری به خودرو شخصی ارائه می‌شود. همچنین در نزدیکی ایستگاه تراکم و اختلاط بیشتری از کاربری‌ها لازم است و با دور شدن از ایستگاه این شدت کاهش می‌یابد.

پیتر کالتورپ توسعه حمل‌ونقلمحور را یک اجتماع با کاربردهای مختلط، که در فاصله ۸۰۰ متر پیاده‌روی از یک ایستگاه حمل‌ونقل عمومی است و در یک منطقه تجاری قرار دارد، تعریف می‌کند (کالتروپ[1]، ۱۹۹۳، ص. ٣٦؛ ۳۸ و ناولز[2]، ۲۰۱۵، ص. ١٠٤). این رویکرد از مهمترین نظریه‌های دهکده‌های حمل نقلی است که به منظور ایجاد محلاتی سرزنده‌تر و پایدارتر با محوریت ایستگاه‌های حمل‌ونقل همگانی مطرح شده و بر ترکیب اصول طراحی شهری و حمل‌ونقل همگانی به ویژه سامانه‌های ریلی، در جهت استقرار اجتماعاتی فشرده‌تر، دارای کاربری مختلط و با قابلیت پیاده‌روی در پیرامون پایانه‌های حمل‌ونقلی بیش از پیش تأکید می‌کند. درحقیقت نظام ریلی، بنیاد نظام حمل‌ونقل شهر است (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۳، ص. ۱۲۰-۱۲۱).

در این رویکرد اختلاط کاربری‌های مسکونی، خرده فروشی، دفترکار، فضای باز و خدمات عمومی در یک محیط قابل پیاده‌روی فراهم می‌شود تا شهروندان بتوانند از طریق شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی، دوچرخه سواری و پیاده‌روی؛ سفر ایمن و ارزان در سطح شهر داشته باشند (ژانگ[3] و همکارن، ۲۰۲۰، ص. ۱۰۷؛ کاکلمن[4]، ۱۹۹۷، ص. ۲۱۰-۲۱۲). ویژگی‌های توسعه حمل‌ونقل محور شامل تراکم بالای واحدهای مسکونی، جمعیت متنوع، مشاغل و واحدهای اداری متعدد به همراه شبکه حمل‌ونقل عمومی متراکم شهری با بازدهی بالا در محیط‌های مناسب برای عابران پیاده است (کمروزمن[5] و همکاران، ٢٠١٦، ص. ۹۷۰؛ سرورو و برتولینی[6] و همکاران، ۱۹۹۷، ص. ۲۳؛ اوینگ و سرورو[7]، ۲۰۱۰، ص. ۲۷۰-۱۷۵). عناصر و مؤلفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی توسعه حمل‌ونقل‌محور را می‌توان در نُه محور تعریف کرد.

۱. تراکم: تراکم جمعیتی و ساختمانی افزایش جمعیت یا مشاغل در واحد زمین را به دنبال دارد، موجب کاهش سفر با خودرو می‌شود. هر ۱۰ درصد افزایش تراکم موجب کاهش ۲-۳ درصدی استفاده از خودرو می‌شود.

1. Calthorpe
2. Knowles
3. Zhang
4. Kockelman
5. Kamruzzaman
6. Bertolino
7. Ewing & Cervero

۲. کاربری مختلط: ترکیب کاربری‌های مسکونی، تجاری، اداری و ... با یکدیگر، موجب کاهش سفر با خودرو و افزایش استفاده از مدل‌های جایگزین و به‌ویژه پیاده‌روی می‌شود. واحدهای همسایگی دارای کاربری‌های مختلط موجب کاهش ۵ تا ۱۰ درصدی استفاده از خودرو می‌شود. به زعم قربانی و ترکمن نیا(۱۳۹٤)، بخشی از کاهش حجم تقاضا از طریق سیاست‌های کاربری زمین محقق می‌شود. مانند تغییر ساختار شهری و کاربری اراضی با هدف افزایش تراکم، استفاده از فضاهای خالی موجود در بافت شهری و ایجاد کاربری‌های مختلط در پی کاهش وابستگی به وسایل نقلیه شخصی با ایجاد مسافت‌های سفری کوتاه‌تر و سوق دادن مدل‌های حمل‌ونقل به سوی پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی است (قربانی و ترکمن نیا، ۱۳۹٤، ص. ۸۲)

۳. دسترسی منطقه‌ای: توسعه مرکز شهر در مقیاس منطقه‌ای و ایجاد ارتباط شبکه‌ای در میان مراکز، موجب کاهش استفاده از خودرو می‌شود. واحدهای همسایگی در مناطق مرکزی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد کمتر از خودرو استفاده می‌کنند.

٤. مدیریت و طراحی راه‌ها: بهبود مقیاس، طراحی و مدیریت خیابان‌های چندمنظوره موجب افزایش استفاده از آن‌ها می‌شود. آرام‌سازی ترافیک، تمایل به استفاده از خودرو را کاهش و پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری را افزایش می‌دهد.

۵. موقعیت پیاده‌روی و دوچرخه‌سوار: بهبود کمیت و کیفیت پیاده‌رو، مسیرهای دوچرخه و ایمنی مسیر پیاده‌رو، استفاده از خودرو را کاهش می‌دهد.

٦. دسترسی و کیفیت حمل‌ونقل عمومی: بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل عمومی و اینکه چه مسیرهایی دسترسی به حمل‌ونقل عمومی دارند، استفاده از خودرو را کاهش می‌دهد.

۷. مدیریت و عرضه پارکینگ: کاهش تعداد پارکینگ‌های هر ساختمان و مدیریت آن‌ها، موجب افزایش قیمت استفاده از پارکینگ و کاهش استفاده از خودرو می‌شود. هزینه استفاده از پارکینگ موجب کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی استفاده از خودرو می‌شود.

۸. طراحی مکان و محوطه: طراحی ساختمان‌ها و تسهیلات پارکینگ دارای کاربری‌های مختلط، استفاده از خودرو را کاهش می‌دهد؛ به‌ویژه اگر سایت دارای حمل‌ونقل عمومی باشد.

۹. مدیریت حرکت: برنامه‌ها و سیاست‌های مدیریت حرکت که شامل مدل‌های مختلف استفاده از حمل‌ونقل می‌شود، با مشخص کردن هدف سفر استفاده از خودرو را بین ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد (چن و همکاران[1]، ۲۰۱۹، ص. ۱۰۲-۱۰٤؛ نوولز[2]، ۲۰۱۲، ص. ۲۵۵)

برنامه‌ریزی برای تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور در سه سطح قابل برنامه‌ریزی است.

1. Chen
2. Knowles

برنامه‌ریزی در سطح ناحیه شهر به منظور ایجاد یکپارچگی میان اهداف ناحیه‌ای مانند کاهش ترافیک و ارتقای سلامتی با توجه به شرایط زمینه‌ای مانند الگوی رشد جمعیت و مکان‌یابی مراکز اشتغال و فعالیت انجام می‌شود. در سطح ناحیه‌ای لازم است فراتر از محدوده ایستگاه مدنظر قرارگرفته و به شبکه‌ای از مکان‌های مرتبط از طریق حمل‌ونقل همگانی توجه گردد. در این مقیاس همچنین باید به مراکز اصلی اشتغال و الگوهای سفر در مقیاس شهر و ناحیه توجه شود. برنامه‌ریزی در این سطح مستلزم ایجاد هماهنگی میان طرح‌های موجود از دیدگاه رشد شهری، حمل‌ونقل، توسعه مسکن و اشتغال است (شورای عالی شهرسازی و معماری، ۱۳۹۷، ص. ۸۶–۸۹).

برنامه‌ریزی در سطح کریدور مستلزم توجه به نقش ایستگاه‌ها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر با توجه به توزیع سکونتگاه‌ها و مراکز فعالیتی است. هدف از این برنامه‌ریزی حصول اطمینان از این مهم است که توسعه در یک ایستگاه، مکمل توسعه در سایر ایستگاه‌ها بوده و شبکه‌ای از مکان‌های متصل به حمل‌ونقل عمومی شکل بگیرد. برنامه‌ریزی در سطح ایستگاه، یکی از مهم‌ترین اجزای عملیاتی و اجرایی توسعه حمل‌ونقل‌محور است. با توجه به موقعیت مکانی و نوع سیستم حمل‌ونقل همگانی، نقش و جایگاه ایستگاه متفاوت خواهد بود. زیرا هر ایستگاه دارای حوزه نفوذی است که از آن تأثیر می‌پذیرد و شناخت و تحلیل آن در برنامه‌ریزی و طراحی نقش اساسی دارد (جیم[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ ص. ٤١٥؛ استیون[2]، ۲۰۱۷، ص. ۱۰–۱۵)

همانطور که در تعریف سطوح عملکردی توسعه حمل‌ونقل محور مطرح شد، این رویکرد می‌تواند در مرکز شهر و حومه شهر فعالیت کند، تفاوت اصلی انواع رویکرد در تراکم هر مکان است (پریتچارد[3]، ۲۰۱۹، ص. ۲۵) در مقیاس منطقه‌ای، برنامه‌ریزی توسعه حمل‌ونقل‌محور مزایایی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، دسترسی بهتر به مشاغل و فرصت‌ها، کاهش هزینه‌های زیرساخت و ترویج سبک زندگی سالم و حمل‌ونقل فعال را فراهم می‌کند (گالیوان[4]، ۲۰۱۵، ص. ۹۵؛ رن[5] و همکاران، ۲۰۱٦، ص. ۳۹–٤١)، از سوی دیگر این رویکرد می‌تولند بهره‌وری اقتصادی را افزایش دهد و بسیاری از عوامل منفی ناشی از وابستگی به خودرو، از جمله ازدحام ترافیک، تلفات رانندگی و هزینه‌های بالاتر رانندگی را کاهش دهد. تنوع کاربری‌ها و اتصال شبکه خیابان‌ها نیز می‌تواند به طور قابل توجهی تعداد و طول سفرها با خودرو را در این مناطق در مقایسه با مناطق دیگر کاهش دهد (ناولز، ۲۰۱۵، ص. ۹۳؛ پارکر[6] و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۸٤) رویکرد توسعه حمل‌ونقل محور سیستم‌های جدید حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی شهری را به هم پیوند می‌دهد و صرفاً مبتنی بر سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی سنگین[7] نیست بلکه می‌تواند مبتنی بر

1. Jamme
2. Stevens
3. Pritchard
4. Gallivan
5. Renne
6. Parker
7. HRT

حمل‌ونقل ریلی سبک[1] ، حمل‌ونقل سریع اتوبوس[2] و دوچرخه سواری و دوچرخه اشتراکی باشد (ناولز، ۱۹۹۲، ص. ۱۲۰).

روند شهرنشینی فرصتی برای اجرای مفهوم شهر کم کربن (کم آلوده) است و توسعه حمل‌ونقل‌محور امکان کاهش اثرات تغییر اقلیم را از طریق پیوند کاربری زمین و شبکه حمل‌ونقل می‌تولند فراهم کند.با ایجاد و هدلیت توسعه شهر به مناطق پیرامون حمل‌ونقل عمومی (پایانه‌ها، ایستگاه اتوبوس) قابلیت دسترسی در شهر و مناطق بهبود یافته و سهولت و ایمنی جابه‌جایی فراهم می‌شود (اوینگ[3] و همکاران، ۲۰۱۰، ص. ۲۷۰؛ هاندایینی[4]، ۲۰۱٤، ص. ۱٥٦). در تحقیقی از توماس و برتولینی (۲۰۱۷) عوامل موفقیت توسعه حمل‌ونقل‌محور شامل؛ سیاست‌گذاری در شهر، تعریف روابط موثر بین‌منطقه‌ای، مشارکت عمومی، و اجرای طرح‌های میان رشته‌ای برای اطمینان به سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان بوده است (لنگ[5] و همکاران، ۲۰۲۰ ، ص. ۱۱٤). به عبارتی رویکرد توسعه حمل‌ونقل‌محور کمک می‌کند به جای اینکه سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی انبوه و کاربری زمین مربوطه را جداگانه در نظر بگیریم، یک استراتژی برنامه‌ریزی خوب، هر دو جنبه را در برنامه‌ریزی ساختار فضایی شهری ادغام کند (یانگ[6] و همکاران، ۲۰۲۱، ص. ۷۸–۷۹).

در بررسی پشینیه تحقیق در طراحی و برنامه‌ریزی توسعه حمل‌ونقل‌محور، منطقه کولون به‌عنوان یکی از مناطق کلان‌شهر هنگ‌کنگ و مجاور با حمل‌ونقل عمومی به عنوان هسته اصلی توسعه حمل‌ونقل محور شناسایی شده است تا حد امکان منطقه‌ای فشرده با تراکم بسیار بالا ایجاد شود که قابلیت پاسخ‌دهی به بخش اعظم نیازهای مردم منطقه را داشته باشد، پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری در مجاورت ایستگاه حمل‌ونقل انبوه تسهیل شده است (پاوروانفیاس نینگ و بحری[7]، ۲۰۱۹، ص. ۷٤). همچنین در منطقه سلطان احمد استامبول نیز پس از شناسایی محدوده به عنوان فرصتی برای تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور؛ شبکه جاده‌ها، خیابان‌ها و راه‌های عابر پیاده به‌گونه‌ای طراحی‌شده‌اند که جابجایی افراد پیاده بدون هیچ وسیله نقلیه به‌راحتی و با اطمینان ممکن باشد. منطقه سلطان احمد از کاربری اراضی متفاوتی تشکیل‌شده است و فعالیت‌های فراوانی اعم از تجاری، مسکونی و تفریحی برای حمایت از این نوع توسعه در خود دارد (همان، ۲۰۱۹، ص. ۸۱).

در ایران الگوی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل همگانی یکی از الگوهای توسعه شهری است که بر محوریت حمل‌ونقل عمومی و به‌ویژه مترو استوار است. این الگوی توسعه در میان کاربری زمین و حمل‌ونقل، ارتباط ایجاد کرده و در واقع حمل‌ونقل عمومی را محور توسعه شهری قرار می‌دهد (شورای عالی شهرسازی و معماری ایران،

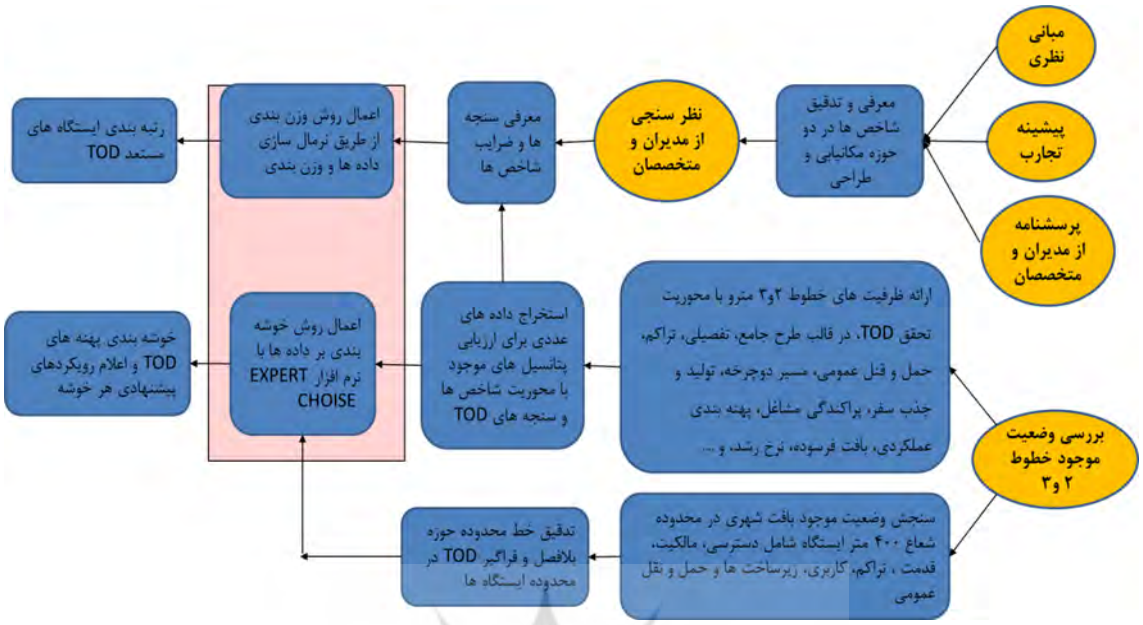
1. LRT
2. BRT
3. Ewing
4. Handayeni
5. Lang
6. Yang
7. Purwantiasning & Bahri

۱۳۹۷، ص. ۹۵). این الگو با استقرار کاربری‌های متراکم به‌صورت مختلط در ایستگاه‌های مترو یا اراضی اطراف آن، زمینه استفاده از خودرو شخصی را کاهش داده و در مقابل، استفاده از مترو را افزایش می‌دهد.

مفهوم و اجرای توسعه حمل‌ونقل محور در ایران با دو مشکل مواجه بوده است. اول، رویکرد توسعه حمل‌ونقل محور در ایران به اشتباه به مفهوم ایجاد مجتمع‌های ایستگاهی و واحدهای تجاری بلند مرتبه در پیرامون ایستگاه‌های قطار برداشت شده است، در حالیکه در واقع هدف اصلی توسعه حمل‌ونقل‌محور کاهش استفاده از خودرو شخصی، کاهش سفرهای درون شهری و ایجاد عدالت اجتماعی در توزیع متعادل خدمات و کاربری در مناطق شهری تعریف شده است. دوم، در خطوط مترو احداث شده ارزیابی‌ها پس از بهره‌برداری و بررسی میزان بازدهی هر یک از ایستگاه‌ها، نمایانگر عدم رضایت از بازدهی نامطلوب بوده است. در بسیاری از ایستگاه‌ها تعداد مسافران و حجم ورود و خروج بسیار پائین‌تر از میزان تحقق‌پذیری بوده و بسیاری از واحدهای خدماتی مانند مجموعه‌های تجاری و اداری در ایستگاه‌های مترو غیرفعال مانده و یا بهره‌برداری نشده است. این در حالی است که در بسیاری از ایستگاه‌ها اراضی پیرامون و هم‌جوار ایستگاه که فاقد هرگونه برنامه از پیش تعیین‌شده برای پشتیبانی از مترو بودند، در فرایند عمومی مصوبات و احداث ایستگاه از دسترس مدیریت شهری خارج شده و در نتیجه عواید ناشی از ارزش‌افزوده اقتصادی زمین در تحقق خط مترو، به شهرداری بازگردانده نشد. همچنین هزینه‌های تحمیل‌شده به مدیریت مترو، بازدهی مالی خط مترو را به حداقل کاهش داد و شهرداری توانایی تغییر کاربری و یا برنامه‌ریزی جهت جذاب‌سازی و حمایت از خطوط مترو را نیز از دست داد (معاونت برنامه‌ریزی و توسعه منابع انسانی شهرداری اصفهان، ۱٤۰۰، ص. ۱۲۷). به همین منظور در این تحقیق تلاش می‌شود که با تبیین شاخص‌های تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور به این سوال پاسخ داد که چگونه می‌توان ایستگاه‌های متروی مستعد این رویکرد را شناسایی و برنامه‌ریزی کرد؟ و مستعدترین ایستگاه‌های مترو برای اجرای توسعه حمل‌ونقل‌محور در شهر اصفهان کدام است؟ همچنین برای پیشگیری از مشکلات و ارائه راه حل‌های نوآورانه، رویکرد مناسبِ برنامه‌ریزی برای تحقق این رویکرد در ایستگاه‌هایی که مستعد هستند، چگونه می‌تواند تعریف شود؟

۲. روش‌شناسی

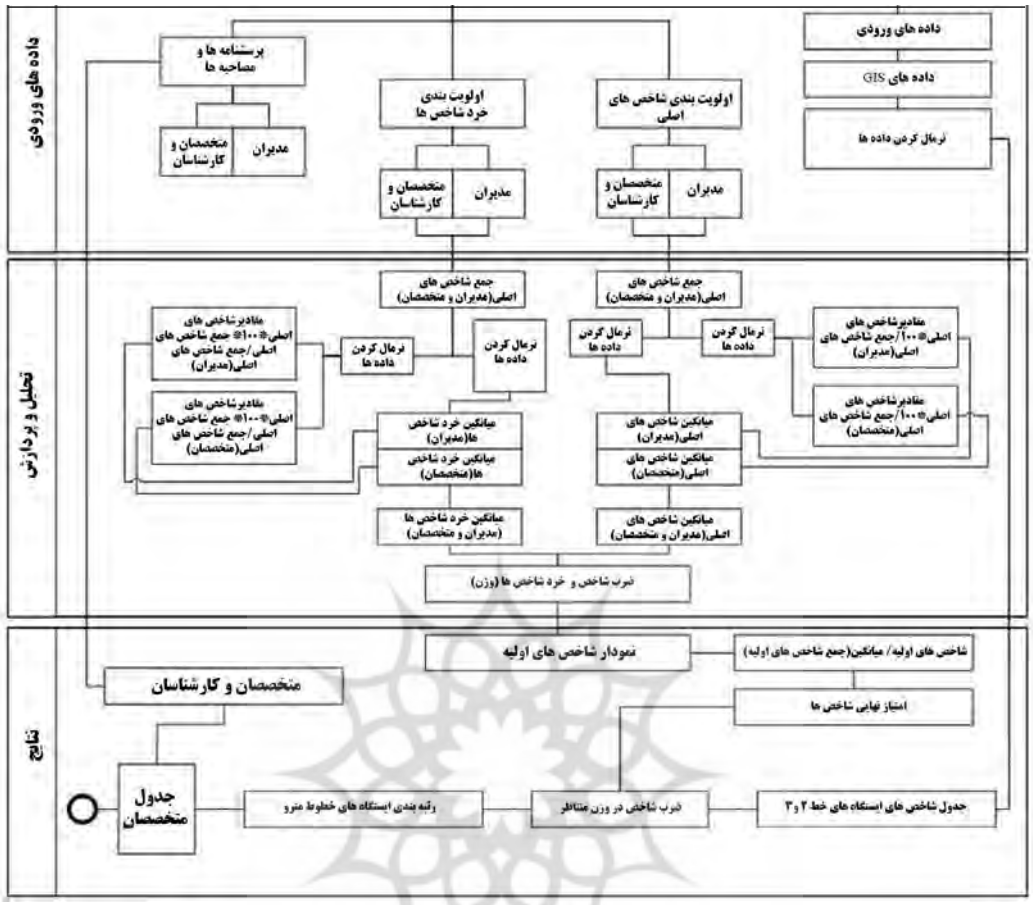
در این تحقیق به منظور شناسایی نقاط مستعد توسعه با رویکرد حمل‌ونقل‌محور ابتدا شاخص‌های تحقق رویکرد از طریق مطالعات نظری، تجارب عملی و نظرسنجی از مدیران و کارشناسان تعریف شده و با مطالعه گرایش‌ها، فرصت‌ها و امکانات زمینه‌ای، ظرفیت‌های شهر در قالب‌داده‌های متناظر با شاخص‌ها استخراج شدند. فرایند انجام پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. نمودار روش تحقیق

سپس هر یک از داده‌ها با تعدادی سنجه مورد سنجش قرار گرفت. در گام نخست باید وزن‌بندی و اولویت اثرگذاری شاخص‌ها درحل این موضوع مشخص شود، در این بخش داده‌های ورودی نظرات مدیران، کارشناسان و نخبگان این حوزه است. خروجی این گام یک ماتریس نرمال شده از اوزان نهایی شاخص‌ها می‌باشد. در این ماتریس هر وزن نمایانگر اهمیت هر یک از شاخص‌ها است. خروجی این الگوریتم درواقع ورودی الگوریتم بعدی خواهد بود.

در گام دوم الگوریتم پیشنهادی، وظیفه اولویت‌بندی و مشخص کردن نقاط ایستگاهی مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور را خواهد داشت، در این مرحله ورودی‌ها شامل: ماتریس خروجی از گام اول و همچنین اطلاعات موردنیاز مستخرج شده از آمار، نقشه‌ها، مطالعات، طرح‌ها و ... به تفکیک هر ایستگاه است، این ورودی‌ها را می‌توان به‌صورت مستقل وارد نرم‌افزار کرد و یا بر اساس تحلیل‌های مکانی در عملیات محاسباتی الگوریتم برنامه‌ریزی شود، در این صورت ورودی موردنیاز نقشه‌ها و اطلاعات زمین خواهد بود. به منظور تحقق این تحقیق در نمونه‌موردی، داده‌های مکانی(GIS) شهر اصفهان استخراج شده و در الگوریتم اعمال گردید تا خطوط ۲و ۳ مترو اصفهان به عنوان نمونه‌موردی، ارزیابی شود و بهترین محدوده‌های هم‌جوار با خط مترو برای تحقق رویکرد توسعه حمل‌ونقل محور شناسایی و اولویت‌بندی شود. همچنین با استفاده از روش خوشه‌بندی در نرم افزار Expert Choice رویکرد و محتوای برنامه‌ریزی محدوده‌های توسعه حمل‌ونقل محور در قالب خوشه‌های همگن ارائه شده است. از این طریق مناطق مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور شناسایی شده و محتوای برنامه‌ریزی آنها پیشنهاد شده است. فرایند الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. الگوریتم انجام پژوهش

۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه: ایستگاه‌های خطوط سه گانه مترو اصفهان

کلان‌شهر اصفهان با جمعیت بالغ بر ۲ میلیون نفر و مساحت ۵۵،۰۰۰ هکتار، مرکز استان اصفهان و سومین شهر پر جمعیت در ایران، پس از تهران و مشهد است. در این شهر تاریخی احداث مترو با چالش‌های جدی مواجه بوده، در مسیر مترو ۵ خط برنامه‌ریزی شده است که از چهارسوی شمال به جنوب و شرق به غرب، جمعیت شهرهای اطراف را به مرکز شهر پیوند می‌زند. در حال حاضر خط یک مترو به بهره‌برداری رسیده و خطوط ۲ و۳ در حال حفاری هستند (معاونت حمل‌ونقل شهرداری اصفهان، ۱۳۹۹). تجربه ساخت و بهره‌برداری از خط یک قطار شهری اصفهان می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای اقدامات بعدی در مکان‌یابی، احداث و بهره‌برداری از ایستگاه‌های خطوط دیگر این شهر باشد. به نظر می‌رسد در اجرای خط ۱ ترکیبی از اولویت‌های تحقق‌پذیری طرح، هزینه‌های مالی، مسائل میراثی، سرعت اجرا و آینده‌نگری توسعه شهر در مکان‌یابی ایستگاه‌ها و شکل ساخت آن‌ها مؤثر بوده است و

متاسفانه از ابتدای پروژه یک برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مدون و مشخص در این زمینه وجود نداشته است (معاونت برنامه‌ریزی و توسعه منابع انسانی، ۱٤۰۰).

اما اهمیت برنامه‌ریزی توسعه فضاهای اطراف ایستگاه‌ها قبل از ساخت و بهره‌برداری از ایستگاه‌های مترو و توجه به رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمدتاً بعد از بهره‌برداری از ایستگاه‌های خط ۱ برای تصمیم‌گیران روشن گردید؛ زیرا برخی ایستگاه‌های مترو علی‌رغم هزینه‌های بالای احداث به اعداد پیش‌بینی‌شده برای جذب مسافر نرسید و درعین‌حال امکان مداخله برای تغییر کاربری، تراکم، تغییر قطعات و یا استفاده از ظرفیت زمین‌های اطراف ایستگاه برای شهرداری وجود نداشت. اطراف برخی ایستگاه‌ها زمین‌های تفکیک نشده کشاورزی واقع‌شده که مالکان حاضر به فروش آن نشدند و اطراف برخی دیگر خرده‌مالکان صرفاً به فکر ساخت خانه‌های یک یا دو طبقه بودند. به همین منظور برای اصلاح ساختار برنامه‌ریزی خطوط مترو با رویکرد توسعه حمل‌ونقل‌محور ضرورت دارد که قبل از اجرای خطوط مترو، مطالعه‌ای برای برنامه‌ریزی محدوده مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور انجام شود.

۳. یافته‌ها

رویکرد توسعه شهری بر اساس حمل‌ونقل عمومی بدون وابستگی به خودرو شخصی است. این رویکرد می‌تواند به صورت یک شبکه در سراسر شهر گسترش یابد و به افراد امکان دسترسی به محل کار، زندگی، تفریح و دیگر نقاط شهر را با هزینه کم و امن فراهم کند. این اقدام به معنای فراهم کردن عدالت فضایی و دسترسی برابر برای شهروندان است. اصول هشتگانه توسعه حمل‌ونقل شامل حمل‌ونقل همگانی، تغییر نگرش در طراحی، فشردگی، تراکم، اختلاط، اتصال، قابلیت دوچرخه سواری و قابلیت پیاده‌روی است. از این روی ایستگاه‌های موجود در خطوط مترو شماره ۳ و ۲ در ابتدا با توجه به اصول توسعه حمل‌ونقل‌محور آسیب شناسی شده‌اند. همان‌گونه که در جدول (۱) مشخص‌شده است، هر یک از ایستگاه‌ها تعدادی از استانداردها را دارد. در برخی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه‌های ۲/٦ تا ۲/۱٤ (ایستگاه‌های خلجا، میدام امام حسین، آمادگاه، میدان نقش جهان، ابن سینا و ...) که در محدوده مرکزی شهر مستقر شده‌اند، بیشترین میزان دسترسی به حمل‌ونقل همگانی، بیشترین ارتباطات گونه‌های مختلف حمل‌ونقل و پیاده محوری وجود دارد. فشردگی و تراکم در این محدوده‌ها بیشتر است. در ایستگاه‌هایی که در حاشیه شهر مستقر شده‌اند، بیشترین میزان دوچرخه‌سواری و توسعه متراکم امکان پذیر است.

جدول ۱. آسیب شناسی ایستگاه‌های خط ۲ و ۳ مترو اصفهان

ایستگاه/خط	حمل‌ونقل عمومی	پیاده محوری	دوچرخه محوری	انتقال حرکت	اختلاط	اتصالات	تراکم	فشردگی
۲/۱	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓
۲/۲	×	✓	✓	×	×	×	✓	✓
۲/۳	×	✓	✓	×	×	×	✓	×

فشردگی	تراکم	اتصالات	اختلاط	انتقال حرکت	دوچرخه محوری	پیاده محوری	حمل‌ونقل عمومی	ایستگاه/خط
✓	×	×	×	×	×	×	×	۲/٤
×	×	×	×	×	×	×	✓	۲/۵
×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	۲/٦
×	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۷
✓	×	✓	×	×	✓	✓	✓	۲/۸
×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	۲/۹
×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	۲/۱۰
×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	۲/۱۱
✓	×	✓	✓	✓	×	×	✓	۲/۱۲
×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۱۳
×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۱٤
×	×	×	×	✓	×	✓	✓	۲/۱۵
×	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۱٦
×	×	×	×	×	×	✓	✓	۲/۱۷
×	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۱۸
✓	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	۲/۱۹
×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	۳/۱
×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	۳/۲
×	✓	×	×	✓	×	×	✓	۳/۳
✓	✓	×	×	×	✓	✓	×	۳/٤
✓	✓	✓	×	×	×	✓	×	۳/۵

مأخذ: (نگارندگان بر اساس گزارش ارزیابی طرح توسعه مترو اصفهان، ۱۳۹۷)

بررسی اسناد موجود و طرح‌های مطالعاتی خطوط مترو اصفهان نشان می‌دهد که در طرح جامع شهر، مباحث حمل‌ونقل همگانی به‌درستی دیده نشده است. این در حالی است که برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌تواند با بازدهی مطلوب زیرساخت‌های شهر را تقویت کرده و عدالت فضایی فراهم کند. به عنوان مثال در برنامه احداث خطوط مترو، برای بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت ارتفاعی زمین محدوده ایستگاه‌ها، برنامه‌ریزی منسجمی وجود نداشته است. در ایستگاه‌های به دور از مرکز شهر می‌توانست برنامه‌ریزی بهتری صورت گیرد تا با ایجاد واحدهای تجاری بیشتر، شهرداری عوارض بیشتری گرفته و همچنین سرمایه‌گذار جذب کند، اما محقق نشده است (معاونت حمل‌ونقل شهرداری اصفهان، ۱۳۹۷). برخی ایستگاه‌ها به لحاظ وجود زمین‌های بایر فرصت خوبی برای توسعه خدمات دارد.

شهرداری می‌تواند با اعمال سیاست‌هایی از خرد شدن زمین‌های اطراف جلوگیری کند و با تأمین اختلاط کاربری در زمین‌های دانه‌درشت و تراکم بهینه، نیازهای محدوده توسعه حمل‌ونقل‌محور را تأمین کند.

در مرحله تحلیل داده‌ها بررسی مطالعات نظری، تجارب جهانی و نظرسنجی از مدیران و متخصصان، فهرستی از سنجه‌ها برای شناسایی اصول توسعه حمل‌ونقل محور در شهر اصفهان استخراج شد. هر یک از اصول با تعدادی سنجه مورد سنجش قرار گرفت تا در الگوریتم اولویت‌بندی بتواند، نقاط مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور در شهر را معرفی کند. سنجه‌های مورد نظر از سوی مدیران و متخصصان وزن‌بندی شده که در جدول شماره (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. شاخص‌های تعریف شده و وزن‌بندی از سوی مدیران و متخصصان

اصول	سنجه‌ها	متخصصان	مدیران
تراکم	تراکم ساختمانی	۱۶/۷	۱۷
	نرخ رشد	٤/٥	٦
اختلاط	اختلاط کاربری	۷	٦
	قیمت زمین	۲/۷	۸/۳
	تنوع مالکیت زمین	٥/۳	۲
انتقال حرکت	قطب‌های عملکرد اساسی	٥/۳	٦
	قطب‌های عملکرد گردشگری	۳/۷	٥/٥
حمل‌ونقل عمومی	تعداد خطوط و مسافران خطوط مترو	۷/۷	٥
	تعداد خطوط و مسافران خطوط بی ار تی	٥/۲	٥
	تعداد خطوط و مسافران خطوط اتوبوس	۸/۲	٥
	تعداد خطوط و مسافران خطوط تاکسی	۳/۱	۲/٥
فشردگی	بافت فرسوده	٥/۲	۳
	اراضی بایر	٦/۳	۳
پیاده‌محوری	تعداد تقاطع‌ها	۸/۸	۳
	حجم مسافران عبوری	۳/۳	٥
اتصال	دانه‌بندی و نفوذ پذیری	۲	۲/۲
	تعداد بلوک‌های شهری	۳/۸	۳/۳
دوچرخه‌محوری	امنیت و ایمنی	٤/٥	٦
	طول مسیر دوچرخه	۳	۳
جمع		۱۰۰	۱۰۰

از نگاه مدیران وجود تراکم ساختمانی، پایین بودن قیمت زمین، وجود قطب‌های عملکردی خدماتی و گردشگری از مهمترین مؤلفه‌های تحقق توسعه شهری حمل‌ونقل محور بوده است و تعداد خطوط/مسافران خطوط تاکسی،

وضعیت دانه‌بندی و نفوذ پذیری، تنوع مالکیتی و طول مسیر دوچرخه کمترین اثر را در امکان توسعه حمل‌ونقل‌محور دارد. این در حالی است که متخصصان نیز تراکم ساختمانی، تعداد تقاطع‌ها، تعداد خطوط مترو را مهمترین مؤلفه در تحقق این نوع توسعه دانسته‌اند. به عبارتی وجود تقاطع‌های حرکتی و خطوط حمل‌ونقل همگانی اساس ایجاد چنین توسعه‌ای بوده است. اما برای مدیران وجود قطب‌های عملکردی در اراضی ارزان قیمت برای تحقق این توسعه کفایت می‌کند.

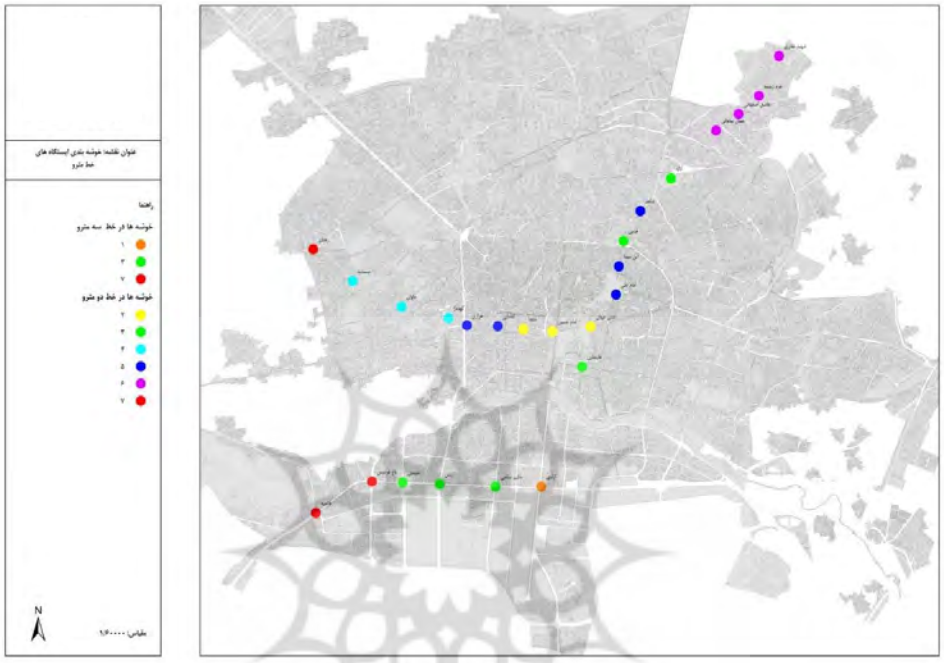
به منظور اولویت‌بندی نقاط مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور داده‌های متناظر با هر یک از شاخص‌ها از موقعیت مکانی و فضایی ایستگاه‌ها استخراج شده و در جدول وارد شده تا وزن‌بندی در آن‌ها اعمال شود. ازآنجایی‌که اعداد حاصل طیف متنوعی دارند و برخی به‌صورت تعداد عارضه بوده و یا برخی نسب عددی، برای نرمال‌کردن داده‌ها، هر عدد بر میانگین ردیف خودش تقسیم شده تا داده‌های نرمال در یک طیف عددی به دست آید(در چند مورد مانند تراکم هر داده بر میانگین همین ردیف تقسیم شده اما در تغییرات نرخ رشد بر داده‌ها به‌جای میانگین بر ماکزیمم تقسیم شدند. در قیمت زمین نیز چون بازه بالاترین قیمت و پایین‌ترین قیمت در بررسی شاخص اثر مثبت داشته، ابتدا میانگین عددی گرفته شده و سپس عدد هر ایستگاه از میانگین کم شده و عبارت قدر مطلق آن در جدول نوشته شده تا تنها قسمت‌هایی که قیمت بالاتر یا پایین‌تر از میانگین بوده اثرگذار باشند. در شاخص امکان تملک آسان به دلیل منفی بودن اثر شاخص بر تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور اعداد در منفی ضرب شده تا شاخص اثر منفی خودش را بگذارد). در مرحله بعد تمام ضرایب در اعداد نرمال شده متناظر ضرب شده‌اند. در جدول شماره (۳) اولویت ایستگاه‌ها متناظر با خروجی ضرایب در خطوط ۲ و۳ مترو نشان داده شده است.

جدول ۳. اولویت‌بندی نقاط مستعد توسعه حمل‌ونقل محور در خطوط مترو شهر اصفهان

اولویت	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
امتیاز	۱/۰٦	۱/۰٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۱	۰/۸٦	۰/۸٦	۰/۸۱	۰/۸	۰/۷٥
خط/ ایستگاه	۲/۸	۲/۱۱	۳/۱	۲/۱۰	۲/٤	۲/۱٥	۲/۱	۲/۹	۲/۱٤	۳/٤
اولویت	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
امتیاز	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/٦۹	۰/٦۸	۰/٦۷	۰/٦٥	۰/٦۳	۰/٦۳	۰/٦۲
خط/ ایستگاه	۲/۱۹	۲/٥	۲/۱۷	۳/۲	۲/۱۲	۲/۷	۲/۱٦	۲/۱	۲/۱۸	۲/۲

در گام بعدی الگوریتم پیشنهادی، وظیفه مشخص کردن دسته نقاط ایستگاهی مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور را خواهد داشت، در این مرحله ورودی‌ها شامل: ماتریس خروجی از گام اول و همچنین اطلاعات موردنیاز مستخرج شده از آمار، نقشه‌ها، مطالعات، طرح‌ها و ... به تفکیک هر ایستگاه است، این ورودی‌ها را می‌توان به‌صورت مستقل وارد نرم‌افزار کرد و یا بر اساس تحلیل‌های مکانی در عملیات محاسباتی الگوریتم برنامه‌ریزی شود، در این صورت ورودی موردنیاز نقشه‌ها و اطلاعات زمین خواهد بود. در ادامه داده‌های استخراج شده از اطلاعات مکانی در نرم

افزار Experts Choice وارد شـــده تـا خوشـــه‌هـای همگن برای ارائـه رویکرد و محتوای برنـامـه‌ریزی توســـعـه حمل‌ونقل‌محور در نقاط مسـتعد در ایسـتگاه‌های مترو شـهر اصـفهان معرفی شـوند. در شـکل شـماره ٤ دسـته‌بندی خوشه‌های پیشنهادی، ارائه شده است.



شکل ۲. خوشه بندی محدوده ایستگاه‌های مترو اصفهان

مطابق با شـکل شـماره (٤) محدوده‌های ایسـتگاهی که ویژگی‌های مکانی و فضـایی مشـترکی داشـته‌اند در یک خوشـه قرار گرفته‌اند و متناسـب با خروجی هر خوشـه امکان ارائه رویکرد پیشـنهادی برای آنها به‌وجود آمده اسـت. به عبارتی محدوده‌های ایسـتگاهی که در ورودی شـهر بودند در یک خوشـه پیشـنهاد شـده‌اند. پهنه ایسـتگاه‌های قائمیه، رهنان و باغ فردوس از هر دو خط ۲ و۳ توسعه ورودی شهر را به وجود آورده‌اند. ایستگاه‌های حکیم نظامی، ارتش، سـیمین با وجود اشـتراکات فراوان با ایسـتگاه فلسـطین و لاله از تراکم بالای حجم حرکت برخوردار بوده و در یک گروه پیشـنهاد شـده‌اند. همچنین پهنه ایسـتگاه‌های مرکز شـهر مانند خلجا، میدان امام حسـین و نقش جهان نیز محتوای برنامه‌ریزی مشـابهی را در خوشـه همگن خود فراهم می‌کنند. در جدول شـماره (٤) اطلاعات جزئیات خوشـه‌های پیشنهادی به تفکیک ارائه شده است.

جدول ٤. اطلاعات جزئیات خوشه‌ها

خطوط مترو	خطوط بی ار تی	خطوط اتوبوس	خطوط تاکسی	خطوط و مسافر اتوبوس	خطوط دوچرخه	تعداد تقاطع ها	حجم ترافیک	نرخ رشد	ایمنی و امنیت	قیمت زمین	خوشه
۲	۲	٦	۷	١٦٠٦٩٨	١٢٧٧	۸۷	٢٥٨٧	٣٨	٣	١٠	١
١/٣	٠/٣	٥	٢	٥٧٥٩٤	١٥٢٣	٢٠٥	٣١٨١	٠/٥	٢/٦	٤/٣	٢
١	٢	٤٨	٢/٨	٩٤٠٠٩	١٦٠٨	١٩٩	٣٦٨٩	-٠/٢٥	١/٣	٥/٤	٣
١/٣	٠	٣	٠/٦	٨٢٢٣	١٢٣٤	١٥٦	١٢٥٦	٢٨	١/٦	٢/٣	٤
١	١/٢	٥/٤	٢	٦٢٦٦٣	١٣٩٠	٢٦٠	٢٥٦٩	-٠/٠١	٢/٤	٤/٤	٥
١	١/٢٥	٣/٥	٠/٧٥	٢٦٠٦٥	٩٩٨	١٧٤	١٥٦٩	-٠/٧	٢/٥	٢/٥	٦
١/٣	٠/٦	٢/٦	١	٤٣٠٤٤	١٤٥١	٢١٠	٢٤٤٨	-٢/٢	٢/٦	٤	٧

ادامه جدول ٤

تعداد طبقه	اختلاط کاربری	قطب عملکرد های اساسی	قطب گردشگری	مالکیت عمومی	اراضی بایر	مساحت زمین	قدمت بنا	بافت فرسوده	خوشه
٢/٥	١١	١/٣	٠/١٩	٨١	٠	٥٣١	١	٠	١
٢/٣	١٦	٧.٣	٣١	١٨	٠	٣١٥	١	١٠٩٤٤٥	٢
٢/٧	١٤	٢٧	٠/١٥	٣٣	٠	٢٢٤	١	٤٢٩٥١	٣
٢/٢	١٢	١٤	٠/١٩	١٧	٢٥/٦	٤٠٥	١.٣	٢٢٠١٨	٤
٢/٦	١٥	١٠	١٠	١٣	٠/٤	٢٣٢	٢	٢٢٤٠٢٩	٥
٣/٥	١٤	١٥	٠/٠١	١٨	٣/٦	١٥٢	٢	٢١٦٤٩٣	٦
٢/٥	١٢	٢١	٠/٦	٢٧	٠/١٢	٢٦٢	١	٤٦٢٦١	٧

باتوجه به محتوای اطلاعات فضایی و مکانی در هر یک از خوشه‌ها امکان برنامه‌ریزی و پیشنهاد رویکرد برای هر گروه فراهم شده است. جدول شماره (۵) محتوای برنامه‌ریزی و رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌های همگن را نشان می‌دهد.

جدول ۵. محتوای برنامه‌ریزی و رویکرد پیشنهادی برای خوشه‌های همگن

انواع سطوح عملکردی	انواع توسعه حمل‌ونقل‌محور	خوشه‌ها	ایستگاه‌ها	رویکرد پیشنهادی
شهر	مرکز شهر	۱	آزادی	درآمدزایی
		۲	خلجا- نقش‌جهان	بازآفرینی
			امام حسین	روان‌سازی
	مرکز منطقه	۳	قدس- فلسطین-حکیم نظامی- ارتش	روان‌سازی

انواع سطوح عملکردی	انواع توسعه حمل‌ونقل‌محور	خوشه‌ها	ایستگاه‌ها	رویکرد پیشنهادی
			لاله، سیمین	محرک توسعه
کریدور	کریدوری	٤	صمدیه- جاوان- کهندژ	تزریق خدمات
	کریدوری	٥	- کاشانی- ابن‌سینا- امام علی	بازآفرینی
			خرازی، شاهد	محرک توسعه
	حاشیه شهر	٦	عمان سامانی-عاشق اصفهانی- حرم- دارک	محرک توسعه
ایستگاه	ورودی شهر	خوشه ۷	رهنان- قائمیه- باغ فردوس	تزریق خدمات

مطابق با جدول شماره ۵ در پهنه ایستگاه‌های مرکز شهر که در سطح عملکردی شهر مقیاس دارند، در ایستگاه آزادی به دلیل بالابودن قیمت زمین رویکرد درآمدزایی پیشنهاد می‌شود؛ در ایستگاه‌های خلجا و نقش جهان ضرورت دارد رویکرد بازآفرینی شهری مورد توجه قرار گیرد و در ایستگاه میدان امام حسین نیز روان‌سازی عملکردی و حرکتی پیشنهاد شده است. در خوشه ایستگاه‌های منطقه‌ای متناسب با مکان ایستگاه‌ها، روانسازی حرکتی و ایجاد بسترهای محرک توسعه پیشنهاد شده است. به عبارتی در ایستگاه‌های لاله و سیمین که حجم تردد و تراکم جمعیتی بالاست، ضرورت دارد طرح محرک توسعه بستری برای بهره‌گیری از امکانات در مجاورت با حمل‌ونقل همگانی فراهم کند. در خوشه ایستگاه‌های کریدوری به دلیل اهمیت ارتباط و شبکه‌سازی مسیر حرکت افراد میان ایستگاه‌های مختلف ضرورت دارد با امکان تزریق خدمات، بازآفرینی شهری و محرک توسعه اتصال و تکامل شبکه برقرار شود. در خوشه‌ی حاشیه شهر به دلیل فقدان خدمات و قطب‌های عملکردی نیاز است که طرح‌های محرک توسعه پیشنهاد شود. در خوشه ورودی شهر نیز در خطوط ۲ و۳ ؛ تزریق خدمات می‌تواند شبکه توسعه حمل‌ونقل محور در خطوط مترو را ارتقا دهد و تکمیل کند.

٤. بحث

رویکرد توسعه حمل‌ونقل‌محور با توجه به اصول هشتگانه شامل حمل ونقل همگانی، تغییر نگرش در طراحی، فشردگی، تراکم، اختلاط، اتصال، قابلیت دوچرخه‌سواری و قابلیت پیاده‌روی می‌تواند با ضرایب اهمیت مختلف متناسب با بستر مورد مطالعه برنامه‌ریزی و طراحی شود.

در بررسی تحقیق‌های پیشین در بعد مکان‌یابی، ون[1] و همکاران (۲۰۱۷) در آمریکای شمالی (کانادا) مطالعه‌ای را برای شناسایی محدوده‌های مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور انجام دادند و شاخص‌های زیر معرفی کردند: تمرکز بر حمل‌ونقل عمومی، افزایش فرصت دسترسی به عملکردهای گوناگون در یک محدود حمل‌ونقل، کاهش هزینه ساکنان منطقه برای استفاده از امکانات و خدمات و کاهش تمرکز در جابه‌جایی بین منطقه‌ای. این شاخص‌ها به

1. Van

صورت موضعی پیشنهاداتی را برای ایجاد بستر توسعه حمل‌ونقل محور ارائه داده‌اند. اما نتایج این تحقیق برای شبکه سازی این توسعه‌ها در شهر پیشنهادی ارائه نکرده است. همچنین در مطالعات برای اروپا (هلند) نیز شاخص‌هایی مانند تمرکز بر بهبود فضای شهری، ایجاد پارکینگ‌های کارآمد و امن برای خودروهای شخصی، تاکسی‌ها و دوچرخه در مجاورت ایستگاه‌های ریلی، تمرکز بر تقویت شبکه حمل‌ونقل عمومی با افزایش تعداد ناوگان و کاهش سرفاصله‌های زمانی، کاهش زمان سفر بین نقاط محدوده توسعه حمل‌ونقل‌محور در مقیاس بین مناطق از اصلی ترین شاخص‌های تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور در شهر در نظر گرفته شده است(ون و همکاران، ۲۰۱۷.ص ۵۰-۵۵). در این تحقیق نیز صرفاً به تبیین و شناسایی شاخص‌ها پرداخته شده است اما اطلاعات و داده‌های مکانی و زمینه‌ای برای منطقه خاصی بررسی نشده است و مقایسه‌ای در میان نقاط مستعد شهر انجام نپذیرفته است.

همچنین در مرور تحقیقات در بعد طراحی در منطقه کولون در هنگ‌کنگ محدوده مجاور با حمل‌ونقل عمومی به عنوان هسته اصلی توسعه شناسایی شد که تا حد امکان منطقه‌ای فشرده با تراکم بالا برای پاسخ‌دهی به نیازهای مردم ایجاد شود. در تمام خیابان‌های اصلی راه‌های عابر پیاده شناسایی و ایمن‌سازی شد تا امکان حمل‌ونقل پویا (پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری) در مجاورت ایستگاه حمل‌ونقل همگانی فراهم شود اما در این تحقیق به جزئیات شاخص‌ها و مؤلفه‌هایی که مد نظر قرار گرفته اشاره‌ای نشده است. همچنین در تحقیقی در منطقه سلطان احمد استامبول نیز پس از شناسایی محدوده به عنوان فرصتی برای تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور؛ شبکه جاده‌ها، خیابان‌ها و راه‌های عابر پیاده به‌گونه‌ای طراحی‌شده‌اند که جابجایی افراد پیاده بدون هیچ وسیله نقلیه به‌راحتی و با اطمینان ممکن باشد. اما این تحقیق مؤلفه‌های چندوجهی و متنوعی که بتواند پاسخگوی رویکرد طراحی برای توسعه حمل‌ونقل‌محور باشد را ارائه نمی‌دهد. به عبارتی اصولی برای مکان‌یابی و طراحی در تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور در مجاورت با ایستگاه‌های مترو پیشنهاد نمی‌دهد. در تحقیق پیش‌رو تلاش شده است که اصول و مؤلفه‌های مکان‌یابی و طراحی برای توسعه حمل‌ونقل‌محور ارائه شود و نقاط مختلف در خطوط مترو با توجه به اطلاعات زمینه‌ای بررسی و مقایسه گردد. در این مقایسه از نظر مدیران، کارشناسان و متخصصان بومی بهره‌برده شده و صرفاً به استانداردهای جهانی اکتفا نشده و تلاش شده است که شاخص‌ها بومی‌سازی شود. هم‌چنین با خوشه‌بندی داده‌های نقاط مستعد در خطوط مترو، پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاری کلان در مقیاس شهر ارائه شد.

نتایج تحقیق نشان داد که با توجه به نظرسنجی مدیران و متخصصان؛ سنجه‌های تراکم ساختمان، نرخ رشد جمعیت، تعداد تقاطع‌های پیاده و سواره، اختلاط کاربری، تعداد خطوط و مسافران مترو، وجود اراضی بایر، وجود قطب‌های خدمات اساسی و اختلاط قیمت زمین بیشترین ضریب را باید در الگوریتم وزن‌دهی نقاط مستعد توسعه حمل‌ونقل‌محور داشته باشند. از سوی دیگر محدوده‌هایی که داده‌های مکانی آنها در سنجه‌ها، همگن بوده‌اند در یک خوشه دسته‌بندی شده‌اند که محتوای برنامه‌ریزی مشابهی را ایجاد می‌کنند. همانطور که در مبانی نظری مطرح شد، برنامه‌ریزی و طراحی توسعه حمل‌ونقل‌محور در سه سطح قابل سیاست‌گذاری است. محدوده‌هایی که در مرکز شهر قرار گرفته‌اند به دلیل ویژگی‌های تراکمی و جمعیتی و اختلاط در یک خوشه همگن دسته‌بندی می‌شوند. ایستگاه‌های

ورودی شهر، یک دسته همگن را ایجاد می‌کنند. همچنین ایستگاه‌هایی که در یک کریدور به لحاظ مکانی و فضایی داده‌های مشابهی دارند در یک خوشه مستقل معرفی شده‌اند. در این پژوهش در شهر اصفهان نیز باتوجه به ویژگی‌های مکانی و زمینه‌ای، سطوح عملکرد خوشه‌ها در سه دسته شهر، کریدور و ایستگاهی تعیین شده‌اند. خوشه‌های ۱، ۲ و۳ در مقیاس عملکردی شهر در دو نوع توسعه حمل‌ونقل‌محور مرکز شهر و مرکز منطقه‌ای تعریف شده‌اند. خوشه‌های ٤ ، ٥ و ٦ در مقیاس عملکردی کریدوری باید برای نوع توسعه حمل‌ونقل‌محور؛ محوری در داخل شهر و ورودی شهر برنامه‌ریزی شوند. خوشه ۷ نیز در مقیاس عملکردی ایستگاه، باید نقطه ورودی برای شهر ایجاد کنند.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد تا تعریف رویکرد حمل‌ونقل‌محور از نگاه صرفاً نقطه‌ای و ایستگاهی در محدوده ایستگاه‌های مترو به انواع توسعه پهنه‌ای، خطی و نقطه‌ای در مقیاس‌های عملکردی مختلف در شهر تغییر کند. برای شناسایی نقاط مستعد برنامه‌ریزی توسعه حمل‌ونقل‌محور ضرورت دارد که مؤلفه‌های مکانی و زمینه‌ای در ابعاد مختلف انواع حمل‌ونقل همگانی؛ تراکم ساختمانی و جمعیتی؛ اختلاط کاربری، جمعیتی و اقتصادی؛ فشردگی و طراحی میان افزا، بهبود اتصالات حرکتی، تغییر نگرش در طراحی؛ قابلیت دوچرخه سواری و قابلیت پیاده‌روی مورد توجه قرار گیرد. در تحقیق حاضر نقاط مختلف در خطوط مترو اصفهان با نظر کارشناسان و متخصصان بومی ارزیابی شد و با ارائه الگوریتم رتبه‌بندی، مناطق مستعد توسعه حمل‌ونقل محور معرفی شدند. ایستگاه‌های دروازه دولت، میدان عتیق و میدان آزادی بیشترین امتیاز را برای تحقق توسعه حمل‌ونقل‌محور دارند و در ۷ خوشه پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاری کلان در مقیاس شهر ارائه شد.

در این خوشه‌بندی ۷ نقطه همگن در خطوط مترو ۲ و ۳ به دست آمد. در خوشه شماره ۱ به دلیل بالابودن قیمت زمین و تراکم بالای ساختمانی برنامه‌ریزی با هدف درآمدزایی پیشنهاد شده است. در خوشه ۲ ایستگاه‌های مرکزشهر با حجم بالایی از خطوط حمل‌ونقل عمومی و اختلاط کاربری همراه هستند که نیاز به بازآفرینی شهری در این محدوده‌ها وجود دارد. به دلیل تنوع خدمات و حجم بالای خطوط حمل‌ونقل عمومی، خوشه ۳ نیاز به بهبود اتصال و محرک توسعه میان‌افزا دارد. خوشه ٤ دارای تراکم جمعیت بالا و بیشترین اراضی بایر است اما فاقد خدمات اولیه است و تزریق خدمات در این منطقه ضروری است. در خوشه ٥، به دلیل بافت فرسوده شهری و تراکم خطوط حمل‌ونقل عمومی، ایجاد محرک توسعه برای توسعه و بازآفرینی شهری پیشنهاد شده است. در خوشه ٦، به دلیل تراکم پایین ساختمانی و جمعیتی و وجود اراضی بایر، پروژه‌های محرک توسعه مورد نیاز است. در خوشه ۷ پیشنهاد می‌شود که خدمات عمومی در ورودی‌های شهر تزریق شود. به نظر می‌رسد اگر بتوان در مطالعات آتی سوال تحقیق را برای کل شهر اصفهان توسعه داد، می‌توان از داده‌های زمینه‌ای برای کل شهر استفاده کرد و نقاط مستعد توسعه

حمل‌ونقل‌محور را نه صرفاً با محوریت خطوط مترو بلکه با دید کلان، نسبت به تمام انواع شبکه حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد داد.

تقدیر و تشکر

باتشکر از معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان که امکان استفاده از داده‌های « طرح مطالعات شناسایی و اولویت‌بندی TOD های خطوط ۲ و۳ مترو اصفهان» را برای پژوهشگران فراهم کرده است.

کتاب‌نامه

۱. شورای عالی شهرسازی و معماری ایران. (۱۳۹۷). *راهنمای ملی توسعه مبتنی بر حمل ونقل همگانی*. تهران: نشر شهرداری‌ها.

۲. شکوهی،م.، مافی، ع.، و عبادی نیا، ف. (۱۳۹۳). نقش شبکهٔ ریلی درون شهری در چشم انداز بوم شناختی و اقتصادی حمل‌ونقل شهر مشهد. *نشریه جغرافیا و توسعه فضای شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱*(۲)، ۱۱۷-۱۲۸

۳. قربانی، ر.، و ترکمن نیا، ن. (۱۳۹٤)، بررسی تطبیقی نقش کاربری ترکیبی بر تولید سفر در محلات شهری (محله چهنو و کارمندان منطقه ٦ مشهد). *نشریه جغرافیا و توسعه فضای شهری، ۱*(۲)، ۸۱-۹۲.

۴. معاونت حمل‌ونقل شهرداری اصفهان. (۱۳۹۷). *گزارش ارزیابی طرح توسعه مترو اصفهان، گزارش سالیانه شهرداری اصفهان*. اصفهان: شهرداری اصفهان.

۵. معاونت حمل‌ونقل شهرداری اصفهان. (۱۳۹۹). *ارزیابی عملکرد خطوط مترو اصفهان، گزارش سالیانه شهرداری اصفهان*. اصفهان: شهرداری اصفهان.

۶. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه منابع انسانی. (۱٤۰۰). *بازنگری در طرح‌های حمل‌ونقل محور، گزارش سالیانه شهرداری اصفهان*. اصفهان: شهرداری اصفهان.

7. Calthorpe, P. (1993). *The next American metropolis: Ecology, community and the American dream*. New York: Princeton Architectural Press,.
8. Carlton, I. (2009). *Histories of transit-oriented development: perspectives on the development of the TOD concept*. Berkeley: University of California.
9. Cervero, R. (1993). Transit-Supportive Development in the United States: Experiences and Prospects. *University of California at Berkeley*, (7), 234-294
10. Cervero, K. K. (1997). Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design, Transport. *Transport Environment journal*, (2), 199-219.
11. Chen, M., Yazdani, M., Mojtahedi, S., & Newton, s. (2019). The impact on neighbourhood residential property valuations of a newly proposed public transport project: The Sydney Northwest Metro case study Transp. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, (3), 100070.
12. Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the built environment: a meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, *76* (2), 265-294.

13. Gallivan, F., Rose, E., Ewing, R., Hamidi, & S., Brown, T. (2015). *Quantifying Transit's Impact on GHG Emissions and Energy Use* - The Land Use Component, Transit Cooperative Research Program, Report (176).
14. Handayeni, K.D.M.E. (2014). TOD Best Practice: Lesson Learned for GHG Mitigation on Transportation Sector in Surabaya City, Indonesia. *Procedia-Social and Behavioral Science*, (135), 152-158.
15. Holz-Rau, J.S. (2019). Land-use and transport planning—a field of complex cause-impact relationships. Thoughts on transport growth, greenhouse gas emissions and the built environment, *Transport Policy*, (74), 127-137
16. Jamme, H.T., Rodriguez, J., Bahl, D., & Banerjee, T. (2019). A twenty-five-year biography of the TOD concept: from design to policy, planning, and implementation. *Journal of Planning Education and Research*, *39*(4), 409-428.
17. Kamruzzaman, M., Baker, D., Washington, S., & Turrell, G. (2016). Determinants of residential dissonance: implications for transit-oriented development in Brisbane, *International Journal of Sustainable Transportation*, (10), 960-974.
18. Knowles, R.D. (1992). *Light rail transport. In: Whitelegg, J. (Ed.), Traffic Congestion: Is There a Way Out?* Hawes: Leading Edge Press.
19. Knowles, R.D. (2012). Transit oriented development in Copenhagen, Denmark, Ørestad. *Journal of Transport Geography*, *22*(C), 251-261
20. Knowles, R.D., & Fiona, F. (2019). *Transit Oriented Development and Sustainable Cities: Economics, Community and Methods*. Oxford: Elgar pub, University of Oxford.
21. Knowles, R.D., Ferbrache, F. (2015). Evaluation of wider economic impacts of light rail investment on cities. *Journal of Transport Geography*, 54(C), 430-439.
22. Lang, W., Hui, E.C.M., Chen, T., & Li, X. (2020). Understanding livable dense urban form for social activities in transit-oriented development through human-scale measurements, *Habitat International*, 104.
23. Liu, L., Zhang, M., & Xu, T. (2020). A conceptual framework and implementation tool for land use planning for corridor transit-oriented development. *Cities*, *107*, 102939.
24. Parker, T., & Mayer, D. (2007). *California transit-oriented development (TOD) searchable database*. California: California Department of Transportation.
25. Pritchard, Y. Frøyen, (2019). Location, location, relocation: how the relocation of offices from suburbs to the inner-city impacts commuting on foot and by bike. *European Transport Research Review*, *11*(14), 1-20.
26. Purwantiasning, A., & Saeful, B. (2019). Understanding the TOD Concept of Historical Areas Through Precedent Studies. Amsterdam: International conference on advanced research in applied science and engineering.
27. Renne, J.L., Hamidi, Sh., & Ewing, R. (2016). Transit commuting, the network accessibility effect, and the built environment in station areas across the United States. *Research in Transportation Economics*, (60), 35-43
28. Stevens, M., (2017). Does compact development make people drive less? *Journal of the American Planning Association*, (83). 7-18
29. Van, L., Dea, K. M., & El-Geneidy, A. (2017),Talking TOD: learning about transit-oriented development in the United States, Canada, and the Netherlands. *Journal of Urbanism:*

International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 10(1), 49-62.

30. Yang, J. Cao, J., & Zhou, Y. (2021). Elaborating non-linear associations and synergies of subway access and land uses with urban vitality in Shenzhen. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier, 144*(C), 74-88.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی