نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۸

Vol.7, No.1, Spring 2019

۳۷-۵٤

مقاله پژوهشی

ارائه شاخص توسعه حمل و نقل محور در مناطق شهری از طریق آنالیزهای مکانی و سیستم استنتاج فازی

حمید مطیعیان[1*]، محمد سعدی مسگری[2]، محمد اصلانی[1]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی نقشه برداری – گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۵/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۰

چکیده

دنیای امروزی با مسائلی همچون شهرنشینی و گسترش شهرها مواجه است که این مسائل نیازمند برنامه ریزی مخصوص به خود می‌باشند. برنامه‌ریزی توسعه حمل و نقل محور به عنوان یک برنامه ریزی قابل اجرا و کارامد تلاش می‌کند تا برنامه ریزی یکپارچه‌ای بین کاربری زمین و حمل و نقل ایجاد نماید. در این تحقیق، برنامه ریزی توسعه حمل و نقل محور در سطح منطقه‌ای انجام گرفته است به‌طوری‌که یک شاخص مکانی ارائه شده است که سطح توسعه حمل و نقل محور را در محله‌های یکی از مناطق مرکزی شهر تهران اندازه‌گیری کند. این شاخص شامل چندین معیار و نشانگر می‌باشد. هر نشانگر توسط تحلیل‌های مکانی و در فضای برداری ارزیابی می‌گردد و سپس این نشانگرها توسط سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی ترکیب می‌گردند. از آنجا که داده‌های مورد استفاده در تحقیق مربوط به سال ۱۳۸۴ می‌باشد، خروجی مدل با فعالیت‌های انجام شده بین سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۶ ارزیابی می‌گردد. نتایج این ارزیابی قدرت برنامه‌ریزی توسعه حمل و نقل محور در شناسایی محله‌های نیازمند توسعه و ارتقا را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کاربری زمین؛ حمل و نقل؛ توسعه حمل و نقل محور؛ تحلیل مکانی؛ سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی

* نویسنده مکاتبه کننده: : تهران- خیابان ولیعصر- تقاطع میرداماد غربی- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک

تلفن: ۰۹۱۲۲۴۰۵۵۱۲

Email: h.motieyan@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

۱- مقدمه

در دنیای امروزی به دلیل افزایش تمایل به شهرنشینی، تعداد شهرها و وسعت آن‌ها رشد چشمگیری داشته است. این موضوع باعث پدیدار شدن مشکلاتی چون رشد نامنظم شهری، استفاده ناکارآمد از زیرساخت‌ها و منابع شهری شده است [۱]. این مشکلات خود سبب افزایش استفاده از خودروهای شخصی در عوض استفاده از حمل‌ونقل عمومی می‌شود که می‌تواند پیامدهای نامناسبی مانند ترافیک، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، ناهنجاری‌های اجتماعی و اقتصادی را به‌همراه داشته باشد[۲]. در چنین شرایطی، یک برنامه‌ریزی یکپارچه بین کاربری زمین و حمل و نقل عمومی می‌تواند در طراحی و برنامه‌ریزی سرویس‌های حمل و نقل عمومی کمک کند به شرطی که بتوان عوامل تاثیرگذار در زیرساخت حمل و نقل عمومی را تشخیص داد و بتوان تمامی آن‌ها را در یک شاخص جمع آوری نمود. البته قسمت دیگر در این برنامه‌ریزی یکپارچه، فاکتورهای تاثیر گذار در کاربری زمین است زیرا حمل و نقل و کاربری زمین دارای یک رابطه دو طرفه می‌باشند و فاکتورهای هر کدام بر دیگری تاثیر می‌گذارد [۳ و ۴]. بنابراین، با چنین برنامه‌ریزی یکپارچه می‌توان برنامه‌ریزی شهری را در راستای توسعه پایدار و استفاده بهینه از سرویس‌های حمل و نقل عمومی پیش برد و نیازهای مردم را برطرف نمود [۵، ۶ و۷]. تا کنون چندین مدل یکپارچه ارائه شده است اما یکی از کامل‌ترین و اجرایی‌ترین آن‌ها که مورد توجه بسیاری از طراحان و برنامه‌ریزان شهری در دنیا قرار گرفته است، مدل توسعه حمل و نقل محور می‌باشد [۷].

تاکنون تعاریف و تفاسیر متعددی برای توسعه حمل و نقل محور ارائه شده است [۸ و ۹] ، اما بین تمامی آن‌ها یکسری فاکتورهای مشترکی مانند الگوی توسعه متراکم با اختلاط کاربری مناسب، وجود محیط مناسب جهت پیاده‌روی و دوچرخه سواری، و نزدیکی به سرویس‌های حمل‌ونقل عمومی وجود دارد [۱۰، ۱۱، ۱۲ و۱۳] . همچنین این مدل در سطوح و مقیاس‌های مختلفی به‌کارگیری شده است که این موضوع بیانگر چند مقیاسه بودن این مدل می‌باشد [۱۴، ۱۵]. به‌منظور دستیابی به پیاده سازی جامع و کارآمد مدل توسعه حمل‌ونقل محور باید مقیاس و سطحی فراتر از همسایگی ایستگاه حمل‌ونقل در نظر گرفت و مدل را در سطح منطقه‌ای و شهری به‌کار گرفت [۱۶]. بنابراین با چنین مقیاسی، مدل پیشنهادی توانایی به‌کارگیری در برنامه‌ریزی شهری را داشته بطوریکه مدل می‌تواند پتانسیل مناطق مختلف منطقه را از لحاظ توسعه حمل و نقل محور ارزیابی و پیشنهاداتی در جهت افزایش این پتانسیل در منطقه را ارائه نماید. این مدل برنامه‌ریزی شهری را برنامه‌ریزی توسعه حمل‌ونقل محور[1] می‌نامند [۵، ۶، ۱۷].

۱-۱- نوآوری و اهداف تحقیق

نوآوری اصلی این مقاله، ایجاد یک مدل کامل و کارامد به‌منظور برنامه ریزی توسعه حمل و نقل محور در سطح منطقه‌ای می‌باشد که توانایی حداکثری در برنامه‌ریزی شهری داشته باشد. در این راستا شاخصی کارامد و یکپارچه با توجه به تحقیقات انجام گرفته در این زمینه و نظرات کارشناسان ارائه شده است. این شاخص از همه لحاظ، چه اجزای تشکیل دهنده آن، چه فضای محاسباتی اجزا، چه مدل ترکیب آن، و چه ارزیابی آن دارای نوآوری می‌باشد. خروجی این شاخص می‌تواند به‌عنوان یک سیستم حامی تصمیم‌گیری مکانی به‌طراحان و برنامه ریزان شهری کمک کند تا مناطق مختلف شهری را از لحاظ برنامه‌ریزی کاربری زمین و حمل و نقل عمومی به‌صورت بهینه مدیریت نمایند و در راستای توسعه پایدار ارتقا دهند. بنابراین جهت توسعه این مدل و شاخص، چهار هدف اصلی در نظر گرفته شده است. هدف اول: با توجه به

[1] TOD Planning

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

اینکه پیاده سازی این روش توسط یک شاخص یکپارچه مکانی انجام می‌گیرد و این شاخص از معیارها[1] و نشانگرهایی[2] تشکیل شده است، بنابراین اولین هدف جمع آوری معیارها و نشانگرهای مناسب و همه جانبه برای این شاخص است. هدف دوم: نشانگرهای جمع‌آوری شده باید با روش و ابزاری مناسب در فضایی کارامد محاسبه گردند. هدف سوم: در مرحله بعد این نشانگرها و معیارها باید توسط یک روش مناسب تصمیم گیری با یکدیگر ترکیب شوند. هدف چهارم: از آنجا که تاکنون مدلی در این زمینه ارائه نشده است، بنابراین رفرنسی برای ارزیابی خروجی این شاخص وجود ندارد. اما در این تحقیق خروجی مدل با روش‌های مناسبی شامل ارزیابی میدانی، دیداری و داده‌ای بررسی شده است.

۱-۲- مرور تحقیقات

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مفهوم توسعه حمل و نقل محور انجام شده است و در این زمینه معیارها و نشانگرهایی را معرفی کرده‌اند [۵، ۶ و ۱۷]. اما تحقیق سینگ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ اولین و تنها تحقیقی است که در زمینه برنامه ریزی توسعه حمل و نقل محور و ارائه شاخص مربوطه انجام شده است. آن‌ها چهار معیار برای برنامه ریزی توسعه حمل و نقل محور ارائه دادند که عبارتند از تراکم، تنوع کاربری، طراحی و قابلیت توسعه اقتصادی در منطقه. در تحقیق آن‌ها پنج نشانگر جهت ارزیابی معیارها در نظر گرفته شده است. اما این نشانگرها به گفته خود محققین کافی و کارامد نمی‌باشد و کاستی‌های فراوانی در مجموعه نشانگرها وجود دارد که باید برطرف شود. از طرفی دیگر این نشانگرها در فضای رستری محاسبه شده‌اند در صورتی‌که فضای برداری تطابق بیشتری با برنامه‌ریزی شهری دارد. مشکل دیگر این تحقیق روش ترکیب معیارها می‌باشد. در تحقیق سینگ و همکارانش، از روش رتبه بندی برای محاسبه وزن معیارها و نشانگرها استفاده شده است. اما این روش به گفته محققان انعطاف پذیری مناسبی ندارد و معیارها و نشانگرها به صورت قطعی با هم مقایسه می‌شوند. اما روشی که بتواند مدلسازی دانش کارشناسان را به همراه عدم قطعیت موجود در داده‌ها و قوانین تصمیم‌گیری در نظر بگیرد به مراتب کمک بیشتری در برنامه‌ریزی شهری دارد زیرا ماهیت توسعه حمل و نقل محور با الفاظی همچون "کم"، "متوسط" و "زیاد" بیان می‌شود.

آقای وی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ تحقیقاتی در زمینه مکانیابی ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی مترو به کمک مفهوم توسعه حمل و نقل محور انجام دادند. آن‌ها در ابتدا به بررسی و جمع‌آوری معیارها توسعه حمل و نقل محور و رشد هوشمند شهری پرداختند. سپس مجموعه‌ای از نقاط را در منطقه به‌عنوان کاندیدهای ایستگاه‌های مترو معرفی کردند. در ادامه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و فرایند تحلیل شبکه فازی به مکانیابی ایستگاه‌ها از بین این مجموعه نقاط کاندید پرداختند [۱۸و ۱۹]. اما این کار هم چندین نقاط ضعف مهمی دارد. ۱) این تحقیق مکانیابی ایستگاه‌های حمل و نقل با استفاده از توسعه حمل و نقل محور را روی چند گزینه از پیش تعریف شده انجام داده است. در صورتی که بهتر است روشی اتخاذ نمود که تمامی منطقه مورد نظر را برای این مکانیابی در نظر بگیرد. به نوعی روش آن‌ها یک برنامه‌ریزی شهری توسعه حمل و نقل محور نیست زیرا آن‌ها فقط یک سری نقاط خاص را بررسی کردند. ۲) در روش‌های ترکیب استفاده شده، آن‌ها توانستند عدم قطعیت را در نظر بگیرند اما به‌دلیل انجام مقایسات زوجی متعدد فرایند تصمیم‌گیری طاقت فرسا و مشکل می‌شود.۳) همچنین در این مدل‌های ترکیب قابلیت بیان نظرات کارشناسان به‌صورت قانون‌های برنامه‌ریزی شهری

[1] Criteria
[2] Indicator

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

توسعه حمل و نقل محور وجود ندارد.

۲- مفهوم توسعه حمل و نقل محور

مفهوم توسعه حمل و نقل محور برای توسعه برنامه‌ریزی شهری در راستای افزایش تراکم، ارائه تسهیلات متنوع مسکونی، تجاری و اداری، ایجاد کاربری‌های متنوع در منطقه و اختلاط مناسب آن‌ها معرفی شده است. همچنین علاوه بر خصوصیات فوق، به‌کارگیری یک سیستم حمل و نقل کارامد نیز وجه دیگری از مفهوم توسعه حمل و نقل محور است [۱۳، ۱۶ و ۲۴]. در تحقیقات امروزی، طبق نظر آرینگتن و سرورو در سال ۲۰۰۸، توسعه حمل و نقل محور عبارتست: " روشی برای توسعه شهری با اهداف تشویق به توسعه ترکیبی و متراکم، افزایش مسافران سیستم حمل و نقل عمومی و ایجاد یک جامعه پویا و فعال" [۸]. به عبارت دیگر طبق نظر سانگ و اوه (۲۰۱۱)، "توسعه حمل و نقل محور یک تکنیک برنامه‌ریزی است که هدف آن کاهش اتومبیل و افزایش استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی از طریق تراکم بالا، اختلاط کاربری‌ها و ایجاد محیط مناسب برای دسترسی به مراکز حمل و نقل از طریق پیاده‌روی است" [۲].

طبق توضیحات بیان شده، به منظور دستیابی به یک برنامه‌ریزی جامع توسعه حمل و نقل محور، بهتر است این برنامه ریزی با دید منطقه‌ای یا شهری انجام شود. چنین برنامه‌ای، نیازمند یک شاخص مکانی برای ارزیابی سطح توسعه حمل و نقل محور در محله‌های مختلف شهر یا منطقه می‌باشد. این شاخص در برگیرنده مجموعه‌ای از معیارها و هر معیار شامل چندین نشانگر می‌باشد. در این تحقیق، از پژوهش‌های انجام شده در برنامه ریزی توسعه حمل ونقل محور به‌عنوان چهارچوب اولیه برای انتخاب معیارها استفاده شده است. اما تعدادی از نشانگرها نسبت به تحقیقات گذشته برای ارزیابی معیارها به مجموعه نشانگرها اضافه شده است[۵، ۶، ۱۷ و ۲۵].

لیست این معیارها و نشانگرها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: معیارها و نشانگرهای استفاده شده برای توسعه شاخص توسعه حمل و نقل محور

معیارها	نشانگرها
	تراکم مسکونی
	تراکم تجاری
	تراکم اداری
تنوع کاربری	نشانگر انتروپی
طراحی	دسترسی
	اتصال معابر
	اختلاط کاربری‌ها
توسعه اقتصادی	جمعیت
	تعداد کارمندان
	درصد جمعیت جوان
	تعداد خانوار
	سطح سواد
	سطح خدماتی منطقه

۳- منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق

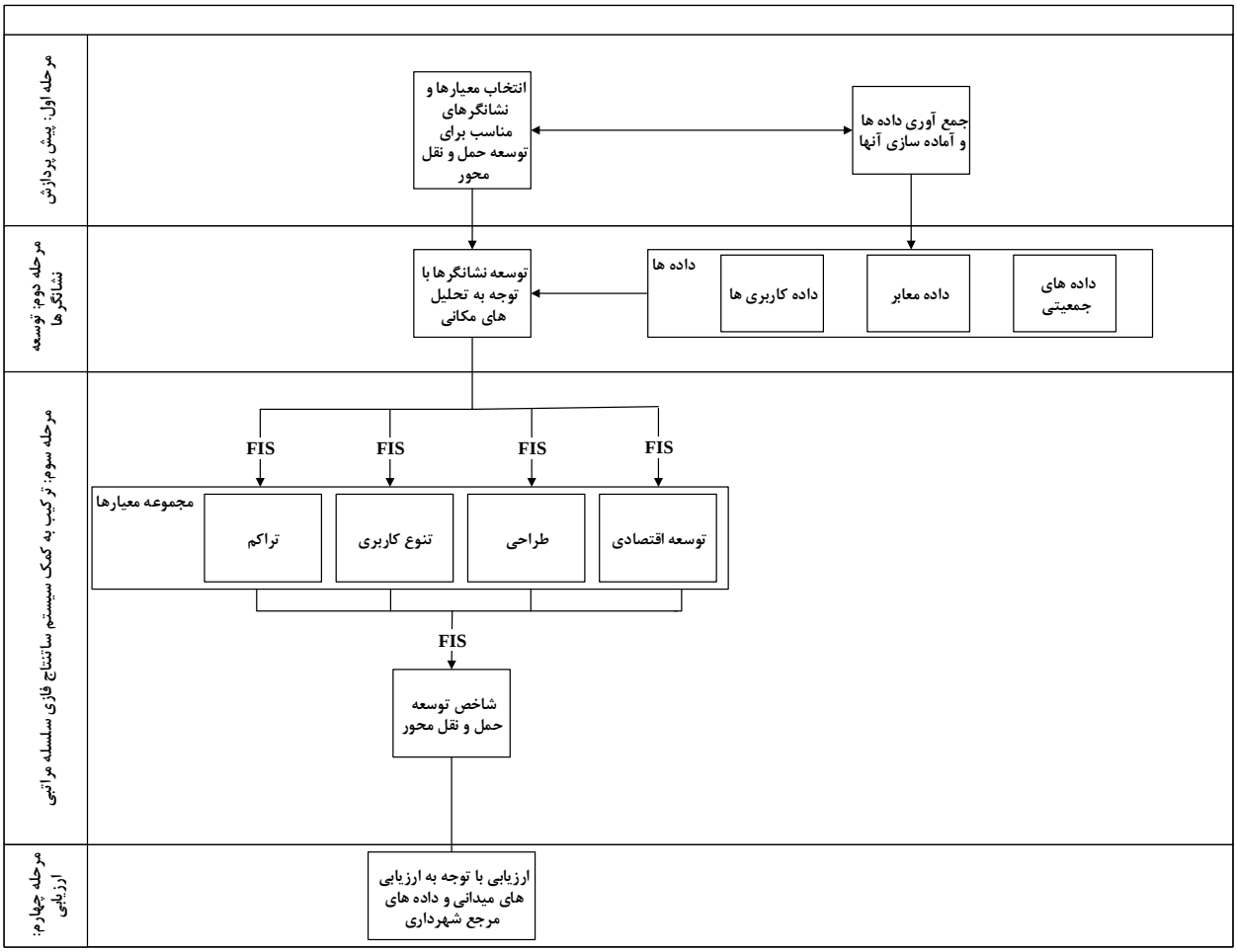
۳-۱- روش تحقیق

برای پیاده‌سازی مدل توسعه حمل و نقل محور و ارائه شاخص جامع و کارامد مربوطه، از یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره[1] چهار مرحله‌ای استفاده شده است تا به تمامی اهداف ذکر شده نایل گردیم. برای این روش فلوچارتی طبق شکل (۱) ارائه شده است مراحل آن در ادامه توضیح داده شده است.

[1] Multi Criteria Decision Making

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]



شکل ۱: فلوچارت مدلسازی توسعه حمل و نقل محور ارائه شده در تحقیق

مرحله اول (آماده‌سازی داده‌ها و جمع‌آوری معیارها و نشانگرها): در مرحله اول می‌بایست یک تحقیق جامع روی مبانی توسعه حمل و نقل محور صورت گیرد و تمامی معیارها و کمیت‌های قابل سنجش آن ارزیابی گردد. تحقیق سینگ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ یکی از کامل‌ترین چهارچوب‌های پیشنهادی برای شاخص توسعه حمل و نقل محور بوده است. آنها ۵ نشانگر برای تولید این شاخص استفاده کردند که عبارتند از: تراکم مسکونی، تراکم تجاری، انتروپی، اختلاط کاربری و تعداد مشاغل. اما در این مقاله با توجه به گفته محققین در مورد کاستی‌های ۵ نشانگر بالا در مدل‌سازی توسعه حمل و نقل محور، نشانگرهای دیگری علاوه بر نشانگرهای فوق با توجه به نظر متخصصین و برنامه‌ریزان شهری و تحقیقات مختلف دیگر در زمینه برنامه‌ریزی کاربری زمین و حمل و نقل ارائه شده است. مجموعه نشانگرها در این تحقیق شامل ۱۳ نشانگر است. به‌عنوان مثال یکی از نشانگرهای اضافه شده نشانگر اتصال (تقاطع معابر) است که یک کمیت تاثیر گذار در طراحی شهری و توسعه حمل و نقل محور است. اما این شاخص با توجه به شرایط محیط‌های شهری در این تحقیق اصلاح و بهبود داده شده است. البته در این تحقیق، نشانگرهای دیگری همچون جمعیت، تعداد خانوار، جمعیت جوان، سطح سواد و خدمات در محله اضافه گردیده است به‌طوری‌که محققین صاحب نظر در زمینه مدل‌های یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین به اهمیت این نشانگرها در مدلسازی اشاره کرده‌اند. همچنین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

نشـانگر دسترسـی بـه‌عنـوان مهـم‌تـرین فـاکتور در برنامه‌ریزی‌های حمل و نقل و کاربری زمین در تحقیـق سینگ و همکارانش مدلسازی نشده است. ایـن کمیـت عامل اصلی در انتخاب نحوه سفر افراد (پیاده، دوچرخه، حمل و نقل عمومی و خودروی شخصی) است. بنابراین، این اولین تحقیق است که تمـامی ایـن نشـانگرها را در نظر گرفته تا بتواند یک شاخص جامع توسـعه حمـل و نقل محور ایجاد نماید.

مرحله دوم (توسـعه نشـانگرها) : مشـکل دیگـر در تحقیـق سـینگ و همکـارانش، محاسـبه نشـانگرها در فضـای رسـتری اسـت در صـورتی کـه فضـای بـرداری بـه‌دلایـل زیـر دارای تطـابق بیشـتری بـا نشـانگرها و برنامـه‌ریـزی شـهری دارد و بنـابراین، جمـع‌آوری، آمـاده‌سـازی داده‌هـا، و محاسـبه نشـانگرها و شـاخص توسـعه حمـل و نقـل محـور در ایـن تحقیـق در فضای برداری انجام شده‌است.

- داده‌ها در سطح قطعات ملکی، بلوک‌ها و محـلات جمع‌آوری مـی‌شـوند کـه همگـی آن‌هـا ماهیـت بـرداری دارنـد و تبـدیل ایـن داده‌هـا بـه فضـای رستری باعث به وجود آمدن خطاهایی مـی‌شـود. بنابراین مـی‌تـوان از سـطوح بـرداری فـوق بـرای مدلسازی استفاده نمود. همچنین تعریف بسـیاری از نشانگرها ماننـد دسترسـی و اخـتلاط کـاربری تطابق بیشتری با فضای برداری دارد.
- اندازه پیکسل‌ها در فضای رستری یک عامل مهـم در دقت آنالیزها می‌باشد ولی همچین مشکلی در فضـای بـرداری بـه‌وجـود نمـی‌آیـد زیـرا سـطوح مدلسازی در فضای برداری کاملا مشخص است.
- خطاهای مرزی یک عامل دیگر در فضای رسـتری است به‌طوری‌که در رستر قادر بـه نمـایش دقیـق مرزهای عوارض نیسـتم و بـرای دقـت بیشـتر در نمایش مرزها باید ابعاد پیکسـل را کـاهش دهـیم که منجر به افزایش تعداد پیکسـل‌هـا مـی‌گـردد. این فرایند باعث افـزایش زمـان آنالیزهـا و حجـم ذخیره سازی داده‌ها می‌شود.
- از آنجا که محلات به عنوان یک فضای همگـن در نظر گرفته می‌شود، بنـابراین برنامـه ریـزی هـای شـهری نیـز در همـین سـطح ارائـه مـی شـود. بنـابراین، فضـای بـرداری تطـابق بیشـتری بـا برنامه ریزی شهری دارد و قابلیت ترکیب با سـایر برنامه ریزی‌های شهری و سیاست‌های منطقـه را به صورت توامان دارد.

البتـه بایـد توجـه نمـود کـه عـلاوه بـر اسـتفاده از فضای برداری، باید از مدل‌های مناسـب بـرای محاسـبه نشانگرها استفاده نمود. جهت انجـام ایـن محاسـبات از سیستم اطلاعـات مکـانی بـه عنـوان ابـزاری کارمـد در تحلیل‌های مکانی استفاده شده است.

مرحله سوم (ترکیب نشانگرها و معیارها): براسـاس هدف سوم ایـن تحقیـق، جهـت تولیـد شـاخص نهـایی توسعه حمل و نقـل محـور، بایـد نشـانگرها بـا یکـدیگر ترکیب شوند. این ترکیب نیـاز بـه روش تصـمیم‌گیـری مناسب جهت تولید شاخص کارامـد را دارد. روش‌هـای مختلفـی بـرای ترکیـب معیارهـا و نشـانگرها در تصمیم گیری چند معیاره وجود دارد. در تحقیق سینگ و همکـارانش، از روش رتبـه بنـدی بـرای پیـدا کـردن وزن معیارهـا و نشـانگرها اسـتفاده شـده اسـت. امـا این روش به گفتـه محققـان انعطـاف پـذیری مناسـبی ندارد و معیارها و نشانگرها باید به صورت قطعی بـا هـم مقایسه شوند. امـا روشـی کـه بتوانـد عـدم قطعیـت در داده‌ها و تصمیم گیری را در نظر بگیرد به مراتب کمک بیشتری به برنامه‌ریزی می‌کند زیرا ماهیت توسعه حمل و نقل محور بـا الفـاظی همچـون "کـم"، "متوسـط" و "زیاد" بیان می‌شـود. آقـای وی و همکـارانش در سـال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ سعی کردن با استفاده از فرایند تحلیـل سلسله مراتبی فازی و فرایند تحلیل شبکه فازی قابلیت در نظر گرفتن این الفاظ را حـل کننـد [۱۸و ۱۹]. امـا روش ترکیـب آن‌هـا بـرای بـه‌دسـت آوردن وزن‌هـای معیارها و نشانگرها نیاز به انجام مقایسات متعددی دارد که با افزایش این معیارهـا و نشـانگرها انجـام مقایسـات طاقت فرسا می‌شود. اما در این شرایط می‌تـوان روشـی

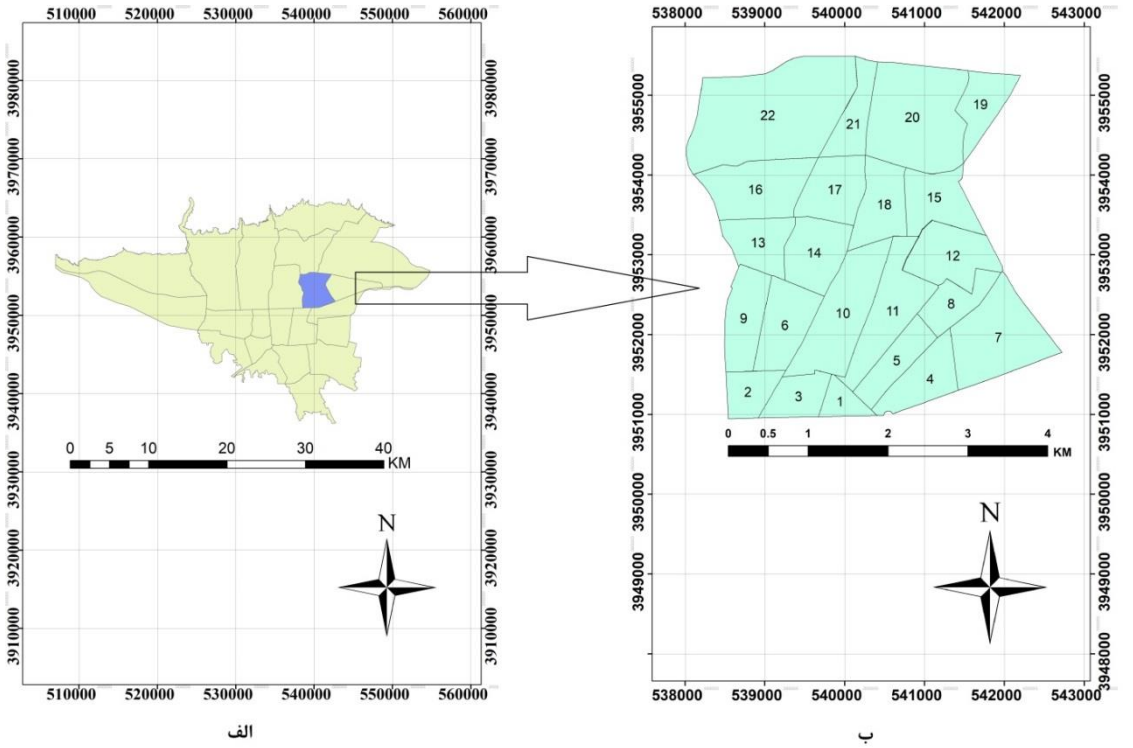
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

مانند سیستم استنتاج فازی را برای تصمیم گیری اتخاذ نمود. این روش بر اساس قانون‌هایی که افراد خبره بیان می‌کنند عمل می‌کند که این روش به مراتب راحت‌تر نسبت به انجام مقایسات بین معیارها و نشانگرها می‌باشد [۲۰، ۲۱، و ۲۲]. همچنین با ایجاد ساختار سلسله مراتبی در سیستم استنتاج فازی می‌توان مشکلات ناشی از افزایش معیارها، نشانگرها و به تبع افزایش قانون‌ها را کنترل نمود [۲۳]. در واقع تعداد نشانگرها نقش تعداد ابعاد مسئله را دارند و با افزایش تعداد ابعاد مسئله تعداد قوانین لازم در سیستم استنتاج فازی به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین در این تحقیق از سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی برای ترکیب معیارها و نشانگرها به‌عنوان یک روش کارا برای حل این مشکل استفاده شده است.

مرحله چهارم (ارزیابی مدل): در مرحله آخر نیز باید خروجی مدل ارزیابی گردد. اما از آنجا که مدلی در زمینه برنامه ریزی حمل و نقل محور تاکنون در کشور ارائه نشده است، بنابراین داده‌ای جهت ارزیابی وجود ندارد. بنابراین در این تحقیق سعی شده است صحت خروجی مدل را با بررسی‌های میدانی و آماری از منطقه و فعالیت‌های صورت گرفته توسط شهرداری در منطقه ارزیابی نماییم.

۳-۲- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، برای ایجاد شاخص جامع توسعه حمل و نقل محور، یکی از مناطق مرکزی شهر تهران (منطقه هفت) که دارای تراکم بالا و سطح بالایی از جذب و تولید سفر می‌باشد انتخاب شده است. همچنین، این منطقه تاثیرات ویژه‌ای روی حمل و نقل شهر به‌خصوص حمل و نقل عمومی دارد. زیرا تمامی خطوط مترو شهر از این منطقه عبور می‌کند و دارای ۲ خط اتوبوس‌های تندرو است. این منطقه شامل ۵ ناحیه و ۲۲ محله است و جمعیت و مساحت آن تقریبا ۳۰۰۰۰۰ نفر و ۱۵۳۶ هکتار به ترتیب می‌باشد. شکل (۲) این منطقه و محله‌های آن را نمایش می‌دهد.



الف ب

شکل ۲: الف) نقشه تهران و موقعیت منطقه ۷ در آن: ب)محلات منطقه ۷

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

۴- محاسبه نشانگرها

در این بخش، به‌منظور تشریح و محاسبه نشانگرهای بیان شده در جدول (۱)، هر کدام از نشانگرها به‌صورت جداگانه بررسی و روش محاسبه آن‌ها بیان شده است.

۴-۱- تراکم

تراکم به‌عنوان یک فاکتور اصلی در برنامه‌ریزی شهری و سیستم حمل و نقل است. مناطق دارای تراکم بالا باید از پوشش سرویس‌های حمل و نقلی مناسب، فضای مطلوب برای پیاده‌روی و تنوع سرویس‌های حمل و نقلی برخوردار باشند. بنابراین، توسعه با تراکم بالا به‌عنوان یک عامل حیاتی در مورد افزایش تقاضای سفر و نیاز به زیرساخت حمل و نقلی و نهایتا افزایش در سطح توسعه حمل و نقل محور شناخته می‌شود.

۴-۲- تنوع کاربری

تنوع کاربری به‌عنوان یک عامل تاثیرگذار در برنامه‌ریزی شهری، تنوع کاربری‌های مختلف در منطقه را اندازه‌گیری می‌کند. سرورو و همکارانش در سال ۱۹۹۷ تنوع کاربری را به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای کاهش تعداد سفرهای اتومبیل‌های شخصی و از طرفی دیگر افزایش تعداد سفر با حمل و نقل عمومی در منطقه، معرفی می‌کند [۱۰]. مطالعات دیگری مانند اوینگ و سرورو در ۲۰۱۰ در مورد تاثیر تنوع کاربری روی احتمال پیاده روی مردم در منطقه و استفاده از حمل و نقل عمومی انجام شده است [۲۵].

اندازه‌گیری تنوع کاربری دارای روش‌های متعددی می‌باشد که در این تحقیق، روش انتروپی انتخاب شده است. در روش انتروپی مقادیر پایین انتروپی نمایانگر یک محیط شهری تک کاربری است و مقادیر بالا بیانگر محیط شهری با کاربری‌های متفاوت می‌باشد. این نشانگر به صورت گسترده‌ای در زمینه حمل و نقل استفاده شده است [۲۶، ۲۷ و ۲۸]. رابطه (۱) چگونگی محاسبه تنوع کاربری به روش انتروپی را نشان می‌دهد.

$$-\sum_{i=1}^{n} p_i * \ln p_i / \ln n \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا P_i بیانگر نسبت منطقه‌ی مورد نظر که به کاربری i اختصاص داده شده است و n تعداد کاربری‌های موجود در منطقه است [۲۸].

۴-۳- طراحی شهری

معیار طراحی شهری یک عامل حیاتی در توسعه حمل و نقل محور می‌باشد. قابلیت پیاده‌روی و دوچرخه سواری در منطقه، فاکتورهایی هستند که می‌توان با سنجش آن‌ها طراحی شهری را ارزیابی کرد. این فاکتورها یکی از شاخصه‌های اصلی توسعه حمل و نقل محور می‌باشد که با طراحی مناسب چشم انداز شهری و اختلاط کاربری مناسب در ارتباط است [۲۹]. ژانگ و گویدن چنین بیان کردند: برای پشتیبانی از قابلیت بالای پیاده‌روی و دوچرخه سواری در منطقه می‌بایست کاربری‌های مسکونی و تجاری در سطوح کوچکی اختلاط یابند. فاکتورهای پیاده‌روی و دوچرخه سواری را می‌توان با نشانگرهایی همچون اتصال معابر، طراحی معابر، اختلاط کاربری‌ها و دسترسی به مراکز تجاری و اداری با پیاده‌روی یا دوچرخه سواری در منطقه ارزیابی نمود. این نشانگرها در ادامه توضیح داده خواهند شد.

۴-۳-۱- اتصال معابر

مدل‌های ارزیابی کننده اتصال معابر از تئوری گراف استفاده می‌کنند به طوری‌که شبکه معابر شهری به‌صورت یک گراف در نظر گرفته می‌شود و با آنالیز روی این گراف، نشانگر اتصال معابر در منطقه مورد نظر ارزیابی می‌گردد. روش‌های متعددی برای محاسبه نشانگر اتصال در گراف وجود دارد که عبارتند از: تراکم شبکه، تراکم تقاطع‌ها، شاخص آلفا، شاخص بتا و شاخص گاما. در این تحقیق از شاخص آلفا استفاده شده است زیرا به‌نظر می‌رسد این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها کاملتر و کارامدتر می‌باشد [۳۰]. شاخص آلفا بیان کننده نسبت تعداد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

دورهای موجود در شبکه به حداکثر تعداد دورهای ممکن در آن شبکه می‌باشد که رابطه آن در ادامه آورده شده است.

رابطه (۲) $$\alpha = \frac{e - v + 1}{2v - 5}$$

در این رابطه (۲) e تعداد یال‌ها و v تعداد گره‌های موجود در گراف است. مقدار این نشانگر بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. مقادیر بالاتر نشان دهنده مقدار بیشتر اتصال در شبکه می‌باشد [۳۹].

در رابطه (۲)، دورهای در نظر گرفته شده در گراف به‌صورت مثلثی می‌باشد در حالیکه دورهای موجود در معابر شهری و طراحی شهری به‌صورت چهارضلعی می‌باشد، بنابراین رابطه (۲) بهتر است به‌صورت رابطه (۳) اصلاح شود تا دورها به‌صورت چهارضلعی در نظرگرفته شود و تطابق بیشتری با برنامه‌ریزی شهری داشته باشد.

رابطه (۳) $$\alpha = \frac{(e - v + 1)}{v - 3}$$

۴-۳-۲- دسترسی

دسترسی به‌عنوان پتانسیل دستیابی به فرصت‌های مکانی توزیع شده مانند مراکز تجاری، اداری، تفریحی و تعاملات اجتماعی بیان شده است. این عامل می‌تواند به‌عنوان یک عامل اصلی در توسعه کالبدی و مکانی شهر مطرح شود که خروجی آن حاصل از شرایط شبکه حمل و نقل و چگونگی توزیع مکانی فعالیت‌ها در منطقه می‌باشد. اهمیت بالای این عامل در طراحی شهری باعث شده است تا محققین در تحقیقات حمل و نقل و برنامه‌ریزی شهری، به‌طور چشمگیری از آن استفاده نمایند [۳۱، ۳۲ و ۳۳]. برای اندازه‌گیری این نشانگر دو عامل هزینه مصرف شده برای دستیابی فرد به فعالیت‌ها، و کیفیت و کمیت فعالیت مورد نظر ارزیابی می‌گردد. این نشانگر می‌تواند از طریق رابطه زیر ارزیابی می‌گردد:

رابطه (۴) $$A_{im} = \sum_j O_j f(C_{ijm})$$

در رابطه بالا A_{im} میزان دسترسی نقطه i به فعالیت موجود در نقطه j توسط وسیله m است. همچنین O_j کیفیت و مقدار مطلوبیت فعالیت مورد نظر در نقطه j می‌باشد و $f()$ تابع هزینه سفر بین نقطه مبدا و مقصد می‌باشد [۳۱].

۴-۳-۳- اختلاط کاربری

وجود فعالیت‌های متفاوت و توزیع کاربری‌های مختلف با طراحی و چینش مناسب در سطح محله عاملی اساسی در برنامه‌ریزی توسعه حمل و نقل محور می‌باشد. وجود فاصله زیاد بین کاربری‌های مختلف باعث ایجاد سفرهای طولانی‌تر و به تبع افزایش نیاز به زیرساخت‌های حمل و نقلی و استفاده بیشتر از اتومبیل می‌گردد. در این راستا سیاست‌های موجود در منطقه به سمت ترغیب مردم به استفاده از اتومبیل‌های شخصی تغییر پیدا می‌کند (به‌عنوان مثال فراهم نمودن پارکینگ‌های بزرگ و مجانی برای مراکز تجاری، تفریحی و یا آموزشی). از طرفی دیگر، توسعه تک کاربری در یک منطقه و اختلاط ضعیف باعث عدم‌استفاده از سیستم حمل و نقل در زمانی‌هایی از روز یا هفته و یا سال می‌گردد. با توجه به نکات بیان شده ارزیابی این پارامتر بسیار ضروری می‌باشد که بدین منظور از رابطه (۵) استفاده شده است.

رابطه (۵) $$MI = \frac{\sum_{\cap} i S_c}{\sum_{\cap} i (S_c + S_r)}$$

در این رابطه MI نشان دهنده مقدار اختلاط کاربری‌ها در محدوده‌ای به شعاع i می‌باشد، S_c نمایانگر مجموع مساحت‌های کاربری‌های تجاری و اداری در بافر به شعاع i است و S_r بیان کننده مجموع مساحت‌های با کاربری مسکونی در محدوده بافر i می‌باشد [۴۰]. این نشانگر بین ۰ و ۱ می‌باشد که مقدار ۰ نمایانگر نبود کاربری‌های تجاری و اداری در محدوده است و مقدار ۱ نمایانگر این است که تمامی کاربری‌ها در محدوده i تجاری و اداری است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

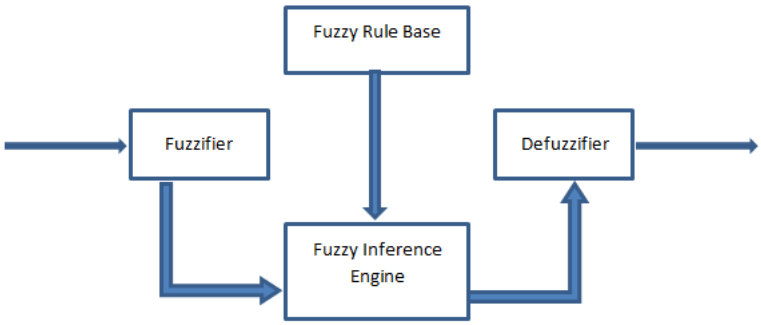
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

۴-۴- توسعه اقتصادی

توسعه اقتصادی یک پارامترهای مهم در برنامه‌ریزی شهری است که استفاده آن در تحقیقات امروز رشد چشمگیری داشته است. با توجه به حضور شرکت‌های خصوصی در برنامه‌ریزی‌های شهری و وجود ترغیب کافی برای سرمایه گذاری آن‌ها در توسعه منطقه، درنظرگیری این معیار از اهمیت بالایی برخوردار است. ازینرو، رنه و ولز در ۲۰۰۵ و اونس و پرات در سال ۲۰۰۷ این معیار را در ارزیابی توسعه حمل ونقل محور ارائه دادند [۶ و ۱۷].

۵- سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی یک سیستم دانش مبنا یا قانون مبنا می‌باشد که در واقع این پایگاه دانش مهم‌ترین قسمت یک سیستم استنتاج فازی است. این پایگاه متشکل از قوانین اگر-آنگاه می‌باشد. این قوانین مقادیر مفاهیم زبانی مانند "کم"، "متوسط"، "بالا"، و "پایین" را در برمی‌گیرد. بنابراین اولین مرحله برای ساخت یک سیستم استنتاج فازی تعریف پایگاه قوانین است. قسمت بعدی در سیستم استنتاج فازی، موتور استنتاج سیستم است که در واقع مسئولیت مغز سیستم و ترکیب قوانین را دارد. بر اساس ماهیت مسئله مورد نظر روش‌های مختلفی برای ترکیب وجود دارد مانند روش ممدانی، سوجونو، و یاگر [۳۴، ۳۵ و ۳۶]. البته سیستم استنتاج فازی داری قسمت‌های دیگری هست که در شکل (۳) نمایش داده شده است.

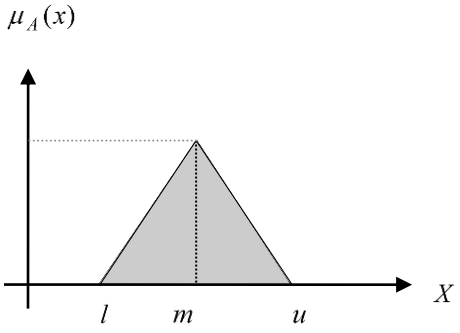


شکل ۳: قسمت‌های یک سیستم استنتاج فازی [۳۷]

در سیستم استنتاج فازی، داده‌های ورودی به‌صورت قطعی می‌باشد. اما این اعداد برای ورود به سیستم به دلیل ترکیب با مفاهیم زبانی موجود در قوانین باید به اعداد فازی تبدیل گردند. فرایند تبدیل اعداد قطعی به اعداد فازی در سیستم را فازی‌سازی می‌نامند. برای فازی‌سازی از توابع عضویت استفاده می‌شود. توابع عضویت مدل‌های مختلفی همچون نقطه‌ای، مثلثی و گوسین دارد. اما مدل مثلثی به علت سادگی و کارامدی بسیار و توانایی آن در حذف خطاها در تحقیق‌های مختلف استفاده شده است. بنابراین، در این تحقیق نیز از این مدل استفاده شده است. هر تابع عضویت مثلثی با ۳ پارامتر l، m و u که به‌ترتیب مقادیر پایین، وسط و بالای تابع عضویت هستند، مشخص می‌شود. شکل این تابع و نحوه تعریف آن با شکل (۴) و رابطه (۶) بیان شده است [۳۷].

$$\mu_A(x)=\begin{cases}\dfrac{x-l}{m-l}; & l\le x\le m\\ \dfrac{u-x}{u-m}; & m\le x\le u\\ 0 \quad ; & \text{otherwise}\end{cases} \qquad \text{رابطه (۶)}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]



شکل ۴: تابع عضویت مثلثی

خروجی موتور استنتاج فازی، که بر اساس ورودی‌های فازی سازی شده و قوانین تصمیم عمل می‌کند، به‌صورت اعداد فازی می‌باشد؛ درحالی‌که برای تصمیم‌گیری‌ها نیاز به اعداد قطعی است. بنابراین در مرحله آخر یک سیستم استنتاج فازی، نیاز به غیر فازی سازی اعداد می‌باشد. روش‌های مختلفی برای غیر فازی سازی مانند روش مرکز ثقل، روش میانگین وزن دار و روش حداکثر وجود دارد. در این تحقیق از روش مرکز ثقل استفاده شده است زیرا از کاربرد و دقت بیشتری برخوردار است [۳۷]. این روش غیر فازی‌سازی توسط رابطه (۷) بیان شده است.

$$y^* = \frac{\int_V y\mu_{B'}(y)dy}{\int_V \mu_{B'}(y)dy}$$ رابطه (۷)

در رابطه بالا y^* مشخص کننده عدد غیر فازی شده است که از مرکز ثقل محدوده پوشش داده شده توسط تابع عضویت $\mu_{B'}$ به‌دست می‌آید [۳۷].

۶- پیاده سازی

طبق شکل (۱) برای پیاده سازی مدل ارائه شده باید داده‌های مورد نیاز جمع آوری شده و پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه نشانگرها تنظیم شود. برای محاسبه تراکم‌های کاربری‌های مختلف در منطقه، مقدار مجموع کاربری‌های مورد نظر را تقسیم بر مجموع مساحت‌های کل کاربری‌های منطقه می‌نماییم. همچنین در این تحقیق از رابطه انتروپی (۱) برای محاسبه تنوع کاربری استفاده شده است. در این رابطه هشت نوع کاربری (بیانگر مقدار n در رابطه) در نظر گرفته شده است که این کاربری‌ها عبارتند از: مسکونی، تجاری، اداری، تفریحی، آموزشی، درمانی، مذهبی و ورزشی. در ادامه برای محاسبه نشانگر اتصال معابر از رابطه (۳) استفاده شده است تا نزدیکی طراحی معابر به طراحی منظم چهارضلعی که بهترین شکل طراحی است را اندازه گیری نماید. در این رابطه از تعداد گره‌ها و یال‌ها در محله‌ها شهری استفاده شده است. در واقع تمامی تقاطع‌ها و شکستگی‌ها در معابر به‌عنوان گره و فاصله بین هر دو گره یال در نظر گرفته شده‌اند. مقادیر شکستی‌ها و یال‌ها در منطقه به ترتیب از ۱۰۴ تا ۸۹۹ و ۱۲۰ تا ۱۰۰۱ می‌باشد که باعث شده مقادیر نشانگر اتصال معابر در منطقه از ۰/۰۱ تا ۰/۵۶ باشد. برای به‌دست آوردن دسترسی از طریق رابطه (۴)، محله‌ها به‌عنوان پارامتر i در نظر گرفته شده است و مراکز اداری و تجاری به‌عنوان j در نظر گرفته شده است. مساحت هر یک از مراکز به‌عنوان مقدار قدرت جذب مرکز (O_j) در نظر گرفته شده است زیرا مراکز با مساحت بیشتر توانایی جذب افراد بیشتری دارند. همچنین معکوس فاصله بین مراکز و مرکز ثقل محله‌ها به‌عنوان تابع هزینه در نظر گرفته شده است. برای محاسبه نشانگر اختلاط کاربری از رابطه (۵) استفاده شده است. برای محاسبه این نشانگر از بافرهای ۵۰۰ متری در اطراف بلوک‌های مسکونی استفاده شده است زیرا مسافت‌های بیشتر از ۵۰۰ متر افراد را ترغیب به پیاده‌روی در منطقه نمی‌کند.

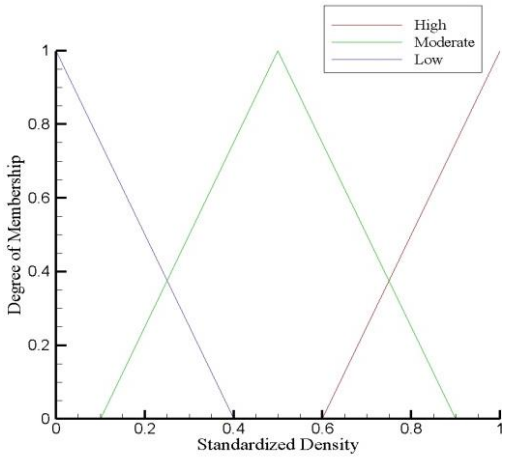
همان‌طور که بیان شد برای پیاده‌سازی مدل برنامه‌ریزی توسعه حمل و نقل محور که یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است، از روش سیستم استنتاج فازی استفاده شده است. برای استفاده از این سیستم لازم است تمامی ورودی‌ها وارد مرحله فازی سازی شده و توسط توابع عضویت مناسب تبدیل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

به اعدادفازی شوند. به‌منظور فازی‌سازی، ابتدا ورودی‌ها (نشانگرها) توسط (۸) استاندارد می‌شوند.

$$X_{normalized} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$ رابطه (۸)

زیرا بازه هر نشانگر متفاوت است و بدین‌صورت همه نشانگرها به بازه ۰ تا۱ منتقل می‌شوند [۴۱]. سپس در مرحله بعد این نشانگرها با توابع عضویت مثلثی، فازی‌سازی می‌شوند. دقت نتایج سیستم استنتاج فازی ارتباط زیادی به چگونگی تعریف توابع عضویت فازی دارد. تعریف این توابع بر اساس تحقیقات گذشته و افراد خبره برنامه‌ریزی شهری و محققین در زمینه انتخاب شده است. برای مثال شکل (۵) تابع عضویت مورد استفاده برای نشانگر تراکم مسکونی را نشان می‌دهد.



شکل۵: توابع عضویت و متغیرهای زبانی مورد استفاده برای نشانگر تراکم مسکونی

در مرحله بعد باید این ورودی‌های فازی‌سازی شده با پایگاه قوانین که توسط افراد خبره بیان شده است، ترکیب شوند که این فرایند توسط موتور استنتاج انجام می‌پذیرد. موتور استنتاج استفاده شده برای این ترکیب، موتور استنتاج کمینه بیشینه ممدانی است. اما برای تشکیل پایگاه دانش چنانچه بخواهیم طبق روش‌های مرسوم پیش رویم نیاز به تعداد زیادی از قوانین است. زیرا ورودی‌ها در یک سیستم استنتاج فازی نقش ابعاد سیستم را دارند و با افزاش این ابعاد تعداد قوانین مورد نیاز به‌صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند تا جایی که تعریف آن‌ها یا خیلی سخت و یا غیر ممکن می‌شود. به‌عنوان مثال، در این تحقیق ۱۳ ورودی وجود دارد و اگر ۳ متغیر زبانی برای فازی سازی هر یک از آن‌ها استفاده شود، بنابراین 3^{13} قوانین برای ایجاد پایگاه قوانین لازم می‌باشد که عملا تعریف آن‌ها غیر ممکن است. بنابراین در این تحقیق از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده شده است به طوری که ابتدا نشانگرهای هر معیار به‌منظور ارزیابی معیار مربوطه توسط سیستم استناج فازی ترکیب می‌شوند. خروجی این قسمت در جدول (۲) آورده شده است. سپس در مرحله بعد معیارها توسط یک سیستم استنتاج فازی به‌منظور ارزیابی شاخص توسعه حمل و نقل محور با هم ترکیب می‌شوند (شکل (۱) ملاحظه شود). این روش، روش سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی می‌باشد. با استفاده از این روش، پایگاه قوانین به جای ۱۶۰۰۰۰۰ قانون تقریبا با ۲۰۰ قانون تکمیل می‌گردد. به‌عنوان مثال برخی از قوانین مورد استفاده در ترکیب معیارها در جدول (۳) آورده شده است.

همان‌طور که بیان شد، خروجی موتور استنتاج با توجه به فازی بودن قوانین و ورودی‌ها به‌صورت فازی است. بنابراین، این ورودی‌ها به منظور تصمیم گیری نهایی باید غیر فازی شوند که برای این منظور از روش مرکز ثقل استفاده شده است. این روش توسط رابطه (۷) بیان شده است و با توجه به آن، خروجی نهایی توسعه حمل و نقل محور به‌صورت عددی قطعی به‌دست می‌آید که جدول (۴) این مقادیر این شاخص را برای هر محله بیان می‌کند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

جدول ۲: مقادیر معیارها حاصل از سیستم استنتاج فازی

محلات	تراکم	تنوع	طراحی	توسعه اقتصادی
1	0.315783	0.601	0.482958	0.406452
2	0.451148	0.355	0.474468	0.625806
3	0.399713	0.413	0.466453	0.532258
4	0.171197	0.605	0.19797	0.238387
5	0.30526	0.449	0.261162	0.158065
6	0.246444	0.2434	0.272444	0.780645
7	0.255323	0.382	0.320536	0.264516
8	0.351333	0.454	0.308535	0.216129
9	0.158828	0.643	0.317354	0.777419
10	0.447744	0.65	0.397329	0.635484
11	0.292273	0.374	0.371477	0.345161
12	0.252586	0.202	0.13465	0.013871
13	0.316969	0.349	0.602026	0.616129
14	0.342801	0.438	0.282179	0.912903
15	0.227572	0.46516	0.406569	0.154839
16	0.283625	0.607	0.571881	0.903226
17	0.332712	0.5313	0.418808	0.790323
18	0.304185	0.4535	0.375909	0.087097
19	0.178243	0.452	0.431315	0.377419
20	0.418571	0.643	0.324201	0.822581
21	0.333301	0.535	0.495728	0.804516
22	0.125296	0.587	0.521072	0.900112

جدول ۳: قوانین مورد استفاده برای ترکیب معیارها به‌منظور تولید شاخص نهایی

سطح توسعه حمل نقل محور	توسعه اقتصادی	طراحی	تنوع کاربری	تراکم	شماره قانون
خیلی کم	کم	کم	کم	کم	۱
خیلی بالا	بالا	بالا	بالا	بالا	۲
بالا	متوسط	بالا	متوسط	بالا	۳
متوسط	کم	بالا	متوسط	متوسط	۴

جدول ۴: مقدار سطح توسعه حمل و نقل محور برای محله‌های منطقه ۷ تهران

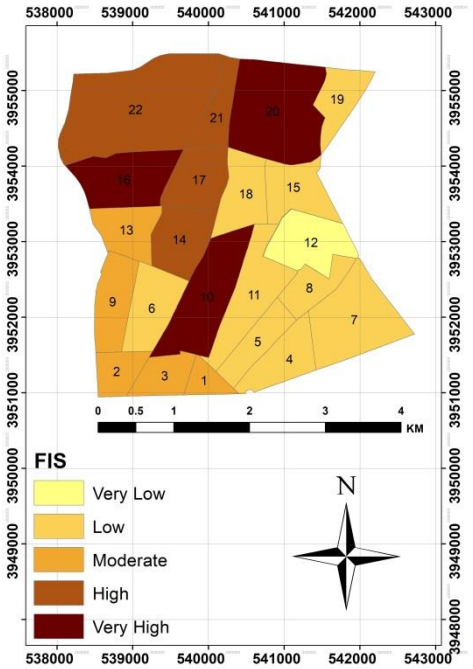
شماره محله	مقدار توسعه حمل و نقل محور
1	0.458
2	0.427
3	0.414
4	0.359
5	0.354
6	0.294
7	0.317
8	0.376
9	0.401
10	0.779
11	0.345
12	0.072
13	0.415
14	0.483
15	0.355
16	0.728
17	0.491
18	0.36
19	0.345
20	0.681
21	0.557
22	0.503

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

۷- نتایج

با توجه به مدل ارائه شده برای برنامه‌ریزی توسعه حمل و نقل محور، مقدار شاخص توسعه حمل و نقل محور برای هر محله محاسبه شد. برای مشخص شدن الگوی توسعه حمل و نقل محور باید نقشه‌ای از این شاخص در سطح محله‌های منطقه ایجاد گردد. بدین‌منظور، نقشه‌ای از شاخص توسعه حمل و نقل محور تهیه شده که در شکل (۶) نمایش داده شده است.



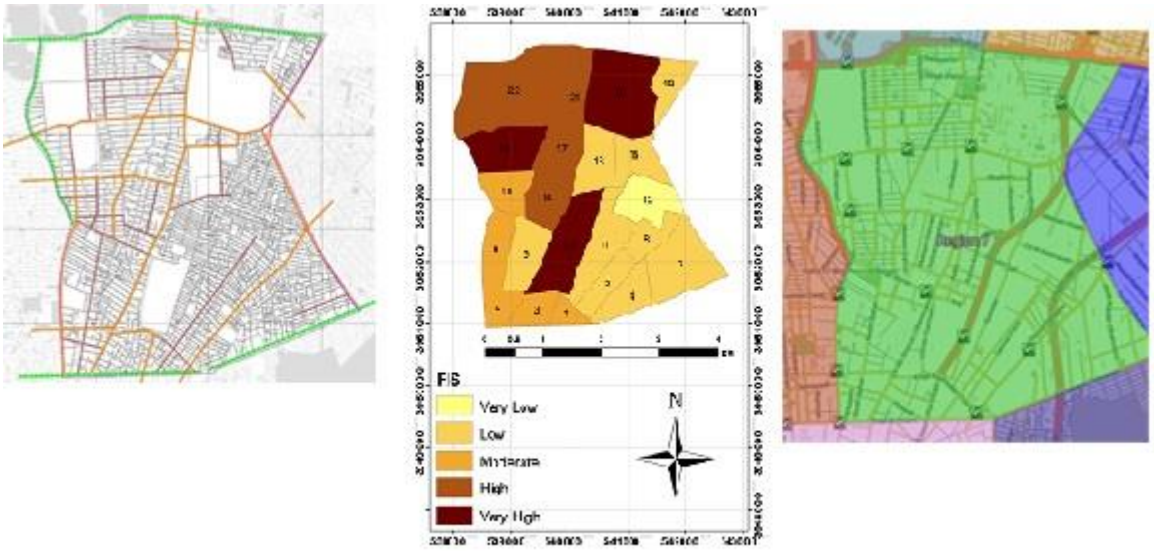
شکل ۶: الگوی مقادیر توسعه حمل و نقل محور در منطقه ۷ تهران

همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود میزان توسعه حمل و نقل محور محله‌های موجود در منطقه با ۵ کلاس نمایش داده شده است.در این منطقه، محله‌هایی که در مجاورت دو خیابان اصلی منطقه (خیابان شریعتی و خیابان بهشتی) قرار گرفته‌اند دارای میزان توسعه حمل و نقل محور بالایی می‌باشند. زیرا در این مناطق تنوع و اختلاط کاربری‌ها بالا بوده و خیابان‌ها طراحی مناسبی برای پیاده‌روی دارند و بافت آن‌ها نسبت به مناطق جنوبی منطقه، جدیدتر بوده بنابراین از نفوذ پذیری و اتصال مناسب‌تری برخوردار هستند. بنابراین شهرداری تصمیم به ایجاد ایستگاه‌های جدید مترو در این مناطق گرفته است. عبور خط ۳ مترو تهران و وجود ۴ ایستگاه مهم بهشتی، سهروردی، شهید قدوسی و صیادشیرازی موید این موضوع می‌باشد. همچنین ایجاد سامانه اتوبوس‌های تندرو (BRT) در شمال منطقه برای پوشش دادن به مقدار تقاضای زیاد این مناطق می‌باشد. بنابراین مدل ارائه شده در این تحقیق توانایی شناخت مناطق با پتانسیل بالا در ایجاد زیرساخت حمل و نقل عمومی را دارد. در مقابل محله‌هایی مانند ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۱ و ۱۲ محله‌هایی هستند که اغلب داری بافت فرسوده هستند بنابراین برای پیاده‌روی مناسب نمی‌باشند. همچنین اتصال و نفوذ پذیری پایینی دارند و تراکم مسکونی، تجاری و اداری متوازنی ندارند لذا میزان توسعه حمل و نقل محور پایینی دارند. البته شهرداری در این محله‌های جنوبی منطقه اقدامات دیگری همچون اختصاص بودجه برای احیای بافت فرسوده، ایجاد منظر های شهری مناسب و سنگ فرش‌ها (میدان امام حسین)، ایجاد مجتمع‌های تجاری، تفریحی، ورزشی (تیراژه ۲، مجموعه آفتاب و ...) انجام داده است که همگی در راستای ارتقای توسعه حمل و نقل محور در این محله‌ها است. در صورتی‌که این اقدامات در شمال منطقه انجام نشده است زیرا قسمت شمالی دارای توسعه و حمل و نقل محور مناسبی است. بنابراین مدل ارائه شده در زمینه تشخیص مناطق نیازمند ارتقا از لحاظ کاربری و برنامه‌ریزی شهری نیز بسیار کارامد می‌باشد.

از آنجا که مدل ارائه شده باید با نقشه مرجعی ارزیابی شود در صورتی‌که تا کنون مدل توسعه حمل و نقل محوری در سطح منطقه‌ای ارائه نشده است تا با آن ارزیابی گردد، لذا در این تحقیق از داده‌های مربوط به سال ۸۴ استفاده شده است تا مدل ارائه شده با تصمیمات و اقدامات شهرداری در طی این سال‌ها مقایسه و ارزیابی گردد. مدل ارائه شده محله‌های جنوبی نامبرده منطقه را از لحاظ توسعه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

حمل و نقل محور ضعیف اعلام کرده و عملکرد شهرداری در طی این سال‌ها تاییدی بر درستی مدل ارائه شده است. ابتدا شهرداری دو بزرگراه اصلی (امام علی و صیاد شیرازی) ایجاد کرده است که از مناطقی که دارای توسعه حمل و نقل محور پایینی است عبور کرده تا میزان دسترسی این مناطق بالاتر رود و عدالت اجتماعی در شهر متعادل‌تر شود. شکل (۷) شبکه حمل و نقل در سال ۱۳۸۴، شبکه حمل و نقل در سال ۱۳۹۶ و خروجی مدل و توسعه حمل و نقل محور را به منظور مقایسه، نشان می‌دهد.



ج (a) ب (b) ا (c)

شکل ۷: الف) وضعیت شبکه حمل نقل در سال ۱۳۹۶، ب) مقدار توسعه حمل و نقل محور در منطقه و ج) وضعیت شبکه حمل و نقلی در سال ۱۳۸۴

۸- نتیجه گیری

عدم وجود یک برنامه ریزی یکپارچه، کارامد و اجرایی در زمینه حمل و نقل، چینش کاربری‌های شهری و بهره‌برداری مناسب از منابع و زیرساخت‌ها محققین را ترغیب نموده است تا برنامه‌ای یکپارچه با در نظر گرفتن تمامی موارد بالا ارائه دهند. یکی از این برنامه‌های یکپارچه با قدرت عملکردی بالا در راستای توسعه پایدار، برنامه توسعه حمل و نقل محور می‌باشد. برنامه ریزی توسعه حمل و نقل محور دارای ماهیت چند مقیاسه است اما برای استفاده آن به‌صورت جامع و کارامد در برنامه‌ریزی شهری، باید در سطحی فراتر از ایستگاه‌های حمل و نقل و در سطح منطقه‌ای یا شهری انجام شود تا به اهداف توسعه پایدار دست یابیم. در این راستا یک شاخص مکانی برای توسعه حمل و نقل محور مشتمل بر چندین معیار و نشانگر ارائه شده است. هر یک ازین نشانگرها در فضای سیستم اطلاعات مکانی و به کمک تحلیل‌های مکانی در فضای برداری محاسبه شده است. در مرحله بعد این نشانگرها و معیارها با یک روش ترکیب مناسب با پایه علمی و ریاضی به نام سیستم استنتاج فازی سلسله مراتبی تجمیع گردیدند. این فرایند توانست به خوبی عدم قطعیت و مفاهیم زبانی موجود در توسعه حمل و نقل محور را مدل‌سازی کند. همچنین تعداد قوانین لازم برای ایجاد سیستم را به‌صورت چشمگیری کاهش داد. به‌طوری که تعداد قوانین را از عددی نزدیک به ۱,۶۰۰,۰۰۰ به ۲۰۰ قانون کاهش داد. در نهایت بر اساس این شاخص مکانی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

نقشه‌ای از میزان توسعه حمل و نقل محور در سطح محله‌های منطقه ۷ تهران ایجاد شده است. در آخر نیز این نقشه با اقدامات شهرداری در بین سال‌های ۸۴ تا ۹۶ مقایسه شده است. این مقایسات نمایانگر قدرت مدل توسعه حمل و نقل محور در شناسایی نقاط ضعف و قدرت منطقه و ارائه راهکار کارامد و بهینه برای برنامه‌ریزی شهری آینده می‌باشد.

مراجع

[1] Chawla, L. Growing up in an urbanizing world. Routledge: 2016.

[2] H. Sung, and J. Oh. Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. Cities, 28 (2011) 70–82, 2011

[3] P. Waddell, G. F. Ulfarsson, J. P. Franklin, and J. Lobb. Incorporating land use in metropolitan transportation planning. Transportation Research Part A, 41(5): 382–410, 2007.

[4] K. K. W. Yim, S. C. Wong, A. Chen, C. K. Wong, and W. H. K. Lam. A reliability-based land use and transportation optimization model. Transportation Research Part C, 19(2): 351–362, 2011.

[5] Y. J. Singh, P. Fard, M. H. P. Zuidgeest, M. Brussel, and M. van Maarseveen. Measuring transit oriented development: a spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. Journal of Transport Geography 35 (2014) 130–143, 2014.

[6] J. E. Evans, and R. H. Pratt RH. Transit Oriented Development, TCRP's Traveler Response to Transportation System Changes Handbook series. Transport Research Board, USA, 2007.

[7] R. Cervero. "Integration of urban transport and urban planning", in The Challenge of Urban Government: Policies and Practices Eds M E Freire, R E Stren (World Bank Publications Washington, DC). pp 407-427, 2007.

[8] R. Cervero, G. Arrington, R. Dunphy, and J. Smith-Heimer. Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects: Transit Cooperative Research Program, FTA, 2004.

[9] A. Nasri, and L. Zhang. The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, D.C. and Baltimore metropolitan areas, Transport Policy, 32 (2014) 172–179, 2014.

[10] Cervero, R.; Dai, D. Brt tod: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments. Transport policy 2014, 36, 127-138.

[11] R. Cervero, C. Ferrell, and S. Murphy. TCRP Research Results Digest 52: Transit-Oriented Development and Joint Development in the United States; A Literature Review. Transportation Research Board. Washington, D.C., 2002.

[12] D. Belzer, and G. Autler. Transit Oriented Development: Moving from Rhetoric to Reality. Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, Washington, D.C., 2002.

[13] T. Parker, M. McKeever, G. Arrington, and J. Smith-Heimer. Statewide Transit-Oriented Development Study: Factors for Success in California, 2002.

[14] F. Dur, T. Yigitcanlar, and J. Bunker. A spatial-indexing model for measuring neighborhood-level land-use and transport integration. Environment and Planning B: Planning and Design. 41(5) 792 – 812, 2014.

[15] CTOD. Planning for TOD: at regional scale: the big picture: The center for Transit-Oriented Development, 2011.

[16] CTOD. Why Transit - Oriented Development and Why Now? Reconnecting America: U.S., 2009.

[17] J. L. Renne, and J. S. Wells. Research

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

Results Digest 294 – Transit Oriented Development: Developing a Strategy to Measure Success. Transport Research Board, 2005.

[18] W. M. Wey. Smart growth and transit-oriented development planning in site selection for a new metro transit station in Taipei, Taiwan. Habitat International 47 (2015) 158e168, 2015.

[19] W. M. Wey, H. Zhang, and Y. J. Chang. Alternative transit-oriented development evaluation in sustainable built environment planning, Habitat International (2016), http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.03.003, 2016

[20] T. V. Reshmidevi, T. I. Eldho, and R. Jana. A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. Agricultural Systems. 101 (2009) 101–109, 2009

[21] E. V. Ocalir, O. Y. Ercoskon, and R. Tur. An integrated model of GIS and fuzzy logic (FMOTS) for location decisions of taxicab stands. Expert Systems with Applications. 37 (2010) 4892–4901, 2010.

[22] Janalipour M, Mohammadzadeh A. 2017. A Fuzzy-GA Based Decision Making System for Detecting Damaged Buildings from High-Spatial Resolution Optical Images. Remote Sensing.9:349.

[23] M. L. Lee, H. Y. Chung, and F. M. Yu FM. Modeling of hierarchical fuzzy systems, Fuzzy Sets and Systems 138 (2003) 343–361, 2013.

[24] G. B. Arrington, and R. Cervero. TCRP Report 128: Effects of TOD on Housing, Parking, and Travel. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC p. 3, 2008.

[25] R. Ewing, and R. Cervero. Travel and the built environment. Journal of the American Planning Association. 76, 265–294, 2010.

[26] Javadi, G., Taleai, M., & Karimi, M. (2013). Evaluating various criteria for determining diversity of urban Mixed Land Use via GIS (Case Study: neighborhoods and districts of Tehran Municipality No. 7). Journal of Urban-Regional Studies and Research, 16(4), 23-46.

[27] L. D. Frank, T. L. Schmid, J. F. Sallis, J. Chapman, and B. E. Saelens. Linking Objectively Measured Physical Activity with Objectively Measured Urban Form. American Journal of Preventive Medicine, 117-125, 2005.

[28] L. D. Frank, B. E. Saelens, K.E. Powell, and J. E. Chapman. Stepping towards causation: Do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? Social Science & Medicine, 1898-1914, 2007.

[29] A. Molster, and S. Schuit. Voetsporen rond het station. Het Nationaal Verkeerskunde Congres, Netherlands, 2013.

[30] M Koohsari, M. J., Badland, H., Sugiyama, T., Mavoa, S., Christian, H., & Giles-Corti, B. (2015). Mismatch between perceived and objectively measured land use mix and street connectivity: associations with neighborhood walking. Journal of Urban Health, 92(2), 242-252.

[31] Babakan AS, Taleai M. 2015. Impacts of transport development on residence choice of renter households: An agent-based evaluation. Habitat International.49:275-285.

[32] A. Paez, D. M.Scott , and C. Monercy. Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. Journal of Transport Geography 25 (2012) 141–153, 2012.

[33] Shirzadi Babakan A, Alimohammadi A. 2016. An Agent - Based Simulation of Residential Location Choice of Tenants in Tehran, Iran. Transactions in GIS.20:101-125.

[34] Alaei Moghadam, S., Karimi, M., & Sadi Mesgari, M. (2015). Application of a fuzzy inference system to mapping prospectivity for the Chahfiroozeh copper deposit, Kerman, Iran. Journal of Spatial Science,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

60(2), 233-255

[35] O. Balal, E., Cheu, R. L., & Sarkodie-Gyan, T. (2016). A binary decision model for discretionary lane changing move based on fuzzy inference system. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 67, 47-61..

[36] F. Nasiri, I. Maqsood, G. Huang, and N. Fuller. Water quality index: a fuzzy river pollution decision support expert system. Journal of Water Resources Planning and Management 133 (2), 95–105, 2007.

[37] L. X. Wang. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice-Hall, 1997.

[38] R. Cervero. Transit-Oriented Development and Land Use. Transportation Technologies for Sustainability. 947-958, 2013.

[39] Dill, J. In Measuring network connectivity for bicycling and walking, 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, 2004; pp 11-15.

[40] Zhang Y, Guindon B. 2006. Using satellite remote sensing to survey transport-related urban sustainability: Part 1: Methodologies for indicator quantification. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.8:149-164.

[41] Janalipour M, Taleai M. 2017. Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images. International Journal of Remote Sensing.38:82-99

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.1, Spring 2019

Research Paper

Presentation of a TOD Index in Urban Areas through Spatial Analyses and HFIS (Case Study: Tehran)

Hamid Motieyan[1]*, Mohammad Saadi Mesgari[2], Mohammad Aslani[1]

1- Ph. D. student of GIS in Department of Geomatics, K. N. Toosi University of technology
2- Associate professor in Department of Geomatics, K. N. Toosi University of technology

Abstract

The contemporary world possesses some issues such as urbanism and expansion of cities and these issues which require a specific type of planning. Transit Oriented Development (TOD) planning has emerged as one of the applicable planning methods, which tries to achieve integrated land use and transportation planning. In this study, TOD is conducted at a regional scale using an index measuring TOD level of neighborhoods of the study area in one of the central regions in Tehran city, Iran. The developed index is comprised of some criteria and indicators. Each indicator is computed using spatial analyses in the vector format and then aggregated by Hierarchical Fuzzy Inference System (HFIS). Due to the fact that the research data are related to the year 2005, the activities which have taken place from that year till now are evaluated based on the model output. The evaluation result demonstrates the strengths of TOD planning in the identification of neighborhoods which are in need of development

Key words: *Land use; Transportation; Transit Oriented Development; Spatial analysis; Hierarchical Fuzzy Inference System*

Correspondence Address *GIS Group, Department of Geomatics, K. N. Toosi University of technology, Tehran, Iran*
Tel : *+98 9122405512*
Email*: H.motieyan@gmail.com*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.29252/jgit.7.1.37]