# توسعه روشی برای اندازه‌گیری عدالت در سامانه‌های حمل‌ونقل همگانی شهری

سید امیرحسین مرتضوی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

میثم اکبرزاده (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: makbarzadeh@cc.iut.ac.ir

**دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲٤**

## چکیده

***مقاله حاضر به توصیف و توسعه روش محاسبه میزان برقراری عدالت در توزیع خدمات حمل‌ونقل همگانی در عرصه شهری می‌پردازد. به این منظور، با تلفیق دسترسی و تحرک، مفهوم توان اتصال (connectivity power) به‌عنوان منفعت اصلی حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی برای شهروندان معرفی و محاسبه شده‌است. میزان اتصال یک ایستگاه تابعی از ویژگی‌های کارکردی (فرکانس، سرعت، تعداد ایستگاه تا پایان خط) خطوط گذرنده از آن است. عدالت عمودی نیز به‌عنوان رویکردی متناسب با ذات مساله انتخاب و شرح داده‌شده است. عدالت عمودی بمعنی توزیع منافع حمل‌ونقل همگانیدر پهنه شهری بر اساس میزان نیاز شهروندان است. تعداد افراد ساکن فاقد خودروی شخصی بعنوان شاخص نیاز یک ناحیه ترافیکی به خدمات حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفته شد. . ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای سنجش وضعیت هر ناحیه و ضریب جینی برای سنجش وضعیت کلی شهر مورد استفاده قرار گرفتند. سپس وضعیت توزیع تسهیلات حمل‌ونقل همگانی با توجه به نیاز ساکنین هر ناحیه در سه مقطع زمانی سال پایه (وجود خطوط عادی اتوبوس متناظر با وضعیت ۵ سال قبل اصفهان)، سال فعلی ( وضعیت موجود فعلی شهر اصفهان شامل سامانه‌ی اتوبوس‌رانی، خط یک BRT و ایستگاه‌های فعال در بخشی از خط ۱ مترو) و سال افق (۵ سال آینده، تکمیل پروژه‌های BRT و بهره‌برداری کامل از خط یک مترو) مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور نواحی شهری بر حسب میزان ارائه توان اتصال و نیز میزان نیاز مرتب شدند و این دو فهرست برای هر مقطع زمانی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که اگر چه در وضعیت موجود شرایط بهتر از سال پایه است، وضعیت با عدالت فاصله معنی‌داری دارد. تکمیل خطوط اتوبوس تندرو و خط ۱ مترو باعث بهبود معنی‌دار شرایط از منظر توازن عرضه و تقاضا خواهد شد اما ضریب جینی را بهبود نخواهد داد. همچنین نواحی دارای اولویت برای توسعه خدمات تعیین شدند.***

**واژه‌های کلیدی:** توان اتصال، حمل‌ونقل همگانی، ضریب جینی، ضریب همبستگی، عدالت اجتماعی.

## ۱. مقدمه

ترویج حمل‌ونقل همگانی بدلیل ویژگی‌هایی مانند بهره‌وری بالا در استفاده از نهاده‌های حمل‌ونقلی (زیرساخت، سوخت، نیروی انسانی، هزینه) و نیز هم‌راستایی با توسعه پایدار، از اولویت‌های اصلی مدیریت نوین کلان‌شهری است. توجه شایسته به عدالت در توزیع منافع و هزینه‌های سامانه حمل‌ونقل شهری از بایسته‌های توسعه پایدار شهری است. تلاش موثر برای تحقق عدالت، مستلزم وجود چارچوبی علمی، محاسباتی و حساس به سیاست‌گذاری است تا مدیریت شهری بتواند با استفاده از آن، وضعیت کنونی و نیز پیامد طرح‌های خود برای آینده را پیش‌بینی کند. بمنظور پاسخ‌گویی به این نیاز، مقاله حاضر بر آن است که چارچوب مناسبی برای محاسبه میزان برقراری عدالت در توزیع منافع حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی ارائه کند.

منافع حاصل از حمل‌ونقل همگانی شامل مواردی مانند زمان سفر قابل‌قبول، دسترسی مناسب به ایستگاه، بازه طولانی سرویس‌دهی، زمان انتظار و تبادل کم، و وجود و فراوانی خطوط برای دستیابی به مقاصد موردنظر است. تنوع منافع حاصل از حمل‌ونقل همگانی در کنار تنوع تعاریف عدالت و نیز دشواری انطباق برنامه‌ریزی‌های اجرایی با تعاریف موردنظر، باعث ابهام در هر دو جنبه نظری و عملی مربوط به عدالت در حمل‌ونقل همگانی می‌شود [El-Geneidy , Manaugh and Foth, 2013].

به منظور ساخت چارچوب سنجش عدالت، ابتدا از بین تعاریف متعدد، «عدالت عمودی[1]» بعنوان تعریف متناسب با موضوع توزیع منافع حمل‌ونقل همگانی، انتخاب و توصیف شده است. عدالت عمودی به این معنی است که شهروندان به اندازه نیازشان به امکانات شهری از آنها برخوردار باشند. در این تعریف عامل میزان هزینه و قدرت خرید مدنظر قرار نمی‌گیرد. سپس با تلفیق مفاهیم دسترسی[2] و تحرک[3]، مفهوم «توان اتصال[4]» بعنوان شاخص عرضه منافع سامانه حمل‌ونقل همگانی توسعه داده شده است. در گام بعد، چارچوبی برای سنجش میزان تناسب بین عرضه و تقاضا (برقراری عدالت در توزیع منافع) سامانه حمل‌ونقل همگانی در نواحی ترافیکی شهری ارائه شده است. انتخاب نواحی ترافیکی[5] بعنوان مقیاس جغرافیایی به این دلیل بود که اطلاعات سفر و وضعیت اقتصادی-اجتماعی شهروندان که در مطالعات جامع شهری گردآوری می‌شوند، در این مقیاس همفزون می‌گردند. چارچوب ارائه‌شده شامل تناسب بین عرضه و تقاضا در هر ناحیه و نیز تناسب توزیع توان اتصال با جمعیت نیازمند در عرصه شهری است. در ادامه، جمعیت فاقد خودروی شخصی در هر ناحیه ترافیکی بعنوان شاخص نیاز حیاتی (تقاضا) به خدمات حمل‌نقل همگانی در هر ناحیه تعیین شد. میزان عدم انطباق بین عرضه و تقاضای خدمات حمل‌ونقل همگانی در هر ناحیه ترافیکی، بیان‌گر شدت ناعدالتی در توزیع منافع در آن ناحیه است. با تجمیع و نیز مقایسه وضعیت نواحی، وضعیت کل یک شهر قابل ارزیابی است. همچنین نواحی دارای اولویت برای تقویت عرضه (توان اتصالی) حمل‌ونقل همگانی تعیین شده است. در این مقاله، کلیه این مراحل برای شهر اصفهان انجام شده و نتایج ارائه شده است.

## ۲. مروری بر ادبیات

از منظر امکانات جابجایی (وسیله سفر)، شهروندان به دو دسته «انتخاب‌کننده[6]» و «ناچار[7]» قابل‌تقسیم هستند. دسته انتخاب‌کننده، ضمن برخورداری از خودروی شخصی، امکان استفاده از حداقل یک وسیله غیرشخصی (تاکسی، اتوبوس،...) را نیز دارند. دسته ناچار، مجبور به استفاده از یک وسیله مشخص هستند. این اجبار ممکن است به دلیل عدم مالکیت یا دسترسی به خودرو، شرایط مالی، جسمی، سنی مسافر و یا شرایط سفر باشد. میزان بهره‌مندی شهروندان انتخاب‌کننده از زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری بیش از بهره‌مندی شهروندان ناچار است.

### ۲-۱ نقش حمل‌ونقل همگانی در زیست شهروندان

معمولاً طبقات برخوردار، دارای حق انتخاب گونه حمل‌ونقلی و طبقات فرودست مجبور به انتخاب گونه سفر همگانی هستند [Welch 2013, Manaugh and El-Geneidy, 2012]. درنتیجه یکی از کارکردهای اصلی سامانه حمل‌ونقل همگانی عبارت است از پر کردن شکاف بهره‌مندی طبقات مختلف شهری. این کارکرد از طریق ایجاد دسترسی به مقاصد (به‌ویژه مقاصد شغلی) برای شهروندانی که در انتخاب

وسیله سفر دچار محدودیت هستند انجام می‌شود. اهمیت سامانه حمل‌ونقل همگانی به حدی است که بعضی از پژوهش‌ها، دسترسی مناسب‌تر به آن را ازجمله دلایل تجمع خانوارهای کم‌درآمد در محله‌های نزدیک به مرکز شهر دانسته‌اند [Kahn and Glaeser and Rappaport, 2008]. همچنین، با در نظر گرفتن مفهوم ارزش زمان و فرض این که زمان سفر با وسایل همگانی بیشتر از وسایل شخصی است، مطلوبیت حمل‌ونقل همگانی برای افراد کم‌درآمد ( با ارزش زمان کمتر) بالاتر خواهد بود.

با پذیرش اهمیت حمل‌ونقل همگانی برای خانوارهای کم‌درآمد، یک پرسش اساسی در طراحی و برنامه‌ریزی سامانه حمل‌ونقل همگانی مطرح می‌شود: در شرایط موجود، میزان بهره‌مندی این شهروندان از تسهیلات حمل‌ونقل همگانی چقدر عادلانه است؟ مقاله حاضر به پاسخ این پرسش برای شهر اصفهان می‌پردازد.

نظریه عدم تطابق مکانی[8] فاصله جغرافیایی میان محل سکونت شهروندان و فرصت‌های شغلی موجود برای آن‌ها را به‌عنوان یک معضل شهری بیان می‌نماید. نظریه عدم تطابق حمل‌ونقل[9] نیز عدم همخوانی مسیرها و تسهیلات حمل‌ونقلی با نیازهای دسترسی شهروندان به فرصت‌های شغلی را موردبررسی قرار می‌دهد [Ong and Miller, 2005].بر این اساس، پیمودن فاصله فیزیکی ناشی از توسعه شهرها میان مبدأ و مقصد موردنظر با استفاده از سامانه حمل‌ونقل همگانی از چالش‌های پیش‌روی افراد کم‌درآمد است.

برای تخمین وضعیت ساکنان نواحی شهری از نظر وضعیت رفاه اجتماعی و سطح برخورداری مالی، از شاخص‌های اجتماعی[10] استفاده می‌شود. این شاخص‌ها با استفاده از روش‌های متنوعی قابل‌محاسبه هستند. در بعضی رویکردها، یک متغیر مانند میزان مالکیت خودرو و در برخی دیگر، ترکیبی از چند متغیر به‌عنوان نماد برخورداری مورد استناد قرار می‌گیرد [El-Geneidy, Manaugh and Foth, 2013].

### ۲-۲ تعاریف عدالت

در منابع علمی، رویکردهای متعددی برای تعریف و کمی‌سازی مفهوم عدالت وجود دارد[Litman, 2002]. رویکرد مبتنی بر بررسی توزیع برابر منافع بین گروه‌های مختلف اجتماع، عدالت افقی[11] و رویکرد مبتنی بر توزیع منافع بر اساس ویژگی‌های گروه‌های اجتماعی انجام می‌شود. در این بحث، یعنی بررسی عادلانه بودن توزیع تسهیلات حمل‌ونقل همگانی در میان شهروندان، عدالت افقی بدلایل عدم در نظرگیری نحوه توزیع جغرافیایی (مکانی) جمعیت در پهنه شهری و عدم در نظرگیری تفاوت در میزان نیاز دست‌های مختلف شهروندان به این سامانه، قابل نقد است از این سو است که در مطالات و محاسبات انجام شده در این زمینه از رویکرد عدالت عمودی استفاده می‌شود [El-Geneidy , Manaugh and Foth, 2013].

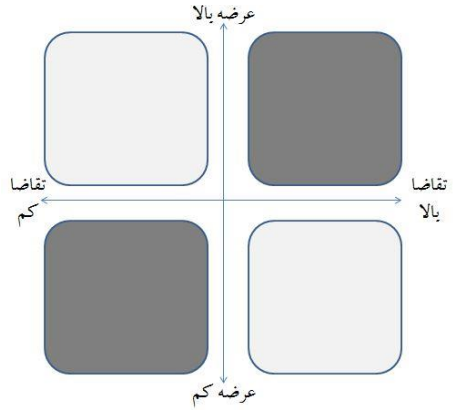
عدالت عمودی در حمل‌ونقل همگانی عبارت است از تمرکز بیشتر تسهیلات در نواحی سکونت گروه‌هایی از اجتماع که نیاز بیشتری به حمل‌ونقل همگانی دارند [Murray and Davis, 2001]

مارتنز و همکاران ملاک توزیع عادلانه هر کالا را معنای اجتماعی[12] آن کالا دانسته‌اند. به‌طور مثال، در تعریف اجتماعی، کالاهایی مانند نان جزو کالاهای ضروری و لوازم حیات همگان هستند. درنتیجه به‌منظور برقراری عدالت، لازم است به‌طور یکنواخت در پهنه شهری توزیع شوند. اما برای کالاهای لوکس با توجه به تعریف اجتماعی آن و استفاده از آن توسط گروه‌های خاصی از جامعه، توزیع فضایی عرضه بر اساس قواعد بازار تقاضا تعیین می‌شود [Martens , Golub and Robinson, 2012]. معنای اجتماعی خدمات حمل‌ونقل همگانی برای همه شهروندان یکسان نیست. حمل‌ونقل همگانی برای شهروندان ناچار، کالایی ضروری و برای شهروندان انتخاب‌کننده صرفاً یک گزینه احتمالاً موجه است. درنتیجه بهتر است توزیع آن بر اساس عدالت عمودی انجام گردد تا میزان وابستگی شهروندان به آن لحاظ شود.

## ۳. روش پژوهش

از ابتدایی‌ترین روش‌ها در بررسی عدالت در توزیع تسهیلات و نیاز سامانه‌حمل‌ونقل همگانی، ترسیم ماتریس عرضه و تقاضا(شکل۱) این سامانه است که به روشی پایه برای بررسی این مفهوم تبدیل شده است. لذا پس از معرفی چارچوب نظری بحث، در ادامه نیاز به معرفی شاخص اجتماعی مناسب و بیان روش محاسبه آن بیان و سپس پروراندن مفهوم توان اتصال بعنوان شاخص منافع سامانه حمل‌ونقل همگانی است[Ricciardi et al. 2015]. در گام بعد، روش مقایسه

توزیع نیاز و عرضه در عرصه شهری ارائه می‌گردد. نهایتا نتایج محاسبات مربوط به شهر اصفهان مورد تحلیل قرار می‌گیرد.




**شکل ۱. ماتریس عرضه و تقاضا**

### ۳-۱ شاخص اجتماعی

به‌منظور تعیین جمعیت شهروندان نیازمند به خدمات حمل‌ونقل همگانی، سرانه مالکیت خودروی شخصی بعنوان شاخص اجتماعی مورد استفاده قرار گرفت. مقدار این شاخص لزوماً بیان‌کننده میزان استفاده از اتوبوس در یک ناحیه نیست بلکه میزان وابستگی (ناچاری) ساکنان در استفاده از حمل‌ونقل همگانی را نشان می‌دهد. برای شناسایی تعداد افراد ناچار در ناحیه $\mathrm{i}$ از رابطه‌ی (۱) استفاده شده است:

$$N_i = P_i \times (1 - C_i) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، $\mathrm{N_i}$ برابر تعداد افراد ناچار در ناحیه ترافیکی $\mathrm{i}$ و $\mathrm{P_i}$ و $\mathrm{C_i}$ به ترتیب جمعیت و سرانه مالکیت خودروی شخصی در ناحیه $\mathrm{i}$ است.

### ۳-۲ ا ندازه‌گیری میزان بهره‌مندی از منافع حمل‌ونقل همگانی

منافع حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی شامل تحرک[۱۳] و دسترسی[۱۴] است. در این مقاله، به‌منظور ترکیب این دو شاخص، شاخص توان اتصالی[۱۵] معرفی می‌گردد.

#### ۳-۲-۱اندازه‌گیری میزان اتصال شبکه

ایستگاه، پل ارتباطی میان افراد و سامانه حمل‌ونقل همگانی است. بر این اساس، ولش و همکاران برای هر ایستگاه و به ازای هر خط گذرنده، مفهوم توان ورودی و خروجی را تعریف کردند [Mishraa, Welch and K.Jha , Welch , 2013 , 2012]. میزان توان اتصالی هر ایستگاه دربرگیرنده کیفیت خدمات ارائه‌شده توسط حمل‌ونقل همگانی در آن ایستگاه شامل حجم ناوگان، فرکانس، ظرفیت خط، و سرعت میانگین است. مقدار توان ورودی ($P^i_{l,n}$) و خروجی ($P^o_{l,n}$) ایستگاه $n$ ناشی از اتصال به خط $l$ به ترتیب طبق روابط ۲ و ۳ به‌دست می‌آیند.

$$P^i_{l,n} = \alpha \cdot C_l \cdot f_l \cdot H_l . D^i_{l,n} \cdot V_l \qquad (۲)$$

$$P^o_{l,n} = \alpha \cdot C_l \cdot f_l \cdot H_l . D^o_{l,n} \cdot V_l \qquad (۳)$$

در این روابط، $C_l$ ظرفیت هر خودرو، $f_l$ فرکانس، $H_l$ میزان ساعت سرویس‌دهی در طول شبانه‌روز، $V_l$ سرعت خط، $D^o_{l,n}$ و $D^i_{l,n}$ به ترتیب فاصله تا آخرین ایستگاه و اولین ایستگاه خط است. ضریب $\alpha$ برابر معکوس حاصل‌ضرب میانگین شهری متغیرهای موجود در رابطه توان است و برای استانداردسازی و بی‌بعد نمودن توان در رابطه وارد شده است.

توان اتصالی هر ایستگاه برای هر خط ($\mathrm{P^t_{l,n}}$)، برابر میانگین توان ورودی و خروجی آن است.

$$P^t_{l,n} = \frac{P^i_{l,n} + P^o_{l,n}}{2} \qquad (٤)$$

توان کلی هر ایستگاه، برابر حاصل جمع توان خطوط گذرنده از آن است.

$$P^t_n = \sum_{l,n \in l} P^t_{l,n} \qquad (۵)$$

پس از مشخص شدن میزان نیاز بالقوه هر ناحیه و میزان خدمات حمل‌ونقل همگانی ارائه‌شده در نواحی، جهت سنجش توزیع مناسب میان این دو از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن و ضریب جینی استفاده‌شد که در ادامه توصیف شده‌اند.

### ۳-۳ مقایسه تناسب عرضه و نیاز

بمنظور سنجش وجود عدالت در توزیع میان خدمات ارائه‌شده و میزان نیاز شهروندان ساکن در آن ناحیه، ابتدا نواحی ترافیکی شهر اصفهان از منظر نیاز ساکنان به خدمات حمل‌ونقل همگانی مرتب شد. در فهرست جداگانه‌ای، نواحی ترافیکی از منظر توان اتصالی ایستگاه‌های موجود در ناحیه مرتب شدند و رتبه هر ناحیه در هر یک از فهرست‌ها معلوم شد. یکسانی و یا دست‌کم شباهت رتبه نواحی در این دو فهرست بمعنی تناسب عرضه و نیاز در پهنه شهری است. بمنظور آزمون این موضوع،

از ضـریب همبسـتگی رتبه‌ای اسـپیرمن اسـتفاده‌شد. رابطه (٦) نحوه محاسبه این ضریب را نشان می‌دهد:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^{N} d_i^2}{(N^3 - N)} \qquad (٦)$$

در این رابطه $d_i$ اختلاف رتبه یک ناحیه در دو فهرست و N تعداد نواحی است. مقدار ضریب از توزیع t استیودنت تبعیت می‌کند [Siegel, 1956].

### ٤-٣ شاخص نابرابری (ضریب جینی)

بمنظور سنجش میزان نابرابری در توزیع منافع حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی در سطح شهر، ضریب جینی مورد استفاده قرار گرفت. از منظر اقتصادی، برابری کامل عبارت است از وضعیتی که در آن، تمامی منافع یک فرآیند به‌صورت برابر میان افراد جامعه توزیع گردد [Welch, 2013]. نمایه‌ی این وضعیت نیمساز ربع اول در دستگاه دوبعدی است.

ضریب جینی نمایانگر فاصله‌ی وضعیت فعلی از وضعیت ایده‌آل یعنی برابری کامل است. در واقع ضریب جینی سطح بین دو نمودار برابری کامل و وضعیت موجود را بیان می‌نماید. تعریف ریاضی ضریب جینی به شرح زیر است.

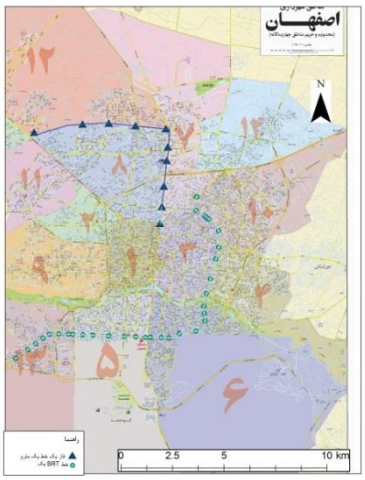
$$G_a = 1 - \sum_{k=1}^{n} (X_k - X_{k-1})(Y_k + Y_{k-1}) \qquad (٦)$$

در بهترین وضعیت یعنی یکسان بودن وضعیت موجود با حالت برابری کامل، مقدار این ضریب برابر با صفر و در بدترین حالت برابر با یک است. با محاسبه نحوه‌ی توزیع منافع حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی می‌توان درباره میزان برقراری عدالت عمودی بصورت کمی بحث نمود.

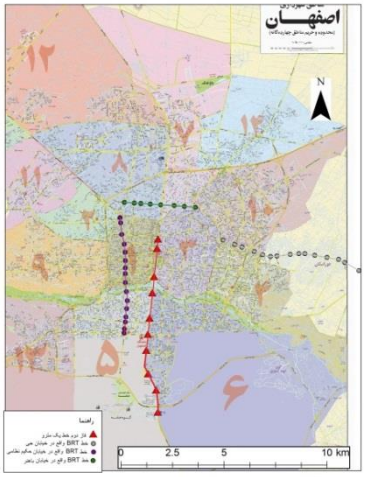
## ٤. مطالعه موردی

سامانه اتوبوس‌رانی شهر اصفهان شامل ۹۲ خط و ۱۷۵۳ ایستگاه فعال و سامانه تندرو اتوبوس‌رانی اصفهان شامل ۱ خط و ۳۲ ایستگاه فعال وسامانه‌ی قطار شهری (مترو) شامل ۱ خط (فاز اول خط۱) و ۱۰ ایستگاه فعال است. انتظار می‌رود در سال ۱۳۹٦ با اتمام خطوط سامانه‌ی اتوبوس تندرو، سه خط BRT به سامانه‌ی حمل‌ونقل همگانی شهر اضافه گردد. خط ۱ اتوبوس تندرو اصفهان در سال ۱۳۹۱ راه‌اندازی شده است و تا قبل از آن تنها خطوط عادی اتوبوس در اصفهان وجود داشته است. شکل (۲-الف) وضعیت خطوط تندرو فعلی (شامل BRT و بخشی از خط ۱ مترو)، شکل ۲-ب)خطوط باقیمانده برای اجرا و شکل (۲-ج) کلیه خطوط تندروی مصوب (تکمیل خط ۱ مترو و احداث ۳ خط جدید اتوبوس تندرو) را نشان می‌دهد.

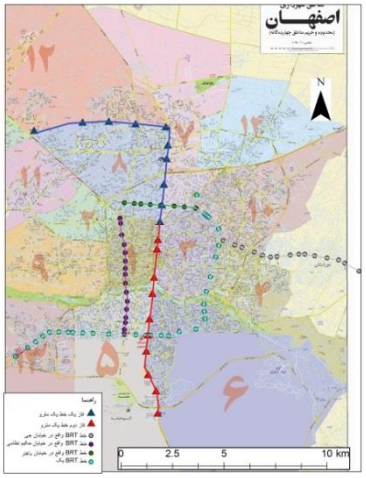
بدلیل تمرکز مقاله حاضر بر توسعه روش و بررسی وضعیت برقراری عدالت، از ارائه جزئیات مسیر خطوط جدید تندرو خودداری شده است.




**شکل ۲. الف.**




**شکل ۲. ب.**

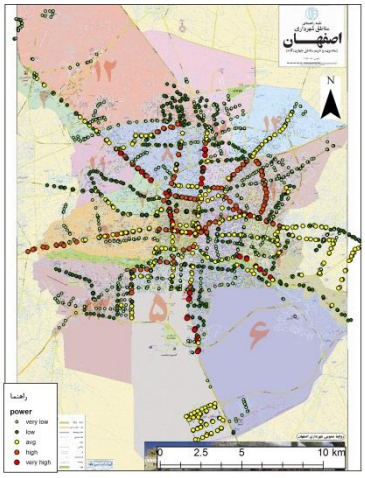



شکل ۲. ج.

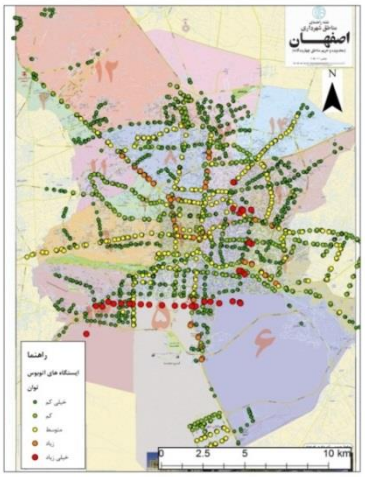
### ٤-۱ محاسبه توان ایستگاه‌ها

به‌منظور محاسبه توان ایستگاه‌های حمل‌ونقل همگانی در شهر اصفهان، داده‌های فرکانس، سرعت، ساعت کاری روزانه، حجم ناوگان کلیه این خطوط از شرکت واحد اتوبوس‌رانی اصفهان و حومه دریافت شد. موارد کمی از نقص در داده‌های فرکانس سرویس خطوط موجود بود که با استفاده از میانگین مقدار پارامتر موردنظر در کلیه خطوط، تکمیل شد. برای هر ایستگاه توان ورودی و خروجی محاسبه شد و میانگین این دو مقدار به عنوان توان کلی حاصل از گذر خط L در ایستگاه i تعیین گردید. با جمع توان خطوط گذرنده از هر ایستگاه توان حمل‌ونقلی که هر ایستگاه در اختیار شهروندان قرار می‌دهد، محاسبه شد.

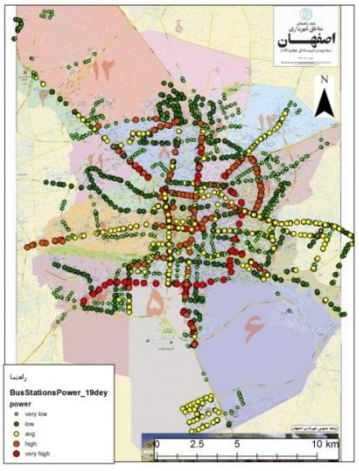
شکل‌های ۳ تا ۵، توزیع توان ایستگاه‌ها را در بترتیب در سه وضعیت قبل از احداث BRT ، وضعیت موجود (وجود یک خط BRT و فاز ۱ خط ۱ مترو)، و وضعیت افق (تکمیل کلیه خطوط BRT و خط ۱ مترو) نشان می‌دهند.




شکل ۳. وضعیت پیشین




شکل ٤. وضعیت موجود




شکل ۵. وضعیت افق

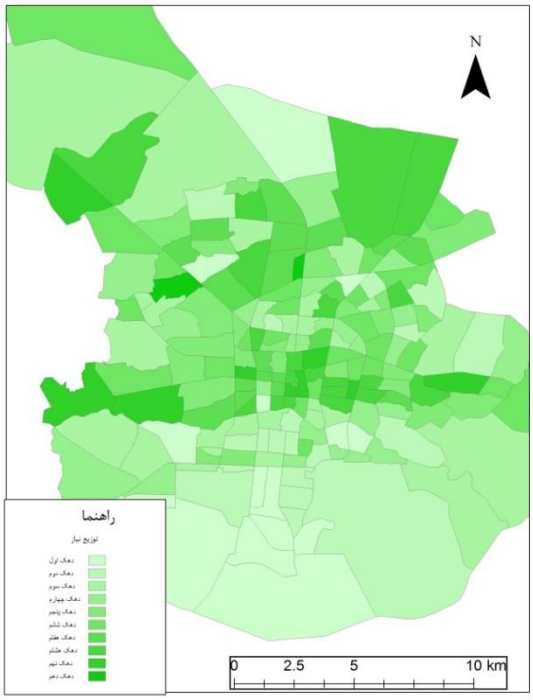
### ٤-٢ توزیع توان‌های ایســـتگاه‌ها و افراد نیازمند در نواحی ترافیکی

با مشخص شدن توان ایستگاه‌ها، جهت مشخص نمودن میزان عرضه خدمات حمل‌ونقل همگانی در هر ناحیه ترافیکی[١٦]، توان ایستگاه‌های موجود در هر ناحیه ترافیکی تجمیع گردید. نتایج برای سال پایه، وضعیت موجود، و سال افق بترتیب در شکل‌های (٦) تا (٨) (سمت چپ) نمایش داده شده‌اند. به‌منظور سهولت نمایش و تحلیل، نواحی ترافیکی از منظر توان به ده دهک تقسیم‌شده‌اند، به‌نحوی‌که دهک اول بهترین و دهک دهم بدترین وضعیت از نظر ارائه توان را دارند.

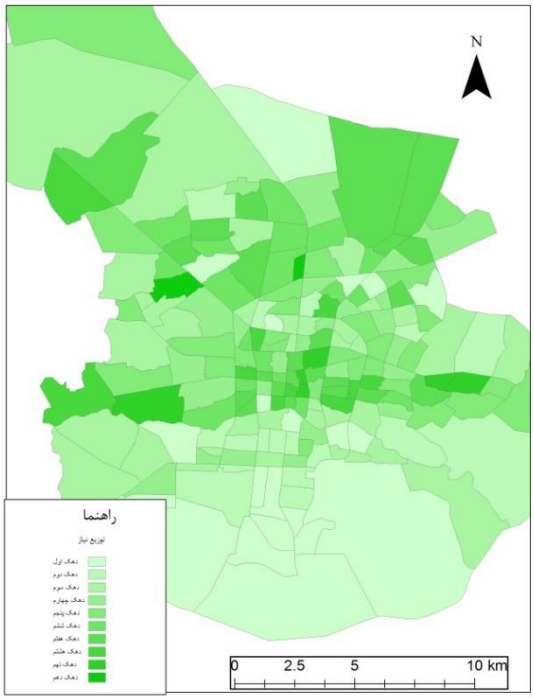
پس از بررسی وضعیت عرضه، بنمظور محاسبه تقاضا در هر ناحیه ترافیکی، جمعیت افراد فاقد خودروی شخصی در هر ناحیه مورد توجه قرار گرفت. به‌طورمعمول این دسته از افراد جهت انجام مسافرت‌های روزانه‌ی خود یکی از گونه‌های حمل‌ونقلی رقیب با گونه‌ی حمل‌ونقل شخصی را جهت انجام سفرهای روزانه خود استفاده می‌نمایند، بنابراین این دسته از افراد نیاز بالفعل به خدمات سامانه‌ی حمل‌ونقل همگانی دارند. علت همفزونی اطلاعات در مقیاس ناحیه ترافیکی آن بود که داده‌های مربوط به جمعیت و مالکیت خودرو، در این مقیاس موجود بودند. این اطلاعات از آمارهای برداشت‌شده در مطالعات جامع حمل‌ونقل کلان‌شهر اصفهان گردآوری شد. برای پیش‌بینی جمعیت در سال افق از میانگین ضریب رشد جمعیت مرکز آمار کشور استفاده شد.

در بررسی توزیع افراد نیازمند نیز نواحی به ده دهک تقسیم شده‌اند که دهک اول شامل نواحی با بالاترین سرانه مالکیت خودرو و دهک دهم شامل نواحی با پایین‌ترین سرانه‌ی مالکیت خودرو هستند. نتایج برای سال پایه، وضعیت موجود، و سال افق بترتیب در شکل‌های (٦) تا (٨) (سمت راست) نمایش داده شده‌اند.

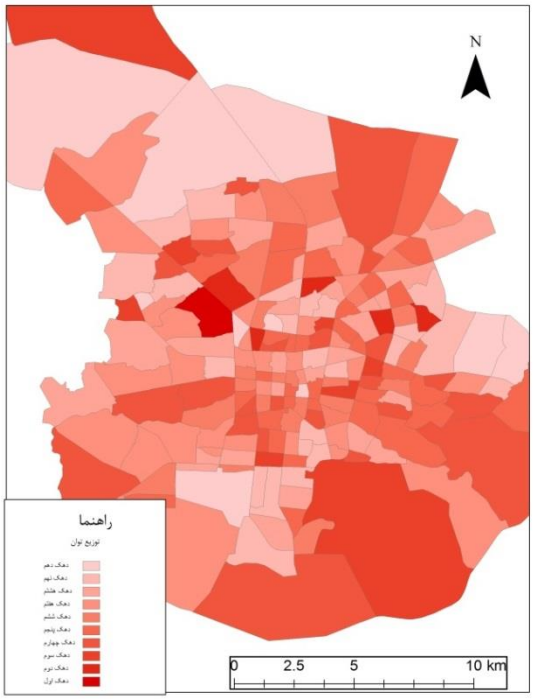
**شکل ٥. توزیع افراد نیازمند و توان در نواحی ترافیکی وضعیت اول**

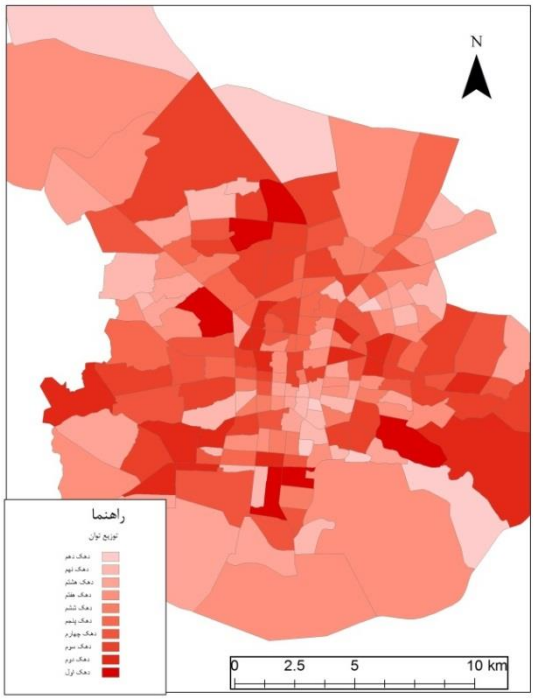



شکل ٦ . توزیع افراد نیازمند و توان در نواحی ترافیکی وضعیت دوم




شکل ۷. توزیع افراد نیازمند و توان در نواحی ترافیکی وضعیت سوم



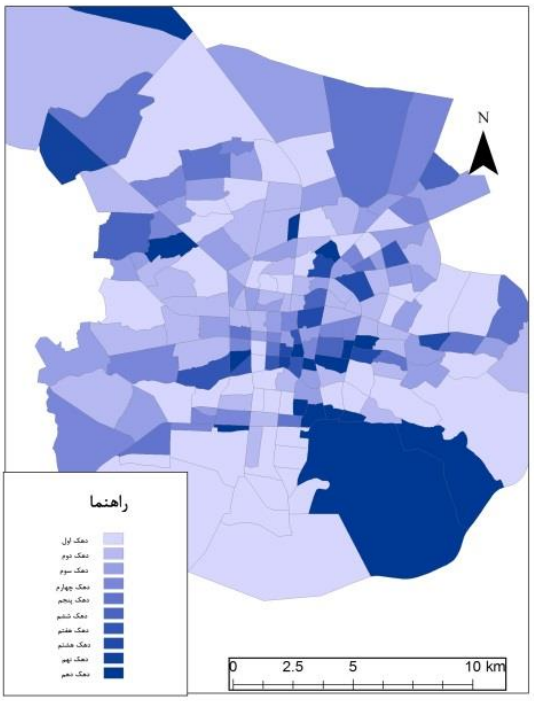

### ٤-۳ محاسبه میزان توازن در توزیع عرضه و تقاضا

تناسب توزیع بین عرضه و تقاضا با مقایسه توزیع توان (عرضه) و نیاز به حمل‌ونقل همگانی (تقاضا) در نواحی ترافیکی

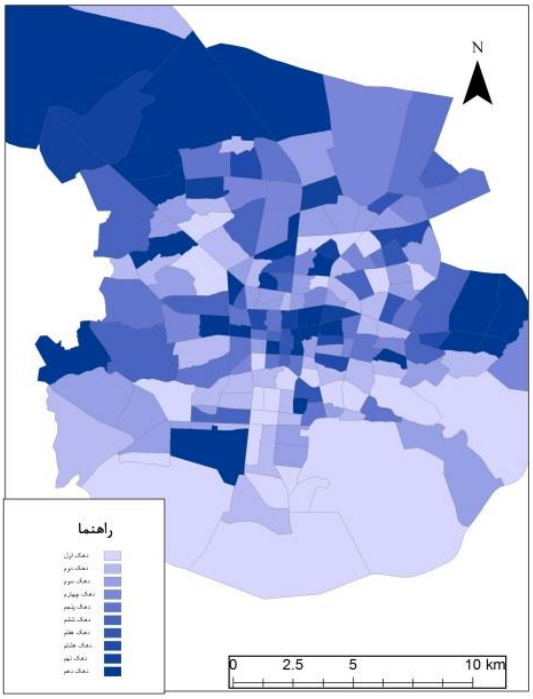
انجام شد. به این منظور، ابتدا با تقسیم مقادیر توان ($P_i$) و نیاز هر ناحیه ($N_i$) به مقادیر بیشینه متناظر ($P_{max}$ و $N_{max}$)، مقادیر نرمال‌شده توان و نیاز هر ناحیه محاسبه شد. سپس میزان عدم توازن هر ناحیه $i$ (نسبت بین عرضه و تقاضا با تقسیم مقادیر نرمال‌شده نیاز بر توان هر ناحیه ($B_i$)) بدست آمد (رابطه ۷).

$$B_i = (\frac{N_i}{N_{max}})/(\frac{P_i}{P_{max}}) \qquad (۷)$$

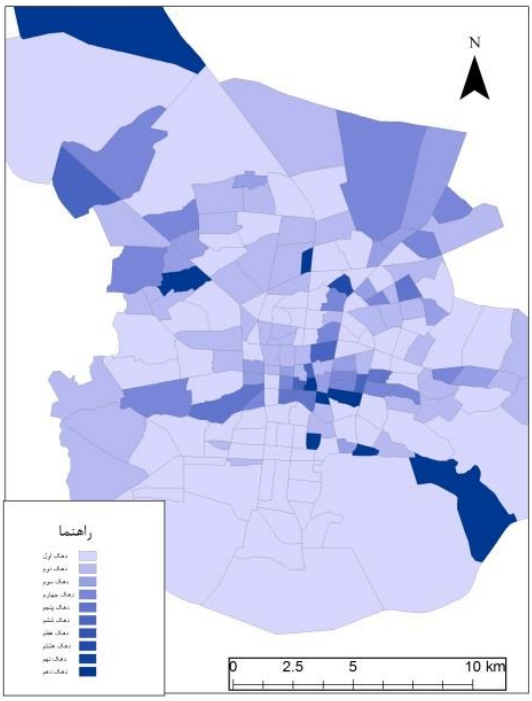
مقادیر این نسبت برای هر ناحیه ترافیکی بتفکیک دهک در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان می‌دهند. هر چه این مقدار بزرگ‌تر باشد ناحیه موردبررسی نیاز به تقویت بیشتر سامانه حمل‌ونقل همگانی دارد. نواحی دهک اول (کم‌رنگ‌ترین) مناسب‌ترین وضعیت خدمات حمل‌ونقل همگانی نسبت به نیاز شهروندان ساکن را دارند و نواحی دهک دهم (پررنگ‌ترین) از ضعیف‌ترین خدمات حمل‌ونقل همگانی نسبت به میزان نیاز ساکنین، برخوردار هستند.




**شکل ۸. توزیع توازن در وضعیت پایه**




**شکل ۹. توزیع توازن در وضعیت موجود**



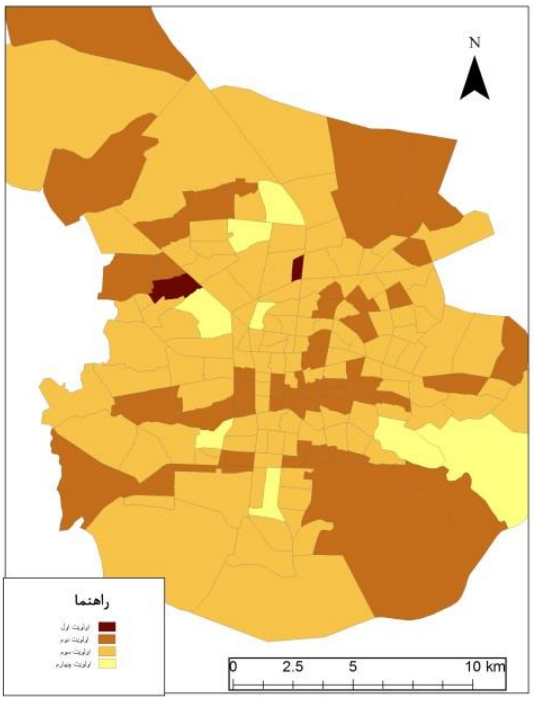

**شکل ۱۰. توزیع توازن در وضعیت افق**

## ٤-٤ محاسبه مقدار کمبود عرضه تسهیلات حمل‌ونقل همگانی

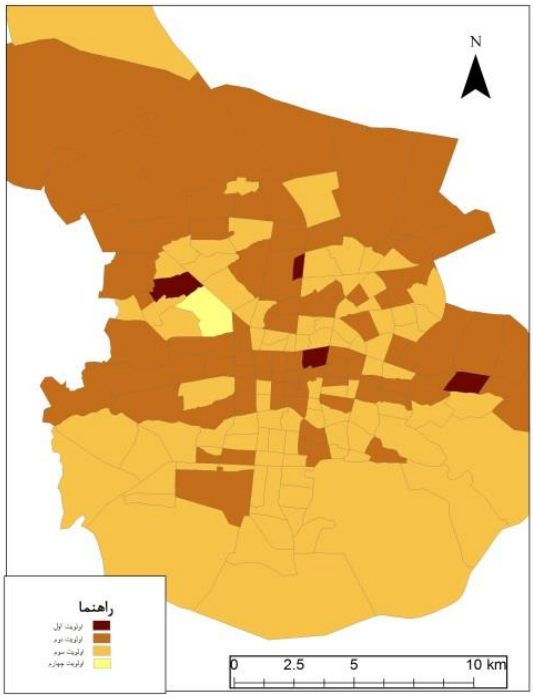
اولویت‌بندی نواحی در دریافت تسهیلات حمل‌ونقل همگانی، بر اساس شدت نیاز انجام می‌شود. به این منظور، مطابق رابطه ۸، مقدار کمبود هر ناحیه ($D_i$) که برابر تفاضل عرضه و تقاضا در هر ناحیه است، محاسبه گردید.

$$D_i = \left(\frac{N_i}{N_{max}}\right) - \left(\frac{P_i}{P_{max}}\right) \qquad (۷)$$

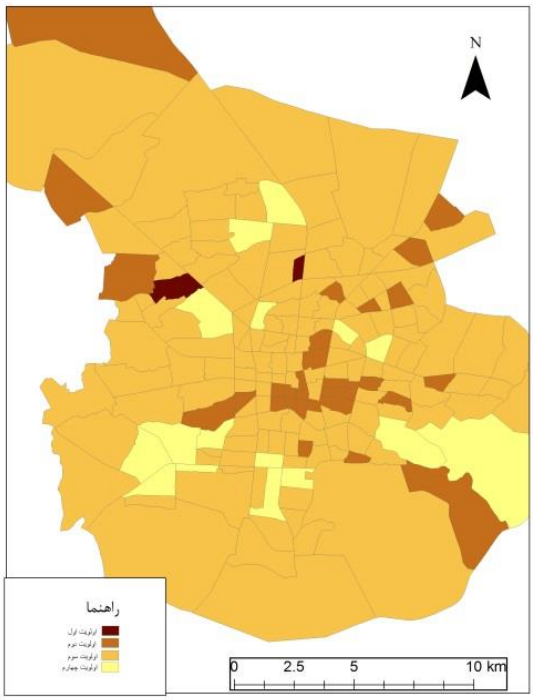
شکل‌های ۱۲ تا ۱٤ نحوه توزیع کمبود در پهنه شهری را نشان می‌دهند. نواحی پررنگ‌تر، بیشترین نیاز به توسعه را دارند.




**شکل ۱۱. اولویت نواحی در وضعیت پایه**




**شکل ۱۲. اولویت نواحی در وضعیت موجود**




**شکل ۱۳. اولویت نواحی در وضعیت افق**

### ٤-۵ سنجش عدالت اجتماعی در توزیع میان عرضه و تقاضا

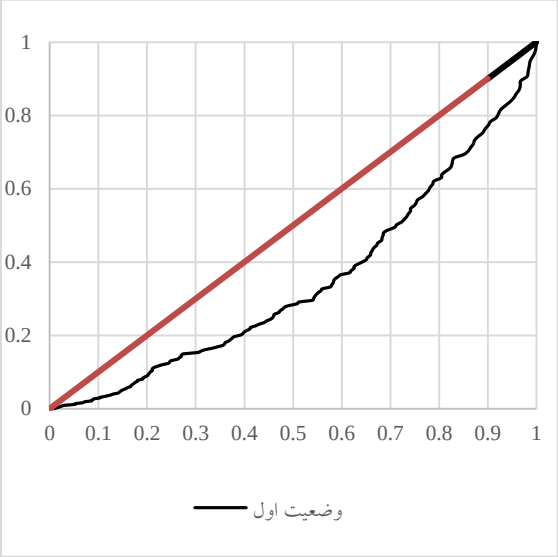
بمنظور سنجش عدالت، دو رویکرد مورد استفاده قرار گرفت. رویکرد نخست عبارت بود از استفاده از ضریب رتبه‌ای اسپیرمن برای ارزیابی تناسب میان رتبه هر ناحیه از منظر توان و نیاز. رویکرد دوم عبارت بود از استفاده از ضریب جینی برای ارزیابی توزیع توان حمل‌ونقل همگانی بین جمعیت در نواحی مختلف ترافیکی شهر.

مقدار ضریب رتبه‌ای اسپیرمن نشان‌دهنده میزان عدم توازن رتبه‌ای میان توان و نیاز نواحی است. همچنین مقدار بزرگی ضریب جینی نشان‌دهنده فاصله وضعیت از شرایط عدالت کامل است که در بهترین وضعیت این ضریب برابر با صفر و در بدترین وضعیت برابر با یک است. این ضرایب در سه وضعیت پایه، موجود و افق را نشان می‌دهد.

**جدول ۱. آماره‌های مربوط به وضعیت‌های پایه، موجود و افق**

| | شاخص اسپیرمن | آماره متناظر | مقدار بحرانی | ضریب جینی |
|---|---|---|---|---|
| **وضعیت پایه** | ۰/۱۸ | ۲/۴ | ۱/۷ | ۰/۳۱ |
| **وضعیت موجود** | ۰/۱۸ | ۲/۴ | ۱/۷ | ۰/۳۳ |
| **وضعیت افق** | ۰/۰۳۶ | ۰/۴۹ | ۱/۷ | ۰/۳۳۵ |

در وضعیت پایه، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای شهر اصفهان برابر با ۰/۱۸ و آماره متناظر با آن برابر با ۲/٤ بوده است. حد موردقبول این آماره با درجه آزادی ۱۸٤ (درجه آزادی N-2 ) در حدود ۱/۷ است. بنابراین از نظر آماری تفاوت رتبه نواحی شهر اصفهان از منظر نیاز با رتبه آنها از منظر توان دریافت‌شده معنی‌دار بوده است و در نتیجه توزیع متناسب نبوده است. ضریب جینی در وضعیت پایه برای شهر اصفهان برابر با ۰/۳۱ بوده است. شکل (۱۵) منحنی لورنز و خط نیمساز (عدالت کامل) را برای این وضعیت نشان می‌دهد.




**شکل ۱٤. منحنی لورنز وضعیت پایه**

در وضعیت موجود، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای شهر اصفهان برابر با ۰/۱۸ و آماره متناظر با آن برابر با ۲/٤ است. حد موردقبول این آماره با درجه آزادی ۱۸٤ در حدود ۱/۷ است. بنابراین از نظر آماری همچنان رتبه‌بندی نواحی شهر اصفهان از منظر نیاز با رتبه‌بندی آنها از منظر توان دریافت‌شده متناسب نیست. ضریب جینی متناظر وضعیت موجود شهر اصفهان برابر با ۰/۳۳ ا که بهبود چندانی را نسبت به سال پایه نشان نمی‌دهد.

در وضعیت سال افق، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای شهر اصفهان برابر با ۰/۰۳٦ و آماره متناظر با آن برابر با ۰/٤۹ است. حد موردقبول این آماره با درجه آزادی ۱۸٤ در حدود ۱/٦٦ است. بنابراین از نظر آماری تفاوت رتبه‌بندی نواحی شهر اصفهان از منظر نیاز با رتبه‌بندی آنها از منظر توان دریافت‌شده معنی‌دار نیست. در نتیجه توزیع توان و نیاز در وضعیت متناسب قرار خواهد گرفت. ضریب جینی متناظر این وضعیت برای شهر اصفهان برابر با ۰/۳۳۵ خواهد بود که باز هم تفاوت چندانی با وضعیت پایه و موجود ندارد.

## ۵. نتیجه‌گیری

با تلفیق مفاهیم دسترسی و تحرک و توسعه مفهوم اتصال به عنوان منفعت اصلی حاصل از سامانه حمل‌ونقل همگانی شهری، امکان تحلیل‌های منطقی‌تر از وضعیت ارائه خدکات حمل‌ونقل همگانی به شهروندان فراهم می‌گردد. حساسیت مفهوم اتصال به کلیه سیاست‌های مدیریت شهری در حوزه حمل‌ونقل همگانی (مانند تقویت خطوط موجود، بازنگری در

مکان ایستگاه‌ها، تقویت ناوگان، استفاده از فناوری‌های نوین) از مزیت‌های اصلی آن است.

ارائه روشی محاسباتی برای سنجش میزان برقراری عدالت در توزیع منافع حاصل از حمل‌ونقل همگانی بر اساس دو رکن انجام شد. رکن اول تعریف عدالت عمودی بعنوان یکی از اهداف اصلی مدیریت شهری است. رکن دوم توسعه سازوکار عملی برای محاسبه وضعیت مبتنی بر داده‌های واقعی شهر است. این رکن شامل مقایسه وضعیت هر ناحیه از منظر تقاضا و عرضه با سایر نواحی شهری و نیز مقایسه وضعیت عرضه و تقاضای هر ناحیه بصورت مستقل است. مقایسه اول با استفاده از ضریب رتبه‌ای اسپیرمن و مقایسه دوم با استفاده از ضریب جینی انجام شد.

مقاله ضمن تعیین نواحی دارای اولویت توسعه و تقویت خدمات سامانه حمل‌ونقل همگانی، تاثیر طرح‌های در دست اجرا را بر عدالت اجتماعی می‌سنجد. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که از دیدگاه تناسب وضعیت عرضه و تقاضای نواحی، اگرچه وضعیت فعلی سامانه حمل‌ونقل همگانی اصفهان بر اثر اضافه شدن خط ۱ اتوبوس تندرو و بخشی از خط ۱ مترو نسبت به ٤ سال قبل عادلانه‌تر شده است، هنوز از وضعیت عادلانه فاصله دارد. با تکمیل خط ۱ مترو و راه‌اندازی خطوط جدید سامانه تندرو، شرایط از نظر تناسب عرضه و تقاضا متناسب با عدالت خواهد شد. از منظر تناسب خدمات با جمعیت نیازمند، وضعیت مناسب نبوده است و با اجرای طرح‌های مصوب نیز بهبود چندانی نخواهد یافت. در نتیجه لازم است ضمن مطالعه طرح‌های جدید، گسترش شبکه عادی در مسیرهای مختلف نیازمند نیز در دستور کار قرار گیرد.

## ٦. پی‌نوشت‌ها

1. Vertical Equity
2. Accessibility
3. Mobility
4. Connectivity Power
5. Traffic Analysis Zone
6. Choice Maker
7. Captive
8. Spatial Mismatch Theory
9. Transportation Mismatch
10. Social Indices
11. Horizontal Equity
12. Social Meaning

## ۷ . مراجع


–Foth, N., El-Geneidy, A. M. and Manaugh, K. (2013) “Towards equitable transit: examining transit accessibility and social need “, Journal of Transport Geography No. 29, pp. 1–10.

– Hensher, David A. and Li, Z. (2011) “Ridership drivers of bus rapid transit systems”, J. Transportation, Vol. 39, No. 6, 1209-1221.

–Kahn, M. E., Glaeser, E. L. and Rappaport, J. (2008) “Why do the poor live in cities? The role of public transportation”, Journal of Urban Economics Vol. 63. No. 1, pp. 1–24.

–Litman, T. (2002) "Evaluating transportation equity", World Transport Policy & Practice, Vol. 8, No.2, pp. 50-65.

-Manaugh, K. and El-Geneidy, A. (2012) “Who benefits from new transportation infrastructure? Using accessibility measures to evaluate social equity in transit provision”, Accessibility and Transport Planning: Challenges for Europe and North America, pp. 1035-1053.

-Martens K., Golub A. and Robinson, G. (2012) “A justice-theoretic approach to the distribution of transportation benefits: Implications for transportation planning practice in the United States” , Transportation Research Part A, Vol. 46. No. 4, pp. 684–695

-Mishraam, S., Welch, T. F. and KJha, M. (2012) ”Performance indicators for public transit connectivity in multi-modal transportation networks”, Transportation Research Part A, Vol. 46, No. 7, pp.1066–1085.

-Murray, A. and Davis, R. (2001)”Equity in regional service provision”, Journal of Regional Science Vol. 41, No. 4, pp. 557–60. DOI: 10.1111/0022-4146.00233

-Ong, P. M. and Miller, D. (2005) “Spatial and transportation mismatch in Los Angeles”, Journal of Planning Education and Research Vol. 25, No. 1, pp.43-56.

-Ricciardi, Anthony Michael, Jianhong Cecilia Xia and Currie, Graham (2015) "Exploring public transport equity between separate disadvantaged cohorts: a case study in Perth, Australia", Journal of Transport Geography, Vol. 43, pp.111-122.

S.Siegel, S.(1956), “Nonparametric Satatistics: for the behavioral sciences”, McGraw-Hill.

Welch T. F. (2013) “Equity in transport: The distribution of transit access and connectivity among affordable housing units”, Transport Policy Vol. 30, pp. 283–293.

میثم اکبرزاده، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق (مخابرات) را در سال ۱۳۸۱ و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع (سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی) را در سال ۱۳۸٦ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل از دانشگاه ایالتی لوئیزیانا (آمریکا) گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل‌ونقل همگانی، شبکه‌های پیچیده و مهندسی ترافیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.

سیدامیرحسین مرتضوی، درجه کارشناسی در رشته عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران – برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی و سامان‌دهی حمل و نقل همگانی و ترافیک درون شهری است.