انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل با توجه به عدالت فضایی (مطالعه موردی: شبکه حمل و نقل شهر اصفهان)

سید نادر شتاب بوشهری، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

سید محمدرضا حسینی نسب (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

آرزو کاظمی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail:m.hosseininasab@in.iut.ac.ir

دریافت:۱۳۹۲/۱۱/۰۱ پذیرش:۱۳۹۳/۰۶/۰۱

چکیده:

از دیدگاه سیاستگذاران حمل‌ونقل ، یکی از راهبردهای دستیابی به توسعه پایدار در نظر گرفتن عدالت از ابعاد مختلف است. یکی از انواع عدالت که جهت انتخاب پروژه‌های زیرساخت حمل‌ونقل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، عدالت فضایی است که همان عدالت در میان نواحی مختلف محدوده مورد مطالعه است. در این مقاله مدلی جهت انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل با رویکرد عدالت فضایی ارائه شده است. به این منظور دو شاخص دسترسی و ازدحام با رویکرد عدالت فضایی جهت ارزیابی پروژه‌های حمل و نقل معرفی شده است. در این شاخص‌ها نواحی با وضعیت بد دسترسی و ازدحام، وزن بیشتری می‌گیرند. در مدل پیشنهادی در کنار این دو شاخص، شاخص مجموع زمان سفر طی شده در شبکه که نشان دهنده وضعیت کلان شبکه است نیز بکار برده شده است. همچنین یک روش ترکیبی AHP-SMART جهت تعیین وزن این شاخص‌ها در مدل ارائه شده است. شهر اصفهان به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده و شش خیابان پیشنهادی در طرح تفصیلی شهر اصفهان جهت اضافه شدن به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه‌سازی سناریوهای مختلف با استفاده از نرم افزار EMME/2 انجام شده و از این طریق داده‌های مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌های مدل فراهم گردیده است. نتایج بیانگر آن است که در نظر گرفتن عدالت فضایی می‌تواند رتبه بندی سناریوهای مختلف را دستخوش تغییر جدی نماید. یک سناریو ممکن است تنها با درنظر گرفتن تاثیر بر کاهش مجموع زمان سفر طی شده در شبکه، سناریوی مناسبی به نظر برسد، اما اگر این سناریو مطلوبیت در نواحی با وضعیت بهتر را بیشتر افزایش دهد، از دیدگاه عدالت فضایی، نه تنها بهبودی در وضعیت کلی شبکه حاصل نشده است، بلکه وضعیت کلی شبکه به سمت ناعدالتی بیشتر سوق داده شده است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب پروژه‌های حمل‌ونقل، عدالت فضایی، دسترسی، ازدحام

۱. مقدمه

یکی از مسائل مطرح در حوزه حمل‌ونقل، اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل[۱] (TIP) است. این مسئله برای تصمیم‌گیرندگان حوزه حمل و نقل بسیار حائز اهمیت است، زیرا آنها همواره پروژه‌های بالقوه بسیاری را در دست بررسی دارند که به دلیل وجود اهداف و محدودیت‌های مختلف، اولویت‌بندی و انتخاب آنها با پیچیدگی روبرو است. در صورتی که انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل با یک نگاه علمی و همه جانبه به مسئله انجام نپذیرد، چه بسا که وضعیت سیستم حمل و نقل نه تنها بهبودی نیابد، بلکه با افول نیز مواجه گردد. نتیجه این افول می‌تواند مواردی از قبیل افزایش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم (چه برای گردانندگان سیستم و چه برای کاربران آن)، به خطر افتادن امنیت شهروندان، افزایش نارضایتی اجتماعی و ... باشد. از این‌رو حساسیت سیستم حمل و نقل و تاثیر قابل توجه آن بر زندگی عموم مردم اقتضا می‌کند که فرآیند برنامه‌ریزی و انتخاب پروژه در این حوزه، با رعایت توجه و دقت کافی به انواع تاثیرات آن انجام پذیرد.

مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل ذاتاً یک مسئله پیچیده است. به عنوان مثال فرض کنید n خیابان جهت اضافه شدن به شبکه حمل و نقل انتخاب شده باشند. در صورتی که بخواهیم مسئله انتخاب پروژه‌ها را مورد بررسی قرار دهیم، تعداد کل حالات ممکن 2^n خواهد بود. البته هرچند به دلیل وجود محدودیت‌هایی مانند محدودیت بودجه در مسئله تصمیم‌گیری برخی از این حالات امکان ناپذیر خواهد بود، اما از سوی دیگر به دلیل پدیده بریز[۲]، برای یافتن جواب بهینه باید تمامی حالات امکان پذیر را مورد ارزیابی قرار داد که این موضوع پیچیدگی حل مسئله انتخاب پروژه‌های حمل و نقل را به ویژه در حالتی که مقدار n بزرگ باشد را آشکار می‌سازد.

یکی از موضوعاتی که امروزه مورد توجه بسیاری از محققان و همچنین سیاستگذاران حوزه حمل و نقل قرار گرفته است، در نظر گرفتن مفهوم عدالت[۳] در تصمیم‌گیری‌ها است، زیرا از یک سو تحقق عدالت در جامعه یکی از اصلی‌ترین اهداف در جوامع بشری به ویژه در جوامع دینی است[۴] و از سوی دیگر تصمیم‌گیری‌های حوزه حمل‌ونقل، اثرات مختلف و قابل توجهی بر روی عدالت دارد. در بین پژوهشگران حوزه حمل و نقل، تفسیر یکسان و مشترکی از مفهوم عدالت وجود ندارد و از همین رو به عدالت در حمل‌ونقل از دیدگاه‌های مختلفی نگریسته شده است. از دیدگاه لیتمن[Litman, 2011]، عدالت اشاره به توزیع اثرات(منافع و زیانها) و درجه‌ای که توزیع عادلانه و مناسب در نظر گرفته شده است، دارد. لیتمن انواع عدالت در حمل‌ونقل را در دو گروه عدالت افقی[۵] و عدالت عمودی[۶] دسته‌بندی می‌کند. او همچنین عدالت عمودی را از دو دیدگاه عدالت عمودی با توجه به درآمد و گروه‌های اجتماعی و عدالت عمودی با توجه به نیاز و توانایی بررسی می‌کند.

یکی دیگر از انواع عدالت، عدالت فضایی[۷] است که اشاره به عدالت در نواحی مختلف محدوده مورد مطالعه دارد. همانند مفهوم عدالت، تعریف دقیق و جهانی از عدالت فضایی وجود ندارد. به عنوان مثال از دیدگاه تاموپولوس و همکارانش [Thomopoulos, Grant-Muller and Tight, 2009]، عدالت فضایی اشاره به موقعیت جغرافیایی فرد، گروه و یا منطقه تحت تأثیر پروژه زیربنایی حمل‌ونقل دارد. لیائو و همکاران[Liao, Hsueh-Sheng and Tsou, 2009]، عدالت فضایی را توزیع یکسان خدمات در رابطه با نیازها، ترجیحات و استانداردهای خدمت‌رسانی هریک از ساکنان بیان می‌کند. عدالت فضایی نقش مهمی در برنامه‌ریزی شهری دارد و می‌توان جنبه‌های مختلف آن را در حمل‌ونقل بکار گرفت. زیرساخت‌های حمل‌ونقل یکی از ابزارهای مهم برای رسیدن به عدالت فضایی است. تصمیم‌گیری درباره سیاست‌های سرمایه‌گذاری زیربنایی حمل‌ونقل از منظر عدالت فضایی، نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات کافی از تاثیرات این پروژه‌ها بر نواحی مختلف دارد. هر پروژه حمل‌ونقل می‌تواند بر روی برخی از نواحی اثرات مثبت گذاشته و وضعیت را بهترکند و بالعکس بر روی بعضی از نواحی اثرات منفی داشته و وضعیت آن نواحی را بدتر کند.

در اکثر مطالعات انجام شده پیرامون عدالت فضایی به تحلیل

نابرابری‌های منطقه‌ای در شاخص‌های اقتصادی یا مکان‌یابی تسهیلات عمومی پرداخته شده است و به ندرت اثرات پروژه‌های زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر عدالت فضایی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع عدالت فضایی در انتخاب پروژه‌های حمل‌ونقل و پیشرفت به سوی حمل‌ونقل پایدار، هدف مقاله حاضر ارائه شاخص‌هایی جهت ارزیابی کمی تأثیرات پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل بر عدالت در نواحی مختلف و استفاده از آنها در انتخاب پروژه‌های حمل‌ونقل شهری است. به این منظور در بخش ۲، مروری بر فعالیت‌های پژوهشی قبلی مرتبط صورت پذیرفته است و در بخش ۳، دو شاخص جهت ارزیابی پروژه‌های حمل و نقل از منظر عدالت فضایی توسعه داده شده است. در بخش ٤ نیز مدلی جهت انتخاب پروژه‌های حمل و نقل با توجه به عدالت فضایی ارائه گردیده است. در بخش ٥ مدل پیشنهادی برای شبکه حمل و نقل شهر اصفهان بکار برده شده و نتایج ارائه گردیده است. در نهایت در بخش ٦ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از کار انجام شده ارائه شده است.

۲. مرور ادبیات

مطالعات انجام یافته پیرامون موضوع مقاله حاضر در ادبیات موضوع را می‌توان در دو دسته طبقه‌بندی کرد: مطالعاتی که با هدف اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های حمل و نقل انجام پذیرفته است، و مطالعاتی که به دنبال تعریف شاخص‌هایی جهت سنجش عدالت فضایی در پروژه‌های حمل و نقل هستند، که در ادامه برخی از این فعالیت‌ها مرور می‌گردد.

الف) مطالعات با هدف اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های حمل و نقل: مطالعات بسیاری جهت حل مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل انجام پذیرفته است و در این راستا پژوهشگران مختلف رویکردهای متنوعی را بکار برده‌اند. به‌طور کلی، می‌توان عمده رویکردهای مورد استفاده جهت حل مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل را با توجه به نوع مدل کردن مسئله، و سپس حل آن، در سه دسته اصلی طبقه‌بندی نمود، که عبارتند از: تحلیل هزینه–فایده[8] (CBA)، تصمیم‌گیری چندمعیاره[9] (MCDM) و مسئله طراحی شبکه گسسته[10] (DNDP). در رویکرد تحلیل هزینه–فایده تلاش می‌شود تا کلیه معیارهای موردنظر اعم از اقتصادی و غیراقتصادی به یک معیار واحد (عموماً مقادیر پولی) تبدیل شده و در نهایت پروژه‌ها بر این اساس ارزیابی می‌شوند. در مراجع [Cavill et al. 2008; Vickerman, 2007] مروری بر فعالیت‌های انجام شده با استفاده از CBA به منظور ارزیابی پروژه‌های زیربنایی حمل و نقل صورت گرفته است. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، همزمان معیارها و یا اهداف متعددی درنظر گرفته شده و سپس سعی می‌گردد نتایج آنها به نحوی با یکدیگر تلفیق گردیده و در نهایت گزینه‌های مرجح انتخاب شوند. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته روش‌های تصمیم‌گیری چند مشخصه‌ای[11] (MADM) و روش‌های تصمیم‌گیری چند هدفه[12] (MODM) تقسیم‌بندی نمود. در دهه‌های اخیر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل با رشد قابل توجهی در ادبیات موضوع همراه بوده است. بسیاری از نویسندگان مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل را به صورت یک مسئله MADM فرموله کرده و با استفاده از یک روش MADM به حل آن پرداخته‌اند. به عنوان نمونه مراجع [Barfod, Salling and Leleur, 2011; Gerçek, Karpak, and Kılınçaslan, 2004; Pan, 2008; Šelih et al. 2008; Shelton and Medina, 2010; Su, Cheng and Lin, 2006; Tsamboulas, 2007; Ziara et al. 2002] از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[13] (AHP) و مراجع [Berechman and Paaswell, 2005; Joumard and Nicolas, 2010; Ugwu et al., 2006; Rezaee and Asgharzadeh, 2008] از روش جمع وزنی ساده[14] (SAW) جهت انتخاب پروژه‌ها بهره برده‌اند. نکته مهمی که در هنگام استفاده از روش‌های MADM جهت رتبه‌بندی پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل باید بدان توجه نمود، این است که به دلیل وجود وابستگی متقابل[15] بین پروژه‌ها در یک شبکه حمل و نقل، پروژه‌ها نباید جداگانه از یکدیگر، مدل شوند، بلکه در مدلسازی باید سبدهای پروژه و اثرات پروژه‌ها

بر یکدیگر دیده شود. در روش‌های MADM مانند AHP، ELECTRE، و PROMETHEE و سایر روش‌های رتبه‌بندی، این امر میسر نیست، مگر اینکه یک رتبه‌بندی صریح از همه سبدهای ممکن ایجاد شود [Iniestra and Gutiérrez, 2009]. به عبارت دیگر با فرض وجود وابستگی متقابل پروژه‌ها، به شرطی می‌توان از روش‌های MADM استفاده نمود که گزینه‌های مسئله، سبدهای پروژه باشند و نه پروژه‌های جداگانه. بنابراین در حالتی که بخواهیم از بین n پروژه مختلف، تعدادی را با استفاده از یک روش MADM انتخاب کنیم، تعداد گزینه‌های مسئله تمامی سبدهای پروژه امکان‌پذیر از میان کل 2^n حالت سبد پروژه خواهد بود. لازم به ذکر است که هیچ یک از مراجع اشاره شده در بالا، وابستگی متقابل پروژه‌ها را درنظر نگرفته‌اند و بنابراین نتایج آنها به شرطی معتبر خواهد بود که هدف انتخاب تنها یک پروژه باشد و نه مجموعه‌ای از پروژه‌ها.

برخی دیگر از نویسندگان، مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل را به صورت یک مسئله MODM فرموله کرده و سپس به حل آن پرداخته‌اند. تِنگ و تی‌زِنگ [Teng and Tzeng, 1996] مسئله مورد اشاره را به صورت یک مسئله کوله‌پشتی چندهدفه ۰ و ۱ ^{16} فرموله کرده‌اند. تِنگ و تی‌زِنگ [Teng and Tzeng, 1998] کار قبلی خود را توسعه داده و مفهوم فازی را وارد مدل نموده‌اند. اینیسترا و گویترز [Iniestra and Gutiérrez, 2009] نیز با ایده گرفتن از [Teng and Tzeng, 1996] مسئله انتخاب پروژه‌های حمل و نقل را به صورت یک مسئله کوله پشتی چندهدفه ۰ و ۱ با تعدادی محدودیت اضافی مدلسازی نموده‌اند. در هر سه مرجع اشاره شده، محدودیت بودجه در دسترس در محدودیت‌های مدل و همچنین وابستگی متقابل پروژه‌های حمل و نقل با ایجاد تغییراتی در توابع هدف منظور شده است.

گروهی از پژوهشگران نیز مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل را به صورت یک مسئله طراحی شبکه گسسته (DNDP) مدلسازی کرده‌اند که در ارتباط با اضافه کردن کمانهای جدید به شبکه موجود یا تعریض کمانهای موجود به اندازه مشخص است [Yang and Bell, 1998]. از نقطه نظر بهینه‌سازی، DNDP یک مسئله تصمیم‌گیری دو سطحی است که تصمیم‌گیری در سطح بالایی توسط طراحان سیستم(شبکه) و در سطح پایینی توسط کاربران سیستم انجام می‌پذیرد. تصمیم‌گیری طراحان سیستم در خصوص پیکره‌بندی شبکه با هدف بهبود عملکرد سیستم است و در مقابل کاربران شبکه مسیرهای مسافرت خود را در پاسخ به تصمیم اخذ شده در سطح بالایی انتخاب می‌کنند. از آنجا که فرض می‌شود کاربران انتخاب‌های خود را با هدف بیشینه کردن توابع مطلوبیت فردی خود انجام می‌دهند، انتخاب‌های آنان لزوماً هماهنگ با تصمیماتی که برای طراحان سیستم بهینه است، نیست. پژوهشگران برای حل مسئله پیچیده DNDP طیف وسیعی از رویکردها را با توجه به دقت و سرعت دستیابی به جواب مورد استفاده قرار داده‌اند که در مرجع [Poorzahedy and Rouhani, 2007] مروری بر این فعالیت‌ها صورت گرفته است.

ب) مطالعات با هدف تعریف شاخص‌هایی جهت سنجش عدالت فضایی: تاموپولوس و همکاران [Thomopoulos, Grant-Muller, and Tight, 2009] با اشاره به جنبه‌های مختلف عدالت در حمل‌ونقل و استفاده از روش‌های موجود انتخاب پروژه، روشی برای در نظر گرفتن عدالت در انتخاب پروژه‌های حمل‌ونقل پیشنهاد کردند. در این روش در گام اول و دوم، اهداف پروژه و ذینفعان شناسایی می‌شوند. در گام سوم اولویت‌ها با توجه به انواع عدالت و همچنین با توجه به قوانین عدالت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌شوند. در گام چهارم اثرات عدالت به صورت کمی محاسبه می‌شوند. در گام پنجم توزیع اثرات برای جنبه‌های مختلف عدالت ارزیابی می‌شود. در گام ششم از نتایج گام سوم و پنجم استفاده گردیده و تمامی اثرات به صورت خطی جمع می‌شوند و در گام هفتم تحلیل حساسیت انجام می‌گیرد. در روش ارائه شده شاخصی برای محاسبه کمی اثرات عدالت پیشنهاد نشده است.

بروکر و همکاران [Bröcker, Korzhenevych and Schürmann, 2010] برای تحلیل عدالت فضایی، منافع حاصل

از تجارت برای مناطق مختلف را در نظر می‌گیرند و از جنبه اقتصادی عدالت فضایی را بررسی می‌کنند. همچنین شی و ژو [Shi and Zhou, 2012] از جنبه توسعه اقتصادی به تحلیل عدالت فضایی پرداخته‌اند. از آنجایی که سرمایه‌گذاری در مناطق توسعه یافته سود اقتصادی بیشتری حاصل می‌کند، بنابراین اگر تصمیمات تنها بر اساس این معیار اتخاذ شوند، شکاف میان مناطق توسعه یافته و مناطق توسعه نیافته بیشتر می‌شود. این همان مفهوم عدالت فضایی است. آنها شاخص زیر را برای اندازه‌گیری عدالت میان مناطق مختلف تعریف کرده‌اند. در این شاخص یک منطقه مانند k منطقه مرجع در نظر گرفته می‌شود.

$$\beta = \left(\frac{P}{P_k}\right)^{-(1-B)(1-\varepsilon)} \left(\frac{Q}{Q_k}\right)^{-B(1-\varepsilon)} \left(\frac{Y}{Y_k}\right)^{-\varepsilon} \quad (۱)$$

که در آن:

β: شاخص ارزیابی عدالت در منطقه (β بزرگتر توسعه نیافتگی بیشتر را نشان می‌دهد)

Y, Y_k: درآمد متوسط درمنطقه مورد مطالعه و منطقه مرجع.

P, P_k: شاخص قیمت در منطقه مورد مطالعه و منطقه مرجع.

Q, Q_k: هزینه‌های اجاره در منطقه مورد مطالعه و منطقه مرجع.

B: نسبتی از هزینه‌های خانوار که صرف اجاره می‌شود.

ε: سطحی از عدالت که جمعیت درک می‌کنند (بین ۰ و ۱ تخمین زده می‌شود).

شاخص فوق که در واقع میزان توسعه نیافتگی را نشان می‌دهد به متوسط درآمد فردی، اجاره بها و شاخص قیمت بستگی دارد.

یوجنیو [Eugenio, 2010] تأثیر ناهمگن پروژه‌های زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی بر گروه‌های اجتماعی- اقتصادی و مناطق جغرافیایی را در نظر گرفته است و اثر این نوع پروژه‌ها بر عدالت فضایی و توزیعی را توصیف می‌کند. او ابتدا حساسیت قیمت دارایی‌ها به توسعه و دسترسی به زیرساخت حمل‌ونقل را به صورت یک پارامتر در نظر گرفته است، که این پارامتر پیش‌بینی قیمت املاک بعد از اجرا یا توسعه پروژه زیرساخت حمل‌ونقل و اثرات عدالت در مناطق جغرافیایی را ممکن می‌سازد (جنبه اقتصادی عدالت فضایی). سپس روش تحلیل هزینه-منفعت را بکار برده و اثرات بر عدالت را به صورت ماتریسی در نظر گرفته است. نقطه ضعف این مدل این است که عدالت و اثرات زیست محیطی را نمی‌توان مستقیماً به مقادیر کمی تبدیل کرد. یوجنیو در آخر یک روش چندمعیاره را معرفی کرده است. در این روش میزان دسترسی به حمل‌ونقل عمومی و نسبت جمعیت در هر منطقه جغرافیایی بررسی گردیده و سپس نیازمندترین مناطق در اولویت قرار می‌گیرند.

رهنما و ذبیحی [Rahnema and Zabihi, 2011] به تحلیل توزیع فضایی و میزان دسترسی یکپارچه به ۱۲ نوع تسهیلات عمومی شهری در شهر مشهد پرداخته‌اند. تیسو و همکاران [Tsou, Hung and Chang, 2005]، به منظور تحلیل وضعیت عدالت نسبی توزیع تسهیلات عمومی شاخص‌های یکپارچه عدالت و چگونگی عملیاتی کردن این شاخص‌ها را پیشنهاد کرده‌اند. این شاخص‌ها بر پایه دیدگاه تحلیلی فضایی مانند تئوری‌های دسترسی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل های تجزیه و تحلیل مکانی، پیشنهاد شده است.

بررسی مطالعات فوق نشان می‌دهد که اغلب این مطالعات به دنبال سنجش وضعیت مناطق شهری از جنبه عدالت فضایی بوده‌اند تا از این طریق مناطقی که از منظر عدالت فضایی وضعیت نامطلوب‌تری دارند، شناسایی گردیده و پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل به سمت این مناطق هدایت شوند. در صورتی که در نظر باشد پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل با توجه به مفهوم عدالت فضایی انتخاب شوند، نیازمند آن هستیم که از شاخص یا شاخص‌هایی برای سنجش میزان تاثیر پروژه‌های مختلف بر عدالت فضایی استفاده نمائیم، که در هیچ یک از مطالعات اشاره شده در بالا، چنین شاخص‌هایی ارائه نشده است و بنابراین، ضرورت تعریف چنین شاخص‌هایی احساس می‌گردد. به همین منظور در بخش بعد، دو شاخص جهت سنجش میزان تاثیر پروژه‌های حمل و نقل بر عدالت فضایی ارائه گردیده است.

۳. شاخص‌های پیشنهادی

معمولاً برای انتخاب پروژه‌های حمل و نقل در یک شهر، تاثیر این پروژه‌ها بر شاخص‌های کل سیستم مانند متوسط زمان سفر، قابلیت دسترسی، آلودگی هوا و ... مورد توجه قرار می‌گیرد. توجه به عدالت در انتخاب پروژه‌های حمل و نقل به این معنی است که علاوه بر درنظر گرفتن اثر پروژه‌ها بر شاخص‌های کل سیستم، می‌بایست نحوه توزیع این اثرات نیز مدنظر قرار گیرد. به‌عبارت دیگر، از منظر عدالت فضایی قابل قبول نخواهد بود که مثلاً اختلاف وضعیت شاخص‌ها در نواحی مختلف محدوده مورد مطالعه قابل توجه باشد. بر این اساس، در این بخش دو شاخص جهت سنجش میزان تاثیر پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل بر عدالت فضایی ارائه گردیده است که یکی از این شاخص‌ها دسترسی و دیگری ازدحام را می‌سنجد. لازم به ذکر است از آنجا که در مقاله حاضر پیاده‌سازی مدل پیشنهادی برای شهر اصفهان مدنظر بوده است، در تدوین این شاخص‌ها نیز به در دسترس بودن داده‌های موردنیاز برای شهر اصفهان توجه شده است.

۳-۱ شاخص دسترسی

مفهوم دسترسی ابزاری اصولی در تعریف و ارزیابی سیاست‌های حمل‌ونقل به شمار می‌آید. بسیاری از برنامه‌ریزان حمل‌ونقل، عدالت در حمل‌ونقل را به معنی برابری سطح جابجایی و دسترسی در میان افراد متفاوت از نظر نژاد، طبقه، جنسیت و ازکارافتادگی، در نظر می‌گیرند [Sanchez, Stolz and Ma, 2003]. از دیدگاه کلاسیک، دسترسی، آسانی رسیدن به مقصد مطلوب، با توجه به‌امکانات قابل استفاده، فاصله و زمان تعریف می‌شود. بنابراین دسترسی با زمان سفر نسبت عکس دارد. در واقع هر چه زمان سفر طولانی‌تر باشد، دسترسی کمتر است. برای اولین بار هانسن [Hansen, 1959] مفهوم دسترسی را به صورت «پتانسیل تقابل موقعیت‌ها» تعریف کرد. گرز و ون اک [Geurs and Van Eck, 2001] دسترسی را به صورت «سطحی که کاربری زمین در یک سیستم حمل‌ونقل، گروهی از افراد یا کالاها را با گونه‌های مختلف قادر به رسیدن به فعالیت‌ها یا مقصد می‌سازد»، تعریف می‌کنند. بر این اساس شاخص دسترسی هر ناحیه را می‌توان به صورت زیر معرفی کرد:

$$A_k = \frac{\sum_{s\in K} P^{ks}\, t^{ks}}{\sum_{s\in K} P^{ks}} \qquad (۲)$$

که در آن A_k دسترسی ناحیه k به نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه، P^{ks} تعداد افرادی که از ناحیه k به ناحیه s سفر می‌کنند، t^{ks} زمان سفر بین ناحیه k و s، و K مجموعه نواحی در منطقه مورد مطالعه است. در اینجا چون دسترسی با زمان سفر رابطه عکس دارد، مقادیر کمتر شاخص دسترسی معرفی شده نشان‌دهنده دسترسی بهتر است. برای افزایش عادلانه دسترسی نیاز است تا دسترسی نواحی مختلف در وضعیت کنونی مورد ارزیابی قرار گیرند. برای این کار دسترسی نواحی مختلف را با مقدار متوسط دسترسی در منطقه مورد مطالعه مقایسه می‌کنیم. متوسط دسترسی منطقه‌ای از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$A = \frac{\sum_{k\in K}\sum_{s\in K} P^{ks}\, t^{ks}}{\sum_{k\in K}\sum_{s\in K} P^{ks}} \qquad (۳)$$

از آنجا که عدالت فضایی اقتضا می‌کند تا نواحی با وضعیت دسترسی کمتر، بیشتر مورد توجه قرار بگیرند، می‌توان یک تابع وزنی نمایی برای هر ناحیه به صورت زیر تعریف نمود که مطابق آن هر چه دسترسی در یک ناحیه نامطلوب‌تر باشد، وزن بیشتری به آن اختصاص یابد.

$$w_k = e^{\theta(A_k^0 - A^0)/A^0} \qquad (٤)$$

که در آن w_k وزن دسترسی در ناحیه k و θ ضریب از قبل تعیین شده توسط سیاستمداران و سیاستگذاران شهری است. A_k^0 و A^0 به ترتیب دسترسی ناحیه k در شبکه مبنا و دسترسی متوسط در شبکه مبنا است. منظور از شبکه مبنا، شبکه حمل و نقل موجود و قبل از اضافه شدن پروژه‌های جدید است. برای نرمال کردن مقادیر وزن‌های به دست آمده می‌توان از رابطه(۵) استفاده کرد.

$$w_k^* = \frac{w_k}{\sum_{k\in K} w_k} \qquad (۵)$$

که در آن w_k^* وزن نرمال شده دسترسی ناحیه k است.

برای محاسبه میزان بهبود دسترسی ناحیه k در ازای احداث سبد پروژه i، می‌توان از رابطه (٦) استفاده نمود.

$$imp_i^k = \frac{\sum_{s\in K} P^{ks}\left(t_0^{ks} - t^{ks}\right)}{\sum_{k\in K}\sum_{s\in K} P^{ks} t_0^{ks}} \qquad (٦)$$

که در آن imp_i^k میزان بهبودی است که بعد از احداث سبد پروژه i برای ناحیه k حاصل می‌شود و t_0^{ks} زمان سفر شبکه مبنا بین ناحیه k و s است. اگر مقدار imp_i^k مثبت باشد یعنی زمان سفر کمتر و در نتیجه وضعیت دسترسی در مقایسه با حالت مبنا بهتر شده است و اگر این مقدار منفی باشد، به این معنی است که زمان سفر بیشتر و دسترسی در مقایسه با حالت مبنا بدتر شده است.

در نهایت می‌توان با ترکیب روابط(۵) و (٦)، شاخص دسترسی عدالت‌محورانه به ازای انجام سبد پروژه i (AI_i) را به صورت زیر معرفی کرد:

$$AI_i = \sum_k w_k^* \times imp_i^k = \sum_k w_k^* \times \frac{\sum_{s=1}^{K} P^{ks}\left(t_0^{ks} - t^{ks}\right)}{\sum_{k=1}^{K}\sum_{s=1}^{K} P^{ks} t_0^{ks}} \quad (۷)$$

همان گونه که در رابطه (۷) مشاهده می‌شود، اگر با اجرای سبد پروژه i وضعیت آن دسته از نواحی که دسترسی خوبی ندارند و نیاز به توجه بیشتری دارند، بهبود یابد میزان AI_i افزایش زیادی می‌یابد(به دلیل بالا بودن همزمان مقادیر w_k^* و imp_i^k). یعنی مقادیر بالاتر AI_i به معنای بهتر بودن سبد پروژه i از دیدگاه دسترسی عدالت – محورانه است.

۳-۲ شاخص ازدحام

یکی از مشکلات جوامع امروزی در شهرهای بزرگ، مشکل ازدحام است. ازدحام را می‌توان در مقیاس کوچک مانند ازدحام در سطح یک خیابان و یا در مقیاس بزرگ تر مانند ازدحام در سطح نواحی یک منطقه یا شهر، بررسی کرد. برای سنجش ازدحام در یک ناحیه باید توجه داشت که ازدحام در یک ناحیه نسبت مستقیم با ازدحام در خیابانهای آن ناحیه و ازدحام در یک خیابان نسبت مستقیم با حجم سفر در خیابان و زمان سفر دارد. از سوی دیگر هر چه وسعت یک ناحیه بیشتر باشد، اثرات منفی ازدحام مانند آلودگی‌های صوتی و زیست‌محیطی کمتر احساس می‌شود. بنابراین ازدحام در یک ناحیه با مساحت آن ناحیه نسبت معکوس دارد. از این‌رو می‌توان شاخص ازدحام در ناحیه s (T_s) را به صورت زیر معرفی کرد:

$$T_s = \frac{\sum_{a\in s} v_a t_a}{h_s} \quad (۸)$$

که در آن a خیابانهای متعلق به ناحیه ترافیکی s، v_a حجم سفر در خیابان a، t_a زمان عبور از خیابان a و h_s مساحت ناحیه s است. مقادیر کمتر T_s نشان‌دهنده ازدحام کمتر و مقادیر بیشتر آن نشان‌دهنده ازدحام بیشتر در آن ناحیه است.

متوسط ازدحام در شهر را می‌توان از جمع مقادیر حاصلضرب حجم سفر در زمان عبور خیابانهای شهر و تقسیم مقدار حاصل شده بر مساحت کل شهر به صورت زیر محاسبه کرد:

$$T = \frac{\sum_{a\in S} v_a t_a}{h_S} \quad (۹)$$

T متوسط ازدحام و S منطقه مورد مطالعه و h_s مساحت منطقه مورد مطالعه است. در اینجا نیز مشابه شاخص دسترسی می‌توان یک وزن برای هر ناحیه به صورت زیر تعریف نمود که مطابق آن هر چه ازدحام در یک ناحیه بیشتر باشد، وزن بیشتری به آن اختصاص یابد.

$$w_s = e^{\theta(T_s^0 - T^0)/T^0} \quad (۱۰)$$

که در آن w_s وزن ازدحام در ناحیه s، T_s^0 و T^0 به ترتیب ازدحام در ناحیه s در شبکه مبنا (قبل از انجام پروژه) و متوسط ازدحام در شبکه مبنا و θ ضریب ثابت است. همچنین مقادیر وزن‌های نرمال شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_s^* = \frac{w_s}{\sum_{s\in S} w_s} \quad (۱۱)$$

که در آن w_s^* وزن نرمال شده ازدحام در ناحیه s است.

از آنجا که ازدحام در یک منطقه، بر جمعیت ساکن در آن منطقه تأثیر منفی قابل توجهی می‌گذارد، از این رو باید تعداد افرادی که در منطقه ساکن هستند و تأثیر منفی ازدحام را احساس می‌کنند، در نظر گرفته شوند. بنابراین برای محاسبه میزان بهبود ازدحام بعد از احداث یک سبد پروژه می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$imp_s^i = \frac{P_s \sum_{a\in s} \frac{v_a^0 t_a^0 - v_a t_a}{h_s}}{\sum_{s\in S} P_s \sum_{a\in s} \frac{v_a^0 t_a^0}{h_s}} \quad (۱۲)$$

که در آن imp_s^i بهبود در ناحیه s در ازای اجرای سبد پروژه i و P_s جمعیت در ناحیه s است. در اینجا مخرج کسر یک عدد ثابت است که به منظور نرمال کردن مقادیر بهبود استفاده شده است. اگر مقدار imp_s^i مثبت باشد، یعنی با احداث سبد پروژه i ازدحام

در ناحیه s از حالت مبنای آن بهتر شده و اگر این مقدار منفی باشد، به این معنی است که ازدحام در آن ناحیه از حالت مبنایش بدتر شده است.

در نهایت با ترکیب روابط(۱۱) و (۱۲)، شاخص ازدحام عدالت‌محورانه به ازای انجام سبد پروژه i (TI_i) را می‌توان به صورت زیر معرفی کرد:

$$TI_i = \sum_s w_s^* \times imp_s^i = w_s^* \times \frac{P_s \sum_{a\in s} \frac{v_a^0 t_a^0 - v_a t_a}{h_s}}{\sum_{s\in S} P_s \sum_{a\in s} \frac{v_a^0 t_a^0}{h_s}} \qquad (۱۳)$$

همان گونه که در رابطه (۱۳) مشاهده می‌شود TI_i مجموع وزنی میزان بهبود ازدحام نواحی مختلف است. از این رو سبد پروژه‌ای بهتر است که مقدار TI آن بزرگ تر باشد.

٤. مدل انتخاب پیشنهادی

همان گونه که در بخش ۲ اشاره شد، مسئله انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل را می‌توان به صورت یک مسئله طراحی شبکه گسسته (DNDP) مدلسازی کرد که ذاتاً یک مسئله برنامه‌ریزی دو سطحی است. مدل پایه برنامه‌ریزی ریاضی این مسئله را با فرض قطعیت تقاضا می‌توان به صورت زیر نمایش داد [Farvaresh and Sepehri, 2011]:

$$\underset{x,y}{Max}\ Z^U = f(x) \qquad (۱٤)$$

$$\sum_{(i,j)\in A_2} c_{ij} y_{ij} \le B \qquad (۱۵)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad (i,j)\in A_2 \qquad (۱٦)$$

x is the solution of:

$$\underset{x}{Min}\ Z^L = \sum_{(i,j)\in A} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(\theta) d\theta \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{j:(i,j)\in A} x_{ij}^s - \sum_{j:(j,i)\in A} x_{ij}^s = d_i^s, \ \forall i \in N, \forall s \in D \qquad (۱۸)$$

$$x_{ij} = \sum_{s\in D} x_{ij}^s, \quad \forall (i,j)\in A \qquad (۱۹)$$

$$x_{ij} \le M y_{ij}, \quad \forall (i,j)\in A_2 \qquad (۲۰)$$

$$x_{ij}^s \ge 0, \quad \forall (i,j)\in A, \forall s \in D \qquad (۲۱)$$

نمادهای مورد استفاده در این مدل به شرح زیر تعریف می‌شوند:

G(N,A): شبکه حمل و نقل با مجموعه گره‌های N و مجموعه لینک‌های A. $N = O \cup D \cup R$، که O، D و R به ترتیب نشان‌دهنده مجموعه گره‌های مبدا، مجموعه گره‌های مقصد و مجموعه گره‌های عبوری هستند. $A = A_1 \cup A_2$، که A_1 و A_2 به ترتیب نشان‌دهنده مجموعه لینک‌های موجود و مجموعه لینک‌های پیشنهادی جهت اضافه شدن به شبکه هستند.

(i, j): جهت لینک، $(i,j)\in A$

(r, s): زوج‌های مبدا–مقصد که $r \in O$ و $s \in D$ به ترتیب گره‌های مبدا و مقصد هستند.

W: مجموعه همه زوج‌های مبدا–مقصد، که $W \subseteq N \times N$

d_r^s: تقاضا بین مبدا–مقصد $(r,s)\in W$ که فرض می‌شود یک ثابت غیرمنفی است.

x_{ij}: جریان روی لینک $(i,j)\in A$

x: بردار x_{ij}ها با بعدی برابر با $|A|$

y_{ij}: متغیر تصمیم ۰و۱ که مقدار ۱یا۰ را وابسته به پذیرش یا عدم پذیرش پروژه مرتبط با لینک $(i,j)\in A_2$ به خود می‌گیرد.

x_{ij}^s: جریان روی لینک $(i,j)\in A$ با مقصد s

y: بردار y_{ij}ها با بعدی برابر با $|A_2|$

$t_{ij}(x_{ij})$: هزینه سفر روی لینک $(i,j)\in A$ که به صورت یک تابع مثبت و پیوسته از x_{ij} تعریف می‌گردد.

$f(x)$: هدف سطح بالایی که تابعی از x است.

c_{ij}: هزینه ساخت لینک $(i,j)\in A_2$

B: کل بودجه در دسترس

روابط (١٤) و(۱۷) به ترتیب نشان‌دهنده توابع هدف سطوح بالایی و پایینی است. رابطه (۱۵) نشان‌دهنده محدودیت بودجه، روابط (۱۷) تا (۲۱) بیانگر شرایط تعادل کاربر، رابطه (۱۸) تضمین‌کننده بقاء جریان در گره‌هاست، و رابطه (۱۹) نشان می‌دهد که جریان در هر لینک برابر با مجموع جریانهای با مقاصد مختلف بر روی آن لینک است. رابطه (۲۰) از وجود جریان در لینک‌های احداث نشده جلوگیری می‌کند. در این رابطه M یک عدد مثبت بزرگ دلخواه است. روابط (١٦) و (۲۱) نیز نشان‌دهنده نوع متغیرهای

تصمیم هستند.

تابع هدف سطح بالایی در مدل فوق، اغلب کمینه کردن مجموع زمان سفر طی شده در شبکه درنظر گرفته می‌شود، اما در حالت کلی می‌توان توابع هدف دیگری را نیز بجای آن بکار برد. با توجه به متداول بودن شاخص مجموع زمان سفر طی شده در شبکه و جذاب بودن آن برای پژوهشگران و همچنین تصمیم‌گیرندگان حوزه حمل و نقل، این شاخص نیز در کنار دو شاخصی که در بخش ۳ برای سنجش عدالت فضایی ارائه شد، منظور شده است. بنابراین تابع هدف بالایی ترکیبی از سه شاخص دسترسی عدالت محورانه، ازدحام عدالت – محورانه و مجموع زمان سفر طی شده در شبکه در نظر گرفته شده است. از آنجا که دو شاخص ارائه شده در بخش ۳، از نوع بیشینه سازی و شاخص کل زمان سفر از نوع کمینه سازی است، به منظور ترکیب این سه شاخص، شاخص مربوط به زمان سفر در شبکه را به صورت نرخ بهبود در کل زمان سفر (TT_i) در شبکه مطابق با رابطه (۲۲) تعریف می‌کنیم تا این شاخص نیز از نوع بیشینه‌سازی گردد و ترکیب این سه شاخص در یک تابع هدف تسهیل گردد.

$$TT_i = \frac{\sum_{a\in A_1} v_a^0 t_a^0 - \sum_{a\in A} v_a t_a}{\sum_{a\in A_1} v_a^0 t_a^0} \qquad (۲۲)$$

هر چه TT_i بزرگ تر باشد، یعنی احداث سبد پروژه i کاهش بیشتری در کل زمان سفر شبکه را موجب می‌شود.

برای حل مدل دو سطحی فوق، در این مقاله رویکردی با ۵ گام به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

٤-١

گام ۱: تعیین پروژه‌های پیشنهادی و بودجه در دسترس

پروژه‌های کاندید اغلب توسط خبرگان و متولیان حوزه حمل و نقل پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر تعیین این پروژه‌ها لازم است تا مشخصات مربوط به آنها مانند ظرفیت و هزینه تخمینی ساخت تعیین گردد. همچنین ضروری است که کل بودجه در دسترس طی دوره برنامه‌ریزی موردنظر پیش‌بینی شود.

٤-٢

گام ۲: تعیین سبدهای امکان‌پذیر پروژه با توجه به محدودیت بودجه

همان گونه که در بخش ۱ اشاره شد، برای یافتن جواب بهینه لازم است کلیه سبدهای حاصل از پروژه‌های گزیده مورد ارزیابی قرار گیرند. البته به دلیل وجود محدودیت بودجه، برخی از این سبدها از حیث بودجه امکان ناپذیر خواهند بود که لازم است در این گام شناسایی و حذف گردند. این گام در واقع کنترل محدودیت اشاره شده در رابطه (۱۵) است.

٤-٣

گام ۳: حل مسئله سطح پایینی برای سبد پروژه‌های امکان‌پذیر

پس از اینکه کلیه سناریوها یا سبدهای ممکن در گام قبل شناسایی شد، در این گام پروژه‌های موجود در هر سبد به شبکه موجود اضافه شده و سپس مسئله سطح پایینی که همان مسئله تعادل کاربر است(روابط ۱۷ تا ۲۱)، حل می‌گردد. خروجی این گام، حجم و زمان سفر بر روی کلیه کمانهای شبکه به تفکیک هر یک از سبدهای امکان‌پذیر خواهد بود. سپس با استفاده از این اطلاعات، مقادیر شاخص‌های پیشنهادی برای هر یک از سبدهای امکان‌پذیر محاسبه می‌گردد.

٤-٤

گام ٤: تعیین وزن شاخص‌های پیشنهادی

از آنجا که در این مقاله در نهایت ۳ شاخص جهت ارزیابی پروژه‌ها انتخاب شد و با توجه به این‌که میزان اهمیت این سه شاخص لزوماً یکسان نیست، لازم است تا اهمیت نسبی یا ضریب اهمیت هر یک از این شاخص‌ها تعیین شود. پیشنهاد می‌گردد که در تعیین وزن این شاخص‌ها از نظرات سه گروه افراد استفاده شود: متولیان و گردانندگان شبکه حمل و نقل، خبرگان و متخصصین حوزه حمل و نقل، و استفاده‌کنندگان از شبکه حمل و نقل یا همان شهروندان. روش‌های مختلفی جهت تعیین وزن شاخص‌ها در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد [Malczewski,

1999] که در اینجا ترکیبی از دو روش AHP و SMART پیشنهاد می‌گردد. روش AHP که یکی از روش‌های شناخته شده و پرکاربرد در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره است توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه شده است [Saaty, 1980]. اساس کار این روش طوری است که مساله را بصورت جزء جزء تجزیه کرده و با مقایسات زوجی به اولویت‌بندی اهمیت نسبی مشخصه‌ها می‌پردازد. ساختار مساله در روش AHP یک ساختار سلسله‌مراتبی است. یکی از ویژگی‌های مثبت روش AHP بررسی نرخ ناسازگاری در بیان مقادیر مقایسات زوجی است. نرخ ناسازگاری معیاری برای سنجش اعتبار پاسخ‌های پرسش شوندگان در خصوص مقایسات زوجی است. این مکانیزم بیان می‌کند که پاسخ پرسش شوندگان به مقایسه‌ها تا چه اندازه‌ای از اعتبار منطقی برخوردار است. همچنین در این روش مقایسات زوجی با عبارات کیفی از تصمیم‌گیرندگان دریافت می‌شود و سپس از یک مقیاس ۱ تا ۹ برای کمی کردن این مقایسات استفاده می‌شود. استفاده از این مقیاس با انتقاداتی همراه بوده و برخی بر این باورند که ممکن است مقادیر کمی شده، بیانگر ترجیحات واقعی تصمیم‌گیرندگان نبوده و بنابراین برخی از اطلاعات ترجیحی آنان، در این فرآیند از دست برود [Salo and Hämäläinen, 1997]. در مقاله حاضر روش وزن‌دهی شاخص‌ها بر مبنای روش AHP است با این تفاوت که برای برطرف کردن ایراد اشاره شده، نحوه انجام مقایسات زوجی مشابه روش SMART[۱۷] انجام گرفته است. در روش SMART که توسط ادواردز ارائه شده است، مشابه روش AHP وزن‌دهی معیارها از طریق مقایسات زوجی انجام می‌پذیرد با این تفاوت که دریافت ترجیحات تصمیم‌گیرندگان مستقیماً به‌صورت کمی انجام می‌پذیرد [Edwards, 1977]. در این روش ابتدا معیارها از منظر میزان اهمیت رتبه‌بندی می‌شوند. سپس این معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و در هر بار مقایسه به معیاری که اهمیت کمتری دارد امتیاز ۱۰ نسبت داده می‌شود و سپس امتیاز معیار با اهمیت بیشتر تعیین می‌شود.

۴-۵

گام ۵: محاسبه تابع هدف سطح بالایی و انتخاب سبد بهینه

با انجام گام‌های قبلی، ماتریس تصمیم مشابه جدول ۱ آماده می‌گردد. برای ترکیب مقادیر شاخص‌ها در یک تابع هدف ابتدا باید مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری (a_{ij}ها) بی‌مقیاس (نرمال) شود. روش‌های مختلفی جهت نرمال‌سازی وجود دارد که در اینجا از رابطه (۲۳) برای محاسبه مقادیر نرمال شده (r_{ij}ها) استفاده شده است.

جدول ۱. ماتریس تصمیم‌گیری جهت انتخاب سبد بهینه پروژه

	شاخص‌ها(j)	1	2	3
	وزن شاخص‌ها	w_1	w_2	w_3
سبدهای پروژه(i)	1	a_{11}	a_{12}	a_{13}
	2	a_{21}	a_{22}	a_{23}
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	N	a_{N1}	a_{N2}	a_{N3}

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\underset{i}{Max}\{a_{ij}\}} \quad , i = 1,2,...,N \quad , j = 1,2,3 \qquad (۲۳)$$

در نهایت مقدار تابع هدف سطح بالایی برای هر یک از سبدهای پروژه با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده به صورت رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود. از آنجا که شاخص‌های مورد استفاده از نوع بیشینه‌سازی است، سبد پروژه‌ای به عنوان گزینه بهینه انتخاب خواهد شد که مقدار Z_k متناظر با آن بزرگ‌تر از سایر گزینه‌ها باشد.

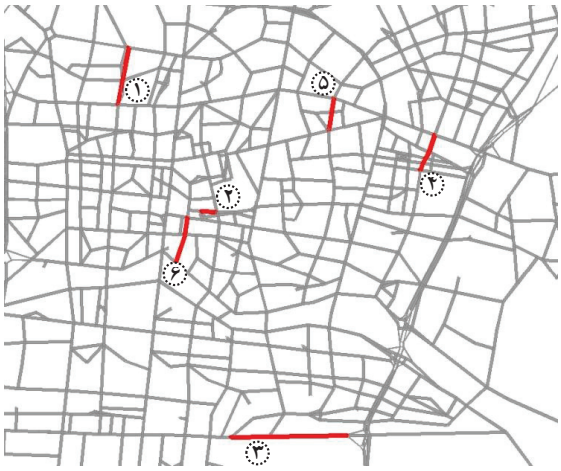
$$Z_k = w_1 \times r_{k1} + w_2 \times r_{k2} + w_3 \times r_{k3} \qquad (۲۴)$$

۵. مطالعه موردی

مدل پیشنهادی در این مقاله برای شبکه حمل و نقل شهر اصفهان بکار برده شده است. شهر اصفهان با جمعیتی در حدود ۲ میلیون نفر سومین شهر پرجمعیت ایران است. طول شبکه حمل و نقل شهری اصفهان بیش از ۸۶۰ کیلومتر است که جزو شبکه‌های حمل

و نقلی شهری بزرگ محسوب می‌شود. محدوده مورد مطالعه این مقاله شامل شهر اصفهان و شهرهای رهنان و خوراسگان بوده که به ۱۲ منطقه و ۱۸٦ ناحیه ترافیکی تقسیم‌بندی شده است. سفرهای ساکنین کلان‌شهر اصفهان دو دوره اوج کاملاً متمایز در صبح و عصر را در شبکه حمل‌ونقلی محدوده کلان شهر اصفهان ایجاد می‌کند که دوره اوج صبح در ساعت ۷ و دوره اوج عصر در ساعت ۱٦ اتفاق می‌افتد. ازآنجایی‌که در دوره‌های اوج ترافیک از حداکثر ظرفیت خیابانها استفاده می‌شود، این دوره‌ها از اهمیت خاصی برخوردارند. در این پژوهش، ارزیابی سبد پروژه‌ها بر روی شبکه خیابانی مبنا (سال ۱۳۸۹) و برای تقاضای سفر اوج صبح سال ۱۳۹۲ در نظر گرفته شده است. در ادامه مراحل بکارگیری مدل پیشنهادی برای شهر اصفهان تشریح می‌گردد.

گام ۱) تعیین پروژه‌های پیشنهادی: در طرح تفصیلی شهر اصفهان تعدادی خیابان جهت اضافه شدن به شبکه موجود پیشنهاد شده است که در مطالعه حاضر از بین این موارد ٦ خیابان که اطلاعات مربوط به آنها در دسترس بوده است جهت ارزیابی در نظر گرفته شده است. موقعیت این خیابانها در شبکه خیابانی شهر اصفهان در شکل ۱ نشان داده شده است.



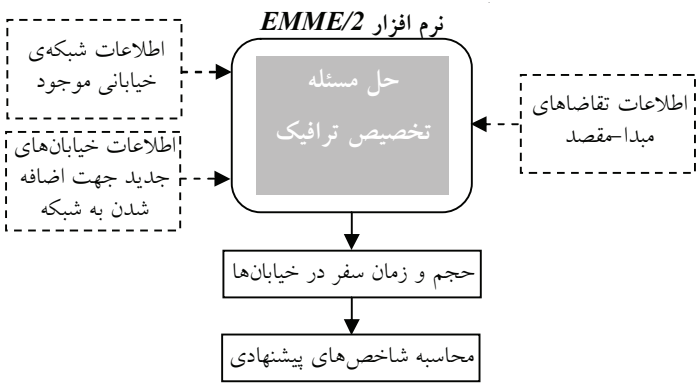
شکل ۱. موقعیت خیابانهای پیشنهادی در شبکه خیابانی اصفهان

گام ۲) تعیین سبدهای امکان‌پذیر پروژه: در صورتی که بخواهیم مسئله انتخاب پروژه‌ها را برای این ٦ خیابان مورد بررسی قرار دهیم، کل سبد پروژه‌های مورد بررسی شامل ٦٤ سناریو خواهد بود که البته یکی از این سناریوها، حفظ وضعیت موجود است بدون اینکه هیچ خیابانی به شبکه موجود اضافه شود. با توجه به اینکه هزینه‌های احداث تمام این خیابانها بیش از دو برابر بودجه در دسترس است، تنها ۳۱ سناریو از میان ٦٤ سناریوی بالقوه از لحاظ بودجه امکان‌پذیر است.

گام ۳) حل مسئله سطح پایینی برای سبد پروژه‌های امکان‌پذیر: سنجش شاخص‌های پیشنهادی برای سناریوهای امکان‌پذیر، نیازمند دسترسی به اطلاعاتی در خصوص زمان سفر بین نواحی و حجم سفر در خیابانها است که این امر نیز مستلزم حل مسئله سطح پایینی، که همان مسئله تخصیص ترافیک است، برای کلیه سناریوهای امکان‌پذیر است. به این منظور از نرم‌افزار حمل و نقلی EMME/2 استفاده شده است. نرم‌افزار EMME/2 یک نرم‌افزار بسیار قدرتمند و کاراً برای شبیه‌سازی وضعیت ترافیکی یک منطقه است. این نرم افزار قابلیت‌های بسیاری برای شبیه سازی انواع مدل‌های تقاضای سفر را داراست و با ابزارهای آنالیز قدرتمند و همچنین محیطی جذاب و کاربر پسند مورد استفاده بسیاری از متخصصان ترافیک است. برای استفاده از این نرم افزار، همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای هر سناریوی امکان‌پذیر بانک اطلاعاتی شبکه خیابانی موجود، اطلاعات مربوط به خیابانهای جدید جهت اضافه شدن به شبکه، و همچنین اطلاعات مربوط به تقاضاهای مبدا–مقصد به عنوان ورودی‌های نرم افزار به آن داده می‌شود. سپس برای سناریوی موردنظر، شبکه خیابانی جدید تشکیل گردیده و نرم افزار EMME/2 با حل مسئله تخصیص ترافیک، اطلاعات مربوط به حجم و زمان سفر در خیابانها را ارائه می‌دهد. پس از به دست آوردن این اطلاعات، برای هر یک از سناریوها میزان شاخص‌های دسترسی و ازدحام از روابط (۲) تا (۱۳) و شاخص مجموع زمان سفر در کل شبکه از رابطه (۲۲)، محاسبه می‌شود.

از آنجایی که در شبکه خیابانی شهر اصفهان یک خیابان ممکن است به طور کامل در یک ناحیه ترافیکی واقع نشود شاخص ازدحام در روابط (۸) تا (۱۳) که رابطه مستقیم با حجم خیابانها دارد، برای مناطق ترافیکی ۱۲گانه محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است.

گام ٤) تعیین وزن شاخص‌های پیشنهادی: برای تعیین میزان اهمیت



شکل ۲. فرآیند محاسبه شاخص‌های پیشنهادی با استفاده از نرم افزار EMME/2

سه معیار بیان شده پرسش‌نامه‌ای بر مبنای روش ترکیبی AHP-SMART طراحی گردید. جهت تکمیل این پرسشنامه از نظرات سه گروه افراد تصمیم‌گیران و مدیران سیستم حمل‌ونقل، خبرگان سیستم حمل‌ونقل و استفاده‌کنندگان سیستم حمل‌ونقل(شهروندان) استفاده شده است. به این منظور مدیران حوزه معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان به عنوان نمایندگان گروه اوّل، اساتید دانشگاهی در زمینه برنامه ریزی حمل و نقل به عنوان نمایندگان گروه دوم، و اعضای کمیسیون حمل و نقل شورای اسلامی شهر اصفهان به عنوان نمایندگان شهروندان انتخاب و پرسشنامه مربوطه برای آنها ارسال شد که در نهایت مجموعاً ۳۱ پرسشنامه جمع آوری و تحلیل گردید. لازم به ذکر است که ضریب تأثیر هر یک از سه گروه پرسش‌شونده در مدل یکسان فرض شد. وزن شاخص‌ها و میزان ناسازگاری هر پرسشنامه با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice محاسبه گردید و از این طریق پرسش‌نامه‌ها اعتبارسنجی نیز شد. بر این اساس وزن هر یک از شاخص‌های مجموع زمان سفر در شبکه، دسترسی عدالت محورانه، و ازدحام عدالت محورانه به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۳۶، و ۰/۲۵ به دست آمد.

گام ۵) محاسبه تابع هدف سطح بالایی و انتخاب سبد بهینه: ماتریس تصمیم‌گیری در جدول ۲ آورده شده است. دو ستون ابتدای این جدول نشان‌دهنده شماره سناریوهای امکان‌پذیر و شماره خیابانهایی است که در هر سناریو به شبکه حمل و نقل شهری اصفهان اضافه می‌گردد. ستون سوم تا پنجم نشان‌دهنده مقادیر نرمال شده(بین صفر و یک) شاخص‌های مورد بررسی برای هر یک از سناریوها است. در ستون‌های ششم تا هشتم این جدول رتبه هر یک از سناریوهای امکان‌پذیر از سه منظر مختلف آورده شده است. ستون ششم نشان‌دهنده رتبه هر سناریو در حالتی است که ترکیب وزنی هر سه شاخص تعریف شده مدنظر قرار گیرد. ستون هفتم بیانگر رتبه سناریوهای مختلف تنها بر اساس شاخص مجموع زمان سفر در شبکه و بدون منظور کردن دو شاخص تعریف شده مربوط به عدالت فضایی است، در حالی که در ستون هشتم، رتبه سناریوها تنها بر اساس ترکیب دو شاخص مربوط به عدالت فضایی و بدون در نظر گرفتن شاخص مجموع زمان سفر در شبکه نمایش داده شده است. برخی از نتایجی که می‌توانند از جدول ۲ استخراج شوند، در ادامه به اختصار شرح داده می شوند:

– سناریوی ۱۷ که شامل خیابانهای۱، ۲، ٤ و ۵ است، در هر سه رتبه‌بندی ارائه شده، عنوان بهترین سبد پروژه را به خود اختصاص داده است و بر اساس مدل پیشنهادی به عنوان سبد بهینه انتخاب می‌گردد.

– در میان ٦ خیابان ذکر شده، خیابانهای ۱ و ۲ تأثیر بسزایی بر افزایش دسترسی عدالت – محورانه و خیابانهای ۱ و٤ بیشترین تأثیر را بر بهبود ازدحام عدالت – محورانه داشته است. علت اصلی تأثیر قابل توجه خیابان ۱ در کاهش دسترسی و ازدحام این است که این خیابان در مسیری قرار می‌گیرد که ارتباط بین نواحی موجود در دو طرف رودخانه زاینده رود را برقرار می‌سازد و از سوی دیگر مسیرهای جایگزین آن مسافت و زمان سفر طولانی‌تری دارند. احداث خیابان ۲ نیز مسیر جایگزینی را برای افراد با مقصد شمال شرق شهر ایجاد می‌کند که نسبت به مسیر قبلی زمان سفر کمتری دارد و از این‌رو،

نقش قابل توجهی در بهبود دسترسی این افراد ایفا می‌نماید. همچنین خیابان ٤ نیز مسیر جدیدی را در اتصال شمال و جنوب شهر اصفهان ایجاد می‌نماید و از این طریق ازدحام در مسیرهای موجود جایگزین آن را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد.

– تأثیر شاخص‌های تعریف شده عدالت فضایی بر انتخاب پروژه‌های حمل و نقل، با مقایسه رتبه سناریوها قبل و بعد از اعمال شاخص‌های عدالت فضایی مشهود می‌گردد. همان‌طور که در سه ستون آخر جدول ۲ مشاهده می‌گردد، اعمال دو شاخص مربوط به عدالت فضایی در انتخاب پروژه‌ها موجب تغییراتی در رتبه‌بندی سناریوها شده است. بر این اساس، رتبه برخی سناریوها که تاثیر بیشتری بر بهبود عدالت فضایی داشته‌اند نسبت به حالتی که تنها شاخص زمان سفر در شبکه لحاظ گردیده است، بهبود قابل توجهی یافته است (مانند سناریوهای ۱، ۷ و۲۳) و البته رتبه برخی سناریوها نیز که تاثیر مثبت چندانی بر عدالت فضایی نداشته‌اند با افول همراه بوده است(مانند سناریوهای ۱۵،۱٦ و ۲۱).

– یک سناریو می‌تواند مجموع زمان سفر کل شبکه را به خوبی کاهش دهد، اما این کاهش چندان عدالت‌محور نباشد. به عنوان مثال سناریوی شماره ۱۵ که شامل خیابانهای ۱ ، ٤ و ۵ است، در رتبه‌بندی بر مبنای شاخص مجموع زمان سفر در شبکه رتبه دوم را به خود اختصاص داده است، در حالی که بر مبنای دو شاخص ذکر شده پیرامون عدالت فضایی رتبه نوزدهم را به دست آورده است. همان گونه که در ستون چهارم جدول ۲، که مربوط به شاخص ازدحام عدالت – محورانه است، مشاهده می‌شود، این سناریو در شاخص ازدحام عدالت محورانه وضعیت بسیار نامطلوبی دارد.

– نمونه‌ای از پدیده بریز را می‌توان با مقایسه نتایج سناریوهای ۷ و ۲۳ مشاهده کرد. سناریوی ۷ شامل پروژه‌های ۱ و ٤ است. با اضافه شدن خیابان ٦ به این سناریو، در حالی‌که انتظار داریم زمان سفر طی شده در شبکه کاهش یابد برخلاف انتظار مشاهده می‌کنیم که زمان سفر در شبکه افزایش یافته است.

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده و رتبه‌بندی سناریوهای مختلف برای شبکه حمل و نقل اصفهان

شماره سناریو	سناریو خیابانهای هر	دسترسی عدالت‌محورانه (AI)	ازدحام عدالت‌محورانه (TI)	مجموع زمان سفر طی شده (TT)	رتبه بر اساس ترکیب سه شاخص	رتبه بر اساس TT	رتبه بر اساس دو شاخص عدالت فضایی
وزن شاخص		۰/۳٦	۰/۲۵	۰/۳۹			
۱	۱	۰/۹٤	۰/٤۹	۰/۳۹	۱۰	۱۷	۷
۲	۲	۰/۹٤	۰/۲۲	۰/۰٦	۲٤	۲۹	۱۳
۳	۱و۲	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/٤٦	۱٦	۱۵	۱۷
٤	۳	۰/۵٦	۰/۲۹	۰/۳۲	۲۵	۲۵	۲۳
۵	۲و۳	۰/۷۵	۰/۳٦	۰/۳٦	۱۹	۲۲	۱٦
٦	٤	۰/۷۲	۰/٤۳	۰/۲۷	۲۰	۲۷	۱۵
۷	۱و٤	۱	۰/۷۹	۰/۷۲	۲	٦	۲
۸	۲و٤	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۲۳	۱۹	۲۱
۹	۱و۲و٤	۰/۵۷	۰/۸۰	۰/۷۳	۷	۵	۱۱

ادامه جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده و رتبه‌بندی سناریوهای مختلف برای شبکه حمل و نقل اصفهان

شاخص		دسترسی عدالت‌محورانه (AI)	ازدحام عدالت‌محورانه (TI)	مجموع زمان سفر طی شده (TT)			
وزن شاخص		۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۳۹			
شماره سناریو	سناریو (خیابانهای هر)				رتبه بر اساس ترکیب سه شاخص	رتبه بر اساس TT	رتبه بر اساس دو شاخص عدالت فضایی
۱۰	۵	۰/۲٤	۰/۲٤	۰/۳۲	۲۷	۲٤	۲۸
۱۱	۱و۵	۰/٦۹	۰/٦۹	۰/٦۹	۸	۹	۱۰
۱۲	۲و۵	۰/۹٦	۰/۲۵	۰/۳۷	۱٤	۲۰	۱۲
۱۳	۱و۲و۵	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۷٤	۵	٤	۵
۱٤	٤و۵	۰/۵۷	۰/٤٦	۰/٦۰	۱۳	۱۲	۱۸
۱۵	۱و٤و۵	۰/۷۹	۰/۰۵	۰/۹۵	۹	۲	۱۹
۱٦	۲و٤و۵	۰/۲۳	۰/۵۳	۰/٦۳	۲۱	۱۱	۲۷
۱۷	۱و۲و٤و۵	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	٦	۰/٦۰	۰/۱۳	۰/۰۳	۲۸	۳۰	۲۵
۱۹	۱و٦	۰/۸۵	۰/۵٦	۰/٤۳	۱۱	۱٦	۹
۲۰	۲و٦	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۷	۳۰	۲۸	۳۰
۲۱	۱و۲و٦	۰/۳۲	۰/۵٦	۰/٤۷	۲۲	۱٤	۲٤
۲۲	٤و٦	۰/۰۵	۰/٤۰	۰/۳۲	۲۹	۲٦	۲۹
۲۳	۱و٤و٦	۰/۷٤	۰/۹۱	۰/٦۹	٤	۸	۳
۲٤	۲و٤و٦	۰/۹۳	۰/٤۹	۰/۳۹	۱۲	۱۸	۸
۲۵	۵و٦	۰/۸۱	۰/۳٤	۰/۳۵	۱۷	۲۳	۱٤
۲٦	۱و۵و٦	۰/۷۷	۰/۷٤	۰/۷۱	٦	۷	٦
۲۷	۲و۵و٦	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳٦	۲٦	۲۱	۲٦
۲۸	۱و۲و۵و٦	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۹	۳	۳	٤
۲۹	٤و۵و٦	۰/۳٤	۰/٦۰	۰/۵۸	۱۸	۱۳	۲۲
۳۰	۲و٤و۵و٦	۰/۳٤	۰/٦٦	۰/٦٦	۱۵	۱۰	۲۰
۳۱	هیچ یک از خیابانها	۰	۰	۰	۳۱	۳۱	۳۱

٦. جمع بندی و نتیجه گیری

توجه به عدالت فضایی در انتخاب پروژه‌های حمل و نقل به این معنی است که علاوه بر درنظر گرفتن اثر پروژه‌ها بر شاخص‌های کل سیستم، می‌بایست نحوه توزیع این اثرات بر نواحی مختلف شهر نیز مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر، از منظر عدالت فضایی قابل قبول نخواهد بود که اختلاف وضعیت شاخص‌ها در نواحی مختلف محدوده مورد مطالعه قابل توجه باشد. با توجه به اهمیت موضوع عدالت فضایی در برنامه‌ریزی شهری، در این مقاله با رویکرد عدالت فضایی به انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل پرداخته شد. به این منظور دو شاخص دسترسی و ازدحام با رویکرد عدالت فضایی پیشنهاد شد و سپس یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای بکارگیری این شاخص‌ها در کنار سایر شاخص‌های مهم در ارزیابی شبکه حمل و نقل، مانند شاخص مجموع کل زمان سفر در شبکه، جهت ارزیابی و انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل ارائه شد. در شاخص‌های پیشنهادی، ابتدا وضعیت نواحی مختلف شهر از منظر دسترسی و ازدحام در شبکه حمل و نقل شهری موجود سنجیده شده و سپس میزان مطلوبیت وضعیت فعلی هر یک از نواحی شهری در مقایسه با یکدیگر تعیین می‌گردد. در مرحله بعد وضعیت نواحی شهری از منظر دسترسی و ازدحام یک بار دیگر پس از انجام پروژه‌های سرمایه‌گذاری موردنظر برای کلیه سناریوهای ممکن سنجیده می‌شود. در نهایت شاخص‌های دسترسی و ازدحام عدالت محورانه برای هر سناریوی سرمایه‌گذاری به نحوی تعریف گردیده است که هر چه یک سناریو، دسترسی و ازدحام در نواحی با وضعیت نامطلوب‌تر را بهبود بیشتری دهد، مقادیر بیشتری برای شاخص‌های مربوط به آن سناریو به دست آید. شاخص‌های ارائه شده در این مقاله به منظور ارزیابی و انتخاب شش پروژه خیابانی کاندیدا در شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در بخش ۵ تشریح شد. همان‌گونه که نتایج به دست آمده نیز گواه است، منظور کردن شاخص‌های پیشنهادی عدالت فضایی می‌تواند تأثیرات قابل توجهی در انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری حمل و نقل داشته باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، رتبه برخی سناریوها که تاثیر بیشتری بر بهبود عدالت فضایی در شهر اصفهان داشته‌اند، نسبت به حالتی که تنها شاخص زمان سفر در شبکه منظور شده است، بهبود قابل توجهی یافته است و البته رتبه برخی سناریوها نیز که تاثیر مثبت چندانی بر عدالت فضایی نداشته‌اند با افول همراه بوده است. بعضی از سناریوها یا سبدهای پروژه ممکن است با درنظرگرفتن شاخص‌های کلان مانند شاخص مجموع زمان سفر طی شده در شبکه، مطلوب به نظر برسند، در حالی که با رویکرد عدالت فضایی احداث این سبدهای پروژه پیشنهاد نشود. زیرا از دیدگاه عدالت فضایی اگر احداث یک سبد پروژه مطلوبیت نواحی با وضعیت بهتر را بیشتر افزایش دهد، نه تنها بهبودی در وضعیت کلی شبکه حاصل نشده است، بلکه وضعیت کلی شبکه به سمت ناعدالتی بیشتر سوق داده شده است. از این‌رو در شاخص‌های ارائه شده جهت سنجش عدالت فضایی، هر چه وضعیت یک ناحیه از منظر دسترسی و ازدحام نامطلوب‌تر باشد، وزن بیشتری برای آن تخصیص داده می‌شود و از این طریق سعی می‌شود که برای این نواحی اولویت بیشتری جهت بهبود منظور گردد.

۷. پی نوشت‌ها:

1. Transportation Investment Projects
2. Braese paradox
3. Equity

٤. خداوند در قرآن کریم یکی از اهداف بعثت انبیای الهی را برپایی عدالت در جامعه بیان نموده است(سوره حدید، آیه۲۵).

5. Horizontal equity
6. Vertical equity
7. Spatial equity
8. Cost-Benefit Analysis
9. Multiple Criteria Decision Making
10. Discrete Network Design Problem
11. Multi-Attribute Decision Making
12. Multi-Objective Decision Making
13. Analytic Hierarchy Process
14. Simple Additive Method
15. Interdependency
16. Multi-objective 0–1 knapsack problem
17. Simple Multi-Attribute Rating Technique

۸. مراجع

- رضایی، علی و اصغرزاده، سید محمد (۱۳۸۷) "ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی برای حمل و نقل همگانی شهر مشهد"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

- رهنما، محمدرضا و ذبیحی، جواد (۱۳۹۰) "تحلیل توزیع تسهیلات عمومی شهری در راستای عدالت فضایی با مدل یکپارچه دسترسی در مشهد"،جغرافیا و توسعه، شماره ۲۳، ص ۲۶-۵.

Barfod, M. B., Salling, K. B. and Leleur, S. (2011) "Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis", Decision Support Systems, Vol. 51, pp. 167-175.

- Berechman, J. and Paaswell, R. E. (2005) "Evaluation, prioritization and selection of transportation investment projects in New York City", Transportation, Vol. 32, pp. 223-249.

- Bröcker, J. Korzhenevych, A. and Schürmann, C. (2010) "Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 44, pp. 795-811.

- Cavill, N., Kahlmeier, S., Rutter, H., Racioppi, F. and Oja, P. (2008) "Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review". Transport policy, Vol. 15, pp. 291-304.

- Edwards, W. (1977) "How to use multi-attribute utility measurement for social decision making", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 7 , No. 5, pp.326-340.

- Eugenio, J. L. (2010) "The impact of transport infrastructure projects on spatial and distributional equity", Website: www.evaluaciondeproyectos.es.

- Farvaresh, H. and Sepehri, M. M. (2011) "A single-level mixed integer linear formulation for a bi-level discrete network design problem", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 47, pp. 623-640.

- Gerçek, H., Karpak, B. and Kılınçaslan, T. (2004) "A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul", Transportation, Vol. 31, pp. 203-228.

- Geurs, K. and Van Eck, J. R. (2001) "Accessibility measures: review and applications", National Institute of Public Health and the Environment.

- Hansen, W. G . (1959) "How accessibility shapes land use", Journal of the American Institute of Planners, Vol. 25, pp. 73-76.

- Iniestra, J. G. and Gutiérrez, J. G. (2009) "Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework" Applied Soft Computing, Vol. 9, pp. 512-526.

- Joumard, R. and Nicolas, J.-P. (2010) "Transport project assessment methodology within the framework of sustainable development", Ecological Indicators, Vol. 10, pp. 136-142.

- Liao, C.-H., Chang, H.-S. and Tsou, K.-W. (2009). "Explore the spatial equity of urban public facility allocation based on sustainable development viewpoint", Proceedings of 14th International Conference On Urban Planning and Regional Development in The Information Society, Sitges, Spain, pp. 137-145.

- Litman, T. (2011) "Evaluating transportation equity", Victoria: Transport Policy Institute, Website: www.vtpi.org .

- Malczewski, J. (1999) "GIS and multicriteria decision analysis", New York: John Wiley & Sons.

- Pan, N.-F. (2008) "Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method". Automation in Construction, Vol. 17, pp. 958-965.

- Poorzahedy, H. and Rouhani, O. M. (2007) "Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem", European Journal of Operational Research, Vol. 182, pp. 578-596.

- Saaty, T. L. (1980) "The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation", New York: McGraw-Hill.

- Salo, A. A. and Hämäläinen, R. P. (1997) "On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process", Journal of Multi–Criteria Decision Analysis, Vol. 6, pp. 309-319.

- Sanchez, T. W. Stolz, R. and Ma, J. S. (2003) "Moving to equity: Addressing inequitable effects of transportation policies on minorities", Cambridge, Massachusetts: The Civil Rights Project at Harvard University.

- Šelih, J., Kne, A., Srdić, A. and Žura, M. (2008) "Multiple–criteria decision support system in highway infrastructure management", Transport, Vol. 23, pp. 299-305.

- Shelton, J. and Medina, M. (2010) "Prioritizing transportation projects using an integrated multiple criteria decision-making method", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2174, pp. 51-57.

- Shi, J. and Zhou, N. (2012) "A quantitative transportation project investment evaluation approach with both equity and efficiency aspects", Research in Transportation Economics, Vol. 36, pp. 93-100.

- Su, C. W., Cheng, M. Y. and Lin, F. B. (2006) "Simulation–enhanced approach for ranking major transport projects", Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 12, pp. 285-291.

- Teng, J.-Y. and Tzeng, G.-H. (1996) "A multiobjective programming approach for selecting non-independent transportation investment alternatives", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 30, pp. 291-307.

- Teng, J.-Y. and Tzeng, G.-H. (1998) "Transportation investment project selection using fuzzy multiobjective programming", Fuzzy sets and systems, Vol. 96, pp. 259-280.

- Thomopoulos, N., Grant-Muller, S. and Tight, M. (2009) "Incorporating equity considerations in transport infrastructure evaluation: current practice and a proposed methodology", Evaluation and program planning, Vol. 32 , pp. 351-359.

- Tsamboulas, D. A. (2007) "A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments", Transport Policy, Vol. 14, pp. 11-26.

- Tsou, K.-W., Hung, Y.-T. and Chang, Y.-L. (2005) "An accessibility-based integrated measure of relative spatial equity in urban public facilities", Cities, Vol. 22, pp. 424-435.

- Ugwu, O., Kumaraswamy, M., Wong, A. and Ng, S. (2006), "Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1. Development of indicators and computational methods", Automation in construction, Vol. 15, pp. 239-251.

- Vickerman, R. (2007) "Cost-benefit analysis and large-scale infrastructure projects: state of the art and challenges", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 34, pp. 598.

- Yang , H. and Bell, M. G. (1998) "Models and algorithms for road network design: a review and some new developments", Transport Reviews, Vol. 18, pp. 257-278.

- Ziara, M., Nigim, K., Enshassi, A. and Ayyub, B. M. (2002) "Strategic implementation of infrastructure priority projects: case study in Palestine", Journal of infrastructure systems, Vol. 8, pp. 2-11.