

## تحلیل محدوده خدمات رسانی ایستگاه‌های مترو شهر تهران

### و تخصیص ایستگاه‌های جدید با روش ANP

مقاله پژوهشی:

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۹

ابراهیم نجات<sup>۱</sup>، محمدحسن وحیدنیا<sup>۲\*</sup>، حسین آقامحمدی<sup>۲</sup>

صفحات: ۶۴-۷۷

#### چکیده

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی در دهه‌های اخیر مسائل متعددی را در زندگی روزمره بشر ایجاد کرده است. یکی از مسائل مهم در همین ارتباط مسئله حمل و نقل شهری است که بهترین شکل آن حمل و نقل عمومی است و امروزه بسیار مورد توجه است. مطالعه بر روی عوامل این انتخاب و ارزیابی مکان‌یابی پایانه‌ها یکی از مسائل مهم و ضروری در بافت شهری عصر حاضر می‌باشد. اهمیت و اعتبار هر شهر بستگی به خدمات شهری آن شهر دارد. هر چه این خدمات و تأسیسات در سطح ایده‌آل قرار داشته باشد، دارای شرایط راحت‌تری برای زندگی شهروندان می‌باشد و باعث افزایش رضایت شهروندان می‌شود که یکی از مهم‌ترین خدمات شهری حمل و نقل عمومی، خصوصاً مترو شهری می‌باشد. بر همین اساس هدف علمی این تحقیق استفاده از تحلیل‌های GIS برای شناسایی محدوده‌های خدمات رسانی و استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید است. این تحقیق طی مراحل طی مراحل از جمله شناسایی متغیرها، تهیه نقشه‌های نرمال استاندارد، بدست آوردن وزن لایه‌ها، اعمال وزن لایه‌ها، و همپوشانی فازی لایه‌ها انجام شده است. جهت وزن دهی معیارها از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. در نتایج وزن‌دهی فاصله از گسل، فاصله از پارکینگ و جمعیت بدون خودرو بیشترین تاثیر را در مکان‌یابی داشته‌اند. نهایتاً مکان‌های مناسب جهت احداث ایستگاه مترو مشخص شدند.

واژگان کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحلیل شبکه، ایستگاه مترو، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مکان‌یابی

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران



## مقدمه

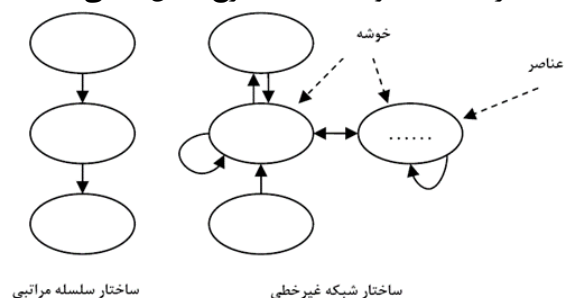
بر اساس شعاع استاندارد محدوده خدمات رسانی، ایستگاه های مترو شهر تهران ارزیابی گردند. هدف علمی این تحقیق استفاده از قابلیت های تحلیل مکانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای شناسایی محدوده های خدمات رسانی و استفاده از مدل های تصمیم گیری چندمعیاره برای مکان یابی ایستگاه های جدید است. مطالعه محدوده دسترسی ایستگاه های موجود شهر تهران و تعیین محدوده های پرتقاضا برای ایستگاه های جدید، در عین توجه به سایر معیارهای طبیعی و کالبدی، مسئله ای است که در پژوهش های پیشین به آن پرداخته نشده است. بنابراین با ایجاد ساختارهای داده مکانی، تحلیل محدوده خدمات رسانی انجام شده و با شناسایی عوامل موثر در مکان یابی ایستگاه های جدید مترو، توزیع عادلانه ایستگاه های مترو در دستور کار قرار می گیرد. با تعیین اهمیت معیار و زیرمعیارها در مکان یابی ایستگاه های مترو به روش فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)، ایستگاه های جدید تخصیص می یابند.

## مرور تحقیقات پیشین

تحقیقات بسیاری انجام شده اند که از شیوه های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM) برای مسائل مکان گزینی بهره برده اند. به طور مثال گائو و ژائو از شیوه Fuzzy TOPSIS برای انتخاب بهینه ایستگاه های شارژ الکترونیکی خودروها استفاده کردند (Guo and Zhao, 2015). بالیس از شیوه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای حل مسئله مکان یابی فرودگاه در جزیره ساموتراکی در یونان استفاده کردند که معیارهای بسیاری را استفاده می نمود (Ballis, 2003). برخی مطالعات شیوه تحلیل پوششی داده ها (DEA) را با AHP ترکیب نموده و در مسئله مکان یابی بکار بردند. مثلاً مهاجری و همکاران از همین شیوه برای مکان گزینی ایستگاه های راه آهن در

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی در دهه های اخیر مسائل متعددی را در زندگی روزمره بشر ایجاد کرده است. یکی از مسائل مهم در همین ارتباط مسئله حمل و نقل شهری است که بهترین شکل آن حمل و نقل عمومی است و امروزه بسیار مورد توجه می باشد (Sun and Cui, 2018). مطالعه بر روی عوامل این انتخاب و ارزیابی مکان یابی پایانه ها یکی از مسائل مهم و ضروری در بافت شهری عصر حاضر می باشد. اهمیت و اعتبار هر شهر بستگی به خدمات شهری آن دارد. هر چه این خدمات و تأسیسات در سطح ایده آل قرار داشته باشد، شرایط راحتی برای زندگی شهروندان فراهم شده و باعث افزایش رضایت شهروندان می شود. یکی از ارزاترین، سریعترین و مهم ترین خدمات شهری و حمل و نقل عمومی، مترو شهری می باشد (Zhao et al., 2018). در کلان شهرهایی همچون تهران، گسترش سامانه های حمل و نقل عمومی همچون مترو، لزوم مدیریت و مکان یابی مناسب این ایستگاه ها را ضروری می سازد (Farkas, 2009). این در حالی است که تفاوت امکانات و فرصت ها در مناطق شمالی و جنوبی تهران، سبب بروز شکاف و قطب بندی فضایی به لحاظ اجتماعی، اقتصادی و کالبدی بین این مناطق شده است. به عبارتی مناطق غیر برخوردار و جنوبی ارزش بسیار پایین تری نسبت به مناطق مرفه شمالی داشته و اغلب اقدامات نوسازانه اخیر مدیریت شهری نتوانسته این شکاف را تعدیل کند. انتخاب مکان مناسب پایانه های مترو برای حمل و نقل عمومی در سطح یک شهر، بخصوص کلان شهری مانند تهران از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر جهت ارزیابی وضع موجود، مکان گزینی ایستگاه های مترو و شناسایی کم و کاستی خدمات رسانی ایستگاه های مترو، نیاز است

تمامی تعاملات و روابط میان سطوح تصمیم‌گیری را که تشکیل یک ساختار شبکه‌ای می‌دهد، در نظر بگیرد. رویکرد بازخوردی ANP، ساختار سلسله-مراتبی را با ساختار شبکه‌ای جایگزین کرده است چرا که ساختار سلسله‌مراتبی با روابط خطی بالا به پایین نمی‌تواند در مورد سیستم‌های پیچیده مناسب باشد. همانطور که AHP بستری را برای ساختارهای سلسله‌مراتبی با روابط یک سو به فرآهم می‌آورد ANP نیز روابط پیچیده داخلی بین سطح‌های مختلف تصمیم و معیارها را اجازه می‌دهد. تفاوت ساختاری ANP و AHP به شرح شکل ۱ می‌باشد.

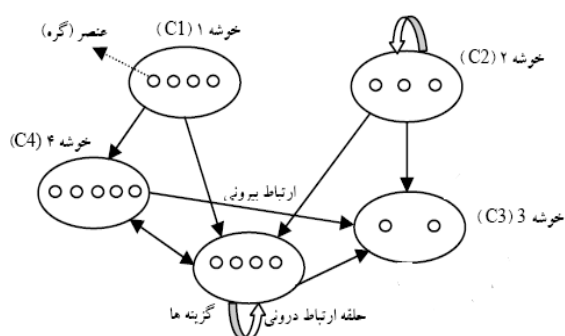


ساختار سلسله‌مراتبی

ساختار شبکه غیرخطی

شکل ۱: تفاوت ساختاری ANP و AHP

شکل ۲ ساختار یک شبکه ANP را نشان می‌دهد. خوشه‌ها معرف سطوح تصمیم‌گیری اند و خطوط مستقیم یا کمان‌ها تعاملات میان سطوح تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند. جهت کمان‌ها وابستگی را مشخص می‌کند و حلقه‌ها نیز وابستگی درونی عناصر هر خوشه را نشان می‌دهند.



شکل ۲: ساختار شبکه‌ای ANP

ANP از چهار گام اصلی بوجود می‌آید:

شهر مشهد در ایران استفاده نمودند (Mohajeri and Amin, 2010). ارباس و همکاران یک شیوه fuzzy AHP مبتنی بر GIS با ترکیب TOPSIS برای مکان‌گزینی ایستگاه‌های شارژ الکترونیکی خودرو ارائه دادند (Erbaş et al., 2018). از دیگر کاربردها می‌توان به ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با GIS برای مکان‌گزینی پل‌های خورشیدی و یا ایستگاه آتش‌نشانی اشاره نمود (Al Garni et al., 2017; Habibi et al., 2008).

اما به طور خاص در رابطه با استفاده از ظرفیت‌های تحلیلی GIS در کنار MCDM برای مکان‌گزینی ایستگاه مترو می‌توان به چند مورد اشاره نمود. قربانزاده و همکاران از AHP و GIS برای این منظور در شمال ایران بهره جستند (Ghorbanzadeh et al., 2020). ژوانی و همکاران نیز تحقیق مشابهی در شهر ستیف در الجزیره انجام دادند (Djouani et al., 2022). استفاده از روش‌های جدیدتر نسبت به AHP مانند شیوه ANP تاکنون برای این مسئله استفاده نشده است، که موضوع تحقیق پیش رو می‌باشد.

## روش

### فرآیند تحلیل شبکه‌ای

به علت عدم جامعیت روش AHP، در سال ۱۹۸۰، روش گسترش یافته‌ای تحت عنوان فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارائه شد. در واقع ANP به عنوان تعمیمی برای AHP مطرح شد. در دنیای واقعی، نمی‌توان بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را به دلیل وابستگی‌های درونی و بیرونی و روابط و تعاملات میان عناصر خوشه‌ها در سطوح تصمیم‌گیری، به صورت ساختار سلسله‌مراتبی در نظر گرفت. بنابراین ANP با چارچوب جامع و فراگیر می‌تواند

که در آن  $C$  نشان دهنده خوشه ها و  $e$  نشان دهنده زیرمعیارهای یک خوشه می باشد. بردارهای  $W$  درون ماتریس نیز، بردارهای وزنی حاصله از مقایسات زوجی عناصر گره ها با یکدیگر است.

گام ۴. حل سوپرماتریس و انتخاب بهترین گزینه: در سوپرماتریس اولیه ممکن است بعضی از ستون ها به صورت ستون های احتمالی نبوده یا به عبارت ساده تر حاصل جمع عناصر ستون ها برابر یک نباشد. در این حالت نمی توان گفت که تأثیر نهایی ملاک کنترلی مورد نظر بر تمامی عناصر به درستی نشان داده شده اند. برای جلوگیری از این حالت هر یک از عناصر ستون ها بر مجموع عناصر ستون مربوطه تقسیم می گردد. ماتریس حاصله سوپرماتریس موزون یا تصادفی نامیده می شود که در واقع از نرمال سازی سوپرماتریس اولیه به دست می آید. با استفاده از سوپرماتریس تصادفی به دست آمده، می توان سوپرماتریس نهایی را محاسبه کرد و اولویت های نهایی هر گزینه را به دست آورد. برای محاسبه سوپرماتریس نهایی، کافی است سوپرماتریس تصادفی را به توان بی نهایت (یا عدد خیلی بزرگی) رساند. توماس ال ساعتی با استفاده از ماتریس های احتمالی و زنجیره های مارکف اثبات می کند که وزن نهایی عناصر، از رابطه زیر به دست می آید:

$$W = \lim_{K \rightarrow \infty} W^{2k+1} \quad (2)$$

دلیل و مزیت اصلی استفاده از ANP نسبت به سایر روش ها مانند AHP این است که این روش می تواند در مسایلی که تعامل بین عناصر سیستم تشکیل ساختار شبکه ای می دهند به کار گرفته شود. در بیشتر اوقات بین گزینه های تصمیم و معیارهای تصمیم گیری، روابط و همبستگی متقابل وجود دارد و این همبستگی در روش های دیگر قابل مدل سازی نیست. در روش ANP برخلاف AHP اهمیت عناصر هر سطح لزوماً بر اساس سطح بالاتر مشخص

گام ۱. پایه ریزی مدل و ساخت شبکه: مسأله باید به شکل روشن بیان شده و مانند یک شبکه به یک سیستم عقلایی مجزا شوند. این ساختار شبکه ای می تواند توسط تصمیم گیرنده ها تعیین شود.

گام ۲. ماتریس مقایسات زوجی و بردارهای اولویت: در ANP نیز همانند روش AHP، اهمیت نسبی زوج های عناصر تصمیم گیری در هر خوشه، به طور مستقیم از طریق قضاوت هایی با استفاده از مقایسات زوجی و تحت کنترل معیارهای مربوطه بدست می آید. مقایسات زوجی در ANP نیز در چارچوب یک ماتریس انجام می شود.

گام ۳. تشکیل سوپرماتریس: در تکنیک ANP برای نشان دادن تعاملات و وابستگی های بین سطوح تصمیم گیری و تعیین اهمیت نسبی معیارها و اولویت بندی آلترناتیوهای مسئله، از سوپرماتریس (ابرماتریس) استفاده می شود. برای پر نمودن ماتریس های مختلف موجود در سوپرماتریس، بردارهای اولویت مربوط به هر ماتریس مقایسه زوجی باید محاسبه گردد. هنگامی که از سازگاری مقایسات زوجی اطمینان حاصل شد وزن های مربوط به اهمیت نسبی هر ماتریس مقایسه زوجی محاسبه می شود:

$$W = \begin{matrix} C_1 & C_2 & L & C_m \\ e_{11} & L & e_{1n_1} & e_{21} & L & e_{2n_2} & L & e_{m1} & L & e_{mn_m} \end{matrix} \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ C_1 & M \\ e_{1n_1} \\ e_{21} \\ e_{22} \\ C_2 & M \\ e_{2n_2} \\ M & M \\ e_{m1} \\ e_{m2} \\ C_m & M \\ e_{mn_m} \end{matrix} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & L & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & L & W_{2m} \\ M & M & M & M \\ W_{m1} & W_{m2} & L & W_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

نمی‌شود و از این حیث انعطاف‌پذیری لازم را در تصمیم‌گیری‌های پیچیده تر دارد.

فرآیند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای شرایطی را مهیا می‌کند که روابط متقابل بین سطوح تصمیم‌گیری و معیارهای تصمیم به شکل کلی‌تری مورد بررسی و ملاحظه قرار گیرند. اگرچه فرآیند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای نیز یک مقیاس اندازه‌گیری نسبی مبتنی بر مقایسات زوجی را به کار می‌گیرد، اما به مانند AHP یک ساختار اکیداً سلسله‌مراتبی را به مسئله تحمیل نمی‌کند، بلکه مسئله تصمیم‌گیری را با به کارگیری دیدگاه سیستمی توأم با بازخورد، مدل‌سازی می‌کند.

### روش تهیه نقشه‌های معیار و تحلیل مکانی

با مطالعات به عمل آمده، عوامل گوناگونی جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید مترو در نظر گرفته شد. حاصل این بررسی استخراج ۳ عامل اصلی بالقوه تاثیرگذار شامل عوامل کالبدی، جمعیتی و طبیعی می‌باشد. هر یک از این سه معیار شامل زیرمعیارهایی می‌باشند که عناصر خوشه‌ها را در روش ANP تشکیل می‌دهند. معیار کالبدی شامل زیرمعیارهای فاصله از خطوط BRT، نقاط جاذب سفر، شریان‌های اصلی، ایستگاه‌های مترو، و پارکینگ می‌شود. معیار جمعیتی شامل زیرمعیارهای محدوده بدون خودرو، و تراکم جمعیتی می‌شود. معیار طبیعی شامل زیرمعیارهای فاصله از گسل و میزان شیب زمین می‌باشد. پس از تهیه داده‌های هر معیار با تحلیل‌های مکانی و تبدیل به رستر و نرمال‌سازی مقادیر، نقشه‌های معیار جهت ورود به تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره آماده می‌شوند.

### پیاده‌سازی و نتایج

در راستای ایجاد لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS و با توجه به اینکه فرآیند تخصیص ایستگاه‌های جدید

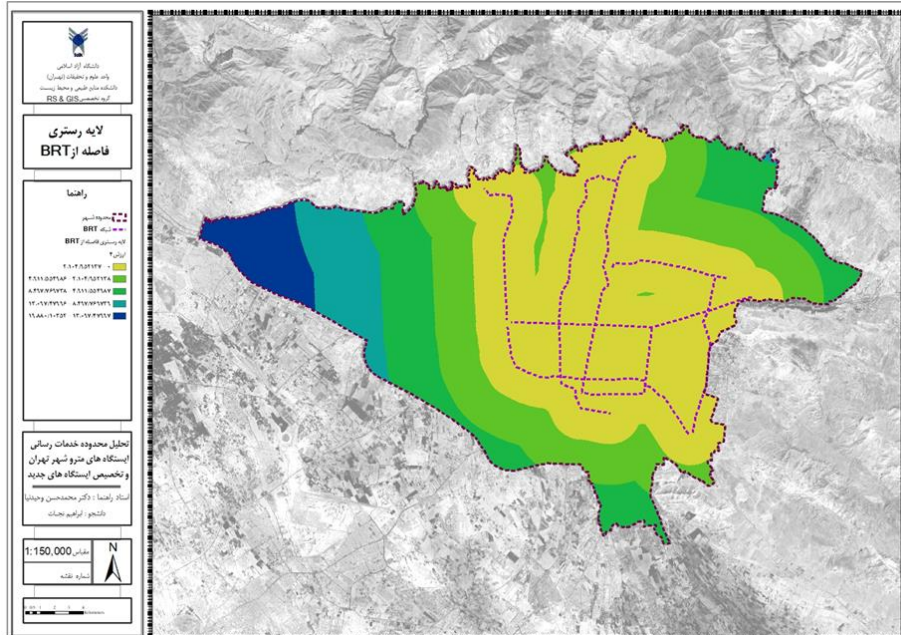
مترو یک بحث تصمیم‌گیری چندصفتی و با مدل سلولی قابل انجام است، می‌بایست داده‌های برداری به داده‌های رستری تبدیل گردد و نقشه‌های معیار نرمال و استاندارد آماده گردد. از آنجا که پیوستگی و وجود ارتباط بین گونه‌های حمل و نقلی دارای اهمیت می‌باشد، تخصیص ایستگاه‌های مترو جدید باید در مکان‌هایی باشد که مسافری بتوانند از گونه‌های دیگر حمل و نقل شهری استفاده نمایند. از این رو با توجه به لایه شبکه خطوط BRT و تبدیل داده‌های اطلاعاتی به رستر هرچه میزان فاصله از خطوط BRT بیشتر باشد از درجه مطلوبیت تخصیص ایستگاه‌های مترو کاسته خواهد گردید و هرچه موقعیت سایت انتخابی جهت تخصیص ایستگاه جدید به این شبکه‌ها نزدیکتر باشد درجه مطلوبیت بالاتری خواهد داشت (شکل ۳). تخصیص ایستگاه‌های جدید مترو باید در فاصله اندکی نسبت به نقاط جاذب سفر مکان‌یابی گردد و نزدیکی ایستگاه مترو با نقاط جاذب سفر (از جمله ادارات، مراکز تجاری، مراکز تفریحی و مراکز آموزشی و غیره) از درجه مطلوبیت بالایی برخوردار است چرا که باعث افزایش بهره‌وری و کارایی ایستگاه‌های مترو خواهد گردید (شکل ۴). از آنجا که انجام سفرهای شهری با استفاده از شریان‌های اصلی شهر صورت می‌گیرد لذا، نزدیکی به شریان‌های اصلی شهر در انتخاب سایت تخصیص ایستگاه‌های جدید مترو دارای مطلوبیت خواهد بود (شکل ۵). با تحلیل لایه رستری ایستگاه‌های موجود شهر تهران و در نظر گرفتن این آیتم به عنوان یکی از عوامل کالبدی تاثیرگذار در تحلیل محدوده خدمات-رسانی ایستگاه‌های مترو شهر تهران تا شعاع ۵۰۰ متری ایستگاه‌های مترو فعلی در بازه مطلوب و نسبتاً مطلوب واقع گردیده‌اند و پس از آن فاصله نیازمند تخصیص ایستگاه جدید خواهد بود (شکل ۶).

عمده‌ترین دلیل در نظر گرفتن فاصله از پارکینگ‌ها به دلیل کاهش ترافیک شهری و تبدیل گونه‌های

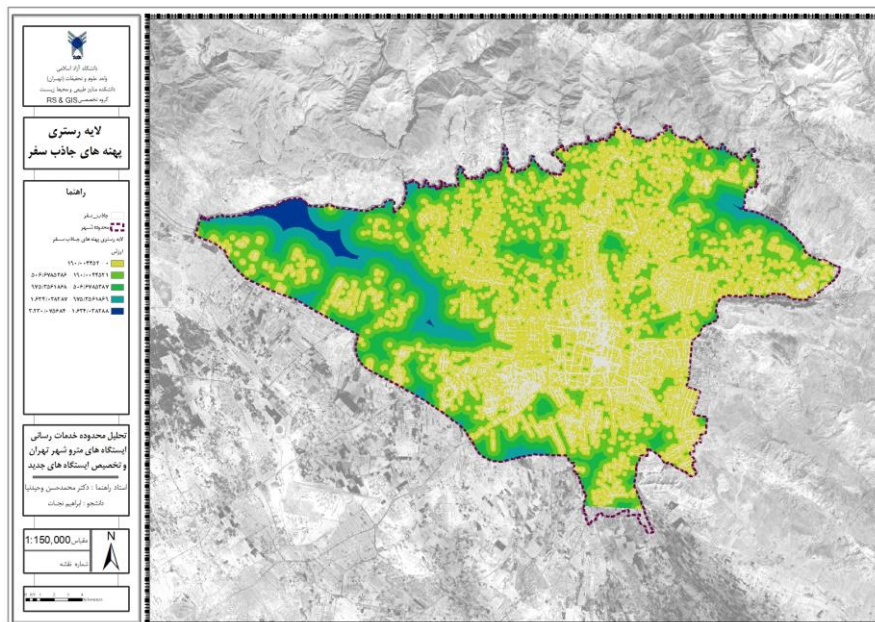
فناوری در عصر حاضر نیز انسان هنوز نتوانسته به صورت دقیق به پیش بینی و مقابله با این بلای طبیعی بپردازد. با این وجود می توان با مدیریت صحیح آثار زیان بار آن را به حداقل ممکن تقلیل داد. بر مبنای اصول پدافند غیر عامل احداث ایستگاه های مترو به عنوان نقاط حساس می باشد از گسل ها دارای فاصله مناسب باشد (شکل ۱۰). از عوامل طبیعی تاثیرگذار در تخصیص و احداث ایستگاه های جدید مترو فاکتور درصد شیب زمین می باشد که برآیند این فاکتور و تبدیل داده های آن به رستر در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در تخصیص و احداث ایستگاه های جدید مترو حتی الامکان می بایست به این عامل توجه گردد.

حمل و نقلی به یکدیگر است که با برنامه ریزی در جهت کاهش استفاده از وسایل نقلیه شهری و افزایش استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی می تواند به این امر دست یافت. لذا در نظر گرفتن کمترین فاصله با پارکینگ ها می تواند باعث کاهش سفرهای شهری با وسایل نقلیه شخصی گردد و سهل و الوصول بودن دسترسی وسایل نقلیه شخصی به جای پارک مطمئن دارای درجه مطلوبیت بالایی است (شکل ۷). یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در معیارهای جمعیتی عامل بدون خودرو است که در شکل ۸ ملاحظه می شود. از دیگر عوامل جمعیتی تاثیرگذار در تخصیص ایستگاه های جدید زیر معیار تراکم جمعیتی است، مناطق با تراکم جمعیتی بالا دارای اولویت احداث و تخصیص ایستگاه های جدید هستند (شکل ۹).

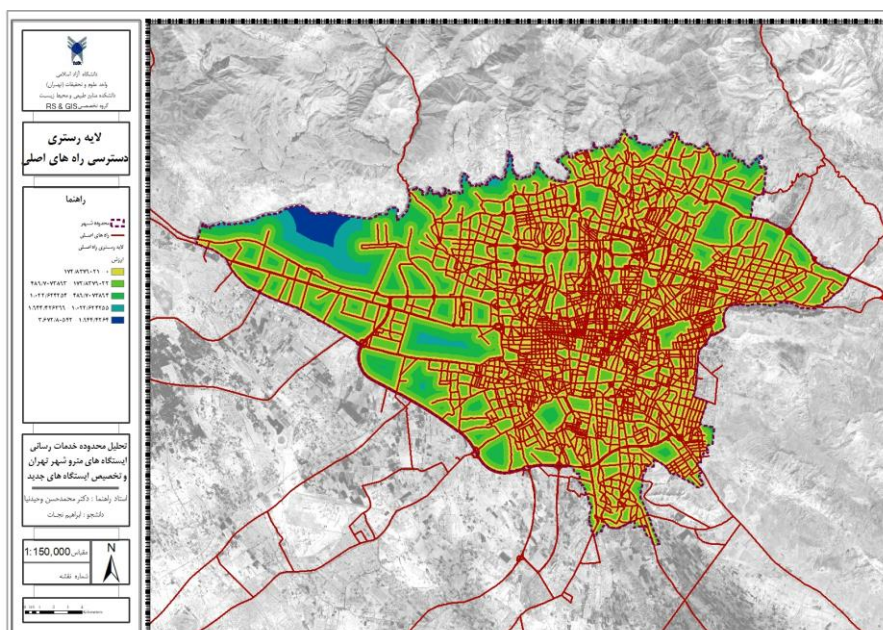
خطر زلزله از دیرباز تاکنون سکونت گاه های انسانی را مورد تهدید قرار داده است. با وجود پیشرفت علم و



شکل ۳: زیرمعیار فاصله از خطوط BRT

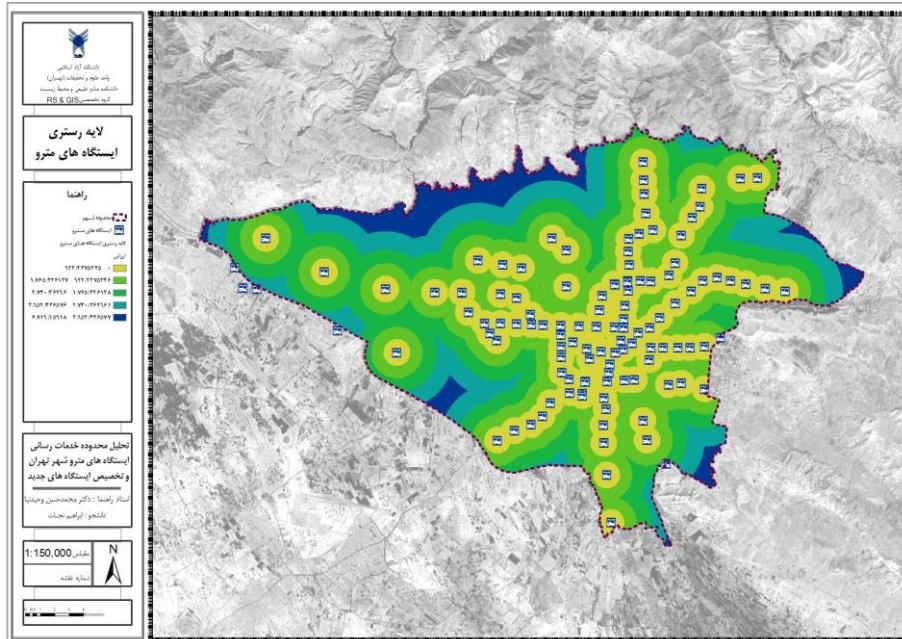


شکل ۴: نقشه زیرمعیار فاصله از نقاط جاذب سفر

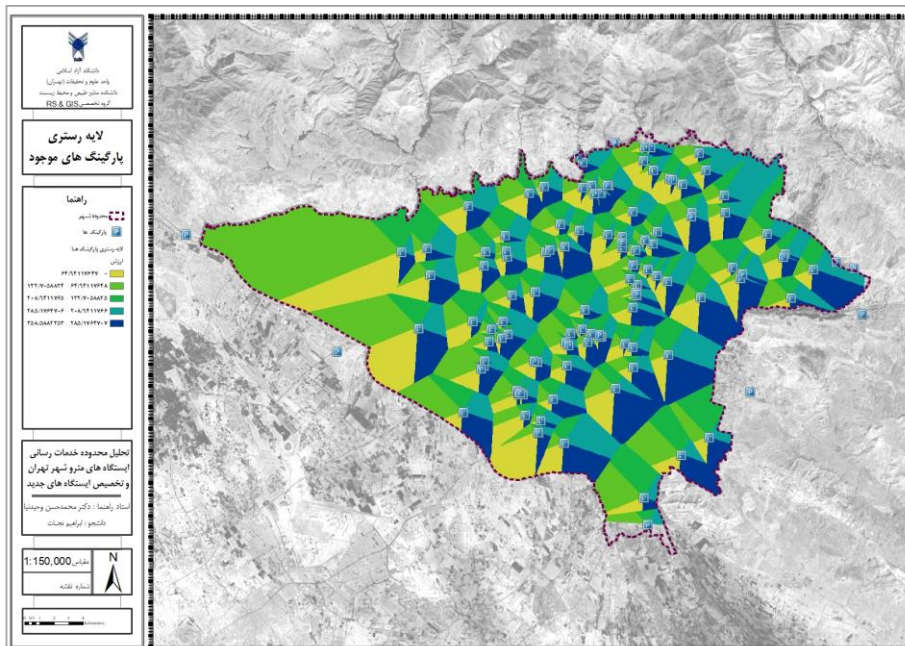


شکل ۵: زیرمعیار فاصله از شریان اصلی

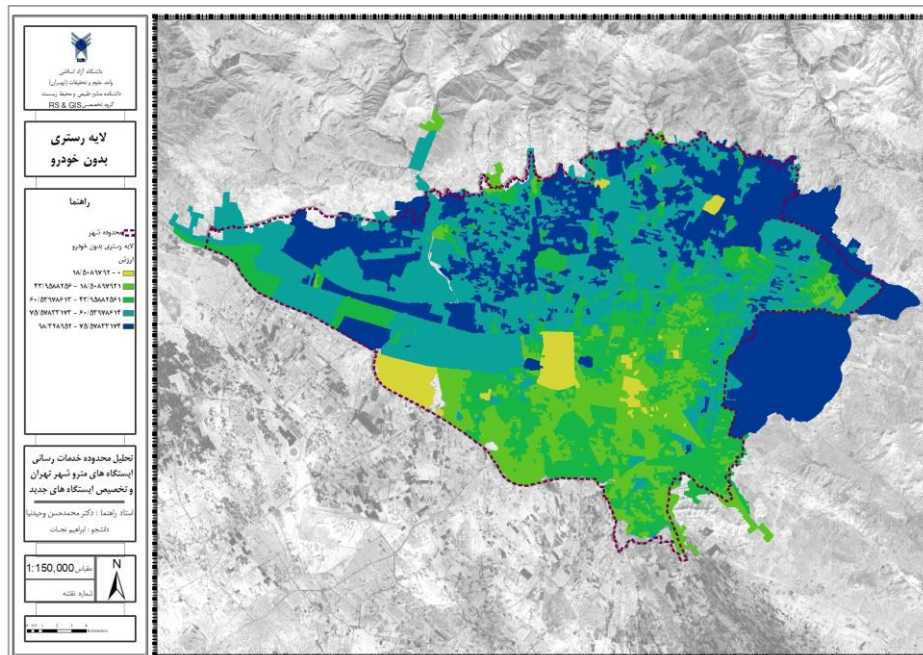




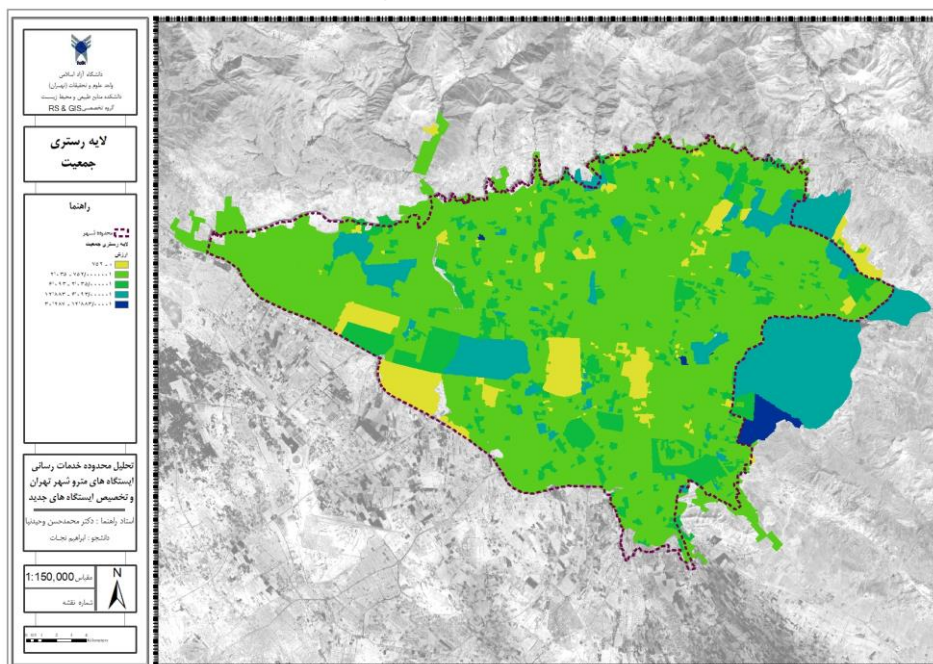
شکل ۶: نقشه زیرمعیار فاصله از ایستگاه های مترو



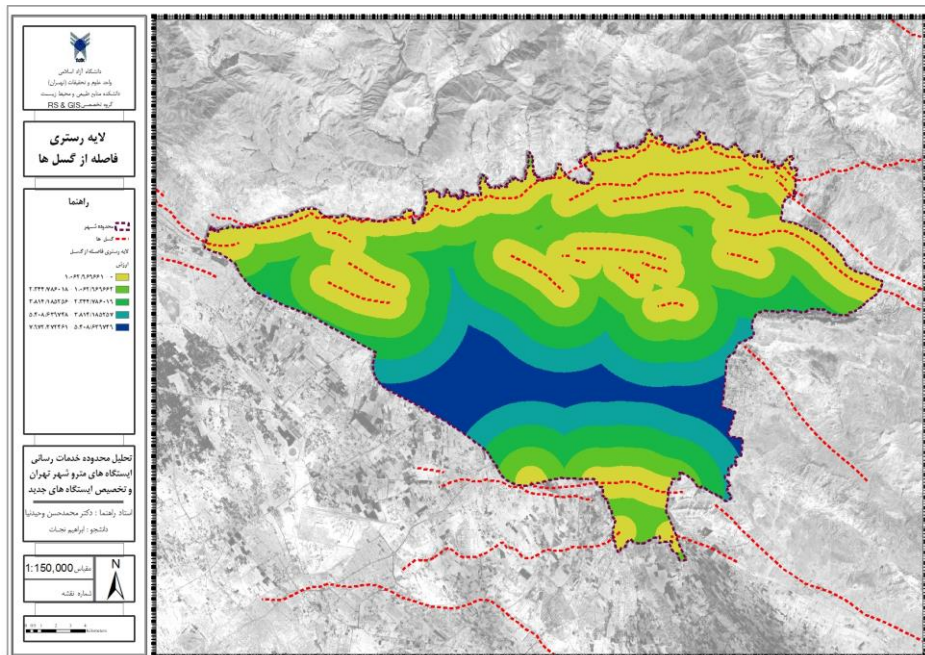
شکل ۷: نقشه زیرمعیار فاصله از پارکینگ ها



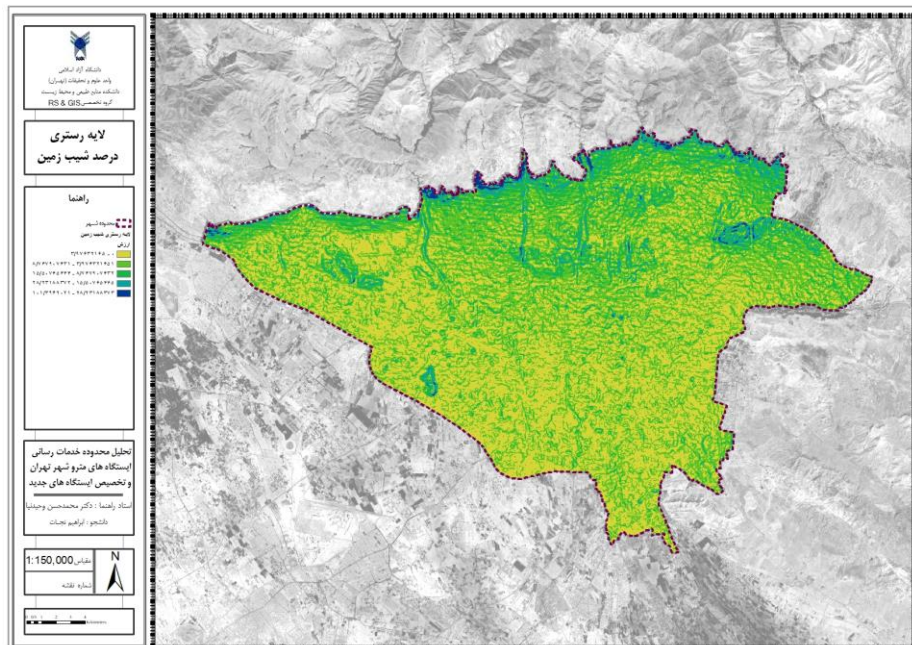
شکل ۸: نقشه زیرمعیار بدون خودرو



شکل ۹: نقشه زیرمعیار تراکم جمعیتی



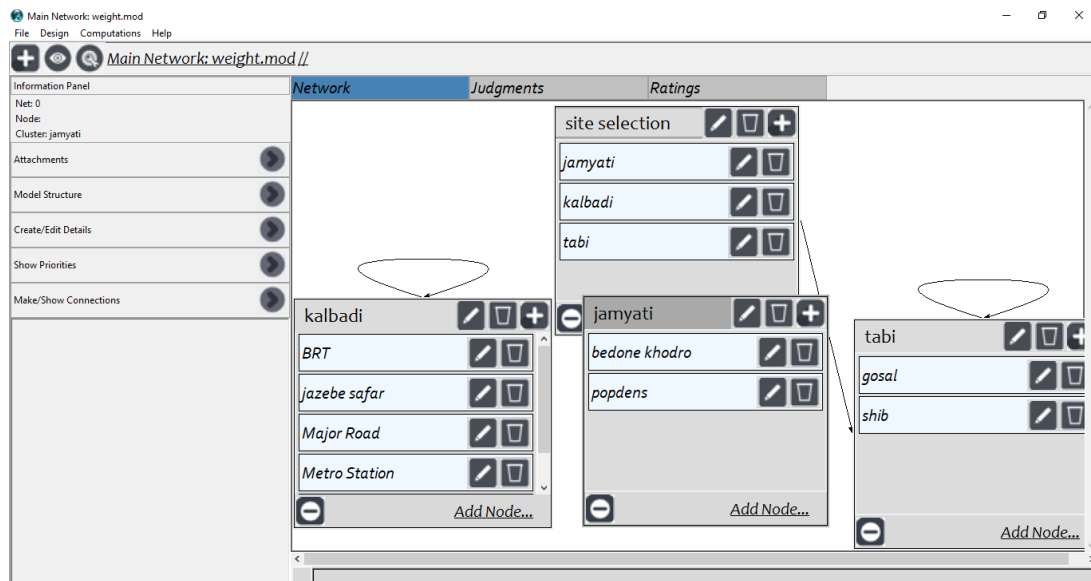
شکل ۱۰: نقشه زیرمعیار فاصله از گسل



شکل ۱۱: نقشه زیرمعیار میزان شیب زمین

شود. برای ساخت یک تحلیل شبکه‌ای ابتدا باید هر سطح (هدف، معیار، گزینه) را به صورت یک خوشه در نرم افزار ساخت. پس از آن ماتریس‌های مقایسه زوجی تکمیل می‌شوند و ابرماتریس محاسبه می‌شود.

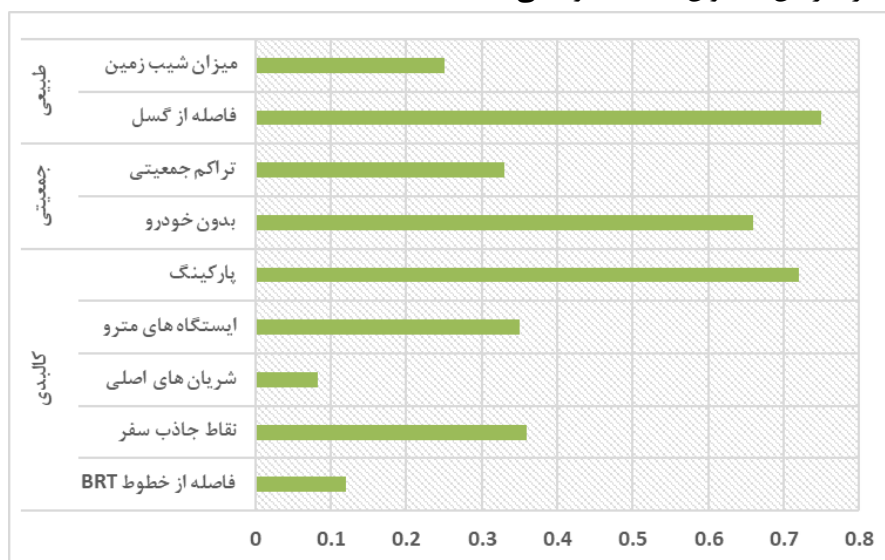
به منظور تحلیل محدوده خدمات‌رسانی ایستگاه‌های مترو شهر تهران و تخصیص ایستگاه‌های جدید و در راستای تعیین وزن هر فاکتور با استفاده از ANP از نرم‌افزار SuperDecision استفاده شد. در شکل ۱۲ نمایی از پیاده‌سازی در این نرم‌افزار مشاهده می-



شکل ۱۲: پیاده سازی در نرم افزار SuperDecisions و معیارها و ارتباطات آن ها در مدل ANP

رسد تا نهایتاً به وزن های با ثبات دست یابیم. در شکل ۱۳ وزن های نهایی بدست آمده برای معیارها به روش ANP مشاهده می شود.

با تکمیل ماتریس های مقایسه زوجی در هر سطح وزن ها به روش AHP محاسبه گردید. سپس تشکیل ابرماتریس ANP بر اساس وزن های بدست آمده انجام شد. سپس ابرماتریس به توان های محدود می-



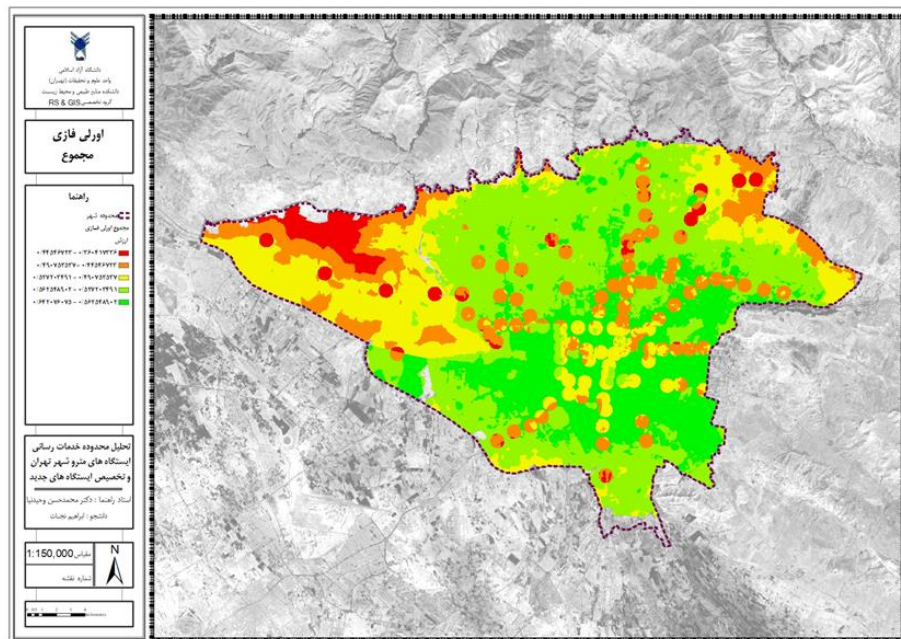
شکل ۱۳: امتیاز نهایی معیارها در جدول مقایسات زوجی ANP در نرم افزار SuperDecisions

در ادامه نیز در شکل ۱۴ نتیجه تجمیع نقشه های معیار وزن دار شده به روش ANP و همپوشانی بر اساس تابع فازی ملاحظه می شود. لازم به ذکر است که در این مرحله از توابع فازی دیگری نظیر  $\text{product}$ ،  $\text{gamma}$  و  $\text{And}$  نیز استفاده شد، اما بهترین و همگن ترین نتایج مربوط به تابع  $\text{Or}$  فازی بود. معیار مورد نظر برای انتخاب روش نهایی یا بهترین از بین عملگرهای فازی  $\text{product}$ ،  $\text{gamma}$ ،

در ادامه نیز در شکل ۱۴ نتیجه تجمیع نقشه های معیار وزن دار شده به روش ANP و همپوشانی بر اساس تابع فازی ملاحظه می شود. لازم به ذکر است که در این مرحله از توابع فازی دیگری نظیر

نتیجه را حاصل نمود. در این نقشه مناطقی که امتیاز بیشتری دارند، برای احداث ایستگاه جدید مناسب تر می باشند. باتوجه به نتایج نقشه تصمیم گیری، حوزه های همگن و مناسب ترین سایت ها جهت تخصیص ایستگاه های جدید مترو شهر تهران عمدتاً در غرب و شمال شرق پیشنهاد می گردند.

And، و Or همگنی نواحی بدست آمده در نقشه نهایی می باشد. بدین معنی که هرچقدر نواحی بدست آمده به لحاظ مکانی پیوسته تر و همگن تر بوده و فضای بهتری برای انتخاب ایستگاه نهایی ایجاد می کرد، آن روش برگزیده می شد. نقشه حاصل از سایر روش ها محدوده های کوچک و پراکنده ای در منطقه معرفی می نمود و بر این اساس Or فازی بهترین



شکل ۱۴: اعمال تابع همپوشانی فازی برای تجمیع لایه ها و اجرای گام نهایی مدلسازی تخصیص ایستگاه های جدید مترو شهر تهران

استفاده از روش ANP برای مکان گزینی ایستگاه مترو، نوآوری این پژوهش محسوب می شود. روش ANP به غیر از انجام مقایسات زوجی، وزن های میان گره ها یا همان خوشه های زیرمعیارها را نیز در نظر می گیرد و می تواند یک مدلسازی پیچیده تری از مسئله تصمیم گیری ارائه دهد. نکته دیگر استفاده از عملگرهای فازی برای تلفیق نهایی معیارها بود که در تحقیقات پیشین عمدتاً از مجموع وزن دار استفاده می گردید. استفاده از عملگرهای مختلفی چون گاما، اجتماع، اشتراک، و پروداکت این امکان را فراهم آورد که با انعطاف پذیری بیشتری نقشه تصمیم گیری بدست آید و نهایتاً آن نقشه ای که همگنی بهتری در

### بحث و نتیجه گیری

در امتداد پاسخ گویی به هدف تحقیق، تحلیل محدوده خدمات رسانی ایستگاه های مترو شهر تهران و تخصیص ایستگاه های جدید، ابتدا عوامل موثر در تصمیمات شناسایی و با تحلیل های GIS آماده گردید. پس از آن و با به کارگیری فرایند تحلیل شبکه (ANP) یک مدل مکان یابی جهت احداث ایستگاه جدید مترو شهری ارایه شد که خروجی آن تعیین اوزان معیارهای موثر در انتخاب بهترین مکان جهت خدمات رسانی ایستگاه مترو و همچنین محاسبه اوزان گزینه های پیشنهادی بود. به دلیل ایرادات شیوه AHP که در مطالعات پیشین به آن پرداخته شد،

تصمیمات مکان‌یابی لحاظ گردد و با این کار مسائل و شرایط متخصصین و کارکنان داخلی نیز در نظر گرفته خواهد شد. در این صورت نه تنها از افت بهره‌وری سازمان جلوگیری می‌شود، بلکه بهره‌وری نیز ارتقاء می‌یابد.

#### منابع

- Sun, Y., & Cui, Y. (2018). Evaluating the coordinated development of economic, social and environmental benefits of urban public transportation infrastructure: Case study of four Chinese autonomous municipalities. *Transport Policy*, 66, 116-126.
- Zhao, L., Li, H., Li, M., Sun, Y., Hu, Q., Mao, S., ... & Xue, J. (2018). Location selection of intra-city distribution hubs in the metro-integrated logistics system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 80, 246-256.
- Farkas, A. (2009, June). Route/site selection of urban transportation facilities: an integrated GIS/MCDM approach. In 7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking June (pp. 5-6).
- Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158, 390-402.
- Ballis, A. (2003). Airport site selection based on multicriteria analysis: the case study of the island of Samothraki. *Operational Research*, 3(3), 261-279.
- Mohajeri, N., & Amin, G. R. (2010). Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 107-114.
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., & Çetinkaya, C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. *Energy*, 163, 1017-1031.
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied energy*, 206, 1225-1240.
- Habibi, K., Lotfi, S., & Koohsari, M. J. (2008). Spatial analysis of urban fire station locations by integrating AHP model and IO logic using GIS (a case study of zone 6 of Tehran). *Journal of Applied Sciences*, 8(19), 3302-3315.
- Ghorbanzadeh, M., Effati, M., Gilanifar, M., & Ozguven, E. E. (2020). Subway station site selection using GIS-based multi-criteria decision-making: a case study in a developing country. *Comput. Res. Prog. Appl. Sci. Eng.*, 6, 60-69.
- Djouani, I., Dehimi, S., & Redjem, A. (2022). Evaluation of the efficiency and quality of the tram route of Setif city, Algeria: Combining AHP and GIS approaches. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA*, 72(1), 85-102.

محدوده گزینه‌ها را دارد، یعنی اجتماع فازی، نهایتاً برگزیده شد. در تحلیل شبکه معیارها و زیر معیارهای تحلیل محدوده خدمات‌رسانی ایستگاه‌های مترو شهر تهران و تخصیص ایستگاه‌های جدید، زیر معیار فاصله از گسل در عوامل طبیعی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده و پس از آن به ترتیب عواملی نظیر فاصله از پارکینگ در عوامل کالبدی و بدون خودرو در فاکتورهای جمعیتی دارای اهمیت می‌باشند.

یکی از چالش‌های موجود در این تحقیق عدم دسترسی به داده‌های واقعی تعداد و سرعت حرکت قطارهای مترو، و جمعیت قابل حمل در خطوط مختلف، علیرغم تلاش‌های انجام شده، بود. با توجه به اینکه در ساختار داده شبکه در GIS لازم است وزن‌ها بر اساس سرعت، جمعیت قابل حمل، یا زمان به یال‌ها اختصاص یابد، عدم وجود چنین اطلاعاتی عملاً تحلیل محدوده دسترسی در شبکه را مختل می‌نمود. لذا به ناچار در پیاده‌سازی از فاصله اقلیدسی استفاده گردید. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی حتماً چنین اطلاعاتی مبنای کار قرار گیرد.

با برآورد نسبتاً دقیقی از جمعیت استفاده‌کنندگان از خطوط مترو در مسیرهای گوناگون و موقعیت شاهراه‌های پر درخواست در شبکه سفرهای شهری می‌توان فاکتورهای تخصیص ایستگاه‌های جدید مترو را با نیازهای بهره‌برداران از آن نیز حتی‌الامکان تدقیق نمود. همچنین پیشنهاد می‌گردد ایستگاه‌هایی که در مجاورت فاکتورهای نظیر گسل و غیره قرار داشته و امتیاز بسیار کمی را کسب نموده‌اند شناسایی و مناسب‌سازی گردند تا در صورت بروز بحران‌های احتمالی کمترین میزان خسارات را در پی داشته باشد. می‌توان در پهنه‌های مناسب جهت احداث ایستگاه جدید به مسیر خطی از مسیرهای دایره‌ای و مانند آن به منظور ایجاد بیشترین پوشش با کمترین ایستگاه و مسیر مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است ملاحظات و ارزیابی‌های فنی نیز می‌بایست در

## Analysis of the Service Area of Tehran Subway Stations and the Allocation of new Stations using the ANP Method

Ebrahim Nejat<sup>1</sup>, Mohammad H. Vahidnia<sup>2\*</sup>, Hossein Aghamohammadi<sup>2</sup>

### Abstract

The rapid growth of population and urbanization in recent decades has created many problems in human daily life. One of the important issues in this connection is urban transportation, especially public transportation, and it is of great interest today. Studying the effective factors and evaluating the location of subway stations is one of the important and necessary issues in the urban context. The importance and prestige of any city depends on its city services. The more these services and facilities are at an ideal level, the more comfortable the conditions are for the citizens' lives and the more the satisfaction of the citizens, which is one of the most important urban services of public transportation, especially the urban subway. Accordingly, the scientific goal of this research is to use GIS analysis to identify service areas and use multi-criteria decision models to locate new stations. This research has been carried out through several steps, including identifying variables, preparing standard criteria maps, obtaining the weight of layers, applying the weight of layers, and fuzzy overlapping of layers. Analytical Network Process (ANP) model was used to weight the criteria. In the results of weighting, the distance from the fault, the distance from the parking lot, and the population without cars had the greatest impact on positioning. Finally, suitable places for the construction of the metro station were suggested.

**Key words:** Geographic Information System, Network Analysis, Subway station, Multicriteria Decision Analysis, site selection