



بکارگیری روش تحلیل همایی برای تعیین شبکه مناسب قطار شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)

امید افصحی، کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران، مدیر پروژه شرکت مطالعات
جامع حمل و نقل و ترافیک تهران¹

هو تن پورخرسند، کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری دانشگاه کارلتون، کانادا، کارشناس ارشد شرکت
مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران²

مرتضی خشایی پور، کارشناس ارشد مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت ایران، معاون
مطالعات و برنامه ریزی سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران³

رضا وثوقی، کارشناس ارشد مهندسی حمل و نقل و توسعه پایدار، مدرسه عالی پلی تکنیک پاریس،
کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل و ترافیک تهران⁴

¹oaafsahi@gmail.com, 09122718731

²hpourkhorsand@gmail.com, 09128119890

³m-khashaypoor@yahoo.com, 09122011440

⁴r.vosooghi@gmail.com, 09123907835

چکیده:

ایجاد زیرساخت‌های مرتبط با حمل و نقل و ترافیک شهری شامل شبکه معابر شهر، شبکه حمل و نقل همگانی و تجهیزات مختلف مدیریت و کنترل ترافیک از جمله راهکارهای بهبود وضعیت حمل و نقل محسوب می‌شوند. یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های مرتبط با حمل و نقل شهری، شبکه قطار شهری است. در این میان طراحی شبکه قطار شهری یکی از گام‌های اساسی و کلیدی محسوب می‌شود. از طرف دیگر حل مساله طراحی شبکه حمل و نقل همگانی برای شبکه بزرگی همچون تهران با در نظر گرفتن معیارهای مختلف بسیار مشکل و زمانبر است. با توجه به این مطلب در این مقاله کوشش شده است تا روشی مطمئن و سریع برای انتخاب شبکه مطلوب قطار شهری برای کلان شهر تهران بکارگیری شود. در همین راستا در مطالعه حاضر از روش تحلیل همایی برای شناسایی شبکه قطار شهری مناسب شهر تهران استفاده گردید.

کلمات کلیدی: حمل و نقل همگانی انبوه بر، قطار شهری، تحلیل همایی.



1 - مقدمه

تقاضای سفر در حال رشد شهر تهران، استفاده از سیستم‌های جدید حمل و نقل عمومی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد، به طوری که طبق برآورد انجام شده برای سال 1404 در حدود 2 میلیون و دویست هزار سفر در ساعت اوج ترافیک صبح‌گاهی با وسایل نقلیه موتوری انجام می‌شود، که در صورت عدم پیش‌بینی راهکارهای مناسب جهت تسهیل انجام سفرهای شهری، وضعیت حمل و نقلی شهر تهران با بحران جدی مواجه خواهد شد. در این میان نیاز به سیستم حمل و نقل عمومی و انبوه‌بر نوین به منظور حمل و نقل در شهر تهران امری قطعی می‌باشد. یکی از کارآمدترین سیستم حمل و نقل انبوه‌بر با توجه به مزایای فراوان آن، سیستم‌های قطار شهری می‌باشد. یک مساله مهم در فرآیند مطالعات مرتبط با حمل و نقل همگانی و به خصوص سیستم حمل و نقل همگانی انبوه‌بر، تعیین شبکه قطار شهری است. تلاش این مقاله در همین راستا، و به منظور ارائه روشی برای تعیین شبکه مناسب متروی شهر تهران می‌باشد.

2 - تعریف مساله

با توجه به اهمیت شبکه قطار شهری تهران در انجام سفرهای شهری و کاهش مشکلات ترافیکی و زیست محیطی، طراحی شبکه و مسیریابی بهینه خطوط آن به نحوی که دارای بیشترین مطلوبیت باشد دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

در سال 1970 دایسر روشی را برای مکانیابی خطوط سیستم های حمل و نقل سریع انجام داد که متکی بر یافتن مسیری با کمترین هزینه بین مبدا-مقصد تحت قیود مختلف بود [1]. همچنین کارنت و همکارانش در سال 1985 طراحی مسیری با حداکثر پوشش و حداقل طول مسیر را مورد مطالعه قرار دادند. در ادامه برونو و همکارانش با بهره‌گیری از روش چند مدلسازی بهتری را ارائه نمودند [2]. از جمله کارهایی که در سالهای اخیر در ایران انجام شد می‌توان به بکارگیری روش پوششی که توسط دکتر آیتی برای مسیر یابی بهینه قطار سبک شهری شهر مشهد مورد استفاده قرار داد، اشاره نمود [3]. شایان ذکر است تعیین مسیر و طراحی شبکه قطار شهری با محدودیت‌ها و معیارهای گوناگونی همراه است که به علت پیچیدگی و مشخص نبودن این معیار، در حال حاضر روشی که بتواند به صورت تحلیلی و دقیق قابلیت تعیین بهترین مسیر از لحاظ کلیه شاخص‌ها داشته باشد، وجود ندارد. نتایج حاصل از مطالعات گندرو و همکاران [4] و همچنین مگنانتی و همکاران [5] نیز بیان‌کننده این مطلب است که طراحی و مسیریابی سیستم حمل و نقل انبوه‌بر با توجه به وجود اهداف متفاوت و شاخص‌هایی گوناگون، یک فرآیند پیچیده می‌باشد. به‌طور کلی در حال حاضر هیچ روش تحلیلی وجود



ندارد که توانایی حل این مساله را با در نظر گرفتن کلیه اهداف و شاخص‌ها به صورت دقیق داشته باشد.

در این مقاله به عنوان یک راهکار عملی به منظور طراحی مسیر شبکه قطار شهری شهر تهران، با در نظر گرفتن تعدادی از شاخص‌های اصلی مبادرت به ارائه گزینه‌های اولیه ای برای شبکه قطار شهری شهر تهران گردید. پس از تعیین مسیرهایی که از لحاظ معیارهای در نظر گرفته شده دارای اهمیت می‌باشند، سپس این گزینه‌ها برای ارزیابی نهایی و انتخاب گزینه برتر مورد مطالعه قرار گرفت که در ادامه تشریح می‌گردد.

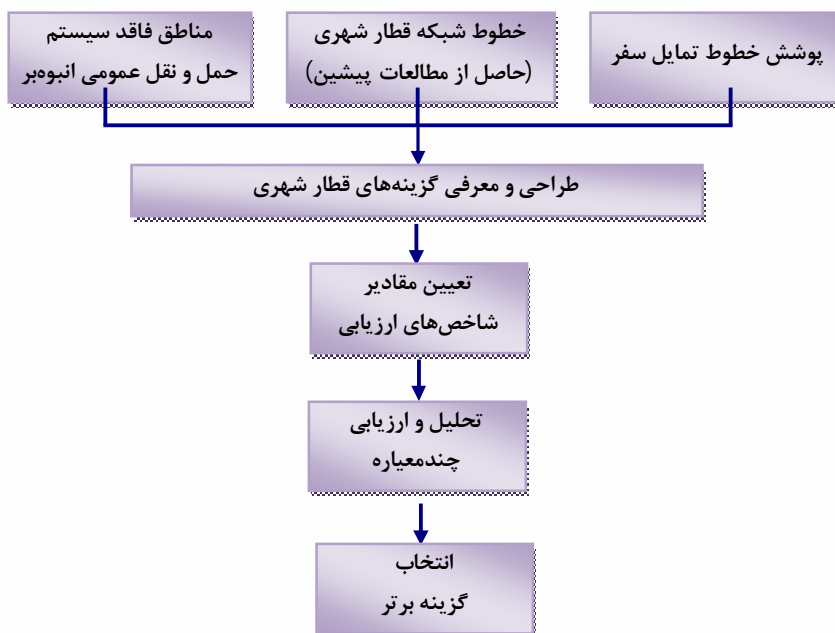
3- روش انجام مطالعه

با توجه به اینکه ساخت خطوط متروی شهر تهران بر مبنای مطالعات شرکت فرانسوی سیستم‌ها و مصوبه شورای عالی ترافیک در حال انجام است، در این تحقیق به منظور تعیین گزینه برتر شبکه قطار شهری تهران از گزینه مصوب شهر تهران و گزینه برتر مطالعات شرکت سیستم‌ها بهره‌گیری شد. همچنین از شاخص‌های ذیل برای تعریف گزینه‌های تکمیلی استفاده گردید. این شاخصها عبارتند از:

✓ وضعیت خطوط تمایل سفر با سیستم حمل و نقل همگانی در شهر تهران

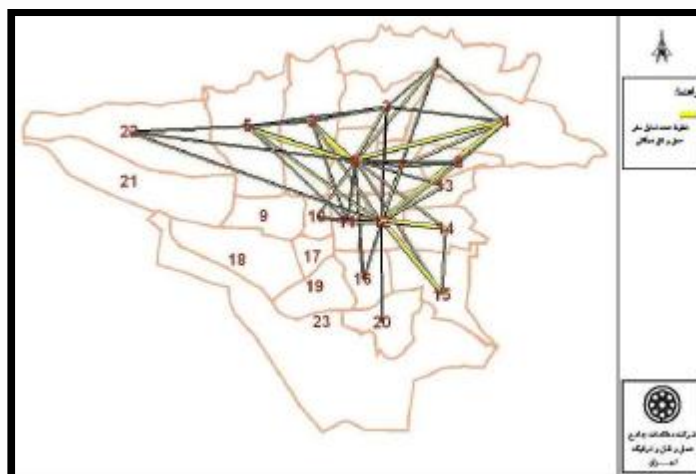
✓ وضعیت پوشش سیستم حمل و نقل عمومی انبوه‌بر

مراحل انتخاب گزینه‌های تکمیلی در شکل (1) ارائه شده است.



شکل 1: مراحل انتخاب گزینه برتر شبکه قطار شهری تهران.

مطابق نمودار فوق ، ساختار شبکه ریلی آینده شهر تهران بر مبنای طرح های شرکت فرانسوی سیستمرا تعیین شد و با استفاده از معیارهای خطوط تمایل سفر و وضعیت پوشش خطوط مترو اقدام به تعریف گزینه های جدیدی گردید.



شکل 2: خطوط عمده تمایل سفر با سیستم حمل و نقل همگانی مناطق 22گانه تهران.



4 - معرفی گزینه‌ها

در این مقاله پنج گزینه جهت شناخت گزینه برتر مورد مطالعه قرار گرفت. گزینه اول، مطابق طرح پیشنهادی شورای عالی ترافیک و گزینه دوم، مطابق گزینه برتر شرکت سیسترا که مورد توافق شورای شهر تهران می‌باشد است. همچنین سه گزینه دیگر (گزینه‌های 3، 4 و 5) بر اساس معیارهای مطرح شده در بند قبل و قضاوت‌های کارشناسی و نظرات مدیران ارشد شرکت مترو و معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران انتخاب شده‌اند.

گزینه 1: گزینه طرح پیشنهادی شورای عالی ترافیک

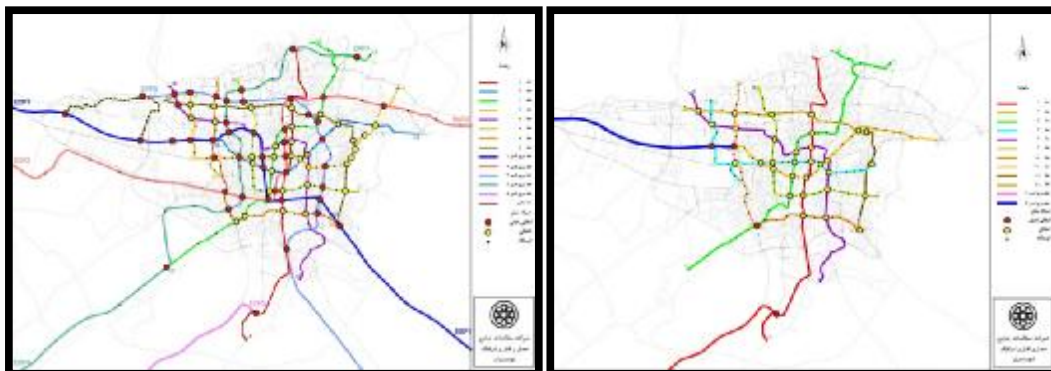
گزینه 2: گزینه طرح پیشنهادی شورای شهر تهران (گزینه برتر شرکت سیسترا)

گزینه 3: این گزینه شامل کلیه خطوط گزینه 2 می‌باشد که سه خط شهری و دو خط مکمل (خطوط ریلی غیر مترو اعم از تراموا، قطار سبک شهری و مونوریل) به آن افزوده شده است.

گزینه 4: این گزینه شامل کلیه خطوط گزینه 2 به غیر از یک خط شهری (وردآورد- چیتگر) می‌باشد که یک خط شهری و یک خط مکمل به آن اضافه شده است.

گزینه 5: این گزینه شامل کلیه خطوط گزینه 3 به غیر از یک خط شهری می‌باشد.

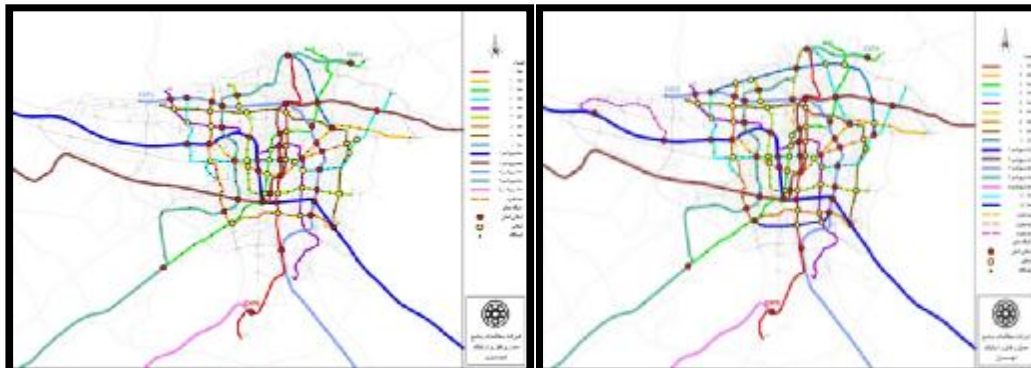
اشکال زیر نمایش‌دهنده کلیه گزینه‌های پیشنهادی شبکه قطار شهری تهران می‌باشند.



گزینه 2.

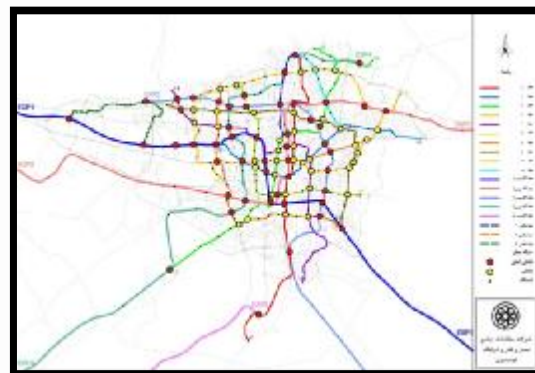
گزینه 1.





گزینه 4.

گزینه 3.



گزینه 5.

5 - تحلیل چندمعیاره گزینه‌های شبکه قطار شهری

بعد از تعیین گزینه‌های شبکه قطار شهری مرحله بعد ارزیابی و انتخاب گزینه برتر از میان گزینه‌های پیشنهادی می‌باشد. روش‌های تحلیل چندمعیاره نقش اساسی در ارزیابی و اولویت‌بندی بهترین و مناسب‌ترین گزینه از میان سایر گزینه‌ها بر اساس یک سری اهداف و شاخص‌های معین ایفا می‌نمایند.

5-1 - شاخص‌های ارزیابی شبکه قطار شهری تهران

ارزیابی کارایی شبکه قطار شهری تهران بر اساس اهداف و شاخص‌هایی انجام می‌پذیرد که باعث بهبود و افزایش کارایی و بهینه‌شدن نسبت مزایا به مسایل و مشکلات مربوط به احداث آن می‌شود. اهداف، معیارها و شاخص‌هایی که در این مطالعه به منظور ارزیابی پنج گزینه پیشنهادی در نظر گرفته شده است در جدول (1) نمایش داده شده است.



5-2- وزن دهی به شاخص‌ها

به منظور تحلیل گزینه‌ها به روش تحلیل همایی باید وزن‌های هر شاخص مشخص باشد. بدین منظور، نظرات کارشناسان، مسوولان و مجریان قطار شهری جمع‌آوری گردید. بر اساس نتایج این نظرسنجی، چهار سیستم وزن‌دهی متفاوت بر اساس نظرات چهار گروه مختلف تنظیم شده است که این گروه‌ها عبارتند از:

گروه 1: شهرداری تهران

گروه 2: مدیریت دولتی

گروه 3: مسوولان قطار شهری

گروه 4: پیمانکاران و مسوولان اجرایی

مقادیر وزن‌های تخصیص داده شده به معیارها بر اساس نظرات گروه‌های فوق در جدول (2) نمایش داده شده است.



جدول ۱: اهداف، معیارها و نحوه محاسبه شاخص‌های قطار شهری.

نحوه محاسبه شاخص	شاخص	معیار	هدف
به کمک نرم‌افزار Arc GIS	جمعیت و تعداد شاغلین در شعاع 600 متری ایستگاه	دسترسی - پوشش شبکه	جذابیت شبکه
	تسهیلات عمده در 600 متری شبکه قطار شهری		
شمارش	شهرهای مهم اقماری که توسط شبکه پوشش داده شده است	پوشش مناطق حومه	تاثیرات شهری
شمارش	تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی	سلسله مراتب شبکه	
به کمک نرم‌افزار Emme/2	میانگین زمان سفر	سهولت سفر	
به کمک نرم‌افزار Emme/2	نرخ تغییر وسیله	کارایی شبکه	
به کمک نرم‌افزار Emme/2	تعداد مسافران روزانه		
به کمک نرم‌افزار Emme/2	تعداد مسافران در واحد طول شبکه		
به کمک نرم‌افزار Emme/2	سهم حمل و نقل عمومی از کل سفرها		
به کمک نرم‌افزار Arc GIS	مراکز شهری که توسط شبکه سرویس دهی می‌شوند	پوشش سازمان‌های شهری	
Arc GIS/AutoCAD	میزان پوشش مناطق مختلف شهر	عدالت اجتماعی	
Arc GIS/AutoCAD	طول شبکه ریلی همسطح و روگذر	یکپارچگی شهر	
به کمک نرم‌افزار Arc GIS	مراکزی که تحت تاثیر ساخت شبکه قرار می‌گیرند	حفاظت از مراکز تفریحی و مذهبی	
به کمک نرم‌افزار Emme/2	تغییر شیوه سفر	حفظ محیط زیست و صرفه‌جویی در مصرف انرژی	
AutoCAD	فاصله تا نزدیک‌ترین ایستگاه انتقالی	اتصال به شهرهای اقماری	نقش منطقه‌ای تهران
شمارش	تعداد اتصال مستقیم به مراکز اصلی حمل و نقل	اتصال به ایستگاه‌های اصلی حمل و نقل	
Arc GIS/AutoCAD	طول شبکه در مناطق مختلف زمین‌شناسی (با توجه به وزن مربوطه)	محدودیت‌های زمین‌شناسی	عملیات اجرایی
Arc GIS/AutoCAD	درصد طول شبکه در مناطق زلزله‌خیز بالا	محدودیت‌های لرزهای	
Arc GIS/AutoCAD	درصد طول شبکه شیب‌های تند	محدودیت‌های توپوگرافی	
Arc GIS/AutoCAD	طول مقاطع زیرزمینی	طولانی‌بودن زمان اجرا	
Excel	میزان کیلومتر - وسیله نقلیه سالانه	هزینه بهره‌برداری	
Excel	هزینه ساخت + تجهیزات ثابت	هزینه سرمایه‌گذاری	
Excel	هزینه ناوگان		



جدول 2: وزن شاخص‌ها برای هر سیستم وزن‌دهی.

وزن				نوع شاخص	شاخص
گروه 4	گروه 3	گروه 2	گروه 1		
0/0547	0/0487	0/0400	0/0519	مثبت	جمعیت و تعداد شاغلین در شعاع 600 متری ایستگاه
0/0563	0/0438	0/0400	0/0390	مثبت	تسهیلات عمده در 600 متری شبکه قطار شهری
0/0382	0/0390	0/0457	0/0467	مثبت	شهرهای مهم اقماری که توسط شبکه پوشش داده شده است
0/0448	0/0390	0/0286	0/0519	مثبت	تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی
0/0448	0/0536	0/0457	0/0442	منفی	میانگین زمان سفر
0/0332	0/0438	0/0286	0/0338	منفی	نرخ تغییر وسیله
0/0513	0/0487	0/0629	0/0546	مثبت	تعداد مسافران روزانه
0/0414	0/0487	0/0457	0/0442	مثبت	تعداد مسافران در واحد طول شبکه
0/0547	0/0487	0/0514	0/0546	مثبت	سهم حمل و نقل عمومی از کل سفرها
0/0547	0/0536	0/0514	0/0467	مثبت	مراکز شهری که توسط شبکه سرویس‌دهی می‌شوند
0/0464	0/0487	0/0286	0/0363	منفی	میزان پراکندگی پوشش مناطق مختلف شهر
0/0348	0/0341	0/0343	0/0286	منفی	طول شبکه ریلی همسطح و روگذر
0/0414	0/0438	0/0514	0/0415	منفی	مراکزی که تحت تاثیر ساخت شبکه قرار می‌گیرند
0/0498	0/0487	0/0343	0/0571	مثبت	تغییر شیوه سفر
0/0382	0/0292	0/0400	0/0363	منفی	فاصله شهرک‌های اقماری تا نزدیک‌ترین ایستگاه انتقالی
0/0547	0/0438	0/0343	0/0467	مثبت	تعداد اتصال مستقیم به مراکز اصلی حمل و نقل
0/0233	0/0390	0/0343	0/0234	منفی	طول شبکه در مناطق مختلف زمین‌شناسی (باتوجه به وزن مربوطه)
0/0414	0/0390	0/0457	0/0390	منفی	درصد طول شبکه در مناطق زلزله‌خیز بالا
0/0283	0/0244	0/0400	0/0286	منفی	درصد طول شبکه شیب‌های تند
0/0448	0/0438	0/0400	0/0571	منفی	طول مقاطع زیرزمینی
0/0432	0/0438	0/0629	0/0494	منفی	میزان کیلومتر - وسیله نقلیه سالانه
0/0414	0/0487	0/0571	0/0442	منفی	هزینه ساخت + تجهیزات ثابت
0/0382	0/0454	0/0571	0/0442	منفی	هزینه ناوگان

5-3- روش تحلیل همایی¹

به طور کلی روش های تحلیل چندمعیاره متنوعی برای ارزیابی گزینه های حمل و نقلی وجود دارد که یکی از این روش ها روش تحلیل همایی است که برتری یک گزینه نسبت به سایر گزینه ها و عدم برتری سایر گزینه ها نسبت به یک گزینه را مورد تحقیق قرار می دهد.

تحلیل همایی، طی تکرار محاسبات بر اساس سیستم های وزن دهی متفاوت، گزینه ای که برتری بیشتر و نواقص کمتری نسبت به سایر گزینه ها را دارد انتخاب می کند. روش تحلیل همایی یکی از مهم ترین روش های تحلیل و ارزیابی چندمعیاره به خصوص در مواردی است که معیارهای در نظر گرفته شده قابل تبدیل به یک واحد مشترک نباشند. به طور کلی، مراحل روش تحلیل همایی به صورت زیر می باشد:

تعریف و برآورد معیارها و زیرمعیارهای مرتبط؛

تخصیص مقادیر وزنی هر معیار؛

برآورد شاخص خالص همایی و ناهمایی هر گزینه و مقایسه گزینه ها با یکدیگر.

در ادامه روش همایی به طور مختصر توضیح داده می شود [6].

گام 1- برآورد ارزش معیارهای تعریف شده برای هر گزینه (Z_{ij})

متغیر Z ارزش گزینه، i شماره گزینه و j شماره معیار می باشد.

گام 2- تعیین پارامتر استاندارد (e_{ij})

طبق تعریف، e واحد مشترکی است که برای یکسان سازی معیارهای مختلف جهت مقایسه با یکدیگر به کار می رود که همیشه مقدار بیشتر آن نشان دهنده مطلوبیت بیشتر آن معیار می باشد. این پارامتر طبق رابطه زیر تعریف می شود.

$$e_{ij} = \begin{cases} \frac{z_{ij}}{\max z_{ij}} & \text{اگر } z \text{ شاخصی مثبت باشد} \\ 1 - \frac{z_{ij}}{\max z_{ij}} & \text{اگر } z \text{ شاخصی منفی باشد} \end{cases}$$

به طور کلی، شاخص مثبت به شاخصی اطلاق می شود که افزایش مقدار آن باعث افزایش مطلوبیت آن گزینه می گردد و شاخص منفی، شاخصی است که مقدار کمتر آن باعث افزایش مطلوبیت گزینه مورد نظر می شود. به طور کلی همواره مقدار e_{ij} باید بین صفر و یک باشد ($0 \leq e_{ij} \leq 1$).

گام 3- تعیین مجموعه همایی و ناهمایی بر اساس مقایسه زوجی گزینه های i و i'



طبق تعریف مجموعه همایی و ناهمایی دو گزینه i و i' به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\Psi_{ii'} = \{j \mid e_{ji} \geq e_{ji'}\} \quad \text{مجموعه همایی:}$$

$$\Phi_{ii'} = \{j \mid e_{ji} < e_{ji'}\} \quad \text{مجموعه ناهمایی:}$$

که در آن، مجموعه همایی $\Psi_{ii'}$ ، مجموعه‌ای شامل کلیه معیارهایی می‌باشد که در آن گزینه i نسبت به گزینه i' دارای اولویت می‌باشد و مجموعه ناهمایی $\Phi_{ii'}$ ، شامل معیارهایی می‌باشد که در آن گزینه i' نسبت به گزینه i دارای اولویت است.

گام 4- تخصیص وزن نسبی هر معیار (w_i)
مقادیر وزن‌های در نظر گرفته شده برای هر معیار بر اساس روش‌های مختلف وزن‌دهی برای شبکه قطار شهری تهران برآورد می‌شود، به طوری که:

$$0 \leq w_j \leq 1 \quad \text{و} \quad \sum_j w_j = 1$$

که در آن w_i ، وزن اهمیت معیار i ام نسبت به سایر معیارها می‌باشد.

گام 5- تعیین شاخص همایی ($C_{ii'}$) و شاخص ناهمایی ($d_{ii'}$)
شاخص همایی نشان‌دهنده میزان برتری گزینه i نسبت به گزینه i' می‌باشد و شاخص ناهمایی بیانگر میزان برتری گزینه i' نسبت به گزینه i می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$C_{ii'} = \frac{\sum_{j \in \Psi_{ii'}} w_j}{\sum_j w_j}$$

$$d_{ii'} = \frac{\sum_{j \in \Phi_{ii'}} (w_j | e_{ji} - e_{ji'} |)}{\sum_j (w_j | e_{ji} - e_{ji'} |)}$$

بر اساس فرمول‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که همواره دو شاخص همایی و ناهمایی بین صفر و یک قرار می‌گیرند.

گام 6- محاسبه شاخص خالص همایی (Nc_i) و شاخص خالص ناهمایی (Nd_i)
شاخص‌های خالص همایی و ناهمایی که به عنوان اعداد تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه برتر به کار می‌روند به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Nc_i = \sum_{i'} c_{ii'} - \sum_{i'} c_{i'i}$$

$$Nd_i = \sum_{i'} d_{ii'} - \sum_{i'} d_{i'i}$$





گام 7- تعیین گزینه‌های مطلوب

در نهایت گزینه‌هایی نسبت به سایر گزینه‌ها مطلوب می‌باشند که شاخص خالص همایی آنها مثبت و شاخص خالص ناهمایی آنها منفی باشد.

$$Nc_i > 0 \quad \text{و} \quad Nd_i < 0$$

بدیهی است چنانچه شرایط فوق برای تعدادی از گزینه‌ها روی دهد، گزینه‌ای که دارای Nc_i بزرگ‌تر و Nd_i کوچک‌تری می‌باشد به عنوان گزینه برتر معرفی می‌گردد.

با توجه به این که گزینه‌های مطلوب بر اساس یک سیستم وزندهی خاص به دست آمده است با تغییر سیستم وزندهی امکان تغییر گزینه‌های مطلوب نیز می‌باشد. بنابراین، گزینه‌های مشترک در مجموعه گزینه‌های مطلوب حاصل از سیستم‌های متفاوت وزندهی در مجموعه گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرند که این مجموعه نشان‌دهنده گزینه یا گزینه‌هایی می‌باشد که می‌توانند به عنوان گزینه برتر انتخاب شوند.

5-4 - تعیین مقادیر شاخص‌ها

به منظور انجام تحلیل همایی گزینه‌ها، ابتدا باید ارزش عددی معیارهای تعریف شده برآورد شود تا در نهایت بتوان با تعیین شاخص خالص همایی و ناهمایی هر گزینه، گزینه‌ها را با یکدیگر مقایسه و گزینه برتر را انتخاب نمود. در ادامه ارزش عددی هر یک از معیارها برای 5 گزینه مورد مطالعه ارائه می‌شود.

5-4-1- جذابیت شبکه

- جمعیت و تعداد شاغلین

شاخص‌های مربوط به این معیار در جدول (3) مشخص شده‌اند. لازم به ذکر است میزان پوشش جمعیتی و تعداد شاغلین در شعاع 600 متری هر ایستگاه برای کلیه گزینه‌ها مبنای کار بوده است.

جدول 3: میزان پوشش جمعیتی و شاغلین.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
10830	9278	11220	10774	8649	پوشش جمعیتی و شاغلین (هزار نفر)

- تسهیلات عمده

منظور از تسهیلات عمده مراکز اصلی فعالیت مانند مدارس، بیمارستان، مراکز اصلی تجاری و اداری می‌باشد. با توجه به نقشه به‌روزرسانی شده توزیع تسهیلات اصلی شهر تهران، میزان پوشش تسهیلات اصلی توسط گزینه‌های قطار شهری در جدول (4) نمایش داده شده است.





جدول 4: پوشش تسهیلات اصلی شهر تهران توسط گزینه‌های قطار شهری.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
26/2	27/7	31/4	24/9	17/8	پوشش تسهیلات اصلی (کیلومتر مربع)

- پوشش مناطق حومه

میزان پوشش شهرک‌های اقماری توسط تعداد کریدورهایی که این شهرک‌ها را به شهر تهران متصل می‌سازد برآورد می‌شود. با توجه به ترکیب خطوط قطار شهری تعداد این کریدورها در گزینه‌های 2، 3، 4 و 5 یکسان می‌باشد که در جدول (5) نشان داده شده است.

جدول 5: نحوه پوشش شهرک‌های مهم اقماری.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
7	7	7	7	2	تعداد کریدورهای حومه‌ای

- سلسله مراتب

منظور از سلسله مراتب تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی، انتقالی و عادی می‌باشد. یک ایستگاه انتقالی اصلی، ایستگاهی است که حداقل از تقاطع یک خط سریع السیر با یک خط شهری یا تقاطع سه خط شهری تشکیل شده است و ایستگاه انتقالی عادی نیز از تقاطع دو خط شهری حاصل می‌شود. با توجه به توضیح سلسله مراتب ایستگاه‌های قطار شهری، سلسله مراتب ایستگاه‌های شبکه قطار شهری تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی هر گزینه در جدول (6) ارائه شده است.

جدول 6: تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
56	35	49	49	5	تعداد ایستگاه‌های انتقالی اصلی

- سهولت سفر - کارایی شبکه

نتایج خلاصه میانگین زمان سفر، نرخ تغییر وسیله توسط مسافران قطار شهری، تعداد مسافران شبکه قطار شهری در ساعت اوج سفر و در واحد طول شبکه و سهم سیستم حمل و نقل عمومی از کل سفرهای انجام شده در سال افق طرح برای هر یک از گزینه‌ها در جدول‌های زیر ارائه شده است.





جدول 7: میانگین زمان سفر.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
14/99	15/37	14/79	15/93	14/65	میانگین زمان سفر (دقیقه)

جدول 8: نرخ تغییر وسیله توسط مسافران شبکه قطار شهری.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
1/94	1/94	1/92	1/96	1/92	نرخ تغییر وسیله

جدول 9: تعداد مسافران شبکه قطار شهری در ساعت اوج.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
448	421	595	409	341	تعداد مسافران در ساعت اوج (هزار نفر)

جدول 10: تعداد مسافران شبکه قطار شهری در واحد طول شبکه.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
596	600	579	604	998	تعداد مسافران در هر کیلومتر

جدول 11: سهم سیستم حمل و نقل عمومی از کل سفرهای انجام شده.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
56/8	56/7	56/9	56/7	56/6	درصد سهم سیستم حمل و نقل عمومی

5-4-2- تاثیرات شهری

شاخص‌هایی که برای ارزیابی تاثیر این معیار در شبکه قطار شهری تعریف شده‌اند شامل موارد زیر می باشد.

- پوشش مراکز شهری

منظور از مراکز شهری، میادین و تقاطع‌هایی می باشند که محل تجمع ساختمانهای اداری و تجاری شهر تهران می باشند. میزان پوشش گزینه‌های قطار شهری در جدول (12) ارائه شده است.





جدول 12: میزان پشتیبانی از مراکز اصلی شهر تهران.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
196	233	276	224	168	تعداد ایستگاه‌های پوشش‌دهنده مراکز شهر

- پوشش مناطق، یکپارچگی و حفاظت از شهر

نتایج بررسی شاخص‌های مربوط به وضعیت شهر تهران از لحاظ میزان پوشش مناطق مختلف شهر تهران، طول شبکه ریلی که به صورت همسطح یا روگذر اجرا می‌شود، حفاظت از اماکن تاریخی، تفریحی، مذهبی و همچنین میزان تغییر سهم وسیله نقلیه شخصی به وسایل حمل و نقل عمومی در سال افق طرح نسبت به وضع موجود در جدول‌های زیر ارائه گردیده است.

جدول 13: میزان پوشش مناطق مختلف تهران.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
1/07	1/13	1/05	1/04	1/59	انحراف معیار نسبت جمعیت تحت پوشش شبکه قطار شهری

جدول 14: طول شبکه ریلی همسطح و روگذر.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
317	290	290	300	55	طول شبکه ریلی همسطح و روگذر (کیلومتر)

جدول 15: حفاظت از مکان‌های تاریخی، تفریحی و مذهبی.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
6/8	3/7	4/2	5/6	2/5	سطح مراکز مذهبی و تاریخی که تحت تاثیر ساخت شبکه قطار شهری قرار دارند (کیلومتر مربع)

جدول 16: میزان تغییر سهم وسایل نقلیه شخصی ناشی از احداث خطوط جدید.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
1/6	1/1	1/3	1/5	1/0	درصد تغییر سهم وسایل نقلیه شخصی



5-4-3- نقش منطقه‌ای تهران

این معیار به منظور سنجش میزان تاثیر شبکه قطار شهری بر ارتباط و اتصال بین شهرک های اقماری با شهر تهران می باشد. نتایج حاصل از بررسی اثر دو شاخص فاصله میانگین شهرک های اقماری تا نزدیک ترین ایستگاه انتقالی و تعداد اتصال مستقیم گزینه ها به مراکز اصلی حمل و نقل در نقش منطقه ای تهران در جدول های (17) و (18) ارایه شده است.

جدول 17: ارتباط با شهرک های اقماری مهم.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
27/1	31/4	27/1	31/8	36/6	میانگین فاصله شهرک های اقماری تا ایستگاه انتقالی اصلی (هزار کیلومتر)

جدول 18: اتصال به مراکز اصلی حمل و نقل.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
24	27	31	30	17	تعداد ارتباطات مستقیم مراکز اصلی حمل و نقل با ایستگاه های قطار شهری

5-4-4- عملیات اجرایی

- محدودیت های زمین شناسی

تنوع لایه های زیرزمینی شهر تهران و وجود گستره نواحی با مشکلات زیاد اجرایی لزوم در نظریه این معیار را نشان می دهد. جدول (19) طول مسیرهایی که دارای محدودیت زمین شناسی در گزینه های تحت بررسی می باشند را، با توجه به وزن اختصاص داده شده به هر یک از نواحی زمین شناسی نشان می دهد. در مطالعات زمین شناسی که توسط شرکت سیستم اجرا شد، 8 نوع لایه زمین (شامل لایه های آبرفتی، بستر سنگی و ... می باشد). برای شهر تهران در نظر گرفته شده است .

جدول 19: محدودیت های زمین شناسی.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
1685	1592	1765	1567	817	طول مسیرهها با توجه به وزن اختصاص داده شده به هر لایه (کیلومتر)

- محدودیت های لرزه ای و توپوگرافی

احداث خطوط قطار شهری در مناطق با خطر لرزه خیزی بالا احتمال تلفات جانی و مالی را در هنگام وقوع زلزله افزایش می یابد. همچنین مشکلات اجرایی در نقاطی که شیب طولی بیش از 4 درصد است





بایستی در نظر گرفته شود. خلاصه نتایج مربوط به این معیارها در جدول های (20) و (21) نشان داده شده است.

جدول 20: محدودیت های لرزهای.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
30/5	27/6	30/5	29/4	28/7	درصد طول شبکه در مناطق با خطر زلزله بالا به طول شبکه

جدول 21: محدودیت های توپوگرافی.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
31/7	37/4	35/7	26/4	21/0	درصد طول شبکه واقع در مناطق با شیب بالا به کل طول شبکه

- طول زمان اجرا

ساخت خطوط زیرزمینی دشوارتر و زمانبرتر از احداث خطوط بطور همسطح یا بالاتر از همسطح می باشد. جدول (22) نشان دهنده طول مقاطع زیرزمینی هر گزینه که نماینده زمان اجرای هر گزینه می باشد، است.

جدول 22: محدودیت طول زمان اجرا.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
434	412	473	377	287	طول مقاطع زیرزمینی (کیلومتر)

5-4-5- هزینه

- هزینه بهره برداری و سرمایه گذاری

شاخص مربوط به برآورد هزینه کلیه گزینه های مورد مطالعه در جدول های زیر برآورد شده است. هزینه های پایه از شرکت راه آهن شهری تهران و حومه اخذ شده است.

جدول 23: هزینه بهره برداری.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
26344	23949	27352	23753	17046	میزان کیلومتر - وسیله نقلیه سالانه

جدول 24: هزینه ساخت و تجهیزات ثابت.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
24457	21885	24890	22380	13720	هزینه ساخت و نصب تجهیزات ثابت (میلیارد تومان)



جدول 25: هزینه خرید ناوگان.

گزینه 5	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 2	گزینه 1	شرح
15034	14050	15260	13556	6832	هزینه خرید ناوگان (میلیارد تومان)

5-5-1- محاسبه شاخص خالص همایی و ناهمایی برای هر گزینه

با توجه به جزییات ارایه شده درباره تحلیل همایی و مقادیر عددی به دست آمده برای کلیه شاخص‌ها و همچنین مقادیر وزن‌های اختصاص داده شده به هر شاخص طبق نظرات گروه‌های مدیریتی، کارشناسی و اجرایی می‌توان شاخص‌های خالص همایی و ناهمایی هر کدام از گزینه‌ها را محاسبه کرد که این نتایج در جدول (26) ارایه شده است.

جدول 26: مقادیر شاخص همایی و ناهمایی کلیه گزینه‌ها در سیستم‌های مختلف وزندهی.

گزینه	سیستم وزندهی					
	5	4	3	2	1	
گروه 1	14/75	25/10	12/76	23/09	23/43	شاخص همایی
	-16/91	-18/07	-18/42	-18/66	-17/94	شاخص ناهمایی
گروه 2	15/09	17/35	12/83	16/74	16/99	شاخص همایی
	-16/66	-17/52	-18/80	-18/46	-18/56	شاخص ناهمایی
گروه 3	15/46	17/50	13/77	16/36	16/54	شاخص همایی
	-16/97	-17/33	-18/95	-18/59	-18/16	شاخص ناهمایی
گروه 4	15/59	17/43	14/53	16/70	16/01	شاخص همایی
	-17/14	-17/25	-19/22	-18/36	-17/76	شاخص ناهمایی

با توجه به این که شاخص خالص همایی کلیه گزینه‌ها مثبت و شاخص خالص ناهمایی کلیه گزینه‌ها منفی می‌باشد، کلیه گزینه‌ها در مجموعه گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرند. بنابراین برای انتخاب گزینه برتر، گزینه‌ای که دارای بیشترین تفاوت در مقدار شاخص خالص همایی و مقدار شاخص خالص ناهمایی می‌باشد، به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌گردد. در جدول (27) اولویت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر بر اساس چهار سیستم وزندهی نشان داده شده است.





جدول 27: اولویت بندی گزینه ها بر اساس سیستم های وزن دهی.

سیستم وزن دهی	اولویت	1	2	3	4	5
گروه 1	گزینه 4	گزینه 2	گزینه 1	گزینه 5	گزینه 3	
گروه 2	گزینه 1	گزینه 2	گزینه 4	گزینه 5	گزینه 3	
گروه 3	گزینه 2	گزینه 4	گزینه 1	گزینه 3	گزینه 5	
گروه 4	گزینه 2	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 1	گزینه 5	

نتایج جدول (27) نشان دهنده آن است که دو گزینه 2 و 4 نسبت به سایر گزینه ها دارای برتری می باشند و گزینه 2 دارای برتری اندکی نسبت به گزینه 4 می باشد. به منظور ارزیابی بهتر و انتخاب گزینه برتر کلیه گزینه ها تحت یک سیستم وزن دهی جدید مقایسه می شوند. در این سیستم وزن دهی، کلیه معیارها دارای وزن یکسان می باشند. نتایج حاصل از تحلیل همایی در جدول (28) نمایش داده شده است.

جدول 28: شاخص همایی و ناهمایی در سیستم وزن دهی یکسان.

شرح	گزینه 1	گزینه 2	گزینه 3	گزینه 4	گزینه 5
شاخص همایی	16/49	16/57	13/66	17/14	15/22
شاخص ناهمایی	-18/64	-18/68	-18/80	-17/23	-17/06

با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول (28)، اولویت بندی گزینه ها برای سیستم وزن دهی یکسان طبق جدول (29) می باشد.

جدول 29: اولویت بندی گزینه ها بر اساس سیستم وزن دهی یکسان.

اولویت	گزینه 1	گزینه 2	گزینه 3	گزینه 4	گزینه 5
سیستم وزن دهی یکسان	گزینه 2	گزینه 1	گزینه 4	گزینه 3	گزینه 5

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول های (27) و (29) گزینه 2 به عنوان گزینه برتر شبکه قطار شهری برگزیده می شود.

6 - نتیجه گیری

در تحقیق حاضر روشی برای تعیین مناسبترین شبکه قطار شهری شهر تهران ارائه گردید. معیارهایی که برای تعیین گزینه برتر مورد استفاده قرار گرفت شامل جذابیت شبکه، تاثیرات شهری، ایجاد یکپارچگی (تهران و حومه آن)، موانع اجرایی و غیره بودند. در این مقاله 5 گزینه شبکه قطار شهری تهران که بر اساس معیارهای فنی، بررسی‌های کارشناسی و تجربیات پیشین، معرفی و مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا کلیه اطلاعات و نقشه‌های موجود به‌روزرسانی شد. سپس کلیه گزینه‌ها در محیط نرم‌افزار Emme/2 برای سال افق طرح (1404) شبیه‌سازی شد و با کمک این نرم‌افزار و سایر نرم‌افزارها مانند Arc GIS و Auto CAD کلیه مقادیر معیارهای طرح شده برآورد گردید. به منظور بررسی این گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر، از روش تحلیل چندمعیاره‌های استفاده گردید. به منظور ارزیابی گزینه‌ها از پنج سیستم وزن‌دهی متفاوت استفاده گردید. در هر سیستم وزن‌دهی گزینه‌ای می‌باشد که دارای بیشترین شاخص‌های و کمترین شاخص‌های باشد. با توجه به نتایج این مطالعه گزینه 2 به عنوان گزینه برتر شبکه قطار شهری تهران انتخاب شد. سایر نتایج بدست آمده از این مطالعه به قرار زیر می‌باشد:

- 1- با توجه به نتایج مطالعات سیستم‌ها و مقایسه آن با نتیجه بدست آمده از این تحقیق می‌توان گفت که روش تحلیل‌های روشی مطمئن برای انتخاب گزینه‌ها می‌باشد.
- 2- روش تحلیل‌های با پذیرفتن طیف وسیعی از معیارها و سیستم‌های وزن‌دهی متنوع و برخورد کمی با معیارها، بستر مناسبی برای انعکاس نظر گروه‌های مختلف مدیریتی، کارشناسی و اجرایی فراهم می‌کند.
- 3- در بین گزینه‌ها، به ترتیب گزینه یک و سه کمترین و بیشترین طول و پوشش جمعیتی را دارا بودند. اما به عنوان گزینه‌های بدتر و برتر انتخاب نشدند. این نتیجه موید این نکته است که گسترش بیشتر و پوشش کاملتر به معنای برتر بودن یک شبکه ریلی نمی‌باشد و فاکتورهایی نظیر هزینه و محدودیتهای اجرایی در سیستم‌های ریلی دارای نقش بسیار مهمی به نسبت سایر سیستم‌های حمل و نقل همگانی نظیر اتوبوسرانی می‌باشد.



8- منابع و مراجع

- [1]. Dicesare, (1970), "a system analysis approach to urban transit guideway location"
"PH.D dissertation, department of electrical Engineering , carnegi-mellon
university, Pittsburgh, Pa, USA.
- [2]. current, jr (1985) "the maximum covering /shortest path problem: a multi objective
network design and routing formulation.", European Journal of Operational research
, 21, pp 189-199.
- [3]. Bruno, G., (1998) "a multi-modal approach to the location of a rapid transit
line.", European Journal of Operational Research, 104, pp. 321-332.
- [4]. Gendreau, M., Laporte, G. and Mesa, J.A. (1995) "Locating rapid transit lines",
Journal of advanced Transportation, 24, PP: 145-162
- [5]. Magnanti, T.L., Wong, R.T., 1984. "Network Design and Transportation Planning.
Models and algorithms". Transportation Science 18, pp: 1-55
- [6]. Voogd, Jan Hendrik, 1982 "Multi criteria Evaluation for Urban and Regional
Planning" .



Using Concordance Analysis Method in Locating Rail Transit Lines (Case Study: Tehran)

Abstract

Urban transportation and traffic infrastructure implementation including transportation network, mass transit and variety equipments in transportation management and traffic control are considered as one of the effective solutions to improve transportation system conditions. One of the most important urban transportation infrastructure is rail transit lines. Thus, mass public transportation, particularly rail transit network is one of the significant and essential components of any transportation system. In other words, designing an optimal public transportation network for a megacity like Tehran, considering different criteria, is a complex and time consuming process. This paper aims to implement a reliable and quick method in optimal locating rail transit network using concordance analysis method for city of Tehran.

