مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره دوم، شماره ۴، پاییز و زمستان ۱۳۹۷
شاپای چاپی ۱۴۹۰-۲۵۳۸ شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲-۲۵۳۸
http://JGET.ir
صص. ۸۵- ۶۹

تبیین جایگاه منوریل در حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل AHP

مهسا نوروزیان- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
مصطفی هرائینی*- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
علی تقی پور- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۸

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

چکیده

سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی نظیر مترو، قطار سبک شهری، منوریل و اتوبوس سریع‌السیر(BRT) مدتی است که جهت بهبود عملکرد و افزایش کارآیی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران مطرح‌شده است. حال در اینجا این سؤال مطرح است که آیا منوریل در بین گزینه‌های مختلف از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر تهران با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله برخوردار است؟ در این پژوهش برای پاسخ به این سؤال و برای تعیین جایگاه منوریل در بین گزینه‌های دیگر برای حمل‌ونقل عمومی شهر تهران (مترو، قطار سبک شهری، اتوبوس سریع‌السیر) و براساس ۶ شاخص در نظر گرفته شده، از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده‌شده است. نوع تحقیق کاربردی و روش اصلی تحقیق توصیفی- تحلیلی است و برای کسب اطلاعات از روش مطالعه کتابخانه‌ای و خصوصاً منابع اینترنتی استفاده‌شده است و آمارهای موردنیاز هم از طریق مراکز دولتی تهیه‌شده است. در پایان پس از تعیین امتیاز نهایی گزینه‌های A (مترو)، B (منوریل)، C (قطار سبک شهری)، D (اتوبوس سریع‌السیر) و قرارگیری منوریل در رتبه‌ای بالاتر از قطار سبک شهری و اتوبوس می‌توان گفت که منوریل از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران برخوردار است.

واژه‌گان کلیدی: مترو، منوریل، حمل‌ونقل عمومی، کلان‌شهر تهران، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

* نویسنده مسئول: Email: haraeenim@gmail.com

مقدمه

افزایش سریع وسایل حمل‌ونقل موتوری به‌ویژه اتومبیل و استفاده بیش‌ازحد آن در شهرهای کشور (به‌ویژه در تهران) همراه با رشد جمعیت و گسترش بی‌رویه آن و نیز عدم برنامه‌ریزی‌های علمی و جامع و فقدان یک سیستم حمل‌ونقل عمومی کارآمد، باعث بروز مشکلاتی نظیر آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی، تراکم ترافیکی زیاد و خسته‌کننده، اتلاف وقت زیاد شهروندان، مصرف بیش‌ازحد انرژی و تصادفات منجر به جرح و مرگ شده است. این روند که از سال‌ها قبل در شهرهای ایران به‌ویژه تهران آغازشده است در بسیاری از کشورهای دیگر نیز کم‌وبیش مشاهده‌شده است.(محمدی، ۱۳۸۳: ۴). در این رابطه و به‌ویژه در کشورهای صنعتی پیشرفته از سال‌ها قبل متخصصین حمل‌ونقل و ترافیک شهری به این نتیجه رسیده‌اند که حل مشکل ترافیک نه‌تنها همیشه از روش‌های ساختاری (بهبود یا افزایش عرضه) میسر نیست بلکه گاهی اقدامات در زمینه توسعه امکانات زیر بنایی جاده‌ای باعث افزایش بیشتر ترافیک و افزایش مشکلات خواهد شد. اکثر متصدیان امر حمل‌ونقل و ترافیک شهری متفق‌القول‌اند که منطقی‌ترین و مؤثرترین راه کاهش مشکلات ترافیکی در شهرها وجود یک سیستم کلان و هماهنگ شهری، توجه به مدیریت تقاضا و ایجاد و توسعه یک سیستم حمل‌ونقل عمومی به‌ویژه ریلی کاراتر، ایمن‌تر، با سرعت و ظرفیت بالاتر و راحتی بیشتر نسبت به اتوبوس و قابل توجیه ازنظر اقتصادی است. تجربیات حاصل در بسیاری از شهرهای جهان گویای این واقعیت است که سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی به‌عنوان یکی از روش‌های حمل‌ونقل عمومی قادر به پاسخگویی حجم زیاد تقاضای سفر بوده و از طرفی موجب کاهش زمان سفر، ارتقاء ایمنی و حفاظت از محیط‌زیست شهری می‌گردند.(حاج نصراللهی و طباطبائی، ۱۳۷۹: ۳۶). علاوه بر این تجربیات جهانی بیانگر آن است که در شرایط کنونی روی آوردن به سیستم‌های ریلی سنگین (MRT) و سبک (LRT) و منوریل به‌منظور نیل به بالاترین بازده حمل‌ونقل درون‌شهری و کاهش مشکلات ترافیکی شهرهای بزرگ جهان ازجمله تهران راهگشا خواهد بود اما نکته مهم و کلیدی که در این رابطه در مقابل تصمیم‌گیرندگان امر حمل‌ونقل قرار دارد. انتخاب سیستم بهینه و مناسب از بین انواع سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و رایج در جهان است.

مبانی نظری

به‌موازات توسعه و گسترش شهرها، افزایش روزافزون جمعیت و تعداد وسایل نقلیه، توسعه ارتباطات و فناوری اطلاعات، روزبه‌روز بر پیچیدگی سیستم حمل‌ونقل و مشکلات ناشی از آن افزوده می‌شود. مشکلاتی که هزینه‌های سنگینی را بر گردانندگان سیستم و استفاده‌کنندگان آن تحمیل می‌کند و در صورت عدم مقابله با آن بر سایر بخش‌های جامعه نیز تأثیر منفی خواهد گذاشت. مشکلات ساختاری و عملکردی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران نیز دیرزمانی است بروز کرده و هرروز نمود بیشتری می‌یابد. برای رفع این مشکلات، در دوره‌های زمانی مختلف، راهکارها و طرح‌هایی شامل ساخت و توسعه شبکه‌های بزرگراهی و معابر و بهبود آن‌ها، توسعه و تقویت سیستم حمل‌ونقل عمومی، به‌کارگیری روش‌های مدیریتی در کنترل و هدایت ترافیک و... پیشنهادشده است که هریک به فراخور ماهیت آن مهمی در بهبود عملکرد سیستم حمل‌ونقل داشته است. ولی باوجود همه اقدامات فوق، هنوز شهر تهران با مشکلات ترافیکی بسیاری روبرو است.

در حال حاضر با توجه به شرایط موجود شهر تهران، هرگونه برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صحیح در جهت توسعه، بهبود و تقویت سیستم حمل‌ونقل عمومی تأثیر مثبت و به سزایی در عملکرد سیستم حمل‌ونقل و ترافیک این شهر خواهد داشت (رحیمی، ۱۳۸۳: ۲۲). راهکارهای بهبود عملکرد و افزایش کارآیی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ابعاد گسترده‌ای، شامل بهبود ساختار شبکه حمل‌ونقل عمومی، بهبود برنامه زمان‌بندی حرکت وسایل نقلیه، افزایش و نوسازی ناوگان و استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی سریع و انبوه را در برمی‌گیرد. سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی نظیر مترو، قطار سبک

شهری و مونوریل به‌عنوان سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی سریع، مدتی است که جهت بهبود عملکرد و افزایش کارآیی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک برای شهر تهران مطرح‌شده است. با توجه به اینکه در حال حاضر، شهر تهران به دلیل کامل نبودن شبکه بزرگراهی و خطوط مترو، فاقد یک سیستم جابجایی مسافر انبوه و سریع به شکل کاملاً مؤثر و کارآ است و از طرفی سیستم اتوبوسرانی به‌عنوان تنها سیستم جابجایی مسافر انبوه دارای برخی ضعف‌های ساختاری و عملکردی است، عملکرد سیستم حمل‌ونقل و ترافیک در این شهر مطلوب نیست البته با بهره‌برداری کامل از خطوط مترو و اصلاح و بهبود ساختار شبکه اتوبوسرانی و تکمیل شبکه معابر و تقاطع‌های غیر هم‌سطح بخش عمده‌ای از ناکارآیی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران برطرف خواهد شد و این سیستم جوابگوی بخشی از نیازهای آینده نزدیک تهران خواهد بود. ولی در مقابل افزایش روزافزون تقاضای سفر حمل‌ونقل و روند رو به رشد تولید وسایل نقلیه شخصی، چاره‌اندیشی و به عبارتی پیش‌گیری از مشکلات بی‌شمار ناشی از آن را طلب می‌کند ازاین‌رو چندی است طرح استفاده از سیستم‌های سریع‌السیر ریلی دیگری غیر از مترو، که مشکلات اجرایی آن را نداشته باشد از مترو اقتصادی‌تر باشد و مهم‌تر از همه بتواند نواقص و مشکلات سیستم حمل‌ونقل عمومی را در زمان نسبتاً کوتاه برطرف کند و تکمیل‌کننده حلقه بین سیستم مترو و اتوبوس باشد مطرح‌شده است. حال در اینجا این سؤال مطرح می‌شود درصورتی‌که منوریل به‌عنوان یکی از گزینه‌های پیشنهادی مطرح باشد با توجه و بر اساس ۶ شاخص در نظر گرفته‌شده در این مقاله از چه جایگاه و رتبه‌ای در بین سایر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی سریع نظیر مترو، قطار سبک شهری و اتوبوس (BRT) در کلان‌شهر تهران برخوردار است و اساساً منوریل می‌تواند با توجه به این شاخص‌ها گزینهٔ پیشنهادی مناسب برای کلان‌شهر تهران باشد.

سؤال تحقیق

۱- آیا منوریل به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل عمومی سریع با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران برخوردار است؟

فرضیه تحقیق

۱- به نظر می‌رسد منوریل به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل عمومی سریع با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران برخوردار است.

روش تحقیق

نوع تحقیق کاربردی و روش اصلی تحقیق توصیفی- تحلیلی است. در این پژوهش برای کسب اطلاعات از روش مطالعه کتابخانه‌ای و بررسی متون و محتوای مطالب و منابع اینترنتی استفاده‌شده است و آمارهای موردنیاز دیگر از طریق مراکز و سازمان‌های دولتی تهیه‌شده است. در این پژوهش برای تعیین جایگاه منوریل در حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران و در بین گزینه‌های پیشنهادی برای حمل‌ونقل عمومی شهر تهران (مترو- منوریل- قطار سبک شهری- اتوبوس سریع‌السیر "BRT") و بر اساس ۶ شاخص میزان سرمایه‌گذاری اولیه به ازای احداث هر ۱ کیلومتر مسیر، تأثیرات زیست‌محیطی، ایمنی، اختلال در جریان ترافیک، میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت- در هر جهت (pphpd) و تأثیر منفی بر سیما و منظر شهری، از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)[1] استفاده‌شده است که این مدل شامل ۵ مرحله اصلی:

1 . Analytic Hierarchy process.

۱- ساختن سلسله مراتبی(هدف، معیارها، زیر معیارها، گزینه‌ها)؛ ۲-تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها؛ ۳- تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها؛ ۴- تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها؛ ۵- بررسی سازگاری منطقی در قضاوت‌ها است.
انجام محاسبات در این مدل هم از طریق نرم‌افزار expert choice و هم به‌صورت دستی امکان‌پذیر است. در این مقاله انجام محاسبات به‌صورت دستی صورت گرفته است.

پیشینه تحقیق

- اژدری عبدالملکی، (۱۳۸۲)، در مقاله خود تحت عنوان انتخاب سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از روش مدل‌سازی AHP به بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی (منوریل،قطار سبک شهری و اتوبوس) ازلحاظ شاخص‌های کیفی ازجمله شاخص رفاه پرداخته و پارامترهایی چون زمان سفر، قابلیت اعتماد به سیستم، فضای موجود برای هر مسافر، امکان دسترسی یا تعداد سوار و پیاده شدن وسایل نقلیه عمومی در دو یا چند مسیر را به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر روی عامل رفاه در نظر گرفته و درنهایت با توجه به ارزش به‌دست‌آمده برای هر یک از سیستم ازنظر رفاه به این نتیجه رسیده که منوریل نسبت به‌قطار سبک و قطار سبک نسبت به اتوبوس دارای ارجحیت است (اژدری عبدالملکی، ۱۳۸۲).
- حکیمی، (۱۳۸۳) در مقاله‌ای تحت عنوان«منومتر و پلی بر روی تراکم شهری» به بررسی ویژگی‌های مختلف مونومتر و یا مونوریل معلق پرداخته و معتقد است کارآیی این سیستم بیشتر از سایر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی شهری است، ایمنی و راحتی بسیار زیادی را برای مسافران خود فراهم می‌آورد، به محیط‌زیست صدمه نمی‌زند و فناوری آن جدید نیست و کارآیی آن نیز قبلاً ثابت‌شده است. ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است زیرا هزینه‌های ساخت و سرمایه‌گذاری آن پایین است و چون وزن واگن‌های مونومتر و بسیار سبک است درنتیجه میزان مصرف انرژی آن نیز پایین است و به‌طورکلی این سیستم به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل شهری جایگزین و تکمیلی برای شهرها ارائه‌شده است (حکیمی، ۱۳۸۳: ۳۶).
- اندرو.اس. جیکز[1](1995) درمقاله‌ای تحت عنوان تجزیه‌وتحلیل اقتصادی خط منوریل پیونددهنده بین برج استراتوسفر و داون تاون لاس‌وگاس به این نتیجه رسیده است که پروژه خط مونوریل بین برج استراتوسفروداون تاون لاس‌وگاس به‌سرعت می‌تواند به یک هزینه و سرمایه‌گذاری مؤثر و مفید برای شرکایش تبدیل شود و علت آن را نیز در این می‌بیند که شرکت استراتوسفر در حال سرمایه‌گذاری بالغبر ۴۷۵ میلیون دلار در مجتمع استراتوسفر هست که در هرسال ۵ میلیون بازدیدکننده پیش‌بینی‌شده را جذب خواهد کرد. با ۵۰ تا ۶۸ میلیون دلار(به‌طور میانگین ۵۹ میلیون دلار) سرمایه‌گذاری در سیستم مونوریل این خط پیش‌بینی می‌شود که سالانه به‌طور میانگین ۱/۸ میلیون بازدیدکننده به ۵ میلیون بازدیدکننده پیش‌بینی‌شده اضافه گردد که این موضوع به‌طور آشکاری نشان می‌دهد که این سرمایه‌گذاری، یک سرمایه‌گذاری درست و بی‌عیب است و به عقیده نویسنده قابل توصیه است که پول و سرمایه را برای منوریل صرف و هزینه بکنیم (Jakes,1995 11))
- توماس هاپکینز[2] (2001) در مقاله‌ای تحت عنوان یک شبکه منوریلی سریع‌السیر سرتاسری برای ایالات‌متحده آمریکا یا طرح G4، چهار سؤال را به ترتیب زیر مطرح کرده است:
۱) آیا این طرح به لحاظ تکنیکی امکان‌پذیر است؟
۲) آیا این طرح به لحاظ اقتصادی زایا و مناسب رشد و ترقی است؟
۳) آیا این طرح به لحاظ زیست‌محیطی مطلوب و پسندیده است؟

1 . Andrews s.jakes
2 . Thomas H.hopkins

۴) آیا این طرح به لحاظ سیاسی دست‌یافتنی و موفقیت پذیر است؟

در پایان هاپکینز به این نتیجه رسیده است که ایجاد یک شبکه سرتاسری مونوریل سریع‌السیر برای ایالات‌متحده آمریکا به لحاظ تکنیکی امکان‌پذیر، به لحاظ اقتصادی زایا و مناسب رشد و ترقی، به لحاظ زیست‌محیطی مطلوب و به لحاظ سیاسی دست‌یافتنی و موفقیت پذیر در قرن ۲۱ است (Hopkins, 2001, 14).

- تاکئوکووابارا[1] و متومی هیراشی[2] (2001) در مقاله‌شان تحت عنوان سیستم منوریل نوع کوچک راه‌حلی جدید برای ترافیک شهری معتقد هستند که منوریل نوع ایستاده بر روی خط یا (Straddle) کم‌کم به‌عنوان بخش مهمی از سیستم حمل‌ونقل عمومی شهری تبدیل می‌شود مخصوصاً به علت مزایای بی‌شمار آن نسبت به دیگر سیستم‌های حمل‌ونقلی که مترو را هم شامل می‌شود که این مزایا شامل:

۱) بهبود بخشیدن به مشکلات زیست‌محیطی و زیباتر کردن محیط

۲) دوره ساخت‌وساز کوتاه‌تر

۳) و هزینه‌های پایین‌تر می‌شود و سیستم منوریل نیز در ژاپن یک راه‌حل مؤثر برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی و ازدحام ترافیکی در نواحی شهری است که علاوه بر این اقتصاد محلی را هم تحریک به رشد می‌کند (Kuwabara & Hiraishi, 2001, 139).

- رایان کندی[3] (2003) در مقاله‌ای تحت عنوان نگاهی به منوریل به‌عنوان سیستم حمل‌ونقل سریع برای شهرهای آمریکا شمالی این سؤال را مطرح کرده که با توجه به نوآوری‌های تکنولوژیکی اخیر در مونوریل و مونوریل‌های واقعی در عمل آیا این سیستم در شهرهای آمریکای شمالی نقشی را بازی می‌کند و اگر این‌چنین است تحت چه شرایطی؟ وی معتقد است که باوجوداینکه مونوریل در آسیا علاقه‌مندان بیشتری دارد ولی به نظر می‌رسد که این سیستم حمل‌ونقلی برای شهرهای آمریکای شمالی با تراکم متعادل‌تر و تعداد بیشتر کسانی که از وسایل حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌کنند مناسب‌تر باشد. وی همچنین معتقد است که احتمال نرخ بازگشت سرمایه در سیستم‌های تمام اتوماتیک منوریل در آمریکای شمالی که میزان مالیات و هزینه‌های مربوطه بالاتر می‌باشند نسبت به شهرهای آسیایی بیشتر است و بهترین نمونه هم برای پذیرش و مناسب بودن مونوریل‌های سریع‌السیر در آمریکای شمالی ۱۴ مایل خط سبز مونوریل سیاتل است (Kennedy, 2003: 42).

بررسی معیارهای مورداستفاده در این پژوهش

۱- میزان سرمایه‌گذاری اولیه به ازای احداث هر یک کیلومتر مسیر

جدول(۱) نشانگر میزان سرمایه‌گذاری اولیه به ازای احداث هر یک کیلومتر مسیر برای ۴ سیستم حمل‌ونقلی(مترو، منوریل، قطار سبک شهری، اتوبوس "BRT") است.

1 . Takeo kuwabara

2 . Motomi Hiraishi

3 . Ryan R. Kennedy

جدول ۱. مقایسهٔ هزینه‌های اولیه به ازای هر یک کیلومتر مسیر مترو، منوریل، قطار سبک‌شهری، اتوبوس

نوع سیستم	هزینه اولیه به ازای احداث هر یک کیلومتر مسیر		
	پایین	متوسط	بالا
مترو	۵۲/۷ میلیون دلار	۹۶/۲ میلیون دلار	۱۴۰ میلیون‌دلار
منوریل	۱۲/۱ میلیون دلار	۴۲/۳ میلیون دلار	۹۳ میلیون دلار
قطار سبک شهری	۱۳/۱ میلیون دلار	۲۴/۴ میلیون دلار	۶۲/۲ میلیون دلار
اتوبوس عادی[1]	۳-۱ میلیون دلار		
اتوبوس سریع‌السیر(BRT)	۵-۱ میلیون دلار قیمت یک دستگاه اتوبوس شهری معمولی ۱۰۰ میلیون و BRT حدوداً ۲۵۰ میلیون و هزینه احداث هر کیلومتر خط ویژه با امکانات کامل ۲۵ میلیون تومان است.		

منبع: معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی ترافیک سازمان حمل‌ونقل و ترافیک، ۱۳۸۳.

همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌کنید هزینهٔ اولیه احداث هر یک کیلومتر مسیر منوریل، قطار سبک شهری و اتوبوس به‌طور محسوسی از هزینهٔ اولیه احداث هر یک کیلومتر مسیر مترو کمتر است.

۲- ایمنی

مترو: علیرغم بعضی سیستم‌های ریلی دیگر، مترو به دلیل مسیرهای کاملاً جداگانه و حتی شبکهٔ ریلی انحصاری بسیار قابل‌کنترل و اعتماد پذیر است البته این بدان معنا نیست که حادثه به‌هیچ‌وجه در آن رخ نمی‌دهد بلکه احتمال رخداد آن خیلی کم است. لبهٔ چرخ واگن‌ها چیزی است که چرخ را بر روی ریل‌های معمولی در مسیر نگه می‌دارد و این مقدار خیلی زیاد نیست و بعضی از اوقات چرخ از ریل خارج می‌گردد (رحیمی، ۱۳۸۳: ۲۵).

قطار سبک شهری: قطار سبک شهری به‌صورت معمول در یک سطح و به‌صورت مخلوط با ترافیک اتومبیل عمل می‌کند. متأسفانه این عمل به‌طور کامل و به‌صورت دائمی همراه با ترافیک صورت می‌گیرد و عابران پیاده نیز به‌هیچ‌وجه در امان نیستند به‌طور خیلی جالب قطارهای سبک واقعاً سبک نیستند. سبکی آن‌ها بستگی به ظرفیت آن‌ها دارد. واگن‌های قطار سبک شهری واقعاً خیلی سنگین‌تر از واگن‌های مترو می‌باشند. بنابراین این واگن‌ها خسارت ناشی از تصادفات را تحمل می‌کنند و به‌وسیله نقلیه مقابل آسیب جدی وارد می‌کنند.

منوریل: در منوریل چه از نوع نشسته روی ریل یا از نوع معلق و یا مدل‌های دیگر آن، طبیعت طراحی آن‌ها اجازه خروج از ریل را نمی‌دهد. البته در سال ۱۹۹۹ به علت سهل‌انگاری پیمانکار، منوریل hushwebeba از ریل جدا و به رودخانه افتاد و ۵ مسافر کشته و ۴۷ نفر زخمی شدند البته این نقص نه به دلیل تکنولوژی و نه در فرآیند عملیاتی بود و ازآنجاکه مونوریل بالاتر از سطح زمین حرکت می‌کند پس امکان برخورد با ترافیک سطحی ندارد و درنتیجه آمار تصادفات در آن صفر است (الیاسی، ۱۳۸۴، ۵).

اتوبوس: ایمنی این نوع سیستم حمل‌ونقلی بسیار پایین بوده و نرخ سوانح رانندگی در آن بسیار بالاست همچنین در شهرهایی که جمعیت مسن آن قابل‌توجه باشد (چیزی که در دو دهه آتی ایران قابل پیش‌بینی است استفاده از سیستم اتوبوسرانی و دسترسی به آن برای سالمندان بسیار سخت است. به‌طورکلی موارد ایمنی سیستم‌های اتوبوس،مترو، قطار سبک و منوریل را می‌توان از دو دیدگاه زیر بررسی نمود (رحیمی، ۱۳۸۳: ۲۶) (جداول ۲و۳).

۱- بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ازنظر ایمنی برای مسافران داخل سیستم

۲- بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ازنظر ایمنی برای محیط خارج از سیستم.

1. www.TTic.ir

جدول ۲. بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ازنظر ایمنی برای مسافران

نام سیستم	نوع اجرای مسیر	میزان ایمنی و علت
مونوریل[1]	در ارتفاع	بسیار زیاد به علت: - آیین‌نامه‌های ایمنی: چون AAA (Japan) در مونوریل‌های هیتاچی و NFPA ۱۳۰ [2] و ۱۳۰ NFPA/ANSI در مونوریل‌های بمبار دیر و وان‌رول- ارترنز و همچنین در مواردی استفاده از ASTM-E119 - وجود سیستم‌های کنترلی: ATO[3]، ATS[4]، ATC[5] ، Digital ATC
قطار سبک	در سطح و مختلط	کمتر از سایر سیستم‌های ریلی به علت وجود خطر برخورد سایر وسایط نقلیه با قطار
	در سطح و غیر مختلط	تقریباً ایمن جز در تقاطع‌های هم‌سطح
	در ارتفاع	مثل مونوریل
	در زیرزمین	مثل مترو
مترو	در زیرزمین	بسیار زیاد به علت: آیین‌نامه‌های ایمنی: چون NFPA ۱۳۰ و آیین‌نامه‌های مشابه مثل آیین‌نامه‌های ایمنی UMTA[6] و ASTM-E ۱۱۹ - سیستم‌های کنترلی: ATS، ATO، ATC، Digital ATC

منبع: سازمان شهرداری‌های کشور، ۱۳۷۶.

جدول ۳. بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ازنظر ایمنی برای محیط خارج از سیستم

نام سیستم	نوع	میزان ایمنی	علت
مونوریل	همه مدل‌ها	زیاد	به علت حرکت در ارتفاع و عدم تماس با سطح معابر
LRT	در ارتفاع	زیاد	به علت حرکت در ارتفاع و عدم تماس با سطح معابر
	در زیرزمین	زیاد	به علت حرکت در زیرزمین و عدم تماس با سطح معابر
	در سطح معابر و خطوط مجزا	متوسط	تقریباً مثل BRT
	در سطح معابر و با ترافیک موتوری	کم	مثل اتوبوس‌های معمولی
مترو	-	زیاد	به علت حرکت در زیرزمین و عدم تماس با معابر
اتوبوس عادی	در سطح معابر و با ترافیک موتوری	کم	به علت امکان برخورد با سایر وسایط نقلیه
اتوبوس BRT	در سطح معابر و خطوط مجزا	متوسط	به علت امکان برخورد با سایر وسایط نقلیه در تقاطع‌ها

منبع: سازمان شهرداری‌های کشور، ۱۳۷۶.

۳- تأثیرات زیست‌محیطی(آلودگی هوا- آلودگی صوتی- میزان مصرف انرژی)

مترو: به دلیل اینکه تمام سیستم‌های مترو از انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند هیچ آلاینده‌ای در محیط شهری انتشار نمی‌دهند علاوه بر این ازنظر مصرف انرژی حرکت یک چرخ فلزی بر روی ریل و ادامه به این حرکت به انرژی زیادی نیاز ندارد، زیرا ضریب اصطکاک آن بسیار پایین است. حتی اگر از چرخ‌های لاستیکی بر روی سطح صاف بتنی استفاده شود نیز انرژی مصرفی اندک خواهد بود.

منوریل: ازآنجایی‌که اکثریت منوریل‌ها با برق و قدرت الکتریکی کار می‌کنند پس آلودگی هوای ناشی از سوخت ندارند. این قضیه در مورد قطار سبک شهری نیز به علت اینکه با نیروی برق‌کار می‌کند صادق است.[7]

---

1 . Monorail

2 . National fire protection Association.U.S.A

3 . Automatic train operation (عملکرد اتوماتیک قطار)

4 . Automatic train supervision (نظارت اتوماتیک قطار)

5 . Automatic train control (حفاظت اتوماتیک قطار)

6 . Recommended Emergency preparedness rail transit system.

7 . www.TTic.ir

- وسایل نقلیه شخصی و اتوبوس سریع‌السیر (BRT) دیزلی

جدول ۴. میزان انتشار آلودگی به ازای ۱۰۰ مسافر – کیلومتر وسایل نقلیه (شخصی و اتوبوس)

وسیله نقلیه	سرب (گرم)	منواکسید کربن (گرم)	هیدروژن (گرم)	اکسید نیتروژن (گرم)	دی‌اکسید گوگرد (گرم)	دوده وخاک (گرم)	مجموع (گرم)
وسایل نقلیه شخصی	۰/۹	۱۲۵۰	۱۲۵	۱۵۰	۴/۲	۰/۲	۱۵۵۰
اتوبوس واحد معمولی– سریع‌السیر (BRT) دیزلی[1]	۰	۴۱/۹	۱۵/۴	۱۲۵/۹	۱۲/۶	۲/۸	۲۰۰
اتوبوس برقی و راه‌آهن با انرژی الکتریکی	تقریباً بی‌تأثیر بر آلودگی هوا						

منبع: شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، (۱۳۸۵).

- آلودگی صوتی

جدول (۵) شدت و بلندی صدای تولیدی توسط سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. صدای ایجادشده توسط سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی (دسی‌بل)

وسیله نقلیه	نوع	بلندی صدای تولیدی (دسی‌بل)
قطار سبک(LRT)	در سطح	۸۰–۸۶
	زیرزمین	–
مونوریل	فقط در ارتفاع	۷۵
مترو	در سطح	۹۰–۹۷
	زیرزمین	–
اتوبوس	دیزلی (diesel)	۹۰
	CNG	۷۸
	Fuel cell	۶۷
	Trolley	۶۰
	Citystreet	۶۰

منبع: www. TTic.ir

- میزان مصرف انرژی

جدول (۶) میزان مصرف انرژی را در سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی نشان می‌دهد.

جدول ۶. میزان مصرف انرژی برحسب مسافر- کیلومتر سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری

سیستم	میزان مصرف انرژی برحسب وات–ساعت
اتومبیل	۱۶۶/۴
اتوبوس دیزلی	۵۹/۶
قطار سبک شهری و مونوریل	۳۱
مترو	۲۶/۶

منبع: www. TTic.ir

1. www.TTic.ir

۴- اختلال در جریان ترافیک

اختلال در جریان ترافیک از دو دیدگاه مدنظر است:

۱)اختلال هنگام بهره‌برداری (جدول۷).

۲) اختلال در زمان ساخت (جدول ۸).

جدول۷. اختلال در جریان ترافیک توسط سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی هنگام بهره‌برداری

سیستم	ویژگی	تداخل
مونوریل	در ارتفاع	عدم تداخل با جریان ترافیک معابر مجاور
مترو	در زیرزمین	عدم تداخل
قطار سبک شهری	مختلط	کاملاً درگیر با ترافیک موتوری
	نیمه مختلط	تداخل فقط در تقاطع‌ها
	کاملاً جدا (مسیر هوایی)	عدم تداخل
اتوبوس	در مسیر مجزا(مسیرهای ویژه اتوبوس یا Bus ways)	تداخل در تقاطع‌ها
	در مسیر مختلط	کاملاً درگیر با ترافیک موتوری

منبع: خادمی، نوید، ۱۳۸۴.

جدول ۸. اختلال در جریان ترافیک توسط سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی در مراحل ساخت.

سیستم		میزان تداخل
مترو	استفاده از TBM یا روش اتریشی	کم
	استفاده از روش ترانشه باز یا (cut and cover)	تداخل زیاد: اشغال کامل زیربنای کار در حدود پلان عملیاتی پروژه از سطح زمین
قطار سبک	در ارتفاع	متوسط: (بیشتر از منوریل) به علت ابعاد بیشتر قطعات سازه مسیر در ارتفاع و عدم امکان اجرای پیش‌ساخته قطعات
	در سطح	زیاد
	در زیرزمین	زیاد: در صورت استفاده از روش ترانشه‌باز اختلال زیاد است.
مونوریل	استفاده از قطعات پیش‌ساخته	کم: به علت نصب سریع
	ساخت قطعات در محل	متوسط
اتوبوس BRT	استفاده از قطعات پیش‌ساخته	کم: به علت نصب سریع

منبع: خادمی، نوید، ۱۳۸۴.

۵ـ تأثیر منفی بر روی سیما و منظر شهری:

ـ مترو: درست است که در اکثر مناطق مترو از زیرزمین عبور می‌کند و از این‌رو تأثیر منفی چندان زیادی بر روی سیما و منظر شهری نخواهد گذاشت اما در این زمینه این سؤال پیش می‌آید که چرا باید صدها هزار مسافر از محیطی تاریک و بدون منظره عبور کنند و از طرفی دیگر وقتی مترو در ارتفاع قرار می‌گیرد به‌مانند مونوریل بر روی معبر زیر مسیر خود سایه ایجاد می‌کند.

ـ قطار سبک شهری: قطار سبک شهری نیاز به یک سری بافت‌هایی از سیم‌های هوایی دارد که با تیرک‌هایی نگه‌داشته می‌شوند و همین امربر زیبایی و سیما و منظر شهری تأثیر منفی می‌گذارد (رحیمی، ۱۳۸۳: ۲۴).

ـ مونوریل: درست است که تیرها و ستون‌های بتنی مسیر مونوریل در سیما و منظر شهری تأثیرگذار می‌باشند و ازآنجاکه مونوریل‌ها عموماً به‌صورت معلق و در ارتفاع طراحی می‌شوند ازاین‌رو ازنظر دیداری، منظر و زیباسازی محیط، به‌ویژه در محیط بناهای ارزشمند تاریخی ـ فرهنگی هسته‌های متراکم شهرها، عاملی مشکل‌ساز به‌حساب می‌آیند. از این نظر لازم است حتی‌الامکان، مسیر مونوریل‌ها از چنین بناهایی فاصله کافی داشته باشد. (شهیدی، ۱۳۸۷: ۲۲۸). اما نکته مهمی که

در مورد این ستون‌ها وجود دارد این است که این ستون‌ها می‌توانند تغییرات زیادی را در طراحی بپذیرند به‌طوری‌که در مونوریل والت دیزنی تیرها فقط ۲۶ اینچ پهنا دارند و به همین دلیل سایه کوچکی را ایجاد می‌کنند علاوه بر این مونوریل‌ها قابلیت بالایی برای سازگاری با معماری محیط‌های شهری و همچنین زیباتر کردن سیما و منظر شهری دارند (الیاسی، ۱۳۸۴: ۱۲).

ـ اتوبوس: اتوبوس‌های عادی و BRT تقریباً بی‌تأثیر بر روی سیما و منظر شهری هستند اما در مورد اتوبوس‌های برقی، سیم‌ها، پانتوگراف‌ها و کابل‌های برق موجود در بالای سر اتوبوس‌ها در طول مسیر بر روی سیمای شهری تأثیر منفی می‌گذارد. البته باید در نظر داشت طراحی استاندارد ایستگاه‌های اتوبوس مانند سایر مبلمان شهری سیمای شهری را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متأسفانه در ایران این استانداردها در مورد طراحی ایستگاه‌های اتوبوس به‌هیچ‌وجه رعایت نمی‌شوند و همین موضوع بر روی سیما و منظر شهری تأثیر منفی می‌گذارد. تأثیر هریک از سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی بر روی سیما و منظر شهری طبق جدول (۹) ارائه‌شده است.

جدول ۹. بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ازنظر تأثیر منفی بر منطقه شهری

سیستم	نوع اجرای مسیر	پارامترهای تأثیرگذار بر سیما و منظر شهری
مونوریل	در ارتفاع	ـ تیرها و ستون‌های بتنی با ابعاد بزرگ و در ارتفاع ـ ایجاد مزاحمت‌های دیداری(دید بر منازل و اماکن حواشی مسیر) و بر هم زدن چشم‌انداز بصری در هسته‌های تاریخی ـ فرهنگی شهر. ـ ایجاد سایه بر معبر زیر مسیر
قطار سبک شهری	در سطح با سیستم تغذیه بالاسری	ـ سیم‌ها ـ پانتوگراف و دکل برق موجود در مسیر
	در ارتفاع با سیستم تغذیه‌ازراه‌ریل‌سوم	ـ مشابه منوریل با این تفاوت که ابعاد سازه‌ها بزرگ‌تر است و سایه ایجادشده در سطح زمین بیشتر است.
مترو	در زیرزمین	تقریباً بدون اثر بر منظر شهری جز در مواردی که داکت‌های تهویه یا پست‌های برق و ... چشم‌انداز محیط را بر هم زند
اتوبوس عادی و BRT اتوبوس برقی		ـ تقریباً بدون تأثیر بر منظر شهری جز در موارد طراحی نامناسب ایستگاه‌ها ـ وجود سیم‌ها، پانتوگراف و کابل‌های برق در بالای سر مسیر ویژه اتوبوس که بر روی منظر شهری تأثیر منفی می‌گذارد.

منبع: شهرداری تهران (۱۳۸۲).

جدول ۱۰. میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت در هر جهت (pphpd)

ظرفیت / سیستم		قطار سبک(سه واگنه)		مونوریل		مترو (۷ واگنه)
		واگن مفصلی	واگن ساده[1]	بزرگ و ۶ واگنه	استاندارد و ۴ واگنه	
درحالت بسیار فشرده (۰/۲ مترمربع برای هر نفر ایستاده) (Crushload)	گنجایش یک واگن	۱۶۸	۱۱۸	۳۲۰	۱۴۲	۲۳۵
	حداکثر ظرفیت	۲۱۶۰۰	۷۹۷۰	۲۲۶۰۰	۱۲۷۰۰	۵۲۸۶۰
برای حداکثر ظرفیت طراحی (۰/۳ مترمربع برای هر نفر ایستاده)[2]	گنجایش یک واگن	۱۳۰	۹۰	۲۵۷	۱۱۰	۱۸۰
	حداکثر ظرفیت	۱۷۳۵۰	۶۰۸۰	۱۷۵۵۰	۹۹۰۰	۴۰۱۰۰

منبع: سازمان شهرداری‌های کشور، ۱۳۷۶.

۱ . مشابه قطار سبک مشهد.

2 .Maximum schedule load

- اتوبوس

میزان ظرفیت حمل مسافر اتوبوس عادی در یک خط پرتراکم به‌عنوان نمونه(چهارراه تهرانپارس- آزادی) در هر ساعت در هر جهت بین ۷۰-۴۰ نفر، در مورد اتوبوس برقی در همین خط(چهارراه تهرانپارس- آزادی) در هر ساعت در هر جهت بین ۱۵۰-۱۲۰ نفر و در مورد خط(۱)BRT (چهارراه تهرانپارس- آزادی) بین ۲۵۰-۲۰۰ نفر در هر ساعت در هر جهت است. به‌طورکلی حداکثر ظرفیت ارائه‌شده (نفر/ساعت) اتوبوس معمولی و BRT در خیابان با یا بدون مسیر ویژه ۹۰۰۰-۶۰۰۰ و حد معمول آن بین ۶۳۰۰-۴۰۰۰ نفر است. همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌کنید بیشترین میزان ظرفیت حمل مسافر متعلق به مترو و کمترین آن متعلق به اتوبوس است.

تعیین جایگاه منوریل در حمل‌ونقل عمومی شهر تهران با استفاده از مدل AHP

مرحله اول: تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

(E)۱. میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث به ازای هر یک کیلومتر مسیر
(F)۲. ایمنی
(G)۳. تأثیرات زیست محیطی
(H)۴. اختلال در جریان ترافیک
(I)۵. میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت در هر جهت
(J)۶. تأثیر منفی بر روی سیما و منظر شهری

	میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای	احداث یک کیلومتر مسیر	ایمنی	تأثیرات زیست محیطی	اختلال در جریان ترافیک	میزان ظرفیت حمل مسافر	تأثیر منفی روی سیمای شهری
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۱	۱	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۳	
۲	۱	۱	۴	۴	۲	۴	
۳	۳	۱/۴	۱	۳	۲	۳	
۴	۳	۱/۴	۱/۳	۱	۱/۳	۳	
۵	۴	۱/۲	۱/۲	۳	۱	۴	
۶	۳	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱	

$= A$

- تعیین ضریب اهمیت معیارها

۱) میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث هر ۱ کیلومتر مسیر
$$\left[(۱)\left(\frac{۱}{۵}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)\left(\frac{۱}{۴}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)\right]^{\frac{۱}{۶}} = ۰/۳۵۰۴$$

۲) ایمنی
$$[(۵)(۱)(۴)(۴)(۲)(۴)]^{\frac{۱}{۶}} = ۲/۹۳۵۶$$

۳) تأثیرات زیست‌محیطی
$$\left[(۳)\left(\frac{۱}{۴}\right)(۱)(۳)(۲)(۳)\right]^{\frac{۱}{۶}} = ۱/۵۴۳۱$$

۴) اختلال در جریان ترافیک
$$\left[(۳)\left(\frac{۱}{۴}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)(۱)\left(\frac{۱}{۳}\right)(۳)\right]^{\frac{۱}{۶}} = ۰/۷۹۳۷$$

۵) میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت در هر جهت
$$\left[(۴)\left(\frac{۱}{۲}\right)\left(\frac{۱}{۲}\right)(۳)(۱)(۴)\right]^{\frac{۱}{۶}} = ۱/۵۱۳۱$$

۶) تأثیر منفی بر روی سیما و منظر شهری
$$\left[(۳)\left(\frac{۱}{۴}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)\left(\frac{۱}{۳}\right)\left(\frac{۱}{۴}\right)(۱)\right]^{\frac{۱}{۶}} = \frac{۰/۵۲۴۵}{۷/۶۶۰۴}$$

$$W_1 = \frac{۰/۳۵۰۴}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۰۴۵۷$$

$$W_2 = \frac{۲/۹۳۵۶}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۳۸۳۲$$

$$W_3 = \frac{۱/۵۴۳۱}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۲۰۱۴$$

$$W_4 = \frac{۰/۷۹۳۷}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۱۰۳۹$$

$$W_5 = \frac{۱/۵۱۳۱}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۱۹۷۵$$

$$W_6 = \frac{۰/۵۲۴۵}{۷/۶۶۰۴} = ۰/۰۶۸۵$$

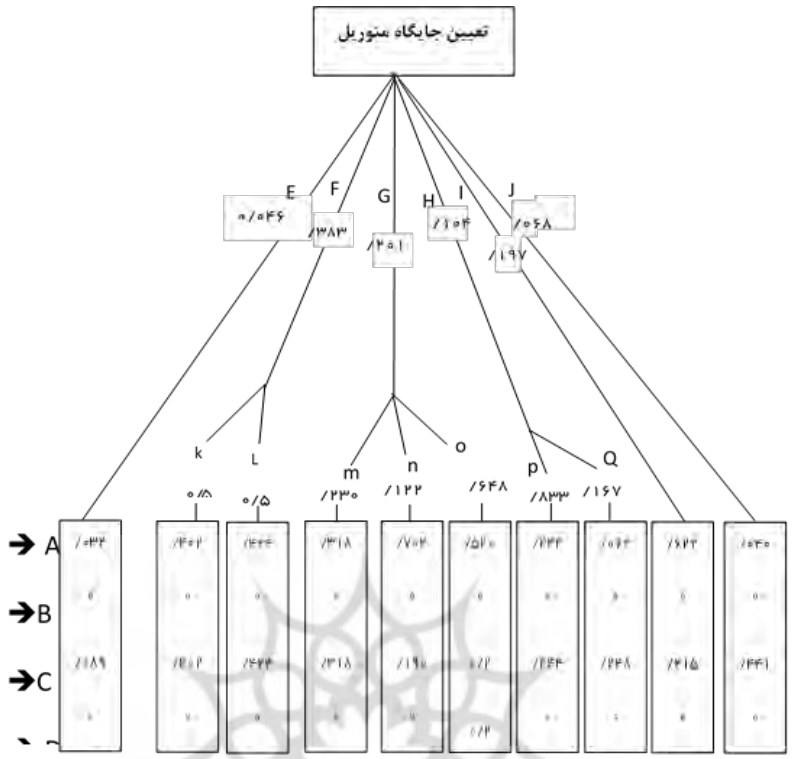
- تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

جدول ۱۱. ماتریس ارزیابی هر یک از گزینه‌ها

گزینه‌ها	ازنظر ایمنی برای مسافران داخل سیستم	ازنظر ایمنی برای محیط خارج از سیستم	آلودگی هوا	آلودگی صوتی	میزان مصرف انرژی	اختلال در جریان ترافیک هنگام بهره‌برداری	اختلال در جریان ترافیک هنگام ساخت	میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث هر ۱ کیلومتر مسیر	میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت در هر جهت	تأثیر منفی بر روی سیما و منظر شهری
A (مترو)	بسیار زیاد	زیاد	بی‌تأثیر بر آلودگی هوا	در زیرزمین: ندارد در سطح: ۹۰-۹۷ dc	۲۶/۶ برحسب وات ـ ساعت	عدم تداخل با جریان ترافیکی	میزان تداخل: زیاد	پایین: ۵۲/۷ میلیون دلار متوسط: ۹۶/۲ میلیون دلار بالا: ۱۴۰ میلیون دلار	حداکثر ظرفیت در حالت ۰/۲ m^2 برای هر نفر ایستاده: (۵۲۸۶۰) حداکثر ظرفیت در حالت ۰/۳ m^2 برای هر نفر ایستاده (۴۰۱۰۰)	بدون تأثیر بر روی سیما و منظر شهری
B (منوریل)	بسیار زیاد	زیاد	بی‌تأثیر بر آلودگی هوا	۷۵ dc	۳۱ برحسب وات ـ ساعت	عدم تداخل با جریان ترافیک معابر مجاور	میزان تداخل: متوسط در صورت ساخت قطعات در محل، کم در صورت استفاده از قطعات پیش ساخته	پایین: ۱۳/۱ میلیون دلار متوسط: ۴۲/۳ میلیون دلار بالا: ۹۳ میلیون دلار	۴واگنه در حالت ۰/۲ m^2 و ۰/۳ m^2 برای هر نفر ایستاده (۹۹۰۰-۱۲۷۰۰) ۶واگنه در حالت ۰/۲ و ۰/۳ m^2 برای هر نفر ایستاده (۱۷۵۵۰-۲۲۶۰۰)	با تأثیرگذاری زیاد روی سیما و منظر شهری
C (قطار سبک شهری)	متوسط	در سطح معابر و مختلط با جریان ترافیک موتوری:کم در سطح معابر و در خطوط ویژه و مجزا: متوسط	بی‌تأثیر بر آلودگی هوا	۸۶ - ۸۰ dc	۳۱ بر حسب وات ـ ساعت	در مسیر مختلط: کاملاً درگیر با ترافیک موتوری در مسیر مجزا و خطوط ویژه: تداخل فقط در تقاطع‌ها	میزان تداخل: زیاد	پایین: ۱۲/۱ میلیون دلار متوسط: ۲۴/۴ میلیون دلار بالا: ۶۲/۲ میلیون دلار	واگن مفصلی در حالت ۰/۲ m^2 و ۰/۳ m^2 برای هر نفر ایستاده (۱۷۳۵۰-۲۱۶۰۰) واگن ساده در حالت ۰/۲ و ۰/۳ m^2 برای هر نفر ایستاده (۶۰۸۰-۷۹۷۰)	با تأثیرگذاری زیاد روی سیما و منظر شهری
D (اتوبوس)	کم	در سطح معابر و مختلط با جریان ترافیک موتوری: کم در سطح معابر و در خطوط ویژه و مجزا: متوسط	۲۰۰ گرم میزان انتشار آلودگی هوا به ازای ۱۰۰ مسافر – کیلومتر	دیزلی : dc ۹۰ CNG: ۷۸ dc	۵۹/۶ برحسب وات ـ ساعت	در مسیر مختلط: کاملاً درگیر با ترافیک موتوری در مسیر مجزا و خطوط ویژه: تداخل در تقاطع‌ها	میزان تداخل: کم	قیمت یک دستگاه اتوبوس شهری عادی: ۱۰۰ میلیون قیمت یک دستگاه اتوبوس BRT : ۲۵۰ میلیون هزینهٔ احداث هر کیلومتر خط ویژه با امکانات کامل ۲۵ میلیون	اتوبوس عادی: (۴۰-۷۰) اتوبوس برقی: (۱۲۰-۱۵۰) اتوبوس BRT : (۲۰۰-۲۵۰)	با تأثیرگذاری متوسط روی سیما و منظر شهری در صورت طراحی نامناسب ایستگاه‌ها

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵

تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها



جدول ۱۲. تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها

گزینه	سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث هر ۱ کیلومتر مسیر E	F: ایمنی		G: تأثیرات زیست‌محیطی			H: اختلال در جریان ترافیک		میزان ظرفیت حمل مسافر در هر ساعت در هر جهت I	تأثیر منفی روی سیما و منظر شهری J	امتیاز نهایی
		ازنظر ایمنی برای مسافران داخل سیستم K	ازنظر ایمنی برای محیط خارج از سیستم L	آلودگی هوا m	آلودگی صوتی n	میزان مصرف انرژی O	اختلال در جریان ترافیک هنگام بهره‌برداری P	اختلال در جریان ترافیک هنگام ساخت Q			
A	(۰/۰۳۲) (۰/۰۴۶)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۴۰۲)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۴۲۴)	(۰/۲۳۰) (۰/۲۰۱) (۰/۳۱۸)	(۰/۱۲۲) (۰/۲۰۱) (۰/۷۰۴)	(۰/۶۴۸) (۰/۲۰۱) (۰/۵۲۰)	(۰/۱۰۴)(۰/۸۳۳) (۰/۴۴۴)	(۰/۱۰۴) (۰/۱۶۷) (۰/۰۶۲)	(۰/۱۹۷)(۰/۶۲۲)	(۰/۰۶۸)(۰/۰۴۰)	۰/۴۲۴۱
B	(۰/۰۸۹) (۰/۰۴۶)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۴۰۲)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۴۲۴)	(۰/۲۳۰) (۰/۲۰۱) (۰/۳۱۸)	(۰/۱۲۲) (۰/۲۰۱) (۰/۱۹۰)	(۰/۶۴۸) (۰/۲۰۱) (۰/۲)	(۰/۱۰۴)(۰/۸۳۳) (۰/۴۴۴)	(۰/۱۰۴)(۰/۱۶۷) (۰/۲۴۸)	(۰/۱۹۷)(۰/۲۱۵)	(۰/۰۶۸)(۰/۴۴۱)	۰/۳۲۲۸
C	(۰/۱۶۹) (۰/۰۴۶)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۱۴۳)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۱۰۲)	(۰/۲۳۰) (۰/۲۰۱) (۰/۳۱۸)	(۰/۱۲۲) (۰/۲۰۱) (۰/۰۶۹)	(۰/۶۴۸) (۰/۲۰۱) (۰/۲)	(۰/۱۰۴)(۰/۸۳۳) (۰/۰۶۰)	(۰/۱۰۴) (۰/۱۶۷) (۰/۰۶۲)	(۰/۱۹۷)(۰/۱۱۸)	(۰/۰۶۸)(۰/۴۴۱)	۰/۱۵۶۶
D	(۰/۷۰۹) (۰/۰۴۶)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۰۵۴)	(۰/۵) (۰/۳۸۳) (۰/۰۵۰)	(۰/۲۳۰) (۰/۲۰۱) (۰/۰۴۵)	(۰/۱۲۲) (۰/۲۰۱) (۰/۰۳۶)	(۰/۶۴۸) (۰/۲۰۱) (۰/۰۷۷)	(۰/۱۰۴)(۰/۸۳۳) (۰/۰۵۲)	(۰/۱۰۴) (۰/۱۶۷) (۰/۶۲۷)	(۰/۱۹۷)(۰/۰۴۵)	(۰/۰۶۸)(۰/۰۷۸)	۰/۰۹۵۱

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵

۱- محاسبه بردار **AW**

$$\begin{matrix}۱\\۲\\۳\\۴\\۵\\۶\end{matrix}\begin{bmatrix} ۱ & ۱/۵ & ۱/۳ & ۱/۳ & ۱/۴ & ۱/۳ \\ ۵ & ۱ & ۴ & ۴ & ۲ & ۴ \\ ۳ & ۱/۴ & ۱ & ۳ & ۲ & ۳ \\ ۳ & ۱/۴ & ۱/۳ & ۱ & ۱/۳ & ۳ \\ ۴ & ۱/۲ & ۱/۲ & ۳ & ۱ & ۴ \\ ۳ & ۱/۴ & ۱/۳ & ۱/۳ & ۱/۴ & ۱ \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} ۰/۰۴۵۷ \\ ۰/۳۸۳۲ \\ ۰/۲۰۱۴ \\ ۰/۱۰۳۶ \\ ۰/۱۹۷۵ \\ ۰/۰۶۸۵ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ۰/۲۹۶۱ \\ ۲/۵۰۰۷ \\ ۱/۳۴۵۶ \\ ۰/۶۷۴۹ \\ ۱/۲۵۷۴ \\ ۰/۴۵۲۴ \end{bmatrix}$$

۲- محاسبه **L**:

$$L = \frac{۱}{۶}\left[\frac{۰/۲۹۶۱}{۰/۰۴۵۷} + \frac{۲/۵۰۰۷}{۰/۳۸۳۲} + \frac{۱/۳۴۵۶}{۰/۲۰۱۴} + \frac{۰/۶۷۴۹}{۰/۱۰۳۶} + \frac{۱/۲۵۷۴}{۰/۱۹۷۵} + \frac{۰/۴۵۲۴}{۰/۰۶۸۵}\right]$$

$$L = \frac{۱}{۶}\left[۶/۴۷۹۲ + ۶/۵۲۵۸ + ۶/۶۸۱۲ + ۶/۵۱۴۵ + ۶/۳۶۶۶ + ۶/۶۰۴۴\right]$$

$$\frac{۱}{۶} \times ۳۹/۱۷۱۷ = ۶/۵۲۸۶$$

۳- محاسبه شاخص سازگاری **CI**

$$CI = \frac{۶/۵۲۸۶ - ۶}{۵} = ۰/۱۰۵۷$$

۴- محاسبه ضریب سازگاری **CR**

$$CR = \frac{۰/۱۰۵۷}{۱/۲۴} = ۰/۰۸۵ < ۰/۱ \qquad ok$$

آزمون فرضیه

به نظر می‌رسد منوریل به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل عمومی سریع با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری کلان‌شهر تهران برخوردار است.

در این مقاله برای تعیین جایگاه منوریل در حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده‌شده است لذا نتیجه به‌دست‌آمده از این مدل که در قالب جدولی تحت عنوان امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها است بیانگر اثبات یا ردّ فرضیه ما محسوب می‌شود. امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها از تلفیق ضرایب اهمیت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها تعیین خواهد شد که برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود استفاده خواهد شد (زبردست، ۱۳۸۰: ۱۸) که در این مقاله ما ۶ معیار (میزان سرمایه‌گذاری اولیه به ازای احداث یک هر کیلومتر مسیر، ایمنی، تأثیرات زیست‌محیطی ، اختلال در جریان ترافیک ، میزان ظرفت حمل مسافر در هر ساعت و در هر جهت، تأثیر منفی بر روی سیما و منظر شهری)، ۷ زیر معیار (آلودگی هوا، آلودگی صوتی، میزان مصرف انرژی، ازنظر ایمنی برای مسافران داخل سیستم، ازنظر ایمنی برای محیط خارج از سیستم اختلال در جریان ترافیک هنگام بهره‌برداری، اختلال در جریان ترافیک هنگام ساخت) و ۴ گزینه شامل (مترو، منوریل، قطار سبک شهری، اتوبوس) داریم. ضرایب اهمیت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها در ساخت سلسله مراتبی در نمودار (۱) و نحوه تعیین امتیاز نهایی گزینه‌ها براساس اصل ترکیب سلسله مراتبی و با استفاده از ضرایب اهمیت ارائه‌شده است. همان‌طور که در جدول (۱۲) مشاهده می‌شود امتیاز نهایی گزینه A

(مترو) ۰/۴۲۴۱، گزینه B (منوریل) ۰/۳۲۲۸، گزینه C (قطار سبک شهری) ۰/۱۵۶۶ و گزینه D (اتوبوس) ۰/۰۹۵۱ به‌دست‌آمده است. بر طبق این جدول با توجه به‌قرار گیری منوریل در رتبه‌ای بالاتر از قطار سبک شهری و اتوبوس می‌توان گفت که منوریل به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل عمومی سریع از جایگاه و رتبه‌ای بالا در سیستم حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران برخوردار است و به‌این‌ترتیب فرضیه ما به اثبات می‌رسد.

نتیجه‌گیری

تهران به‌عنوان پایتخت کشور ایران، علاوه بر مرکزیت سیاسی، ازلحاظ اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی نیز اولین شهر ایران است. این شهر هشت‌میلیونی که با شهرک‌های اقماری‌اش بالغبر ۱۲ میلیون نفر جمعیت دارد در ۲۵ سال آینده یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای جهان با جمعیتی در حدود بیست میلیون نفر خواهد بود. هم‌اکنون تنها در محدوده شهر تهران روزانه ۱۲ میلیون سفر با وسایل موتوری ثبت گردیده است. مطالعات نشان می‌دهد تا سال ۱۴۰۹ سفرهای درون‌شهری از ۱۲ میلیون به حدود ۱۹ میلیون، شامل سفرهای شهرهای اقماری خواهد رسید و در یک دوره ۲۵ ساله تا حدود ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت. رویارویی با تقاضای فزاینده سفرهای موتوری با در نظر داشتن روند رشد مالکیت خودرو، بحران ترافیک و تبعات ناشی از آن چون مصرف سوخت، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، وقت تلف‌شده و تصادفات، مستلزم تدابیر کافی در جهت سوق دادن تقاضا به سمت گونه‌های حمل‌ونقل عمومی و بدون تردید ایجاد یک سامانه حمل‌ونقل کارآ و پرظرفیت است و ازآنجاکه رشد خودروها در تهران به‌عنوان مهم‌ترین دلیل کیفیت بدهوا شناخته‌شده و تأثیر آن بر ایمنی راه‌ها قابل‌توجه است حتی با تشدید عوامل محدودکننده استفاده از خودرو مانند توسعه محدوده ممنوعه طرح ترافیک، زوج و فرد کردن و نوسازی ناوگان اتوبوسرانی، قطعاً گزینه توسعه شبکه ریلی شهری اجتناب‌ناپذیر است. امروزه حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری نقش خود را به‌عنوان یک شبکه حمل‌ونقل عمومی انبوه، ایمن، سریع، ارزان و راحت در کاهش تراکم خودروها، آلودگی محیط‌زیست، مصرف سوخت، ارتقاء کیفیت زندگی اجتماعی، صرفه‌جویی در هزینه‌های اتلاف وقت مسافران، صرفه‌جویی در هزینه‌های استهلاک و لوازم‌یدکی خودروها و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری معابر شهر، بیش‌ازپیش آشکار نموده است.

با توجه به مطالب ذکرشده در این مقاله در خصوص سیستم مونوریل می‌توان چنین برداشت نمود که سیستم مونوریل سیستم حمل‌ونقلی است که به علت وجود سیستم‌های کنترلی و آیین‌نامه‌های ایمنی و حرکت در ارتفاع از ضریب ایمنی بسیار بالایی برخوردار است، به علت استفاده از انرژی الکتریکی و عدم تأثیر بر روی آلودگی هوا و میزان مصرف انرژی کم سازگاربامحیط‌زیست است، مدت‌زمان اجرا و روش اجرای آن به علت پیش‌ساخته بودن قطعات تیر، ستون، بستر ریل کوتاه و نسبتاً ساده است. میزان فضای موردنیاز برای اشغال معبر ۱/۲ تا ۱/۶ متر است که در مقایسه با قطار سبک و اتوبوس بسیار کمتر است. به علت حرکت این سیستم در ارتفاع، در هنگام بهره‌برداری با جریان ترافیک معابر مجاور هیچ‌گونه تداخلی ندارد و در هنگام ساخت نیز به علت نصب سریع آن (استفاده از قطعات پیش‌ساخته) میزان تداخل آن با جریان ترافیک معابر مجاور کم است. میزان ظرفیت حمل مسافر آن اگرچه از مترو کمتر است اما از قطار سبک و اتوبوس به‌مراتب بیشتر است. درست است که تیرها و ستون‌های بتنی مسیر مونوریل در سیما و منظر شهری تأثیرگذار می‌باشند. اما نکته مهمی که در مورد این پایه‌ها وجود دارد این است که این پایه‌ها تغییرات زیادی را در طراحی می‌توانند بپذیرند به‌طوری‌که می‌توان پهنای این پایه‌ها را تا حدی کم کرد که سایه کوچکی را بر روی معبر ایجاد بکنند.

علاوه بر این‌ها مونوریل‌ها قابلیت بسیار بالایی برای سازگاری با معماری محیط‌های شهری دارند و به‌نوعی می‌توانند بر روی زیباترکردن سیما و منظر شهری تأثیر بگذارند همچنین میزان سرمایه‌گذاری اولیه مونوریل به ازای هر کیلومتر مسیر نیز از میزان سرمایه‌گذاری اولیه مترو کمتر است. این مزایا به همراه نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش بیانگر این است که مونوریل به‌عنوان یک سیستم سریع‌السیر ریلی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه پیشنهادی در سیستم حمل‌ونقل

عمومی کلان‌شهر تهران و تکمیل‌کننده حلقه بین سایر گونه‌های حمل‌ونقل عمومی موردتوجه قرار بگیرد. اما ذکر این نکته لازم و ضروری است که طرح‌ها و سیستم‌های کلان پیشنهادی برای حمل‌ونقل ریلی شهری باید به‌گونه‌ای باشند که انتظارات برنامه‌ریزان و مدیران حمل‌ونقل عمومی شهری همچون کاهش تمایل استفاده از اتومبیل‌های شخصی در سفرهای شهری، کاهش ازدحام وسایل نقلیه در معابر شهری و افزایش سرعت وسایل نقلیه، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و ارتقاء سطح عمرانی شهرها، افزایش راحتی و ایمنی سفرهای درون‌شهری، کاستن هزینه‌های اولیه اجرای طرح و هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری، جذب حمایت‌های بخش دولتی در تأمین هزینه‌های مربوط به اجرا و بهره‌برداری، جذب تمایل سرمایه‌گذاران خارجی و داخلی در مراحل اجرا و بهره‌برداری و افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی و کاهش عوارض جانبی آن و... را برآورده سازد مسلماً برنامه‌ریزی برای طراحی و احداث یک سیستم حمل‌ونقل ریلی مؤثر و کارآ و تعیین اولویت هر یک از موارد فوق با توجه به بافت اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و... هر کشور نیازمند مطالعات کلان‌تر و همه‌جانبه‌تر و دور بودن از هرگونه جهت‌گیری و پیش‌داوری و مطالعات امکان‌سنجی دقیق در این زمینه است.

پژوهش حاضر تنها به‌منظور برداشتن گامی کوچک در این راستا صورت گرفته است و ازآنجایی‌که در برنامه‌ریزی شهری بحث حمل‌ونقل شهری یکی از مباحث بسیار مهم بوده و به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در توسعه کالبدی شهرها، آرایش کاربری‌های شهری و منطقه‌ای و الگوی توسعه شهری در مقیاس منطقه‌ای و ملی به‌ویژه در کشورهای جهان سوم عمل می‌کند و با توجه به مشکلات عمده‌ای که در حال حاضر در حوزه حمل‌ونقل عمومی کلان‌شهر تهران وجود دارد انجام پژوهش‌هایی ازاین‌دست می‌تواند جهت کاهش مشکلات حوزه حمل‌ونقل عمومی شهر تهران تا حدی تأثیرگذار باشد. امید است که نتایج حاصل از این پژوهش مورداستفاده کارشناسان و متخصصین و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل شهری قرار بگیرد.

منابع

۱. اژدری عبدالملکی، پژمان، (۱۳۸۰)، ارزیابی شاخص‌های کمی و کیفی به‌کارگیری قطار سبک شهری در شهرهای پرجمعیت، سال سوم، شماره ۱۰.

۲. اژدری عبدالملکی، پژمان، (۱۳۸۲)، انتخاب سیستم حمل‌ونقل عمومی با استفاده از روش مدل‌سازی AHP، مجله تازه‌های ترافیک، سال سوم، شماره ۷.

۳. الیاسی، رضا، (۱۳۸۴)، پروژه درس تحلیل سیستم‌های حمل‌ونقل (بررسی و تحلیل سیستم قطار هوایی در جهان و ایران)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران.

۴. تقی زاده بهجتی، جاوید، (۱۳۸۶)، جایگاه و ضرورت حمل‌ونقل ریلی، مجله تازه‌های ترافیک، سال سوم، شماره ۱۲.

۵. حاج نصراللهی، کامران و علیرضا طباطبایی، (۱۳۷۹)، توسعه حمل‌ونقل ریلی در سطح شهر تهران، مجله تازه‌های ترافیک، سال دوم، شماره ۷.

۶. حکیمی، منیژه، (۱۳۸۳)، مونومتر و پلی بر روی تراکم شهری، مجله تازه‌های ترافیک، سال پنجم، شماره ۲۴.

۷. خادمی، نوید، (۱۳۸۴)، نحوه انتخاب سیستم حمل‌ونقل ریلی بهینه در یک کریدور شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تهران

۸. رحیمی، امیرمسعود، (۱۳۸۳)، ارزیابی مزایای مونوریل در مقایسه با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی شهری، مجله تازه‌های ترافیک، شماره ۳۶، ص ۲۲.

۹. زبردست، اسفندیار، (۱۳۸۰)، کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله معماری و شهرسازی دانشکده هنرهای زیبا (دانشگاه تهران)، شماره ۱۰.

۱۰. سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران (شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک)، (۱۳۸۴)، مطالعه روش‌های ارتقاء و بهبود عملکرد سامانه اتوبوسرانی تهران، گزارش ۵-۶۸۰، تهران.
۱۱. سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، (۱۳۸۱)، طراحی مسیرهای قطار سبک شهری،گزارش نهایی شماره ۴.
۱۲. سازمان شهرداری‌های کشور، (۱۳۷۶)، بازبینی، تحلیل و نظارت بر طرح‌های حمل‌ونقل و ترافیک شهرهای بالای یک‌میلیون نفر، مهندسین مشاور طرح هفتم، جلد ۳.
۱۳. شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه، گزارش سالانه، ۱۳۸۷.
۱۴. شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو)، (۱۳۸۱)، ساخت قطارهای منوریل (تک‌ریل) در shonan ژاپن، مجله تازه‌های ترافیک، شماره ۱۳، ص ۱۸.
۱۵. شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، (۱۳۸۵)، حمل‌ونقل و ترافیک تهران در یک نگاه در سال ۱۳۸۵ (آمارنامه).
۱۶. شهرداری تهران (شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه)، (۱۳۸۲)، قطار شهری هوایی در جهان، معاونت پشتیبانی (مدیریت برنامه‌وبودجه)، تهران.
۱۷. شهیدی ، محمدحسن، (۱۳۸۷)، تجربه منوریل در جهان و ارزیابی قابلیت آن برای کلان‌شهر تهران، چاپ اول، تهران، نشر لوح نگار.
۱۸. شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، (۱۳۸۳)، مطالعات قطار هوایی تهران سال ۱۴۰۰.
۱۹. شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو)، (۱۳۸۴)، طرح مطالعاتی و تحقیقاتی اسناد تاریخی متروی تهران: مترو یا مونوریل؟، تهران.
۲۰. کاظمی، آرش، (۱۳۸۳)، طرح کلی قطار هوایی تهران، مجله تازه‌های ترافیک، سال سوم، شماره۷.
۲۱. گزارش توجیهی ضرورت استفاده از سیستم قطار سبک شهری در تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی ترافیک واحد حمل‌ونقل عمومی، ۱۳۸۰.
۲۲. محمدی، محمدباقر، (۱۳۸۳)، اولویت‌بندی کریدورها جهت احداث و بهره‌برداری از سیستم حمل‌ونقل ریلی، مجله تازه‌های ترافیک، شماره ۳۶، ص ۴.
۲۳. معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی ترافیک سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، (۱۳۸۳)، بررسی سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل ریلی، مجله تازه‌های ترافیک، شماره ۲۴، ص ۲۰.
۲۴. نصر، اصغر (۱۳۸۰)، ملاحظات کلی در رابطه با انواع سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل ریلی شهری، دانشکده مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، اسفند ۱۳۸۰.

25- Jakes, A.s, 1995, Economic Analysis of a monorail link between the stratosphere tower and downtown las Vegas, available at: www.monorails.org (des2011)
26- Japan railway Technical service, Report of study on urban transit system construction project in Tehran, 2008 March.
27- Hopkins, T.H, 2001, A nation wide high – speed monorail grid for the united states, available at: www.monorail society.com (Nov 2011)
28- Kennedy.R, 2003, considering monorail rapid transit for North American cities, available at: www.monorails.org (des2011)
29- Kuwabara & Hiraishi, 2001, new solution for urban tra ffic: small type monorail system, available at: www.monorail society. Com (may2000)
30- http:// www.lightrailnow.org (sep2011).