شرکت حمل و نقل ریلی
(مترو) غرب استان تهران

مشـــــاوران اندیشکار مشـــــاوران نقش محیط

به روز رسانی مطالعات امکان‌سنجی کریدور ریلی غرب استان تهران جهت اتصال به شبکه مترو تهران

مطالعات ناوگان (ROS/1)

تاریخ: شهریورماه ۱۴۰۳

شناسه گزارش: WestMetro-95042-ROS1-00

شرکت حمل و نقل ریلی (مترو) غرب استان تهران

مطالعات به روز رسانی مطالعات امکان‌سنجی کریدور ریلی غرب استان تهران جهت اتصال به شبکه مترو تهران

مطالعات ناوگان (ROS/1)

شهریور ۱۴۰۳

مشاوران اندیشکار

اولین مشاور ایران در رسته حمل و نقل و ترافیک

بسم الله الرحمن الرحيم

شناسنامه گزارش		
عنوان پروژه	**به روز رسانی مطالعات امکان‌سنجی کریدور ریلی غرب استان تهران جهت اتصال به شبکه مترو تهران**	
عنوان گزارش	مطالعات ناوگان (ROS/1)	
شماره قرارداد	۰۲/م/۰۳۸	
تاریخ قرارداد	۱۴۰۲/۰۲/۱۶	
شناسه گزارش	WestMetro-95042-TRF1-00	
کارفرما	مهندس امین رحمتی	مدیر عامل شرکت حمل و نقل ریلی (مترو) غرب استان تهران
ناظر پروژه	مهندس مرتضی موسویان	معاون فنی شرکت حمل و نقل ریلی (مترو) غرب استان تهران
کارکنان کلیدی و عوامل مشاور	دکتر امیررضا مهدوی	مدیر پروژه
	مهندس سامان مشاق زاده دکتر مهدی باوقار	مشاوران عالی پروژه
	سید حسام موسوی	سایر عوامل کلیدی پروژه
	کوشان خلفی	
ارسال گزارش	تعداد نسخه	یک
	تاریخ ارسال	شهریور ۱۴۰۳
	شماره نامه ارسال	

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱۰
۱-۱- شرح خدمات و فرضیات کلیدی ۱۰
۱-۲- هدف از تدوین و روش انجام ۱۱
۱-۳- مدارک مورد استناد و مراجع ۱۱
۱-۴- تعاریف و لیست اختصارات ۱۲
۱-۴-۱- بهره‌برداری در راه‌آهن ۱۲
۱-۴-۲- لیست اختصارات ۱۳
۲- مطالعه نتایج مطالعات فرادست برای استخراج ظرفیت مناسب ناوگان ۱۴
۲-۱- نتایج مطالعات ترافیک مسافر به‌عنوان مطالعات فرادست ناوگان ۱۴
۲-۲- مرور کریدور و وضعیت پلان و پروفیل ۱۶
۲-۲-۱- معیارهای طراحی پلان و پروفیل از دیدگاه انواع مُدهای حمل‌ونقل ۱۶
۲-۲-۲- توصیف عمومی کریدور محدوده غربی خط اکسپرس B ۱۷
۳- بررسی نتایج مطالعات ناوگان سایر خطوط قطار شهری یا حومه‌ای موجود مرتبط با کریدور ۲۰
۴- مقایسه کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به سامانه ریلی مشخص شده در مطالعات حمل‌ونقل ۲۵
۴-۱- مقدمه ۲۵
۴-۲- طبقه‌بندی مُدهای مختلف حمل‌ونقل ریلی ۲۶
۴-۲-۱- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی هدایت شونده AGT ۲۹
۴-۲-۲- تراموا ۳۰
۴-۲-۳- قطار سبک شهری LRT ۳۱
۴-۲-۴- مونوریل ۳۵
۴-۲-۵- مترو و سیستم‌های ریلی پرظرفیت و سنگین ۳۷
۴-۲-۶- حومه‌ای و منطقه‌ای ۴۱
۴-۳- روش انتخاب مُد حمل‌ونقل عمومی مناسب ۴۲
۵- مقایسه کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به ویژگی‌های مکانی جانمایی سامانه ریلی در مطالعات شهری ۴۴
۵-۱- مقدمه‌ای بر ناوگان ریلی ۴۴
۵-۲- دسته‌بندی سیستم‌های ریلی بر اساس کاربرد ۴۸

۵-۳- شناخت اولیه از انواع ناوگان ریلی در مُدهای مختلف حمل‌ونقل عمومی ۵۰
۵-۴- راه‌آهن شهری ۵۱
۵-۴-۱- مترو ۵۱
۵-۴-۲- قطار شهری سبک و تراموا ۶۲
۵-۵- طبقه‌بندی انواع ناوگان ریلی ۷۲
۵-۵-۱- تعریف و انتخاب سطح سرویس‌دهی مناسب ناوگان ۷۲
۵-۵-۲- بررسی و تعیین روش جذب انرژی توسط ناوگان ۷۴
۵-۵-۳- بررسی و تعیین نوع و سطح ولتاژ مناسب ۷۷
۶- انتخاب مُد حمل و نقل و ناوگان ارجح متناسب با شرایط طرح ۸۱
۶-۱- انتخاب مُد حمل و نقل ۸۱
۶-۲- انتخاب ناوگان متناسب با مُد حمل و نقل ۸۲
6-3- تاثیر چیدمان صندلی در سالن مسافری ۸۴
۶-۴- تعیین ترکیب‌بندی قطار پیشنهادی در بخش غربی خط اکسپرس B ۸۷
۶-۴-۱- بررسی نیازمندی‌های بهره‌برداری بر اساس مطالعات فرادست و PPHPD حدود ۱۸۰۰۰ ..... ۸۷
۶-۴-۲- بررسی نیازمندی‌های بهره‌برداری بر اساس مطالعات فرادست و PPHPD حدود ۲۲۰۰۰ ..... ۹۱
۶-۵- تحلیل و جمع‌بندی در خصوص ترکیب‌بندی ناوگان پیشنهادی ۹۵
۶-۶- خلاصه مشخصات و پارامترهای عملکردی ناوگان ۹۷
۷- ملزومات عمومی تعمیر و نگهداری واگن‌ها ۹۸
۷-۱- تعیین اولیه سطوح تعمیر و نگهداری لازم برای ناوگان ۹۸
۷-۱-۱- اهداف تعمیرات و نگهداری ۹۸
۷-۱-۲- واژه‌شناسی و تعاریف ۹۹
۷-۱-۳- معرفی سطوح تعمیراتی ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- فعالیت‌های فنی، تجاری و تعمیر و نگهداری بهره‌برداری راه‌آهن ۱۳
شکل ۱-۳ : نقشه خطوط متروی تهران ۲۰
شکل ۱-۴- طبقه‌بندی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی ۲۷
شکل ۲-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و سرعت تجاری ۲۸
شکل ۳-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و فاصله متوسط بین ایستگاهی ۲۸
شکل ۴-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و هزینه احداث ۲۹
شکل ۵-۴- نمونه تراموای شهری ۳۱
شکل ۶-۴- قطار سبک شهری LRT ۳۱
شکل ۷-۴- قطار مونوریل ۳۵
شکل ۸-۴- مترو / MRT ۳۷
شکل ۱-۵- تقسیم‌بندی ناوگان ریلی ۴۴
شکل ۲-۵- انواع قطارهای مسافری ۴۵
شکل ۳-۵- قطار خودکشش پردیس (DMU) / طراحی شرکت زیمنس ۴۶
شکل ۴-۵- قطار خودکشش ارم (DMU) / طراحی شرکت روتم ۴۷
شکل ۵-۵- عملکرد یک قطار دو سر ۴۷
شکل ۶-۵- نمونه‌ای از قطار دو سر ۴۸
شکل ۷-۵- دسته‌بندی انواع مُدهای حمل‌ونقل ریلی ۴۹
شکل ۸-۵- انواع ناوگان مورد استفاده در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری (جاده‌ای و ریلی) ۵۰
شکل ۹-۵- طبقه‌بندی ناوگان ریلی در مُدهای مختلف حمل‌ونقل از نظر عرض و ارتفاع قطار ۵۱
شکل ۱۰-۵- مترو Athens (قطار با چرخ و محور فولادی، کنترل توسط راهبر) ۵۳
شکل ۱۱-۵- مترو Lausanne (قطار با چرخ‌های لاستیکی و بدون راهبر) ۵۳
شکل ۱۲-۵- طبقه‌بندی سیستم‌های مترو بر اساس درجه اتوماسیون و نحوه بهره‌برداری آن‌ها ۵۴
شکل ۱۳-۵- حضور ناظر در قطار با سطح اتوماسیون GoA3 ۵۶
شکل ۱۴-۵- نمای یک بوژی مترو با چرخ‌های لاستیکی ۶۰
شکل ۱۵-۵- نمای یک بوژی مترو با چرخ و محور فولادی ۶۰
شکل ۱۶-۵- نمایی از قطار سبک شهری در مسیر اختصاصی ۷۱
شکل ۱۷-۵- نمایی داخلی از یک قطار سبک شهری ۷۱
شکل ۱-۶- نمایی چیدمان عرضی و طولی قطارهای مترویی استفاده شده در کشور ۸۵
شکل ۱-۷- دیاگرام انواع عملیات تعمیرات و نگهداری ۹۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲- نتایج اولیه مطالعات ترافیک مسافر (مسافران سوار و پیاده شده سناریو مصوب در سال ۱۴۲۰)..... ۱۵
جدول ۲-۲- معیارهای طراحی هندسی خطوط..... ۱۶
جدول ۳-۲- وضعیت اولیه جانمایی ایستگاه‌های بخش غربی خط اکسپرس **B**..... ۱۷
جدول ۴-۲- وضعیت اولیه جانمایی قوس‌های افقی مهم در بخش غربی خط اکسپرس B..... ۱۸
جدول ۵-۲- وضعیت اولیه شیب و فرازها در بخش غربی خط اکسپرس B..... ۱۹
جدول ۱-۳: مشخصات فنی اصلی ناوگان در شبکه متروی تهران..... ۲۴
جدول ۱-۴ - مزایا و معایب سیستم‌های حمل‌ونقل هدایت‌شونده AGT..... ۳۰
جدول ۲-۴- مزایا و معایب قطار شهری سبک..... ۳۳
جدول ۳-۴- مزایا و معایب مونوریل..... ۳۷
جدول ۱-۵- مشخصات اصلی ساختی و عملکردی متروی سبک و سنگین..... ۵۴
جدول ۲-۵- مقایسه مزایا و معایب سیستم‌های بهره‌برداری اتوماتیک با سیستم‌های با راهبر..... ۵۶
جدول ۳-۵- مزایا و معایب قطارهای دارای چرخ‌های لاستیکی و قطارهای با چرخ و محور فولادی..... ۶۱
جدول ۴-۵- خلاصه مشخصات عملکردی یک واگن مترو سبک با ۵ واگن..... ۶۲
جدول ۵-۵- مختلف بارگذاری بر اساس استاندارد EN 13452-1..... ۷۴
جدول ۶-۵- انواع ولتاژهای مورد استفاده برای راه‌آهن برقی بر طبق استاندارد EN-50163 و IEC-60850..... ۷۹
جدول ۷-۵- سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از کشورهای مهم جهان..... ۷۹
جدول ۸-۵- سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از شهرهای ایران..... ۸۰
جدول ۱-۶- نتیجه اولیه انتخاب مُد حمل‌ونقل از دیدگاه بهره‌برداری و کارکرد سیستم..... ۸۱
جدول ۲-۶- مقایسه اقتصادی در خصوص مقایسه تغییر سطح ولتاژ از ۷۵۰ ولت به ۱۵۰۰ ولت..... ۸۳
جدول ۳-۶- ظرفیت ناوگان در آلترناتیوهای مختلف ترکیب‌بندی واگن و چیدمان صندلی‌ها..... ۸۶
جدول ۴-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ – تعیین هدوی تئوریک..... ۸۷
جدول ۵-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)..... ۸۷
جدول ۶-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی تئوریک..... ۸۸
جدول ۷-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)..... ۸۸
جدول ۸-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی تئوریک..... ۸۹
جدول ۹-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)..... ۸۹
جدول ۱۰-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه – تعیین هدوی تئوریک..... ۹۰
جدول ۱۱-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا) ۹۰
جدول ۱۲-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ – تعیین هدوی تئوریک..... ۹۱
جدول ۱۳-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)... ۹۱
جدول ۱۴-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی تئوریک..... ۹۲
جدول ۱۵-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)... ۹۲
جدول ۱۶-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی تئوریک..... ۹۳
جدول ۱۷-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)... ۹۳

جدول ۱۸-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه – تعیین هدوی تئوریک ۹۴
جدول ۱۹-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه - تعیین هدوی عملی رّند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا) ۹۴
جدول ۲۰-۶- ارزیابی گزینه‌های انتخاب ناوگان از دیدگاه ترکیب‌بندی و قابلیت توسعه در افق‌های آتی ۹۵
جدول ۲۱-۶- خلاصه مشخصات فنی و عملکردی ناوگان پیشنهادی ۹۷

۱- مقدمه

۱-۱- شرح خدمات و فرضیات کلیدی

با رشد و توسعه شهرها و افزایش جمعیت آن‌ها، تقاضا برای سفرهای درون‌شهری و برون‌شهری افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در شهرهای بزرگ، افزایش تعداد سفرهای درون‌شهری موجب به‌وجودآمدن معضل پیچیدهٔ ترافیک، اتلاف وقت مسافران در گره‌های ترافیکی، افزایش تصاعدی مصرف انرژی، آلودگی محیط زیست و موارد مشابه می‌شود. برای غلبه بر این مشکل باید از سیستم حمل‌ونقلی استفاده شود که در کنار برآورده کردن تقاضای سفر، موجب افزایش مشکلات در شهر نشود. بنابراین به نظر می‌رسد بهترین گزینه برای این مسئله، توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی باشد. برای این منظور می‌توان از سیستم‌های مختلفی نظیر اتوبوس، تراموا، مترو و یا موارد مشابه آن استفاده نمود. این سیستم‌ها برای نیل به اهداف متفاوتی، از جمله افزایش راحتی و امنیت سفر، کاهش آلودگی هوا، حفظ محیط زیست، کاهش زمان سفر، حل مشکلات ترافیکی ناشی از تردد وسایل نقلیه شخصی و نیز ایجاد تنوع در انتخاب وسیله نقلیه ایجاد می‌شوند که شامل طیف وسیعی از تکنولوژی‌های مختلف هستند. ولی با وجود همهٔ این اقدامات، هنوز شهرها با مشکلات ترافیکی بسیاری روبرو هستند. به همین دلیل، ارائه راهکارهای صحیح و مناسب جهت رفع مشکلات فوق، با به‌کارگیری روش‌های دقیق و مبتنی بر اصول علمی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

امروزه با توجه به شرایط اقتصادی- اجتماعی شهرهای بزرگ، هرگونه برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صحیح در جهت توسعه بهبود و تقویت سیستم حمل‌ونقل همگانی، تأثیر مثبت و بسزایی در عملکرد سیستم حمل‌ونقل آن‌ها خواهد داشت. در صورت عملکرد صحیح این سیستم و افزایش کارایی آن، علاوه بر آنکه رضایت بیشتر استفاده‌کنندگان فراهم می‌شود، بخشی از مسافرین سیستم حمل‌ونقل شخصی نیز جذب آن خواهند شد و از این طریق، بار ترافیکی موجود در شبکه و عوارض منفی ناشی از آن کاهش می‌یابد.

در این گزارش سعی شده تا آن دسته از سیستم‌های رایجی که در ظرفیت‌های مختلف، در دنیا مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شود. سپس در ادامه، سیستم مناسب از دیدگاه‌های مختلف بررسی و برای قسمت غربی خط اکسپرس B شبکه متروی تهران با تمرکز بر ایستگاه‌های محدوده سه‌راه مارلیک تا ملکی و با پیش‌بینی ملاحظات در خصوص امکان بهره‌برداری مشترک در شبکه متروی شهر تهران انتخاب شود.

به‌منظور تهیه گزارش حاضر معیارهای ذیل مدنظر بوده است:

- نتایج مطالعات فرادست برای استخراج ظرفیت مناسب ناوگان
- نتایج مطالعات ناوگان سایر خطوط متروی تهران و سایر کلان‌شهرهای ایران
- مقایسهٔ کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به سامانه ریلی
- مقایسهٔ کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به ویژگی‌های مکانی جانمایی سامانه ریلی در مطالعات شهری
- انتخاب ناوگان ارجح با توجه به الزامات عملکردی، محدودیت‌ها و عوامل تأثیرگذار
- پیشنهاد اولیه تعیین ساختار قطارها و تعداد واگن‌ها، معرفی چیدمان قطارها بر اساس نتایج مطالعات ترافیک مسافر و PPHPD
- ارائه ملزومات عمومی تعمیر و نگهداری واگن‌ها

۱-۲- هدف از تدوین و روش انجام

هدف از تدوین گزارش حاضر پیشنهاد اولیه مُد حمل‌ونقل و سپس انتخاب تکنولوژی ناوگان متناظر است. روش بکار گرفته شده برای رسیدن به این پیشنهادات و انتخاب ناوگان به شرح خلاصه ذیل است که جزئیات مربوط در فصول بعدی قابل رجوع است:

- شناسایی انواع مُدهای حمل‌ونقل عمومی و تکنولوژی‌های روز دنیا برای هر یک از انواع حمل‌ونقل عمومی
- ارزیابی اولیه هزینه‌های نسبی و مزایای انواع مُدهای قابل مقایسه حمل‌ونقل ریلی
- پیشنهاد مُد ترجیحی حمل‌ونقل و تبیین مشخصات فیزیکی و عملکردی مفهومی ناوگان انواع مُد حمل‌ونقل ریلی
- معرفی اولیه از معیارهای طراحی سیویل متناظر با هر یک از مُدهای حمل‌ونقل

۱-۳- مدارک مورد استناد و مراجع

[1]. URBAN TRANSIT SYSTEMS AND TECHNOLOGY, Vukan R. Vuchic, JOHN WILEY & SONS, INC.
[2]. URBAN TRANSIT MODE COMPARISON AND SELECTION, A Thesis by Carly Susan Queen, Georgia Institute of Technology.
[3]. The Project for Comprehensive Urban Transport Plan in Phnom Penh Capital City.

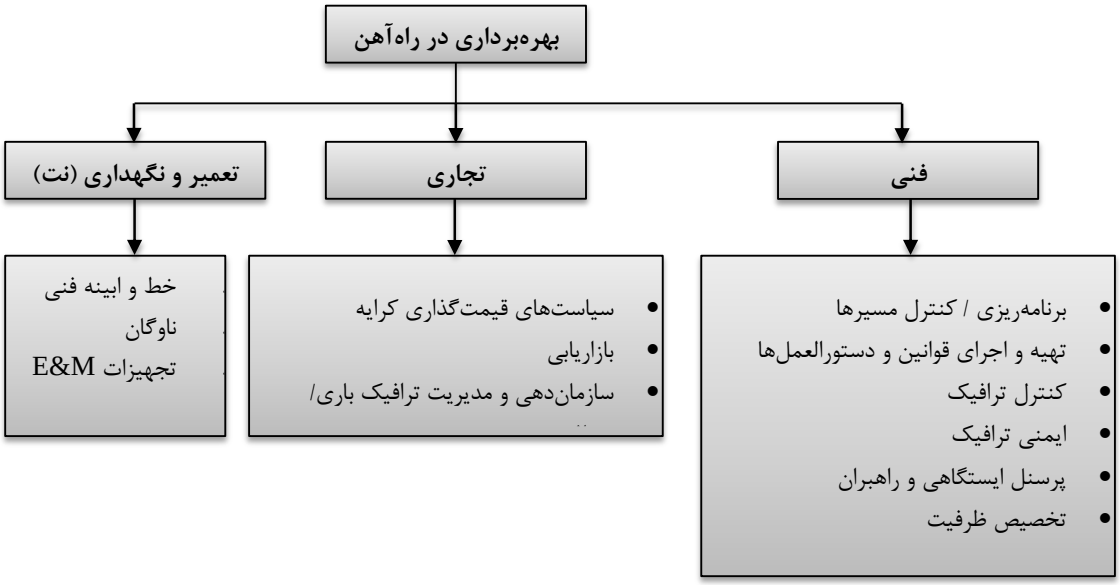
[4]. Railway Transportation Systems (Design, Construction and Operation), CHRISTOS N. PYRGIDIS, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, CRC Press.
[5]. Transportation Modes, Isfahan Line 2 Project, By SYSTRA Consultant.
[6]. Isfahan Mass Rapid Transit Feasibility Study, by PPK Environment & Infrastructure Pty Ltd.
[۷]. گزارش فنی - معرفی اینترفیس‌های ناوگان با تجهیزات مترو سیستم و زیرساخت ریلی، پروژه احداث قطار برقی و توسعه زیرساخت شهر جدید پردیس

۱-۴- تعاریف و لیست اختصارات

با توجه به تنوع ناوگان ریلی در سراسر دنیا و برای هر یک از انواع مُدهای حمل‌ونقل، مرز مشخصی و جداکننده‌ای بین این انواع به‌طور شفاف وجود نداشته و مُدهای حمل‌ونقل عمومی همپوشانی خواهند داشت. به‌طور مشخص نیز چنین مرزی در تعریف ناوگان ریلی به عنوان مثال بین LRT، Metro/Light Metro و MRT وجود ندارد. در چنین شرایطی با توجه به مشابهت بین ظرفیت حمل‌ونقل و مشخصات الکتریکی و مکانیکی ناوگان، تمایز بین ناوگان ریلی از طریق نیازمندی‌های هندسی واگن‌ها، سرعت بهره‌برداری، شتاب‌های شروع به حرکت و ترمزی و ... معین می‌شود.

۱-۴-۱- بهره‌برداری در راه‌آهن

اصطلاح «بهره‌برداری» در راه‌آهن به کلیه فعالیت‌هایی که یک شرکت راه‌آهن از طریق آن‌ها، خدمات درآمد را تأمین می‌کند، توصیف می‌شود. بهره‌برداری ممکن است به دو بخش فنی و تجاری تقسیم شود. شکل ۱-۱ فعالیت‌های فنی و تجاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- فعالیت‌های فنی، تجاری و تعمیر و نگهداری بهره‌برداری راه‌آهن

۱-۴-۲- لیست اختصارات

با توجه به اینکه مطالعات پیش‌رو برای قسمت غربی خط اکسپرس B شبکه متروی تهران به‌منظور تعیین مُد حمل‌ونقلی ریلی و تکنولوژی ناوگان مورد استفاده، تدوین شده است، به‌این‌ترتیب اختصارات مورد نیاز به شرح ذیل قابل تعریف هستند:

AGT	Automated Guideway Transit
DMU	Diesel Multiple Unit
EMU	Electric Multiple Unit
LRT	Light Rapid Transit
LRU	Line Replaceable Unit
MRT	Massive Rail Transit
PA	Public Address
PIS	Passenger Information System
PPHPD	Passengers per Hour per Direction
ROW	Right of Way
TPS	Traction Post Substation
WRU	Workshop Replaceable Unit

۲- مطالعه نتایج مطالعات فرادست برای استخراج ظرفیت مناسب ناوگان

مطالعات ترافیک مسافر در بخش ۲-۱-۱ از نشریه ۷۷۷ با عنوان مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به عنوان مطالعات فرادست برای استخراج ظرفیت مناسب ناوگان است که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

۲-۱- نتایج مطالعات ترافیک مسافر به‌عنوان مطالعات فرادست ناوگان

مطابق نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، اطلاعات ترافیک مسافر در خط اکسپرس B متروی تهران به شرح جدول ۲-۱ است.

با توجه به PPHPD به‌دست‌آمده برای این خط که در تمامی سناریوهای مطرح شده کمتر از ۲۳۰۰۰ نفر می‌باشد و در سناریو مصوب در طرح جامع حدود ۱۸۰۰۰ نفر تخمین زده شده است؛ می‌توان در ادامه با فرض قطارهای ۶ واگنه، ۸ واگنه و ۱۰ واگنه (با در نظر گرفتن قابلیت سیر بصورت یونیت‌های چندگانه Multiple Unit Operation) و یک مقایسه موردی با قطارهای ۷ واگنه (بدون قابلیت سیر بصورت یونیت چندگانه) در انطباق با ویژگی‌های ابعادی و وضعیت فعلی واگن‌های شبکه فعلی متروی تهران و سایر کلان شهرهای ایران، نسبت به ارزیابی هدوی مورد نیاز در این خط اقدام نمود. در محاسبات تقریبی از پیش‌نیازهای بهره‌برداری با فرض در نظر گرفتن سطح آسایش حداکثر ۴ مسافر در هر مترمربع و ظرفیت نشسته واگن‌ها که جمعاً منجر به تعداد ۸۰۷ نفر در هر قطار ۶ واگنه خواهد شد، محاسبات تعیین هدوی و تعداد قطار مورد نیاز در بهره‌برداری در افق طرح ارائه شده است که نتایج مربوطه در این خصوص برگرفته از مطالعات فرادست ناوگان در فصل ۶ ارائه شده است.

جدول ۱-۲- نتایج اولیه مطالعات ترافیک مسافر (مسافران سوار و پیاده شده سناریو مصوب در سال ۱۴۲۰)

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	نوع ایستگاه	جهت شهریار به پردیس		جهت پردیس به شهریار		PPHPD	
				سوار شده	پیاده شده	سوار شده	پیاده شده	شهریار به پردیس	پردیس به شهریار
۱	سه راه مارلیک	Exp B 01	تبادل با خط ۲ مترو کرج	۲,۱۲۱	۰	۰	۶۲۴	۲,۱۲۱	۰
۲	سرآسیاب	Exp B 02	عادی	۱,۱۵۷	۰	۰	۱۰۴	۳,۲۷۸	۶۲۴
۳	اندیشه	Exp B 03	عادی	۳,۲۷۸	۰	۸۶	۲۰۸	۶,۵۵۶	۷۲۸
۴	وائین	Exp B 04	عادی	۷۷۱	۰	۴۳	۵۲	۷,۳۲۷	۸۵۰
۵	شهریار	Exp B 05	عادی	۲,۳۱۴	۲۲۳	۲۱۵	۲,۰۸۱	۹,۴۱۸	۸۵۹
۶	بابا سلمان	Exp B 06	عادی	۹۶۴	۰	۱۰۸	۱۵۶	۱۰,۳۸۲	۲,۷۲۵
۷	قدس	Exp B 07	عادی	۷,۷۱۲	۲۴۴	۲۵۸	۱,۵۶۱	**۱۷,۸۵۰**	۲,۷۷۳
۸	ملکی	Exp B 08	تبادل با خط ۱۰ و قطار حومه‌ای تهران هشتگرد	۹۶۴	۱,۵۶۳	۱,۴۴۲	۴۱۶	۱۷,۲۵۱	۴,۰۷۶
۹	سپاه اسلام	Exp B 09	عادی	۵۴۲	۷۴۰	۳۴	۱,۰۱۷	۱۷,۰۵۳	۳,۰۵۰
۱۰	نیک پسندی	Exp B 10	تبادل با خط ۱۱ و قطار حومه‌ای تهران هشتگرد	۱,۷۹۵	۳,۹۶۶	۲,۰۲۲	۶۷۴	۱۴,۸۸۲	۴,۰۳۳
۱۱	تهرانسر	Exp B 11	عادی	۷۴۸	۵۶۸	۱۷۵	۷۴۰	۱۵,۰۶۲	۲,۶۸۵
۱۲	بیمه	Exp B 12	تبادل با خط ۴	۳۱	۱۲۲	۴۹	۶۱	۱۴,۹۷۱	۳,۲۵۰
۱۳	پایانه آزادی	Exp B 13	تبادل با خط ۴	۳۷۱	۸,۳۸۶	۹۷۱	۱,۰۰۱	۶,۹۵۶	۳,۲۶۲
۱۴	مترو صادقیه	Exp B 14	تبادل با خط ۲ و خط ۵	۱,۸۳۶	۲,۱۵۹	۱,۱۳۷	۱,۰۸۹	۶,۶۳۳	۳,۲۹۲
۱۵	اشرفی اصفهانی مرزداران	Exp B 15	تبادل با خط ۶	۹۰۳	۱,۷۲۴	۱,۲۸۹	۵۸۰	۵,۸۱۲	۳,۲۴۴
۱۶	اشرفی اصفهانی همت	Exp B 16	تبادل با خط ۹	۱,۱۸۶	۱,۲۳۱	۸۷۱	۴۷۳	۵,۷۶۷	۲,۵۳۵
۱۷	برج میلاد	Exp B 17	تبادل با خط ۷	۵۴۹	۱,۱۳۵	۳۵۷	۶۸۰	۵,۱۸۱	۲,۱۳۷
۱۸	همت	Exp B 18	تبادل با خط یک	۶۲۵	۲,۲۰۵	۵۹۴	۸۴۷	۳,۶۰۱	۲,۴۶۰
۱۹	زین‌الدین	Exp B 19	تبادل با خط ۳	۸۲	۸۴۶	۱۶۶	۳۶۶	۲,۸۳۷	۲,۷۱۳
۲۰	خوشوقت	Exp B 20	تبادل با خط ۱۰	۱,۳۷۵	۱,۰۴۷	۵۱۶	۳,۶۸۴	۳,۱۶۵	۲,۹۱۳
۲۱	دانشگاه بهشتی - عباسپور	Exp B 21	تبادل با خط ۴	۱,۱۶۵	۵۵۸	۱,۹۸۲	۸۰۴	۳,۷۷۲	**۶,۰۸۱**
۲۲	پایانه شرق	Exp B 22	تبادل با خط ۲	۳۸۲	۱,۳۲۴	۱,۷۷۲	۲,۹۴۸	۲,۸۳۰	۴,۹۰۳
۲۳	بیمارستان لواسانی	Exp B 23	عادی	۳۹	۵۰۴	۳۵۷	۲۳۹	۲,۳۶۵	۶,۰۷۹
۲۴	جاجرود	Exp B 24	عادی	۵۶	۲۷۱	۴۴۰	۳۲	۲,۱۵۰	۵,۹۶۱
۲۵	پردیس ۱	Exp B 25	عادی	۱۰۸	۶۷۹	۲,۵۱۳	۱۲۹	۱,۵۷۹	۵,۵۵۳
۲۶	پردیس ۲	Exp B 26	عادی	۱۱۰	۹۴۷	۲,۱۹۹	۱۲۸	۷۴۲	۳,۱۶۹
۲۷	بومهن	Exp B 27	عادی	۷۵	۴۰۸	۶۲۸	۳۲	۴۰۹	۱,۰۹۸
۲۸	رودهن	Exp B 28	عادی	۱۹	۱۴۷	۳۱۴	۰	۲۸۱	۵۰۲
۲۹	مهرآباد	Exp B 29	عادی	۰	۲۸۱	۱۸۸	۰	۰	۱۸۸

۲-۲- مرور کریدور و وضعیت پلان و پروفیل

هدف از انجام مطالعات امکان‌سنجی، شناسایی کریدورهای قابل استفاده جهت راه‌اندازی یک مُد حمل‌ونقل عمومی مناسب بوده که این مهم پیش‌تر در طرح جامع حمل‌ونقل ریلی به انجام رسیده و موقعیت و کریدور خط اکسپرس B شبکه متروی تهران پیشنهاد شده است.

در این مرحله، هدف تدقیق و انتخاب نهایی مُد حمل‌ونقل و تعیین کلاس کاری ناوگان موردنظر برای این ۴ خط بوده و برای این منظور در این بخش از دیدگاه پلان و پروفیل و هندسه مسیر نسبت به ارزیابی کریدور مصوب پیش‌بینی شده برای خطوط مذکور اقدام شده است.

۲-۲-۱- معیارهای طراحی پلان و پروفیل از دیدگاه انواع مُدهای حمل‌ونقل

هدف در این بخش تعیین طرح هندسی نبوده و صرفاً به‌صورت اجمالی معیارهای مفهومی در طراحی اولیه، بر اساس تجربیات جهانی مورد بررسی قرار گرفته شده که نتیجه در جدول ۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۲- معیارهای طراحی هندسی خطوط

معیار	اتوبوس	تراموا	LRT	MRT	منطقه‌ای
حداکثر سرعت بهره‌برداری					
- عمومی	100 km/h مناطق غیرشهری 70 km/h مناطق شهری	70 km/h 10 km/h	70 km/h 40 km/h	80 km/h 50 km/h	150 km/h 100 km/h
- در ایستگاه‌ها					
حداکثر شیب طولی					
- مطلق	6%	4%	5%	5%	3%
- ایده‌آل	4%	3%	4%	3%	2%
- در ایستگاه‌ها	کاربردی ندارد	1.0%	0.2%	0.2%	0.2%
حداقل شعاع قوس در خط اصلی*					
- مطلق		25 m	50 m	250 m	250 m
- ایده‌آل	کاربردی ندارد	40 m	80 m	350 m	350 m
- در ایستگاه‌ها		≥100 m	≥600 m	≥1000 m	≥1000 m
حداقل ارتفاع مورد نیاز در مسیر	≥4 m	≥ 4.0 m / 3rd Rail ≥ 4.8 m / OCS		≥ 4.3 m / 3rd Rail ≥ 5.0 m / OCS	≥ 5.2 m / OCS در مسیر روباز
طول سکو	متغیر	≥ 24 m	≥ 50 m	≥ 100 m	≥ 150 m

* شعاع قوس قابل پیمایش توسط ناوگان، کاملاً وابسته به طراحی سازنده است و در این جدول برخی تجربیات جهانی ذکر شده است.

ازآنجایی‌که مسیر عبور اتوبوس و تراموا عمدتاً معابر موجود شهری هستند، بنابراین معیارهای طراحی

هندسی بسته به موقعیت اجرا، متفاوت است.

توصیه می‌شود که در شرایطی که امکان آن وجود دارد، در طراحی خطوط ریلی مربوط به مُدهای LRT، MRT و قطار منطقه‌ای، معیارهای سختگیرانه مورد توجه واقع شوند.

۲-۲-۲- توصیف عمومی کریدور محدوده غربی خط اکسپرس B

خط اکسپرس B در شبکه ریلی تهران به طول تقریبی ۱۰۶ کیلومتر (با توسعه‌ی غربی به سمت مارلیک و توسعه شرقی به پردیس) و دارای حدود ۲۹ ایستگاه است. در جدول ۳-۲ موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های سمت غربی این خط نمایش داده شده است. طول اولیه ایستگاه‌ها در پلان و پروفیل ۱۶۰ متر فرض شده است. موقعیت قوس‌های افقی مهم نیز در جدول ۲-۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳-۲- وضعیت اولیه جانمایی ایستگاه‌های بخش غربی خط اکسپرس B

کد ایستگاه	موقعیت محله ایستگاه	آرایش ایستگاه	شروع ایستگاه (متر)	مرکز ایستگاه (متر)	پایان ایستگاه (متر)	فاصله بین ایستگاهی (متر)
Exp B 01	سه راه مارلیک	▌| |▌	۰	۸۰	۱۶۰	۰
Exp B 02	سرآسیاب	▌| |▌	۱۲۵۳	۱۳۳۳	۱۴۱۳	۱۲۵۳
Exp B 03	اندیشه	▌| |▌	۳۲۷۲	۳۳۵۲	۳۴۳۲	۲۰۱۹
Exp B 04	وائین	▌| |▌	۵۱۷۲	۵۲۵۲	۵۳۳۲	۱۹۰۰
Exp B 05	شهریار	▌| |▌	۸۱۹۹	۸۲۷۹	۸۳۵۹	۳۰۲۷
Exp B 06	بابا سلمان	▌| |▌	۱۳۹۱۹	۱۳۹۹۹	۱۴۰۷۹	۵۷۲۰
Exp B 07	قدس	▌| |▌	۱۷۵۵۳	۱۷۶۳۳	۱۷۷۱۳	۳۶۳۴
Exp B 08	ملکی	▌| |▌	۲۱۹۹۸	۲۲۰۷۸	۲۲۱۵۸	۴۴۴۵

جدول ۴-۲- وضعیت اولیه جانمایی قوس‌های افقی مهم در بخش غربی خط اکسپرس B

Code	Radius(m)	Start(m)	End(m)	Length
C1	500	1409	1557	148
C2	-500	1980	2136	156
C3	-800	4989	5122	133
C4	500	5562	6191	629
C5	-300	7002	7640	638
C6	500	8634	8843	209
C7	-500	9117	9318	201
C8	500	9435	9671	236
C9	-500	9713	9913	200
C10	-500	9966	10152	186
C11	300	10163	10636	473
C12	-300	12348	10803	-1545
C13	300	13411	13866	455
C14	600	14432	14735	303
C15	300	15389	15570	181
C16	-600	16383	16559	176
C17	600	16980	17122	142
C18	-600	17705	17890	185
C19	600	18378	18682	304
C20	300	19482	20011	529
C21	-300	20512	20841	329
C22	300	21356	21630	274

در جدول بالا، علامت منفی معرف قوس‌های چپ‌گرد و علامت مثبت بیانگر قوس‌های راست‌گرد است.

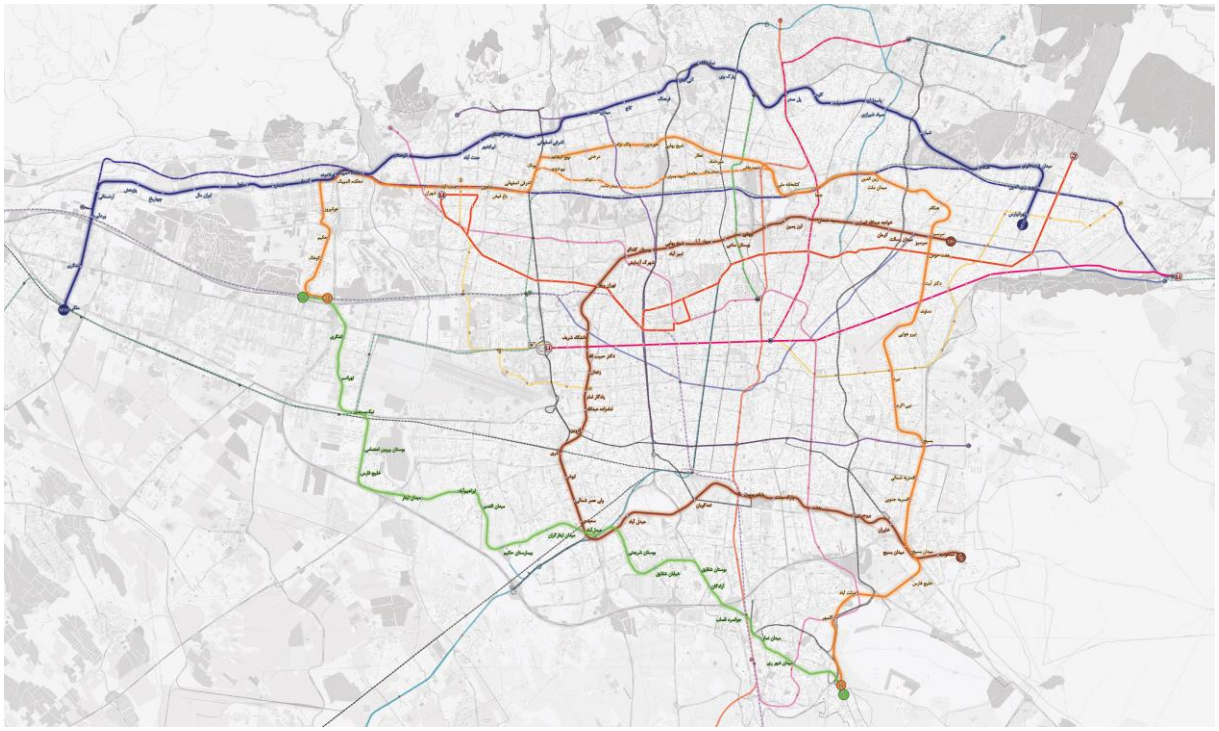
در جدول ۵-۲ وضعیت شیب و فرازها در بخش غربی خط اکسپرس **B** نمایش داده شده است.

جدول ۵-۲- وضعیت اولیه شیب و فرازها در بخش غربی خط اکسپرس B

کد	شیب (درصد)	شروع (متر)	پایان (متر)	طول (متر)
M1	-۰.۲	۰	۴۱۶	۴۱۶
M2	-۰.۴	۴۱۶	۱۲۳۴	۸۱۸
M3	-۰.۲	۱۲۳۴	۱۵۹۳	۳۵۹
M4	-۰.۵	۱۵۹۳	۳۲۵۰	۱۶۵۷
M5	-۰.۲	۳۲۵۰	۳۴۵۰	۲۰۰
M6	-۰.۸	۳۴۵۰	۴۹۳۴	۱۴۸۴
M7	-۰.۲	۴۹۳۴	۵۳۵۷	۴۲۳
M8	-۰.۴	۵۳۵۷	۸۱۷۵	۲۸۱۸
M9	-۰.۲	۸۱۷۵	۱۰۷۰۰	۲۵۲۵
M10	-۰.۵	۱۰۷۰۰	۱۳۸۹۱	۳۱۹۱
M11	۰.۲	۱۳۸۹۱	۱۴۱۲۵	۲۳۴
M12	۰.۶	۱۴۱۲۵	۱۷۴۷۵	۳۳۵۰
M13	۰.۲	۱۷۴۷۵	۱۷۶۸۷	۲۱۲
M14	۰.۵	۱۷۶۸۷	۲۱۹۰۱	۴۲۱۴
M15	۰.۲	۲۱۹۰۱	۲۲۴۲۰	۵۱۹

۳- بررسی نتایج مطالعات ناوگان سایر خطوط قطار شهری یا حومه‌ای موجود مرتبط با کریدور

در حال حاضر شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ۹.۱ میلیون نفر و مساحتی در حدود ۷۵۰ کیلومترمربع دارای ۷ خط مترو است که مجموعاً طولی برابر با ۲۸۰ کیلومتر و ۱۷۲ ایستگاه دارند. شبکه متروی تهران مطابق با شکل ۱-۳ است که در این گزارش از آن به عنوان شبکه پایه یاد خواهد شد.



شکل ۱-۳ : نقشه خطوط متروی تهران

پس از بررسی نتایج مطالعات ناوگان تمامی خطوط متروی تهران و یا قطارهای تأمین شده برای آن‌ها، مهم‌ترین ویژگی‌ها و مشخصات فنی تأثیرگذار در انتخاب ناوگان خط اکسپرس B و مشخصاً بخش غربی این خط و اطلاعات اینترفیسی و تأثیرگذار در مطالعات سایر حوزه‌های کاری به شرح ذیل می‌باشد.

- حداکثر و حداقل ولتاژ سیستم تأمین توان ترکشنی بر اساس استاندارد EN 50163 باید به شرح زیر باشد:
  - ولتاژ نرمال : ۷۵۰ ولت
  - حداقل ولتاژ کاری: ۵۰۰ ولت

- حداکثر ولتاژ کاری: ۹۰۰ ولت

شرایط تأمین برق باید مطابق استاندارد IEC 60850 باشد.

- قطر چرخ باید به صورت زیر در نظر گرفته شده است:
  - چرخ نو ۸۶۰ میلیمتر
  - چرخ نیمه فرسوده ۸۲۵ میلیمتر
  - چرخ تماماً فرسوده ۷۹۰ میلیمتر.
- سازنده در پیشنهاد فنی خود باید ثابت کند که طراحی تجهیزات ترکشنی قطار باید شرایط زیر را فراهم کند:
  - در صورت خرابی یک واحد ترکشن (یک بوژی موتوردار)، قطار باید بتواند طی یک روز تحت بار مسافری AW3 سرویس عادی خود را ادامه دهد.
  - یک قطار خالی با بار AW0، در شرایط بهره‌برداری نرمال، بدون خرابی از نقطه نظر hour rating موتور ترکشن و سایر تجهیزات، باید قادر به راه اندازی و هل دادن/کشیدن یک قطار معیوب با همان ترکیب در حداکثر بار مسافری و وزن قطار AW3 در تمام خطوط تا ایستگاه بعدی باشد. پس از آن، قطار سالم باید پس از اینکه همه مسافران از قطار معیوب در ایستگاه خارج شدند، شروع به کار کرده و در بدترین حالت شیب مشخص شده برای خط اصلی یا دپو، با حداکثر سرعت تا محدوده‌ی سرعت دستی، با ترمزهای آزاد در قطار معیوب، حرکت کند تا قطار معیوب را از سرویس خارج کند (بنابراین میزان چسبندگی باید توسط محاسبه در پیشنهاد فنی سازنده ارائه شود). در چنین شرایطی، حداکثر سرعت قطارهای کوپل شده با توجه به فرآیندهای بهره‌برداری ویژه محدود می‌شود (به عنوان مثال ۱۵ کیلومتر در ساعت). در حین بهره‌برداری ایمن، هیچ آسیب یا تخریبی در سیستم ها نباید اتفاق بیافتد.
- قطارها مورد نیاز باید ویژگی‌های اصلی زیر را داشته باشد:
  - دو بوژی برای هر واگن،
  - چرخ‌های استیل،
  - دو کابین راهبر، هر یک در هر انتهای قطار،
  - ۸ درب برای هر واگن (۴ درب در هر سمت)،
  - جمع آوری جریان توسط ۲ کفشک بروی هر بوژی

- بنابراین هر قطار به وسیله کوپلرهای مکانیکی نیمه‌اتوماتیک در انتهای آن ارائه می‌شود و هر قطار دو طرفه و برگشت‌پذیر با کابین‌های راهبری در هر دو انتهای آن خواهد بود.
- راهروهای ارتباطی بزرگی بین واگن‌ها ارائه می‌شود.
- قطار باید بصورت یکپارچه ساخته شود و از نظر ارتفاعی دسترسی به درب‌ها بیش از ۱,۱۰۰ میلیمتر از روی ریل باشد که هم‌سطح با ارتفاع سکوی ایستگاه و سازگار با نیاز دسترسی مسافر باشد.
- برای حداکثر نمودن فضای مسافرین ایستاده، ترتیب غالب برای صندلی‌ها، باید صندلی‌های طولی در امتداد بدنه باشد که بین درب های واگن قرار گیرند. این صندلی‌ها باید فردی و با حداقل عرض ۴۵۰ میلی‌متر باشد.
- هر واگن باید ارتفاع ۲,۱۰۰ میلی متر از کف تا سقف داخلی در تمام نقاط واگن را فراهم کند.
- سیستم رانش قطار توسط یک سیستم انتقال AC تأمین می‌شود و متشکل است از اینورترVVVF (ولتاژ متغیر فرکانس متغیر)، با استفاده از تکنولوژیIGBT (ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق)، موتورهای ترکشنی AC آسنکرون و تجهیزات کنترل‌کنندهٔ کامپیوتری. سیستم الکترونیکی باید با استاندارد IEC 60571 سازگار باشد.
- تجهیزات اینورتر باید به گونه‌ای نصب شوند که قادر به بازیابی انرژی در هنگام ترمز باشد.
- هر نوع بوژی باید به چهار سیلندر ترمز مجهز شود و هر دستگاه ترمز تنها روی یک چرخ اعمال می‌شود، که در آن، هر سیلندر ترمز مورب با بوژی، مجهز به دستگاه ترمز پارک است.
- ترمز اصطکاک ضد قفل به عنوان سیستم ترمزگیری نهایی در قطار عمل کرده، که در قالب یک ترمز پشتیبان برای ترمز دینامیکی در طول مدت اعمال ترمز سرویس و در عین حال سیستم ترمز اولیه در طول توقف‌های اضطراری و در زمانی که قطار پارک شده است، عمل می‌کند.
- حداقل دو دستگاه تامین کننده هوا یکسان با مخازن اصلی متعلقه در دو واگن قطار نصب می‌شوند و هر دستگاه تامین کننده هوا شامل واحد کمپرسور هوا الکتریکی و واحد کنترل کمپرسور هوا و سایر اجزاء می‌باشد. اتصال بین موتور و کمپرسور بادوام بوده و نیازی به نگهداری ندارد. کولر داخلی، کولر ثانویه و خشک کن هوا به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که هوای تخلیه شده دمای محیط را بیش از ۱۵ درجه سانتیگراد افزایش ندهد.
- جنس بدنه واگن‌ها فولاد کربنی و بخشی از واگن‌های در حال بهره‌برداری بدنه آلومنیومی می‌باشد.

- زمانی که بار استاتیک پایین‌تر از ۴۹۰ کیلو نیوتن به صورت افقی در امتداد کوپلینگ اعمال می شود، در همان زمان بدنه واگن بارهای عمودی حداکثری را تحمل می‌کند، تنش حاصل از بدنه واگن نباید از تنش مجاز طراحی افزایش یابد.
- راهروهای عبوری بین دو واگن باید با عرض ترجیحی ۷۰٪ از عرض کلی بدنه، و با ارتفاع ۱/۹۵ متر طراحی شوند.
- دو بوژی، هر کدام با دو محور، برای هر واگن باید ارائه شود و باید شامل دو مرحله تعلیق، اولیه و ثانویه باشد.
- بوژی باید با یک حاشیه امنیت بالا برای حداکثر سرعت سیر ۸۰ کیلومتر در ساعت و سرعت سازه‌ی ۹۰ کیلومتر در ساعت طراحی شود.
- طول عمر قاب بوژی بیش از ۳۰ سال است که آسیب‌های بزرگی از قبیل ایجاد ترک پذیرفتنی نیست.
- بوژی‌های واگنهای موتوردار باید یکسان و قابل تعویض با یکدیگر باشند.
- بوژی‌های واگنهای تریلر باید یکسان و قابل تعویض با یکدیگر باشند، اگر قطار از واگن‌های موتوردار و تریلر تشکیل شده باشد.
- سیستم تعلیق اولیه متشکل فنر کونیکال فلزی-لاستیکی تأیید شده باید برای جابجایی مناسب وزن قطار طراحی شده است.
- ارتفاع کوپلرها باید در محدوده ۶۶۰ میلیمتر می‌باشد.
- هر سالن مسافری باید با دو سیستم تهویه مطبوع و چندین وسیله گرمایشی مجهز باشد تا شرایط لازم و مورد نظر را دروضعیتهای مختلف فراهم کند. استفاده از مواد عایق حرارتی بین بدنه خارجی و داخلی قطار باید استفاده شود.
- خصوصیات شتابگیری و ترمزگیری ناوگان در کاهش زمان سفر نقش موثری خواهد داشت. توانایی ترمزگیری قطارهای بواسطه ضریب چسبندگی چرخ و ریل و همچنین آسایش مسافران (بویژه مسافران ایستاده) محدود می باشد، ولیکن رسیدن به حداکثر حد آسایش شتاب ترمزی در بهره برداری مطلوب می باشد. همچنین عدم راحتی و آسایش مسافران می تواند ناشی شتاب های شروع به حرکت بالا و بویژه نرخ زمانی تغییر شتاب (جرک) نیز باشد. ضمن اینکه بهبود وضعیت شتاب گیری ناوگان می‌تواند منجر به عملکرد بالاتر سیستم حمل و نقل شود.

در جدول ۱-۳ خلاصه مشخصات فنی و عملکردی ناوگان موجود در شبکه متروی تهران ارائه شده است.

جدول ۱-۳: مشخصات فنی اصلی ناوگان در شبکه متروی تهران

مشخصات	اطلاعات ورودی بدست آمده از مطالعات ناوگان
طول واگن	≥ ۲۰ متر
طول قطار	≥ ۱۶۰ متر
سیستم جمع آوری جریان	ریل سوم
ولتاژ کاری	۷۵۰ ولت
حداکثر سرعت طراحی قطار	۹۰ کیلومتر بر ساعت
حداکثر سرعت بهره برداری	۸۰ کیلومتر بر ساعت
حداقل شتاب شروع به حرکت	≈ ۱ متر بر مجذور ثانیه
شتاب متوسط از سرعت ۰ تا ۴۲٪ حداکثر سرعت بهره برداری	≈ ۱ متر بر مجذور ثانیه
حداقل شتاب مانده در حداکثر سرعت بهره برداری	≤ ۰.۱ متر بر مجذور ثانیه
شتاب نرمال ترمز سرویس از سرعت حداکثر تا توقف کامل	≈ ۱ متر بر مجذور ثانیه
حداقل شتاب ترمزی اضطراری	≈ ۱.۲ الی ۱.۳ متر بر مجذور ثانیه
حداکثر جرک مجاز	≈ ۰.۸ متر بر مکعب ثانیه
حداکثر شیب مسیر	≥ ٪ ۵
حداکثر بربلندی	≥ ۱۲۰ میلیمتر
حداکثر کسری بربلندی	≥ ۷۵ میلیمتر
تعداد صندلی های هر واگن	۴۲ صندلی برای واگن‌های با کابین و ۴۶ صندلی برای واگن‌های بدون کابین
وزن قطار بدون مسافر	حدود ۳۷.۵ تن واگن‌های موتوردار و ۳۳ تن واگن‌های تریلر
ظرفیت قطار در وضعیت باری *AW2 (۵ نفر در هر متر مربع)	بیش از ۱۳۱۲ نفر
ظرفیت قطار در وضعیت باری AW3 (۶ نفر در هر متر مربع)	بیش از ۱۵۱۵ نفر
مصرف ترکشنی قطار	بزرگتر یا مساوی ۴ مگاوات برای قطار ۷ واگنه
نوع موتور	آسنکرون
وزن مسافر	۷۵ کیلوگرم
وزن واگن با مسافران برای قطار ۷ واگنه	For AW0 load case :253.5 Tons For AW2* load case : 351.9 Tons For AW3 load case :367.15 Tons
سرعت تجاری	≈۳۵ کیلومتر بر ساعت

۴- مقایسه کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به سامانه ریلی مشخص شده در مطالعات حمل‌ونقل

۴-۱- مقدمه

روند افزایش سریع وسایل حمل‌ونقل موتوری به‌ویژه اتومبیل و استفاده بیش‌ازحد از آن، که از سال‌ها قبل در شهرهای ایران آغاز شده است، در بسیاری از کشورهای دیگر نیز کم‌وبیش مشاهده می‌شود. در این رابطه و به‌ویژه در کشورهای صنعتی پیشرفته، از سال‌ها قبل متخصصین و مدیریت‌های 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 زیربنایی جاده‌ای باعث افزایش بیشتر ترافیک و افزایش مشکلات خواهد شد. این گروه و اکثر دست‌اندرکاران امر حمل‌ونقل و ترافیک شهری متفق‌القولند که منطقی 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 کارا، ایمن و از نظر اقتصادی قابل توجیه است.

یکی از عمده‌ترین و کلیدی‌ترین مراحلی که در این رابطه در مقابل تصمیم‌گیران امر حمل‌ونقل قرار دارد انتخاب سیستم بهینه و مناسب از بین انواع سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و رایج کشور یا جهان است. گرچه سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری در دنیا از لحاظ نوع به دو گروه موتوری و ریلی تقسیم شده است، اما هر یک از این دو مجموعه خود به زیر مجموعه‌هایی تقسیم می‌شوند که انتخاب هر یک از آن‌ها به‌عنوان یک سیستم مناسب، مستلزم مقایسه‌های علمی آن‌ها با هم در تمام مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری است.

با مطالعات موردی در خصوص سیستم‌های ریلی درون‌شهری در کشورهای مختلف، مشخص می‌شود که به‌صورت کلی مجموعه‌ای از اهداف زیر در احداث و استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی مدنظر بوده است:

- ارتقاء سطح اقتصادی از طریقه توسعه خطوط ارتباطی
- کمک به توسعه عمرانی شهر از طریق به‌کارگیری سیستم حمل‌ونقل مدرن
- پاسخ به تقاضای حمل‌ونقل درون‌شهری، ارتقاء سطح خدمات حمل‌ونقل از نظر کیفی و افزایش راحتی مسافرین

- افزایش سرعت سیر سفرهای درون‌شهری
- افزایش ایمنی و کاهش تصادفات
- کاهش استفاده از وسایل حمل‌ونقل شخصی در جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست
- ایجاد خطوط ارتباطی با ظرفیت زیاد و مدرن بین پایانه‌های اصلی درون‌شهری
- استفاده از تکنولوژی سازگار با شرایط عمرانی شهر

با توجه به موارد فوق‌الذکر، روی‌آوردن به سیستم‌های ریلی پرظرفیت و سنگین[1] یا سیستم‌های ریلی سبک[2] و مونوریل در شرایط کنونی، به‌منظور نیل به بالاترین بازده حمل‌ونقل درون‌شهری، راهگشا خواهد بود.

در مطالعات حاضر و در راستای بررسی‌های جامع و لازم برای تعیین بهینه سامانه‌های انبوه‌بر در کریدورهای شناسایی شده، نخست مروری بر مشخصات عمومی سیستم‌های ریلی موجود از نظر ابعاد مختلف انجام می‌شود؛ سپس انواع ناوگان ریلی مورد استفاده در دنیا معرفی شده، و بعد از آن نکات مربوط به انتخاب سیستم و ارضای تقاضای سفر در کریدورهای پیشنهادی در گزارش مطالعات بهره‌برداری مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۴- طبقه‌بندی مُدهای مختلف حمل‌ونقل ریلی

به‌منظور مقایسه صحیح و در نتیجه انتخاب سیستم مناسب، قبل از آغاز هر مطالعهٔ ریلی، شناسایی، ارزیابی و طبقه‌بندی سیستم‌ها ، امری ضروری است. این تقسیم‌بندی زمینه مناسبی را جهت امکان‌سنجی، برنامه‌ریزی، احداث و بهره‌برداری یک نوع خاص از سیستم حمل‌ونقل ریلی در کریدورهای شهری فراهم می‌کند. طبقه‌بندی انواع مُدهای حمل‌ونقل عمومی بر اساس معیارهای کلی ذیل صورت می‌گیرد:

- محیط و شرایط شهری
- حق تقدم (ROW) در عبور وسایط نقلیه و حریم: وضعیت هندسی و فیزیکی کریدور مورد نظر و سطح جدایی از سایر مُدهای حمل‌ونقل و ترافیک شهری
- ظرفیت

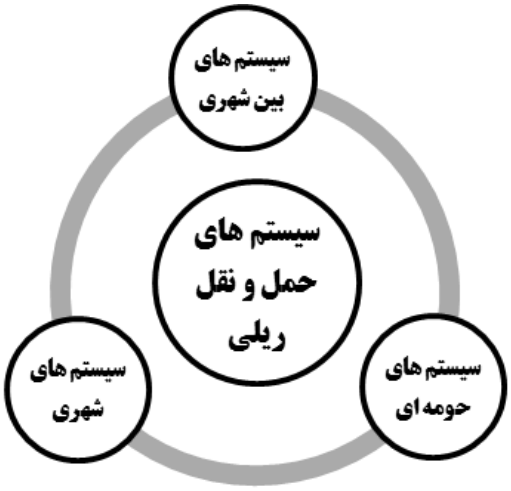
[1] MRT
[2] LRT

- سرعت
- ویژگی‌های هندسی و پلان و پروفیل مسیر
- هدوی یا سرفاصله زمانی اعزام قطارها
- هزینه‌های دوره ساخت و اجرا

به‌این‌ترتیب ابزار و اطلاعات ضروری جهت مقایسه انواع مُدهای حمل‌ونقل عمومی و انتخاب مناسب‌ترین و منطبق‌ترین گزینه برای یک شبکه حمل‌ونقل عمومی در یک شهر شامل موارد ذیل است:

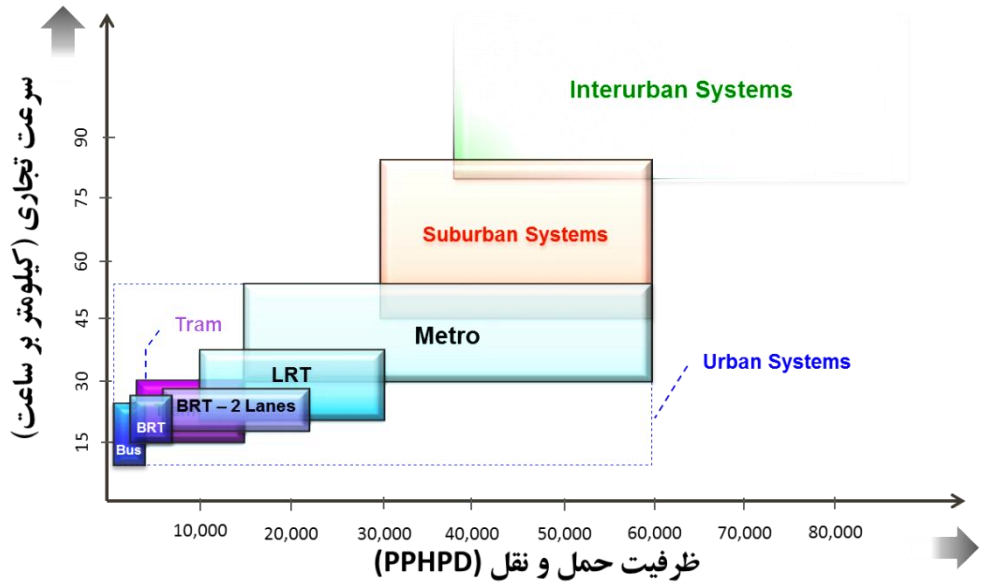
- آنالیز ترافیک مسافر پیش‌بینی شده
- مطالعات شهری و ملاحظات مربوطه

به‌طورکلی انواع سیستم‌های حمل‌ونقل که گاهی ترکیبی از آن‌ها در گسترهٔ انتخاب سرویس‌های حمل‌ونقل ریلی شهرها قرار می‌گیرند به شرح شکل ۱-۴ قابل دسته‌بندی است.



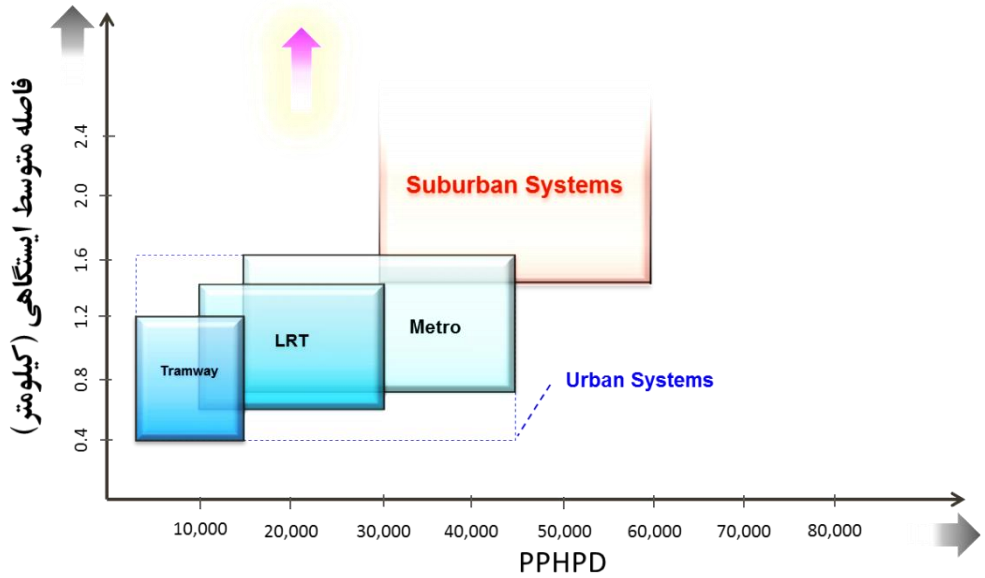
شکل ۱-۴- طبقه‌بندی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی

به‌منظور شناخت در خصوص انتخاب مُد حمل‌ونقل متناسب با وضعیت ترافیک مسافر (میزان مسافر در هر ساعت در هر جهت یا PPHPD) و سرعت تجاری سیر ناوگان که بر اساس تجربه متداول جهانی به‌دست‌آمده می‌توان به شکل ۲-۴ مراجعه نمود.



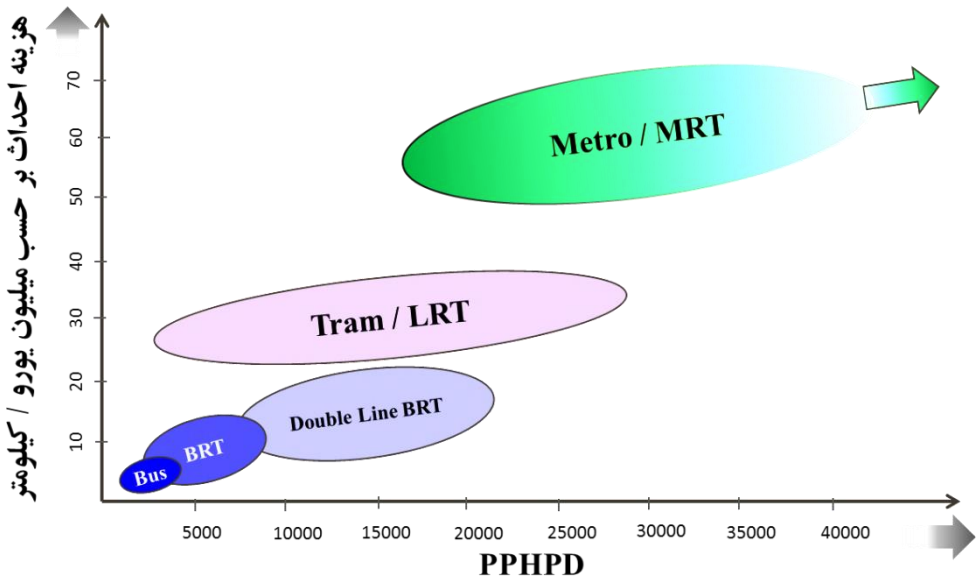
شکل ۲-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و سرعت تجاری

از دیدگاه دیگر می‌توان طبقه‌بندی سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی شهری را برحسب میزان مسافر PPHPD و فاصله متوسط بین ایستگاهی بر اساس نمودار شکل ۳-۴ در نظر گرفت. این نمودار نیز بر اساس تجربیات متداول جهانی تنظیم شده و قابل استناد است.



شکل ۳-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و فاصله متوسط بین ایستگاهی

از دیدگاه دیگر می‌توان طبقه‌بندی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری را برحسب میزان مسافر PPHPD و هزینه احداث به ازای هر کیلومتر بر اساس نمودار شکل ۴-۴ در نظر گرفت.



شکل ۴-۴- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی و طبقه‌بندی آن‌ها از نظر میزان PPHPD و هزینه احداث

۴-۲-۱- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی هدایت شونده AGT

پیشرفت روز افزون تکنولوژی و تمایل به تجربه این دستاوردها در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری باعث ظهور گزینه جدیدی از حمل‌ونقل شهری تحت عنوان سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی خودکار گردید. از مهم‌ترین خصوصیات این سیستم‌ها می‌توان به تکنولوژی مدرن، داشتن مسیر حرکت کاملاً مجزا (معمولاً در ارتفاع) و عدم نیاز به استفاده از اپراتور جهت هدایت و کنترل سیستم اشاره نمود. این سیستم‌ها که در بسیاری موارد به‌عنوان نمادی از پیشرفت تکنولوژیک در شهرها احداث شده‌اند، معمولاً دارای ظرفیت‌های پایین تا متوسط، هزینه احداث بسیار بالا، ضرایب ایمنی خوب و مناسب شبکه‌های محدود در سطح شهرهای بزرگ کشورهای توسعه یافته هستند. مزایا و معایب این سیستم در جدول ۱-۴ شرح داده شده است.

جدول ۱-۴ - مزایا و معایب سیستم‌های حمل‌ونقل هدایت‌شونده AGT

معایب	مزایا
نمادی از پیشرفت تکنولوژی از یک سیستم حمل‌ونقل شهری	هزینه بالای احداث و عدم توجیه اقتصادی
ایمنی بالا به جهت مسیر کاملاً مجزا	ظرفیت نسبتاً پایین در شرایط فعلی شبکه‌ها
عدم نیاز به اپراتور جهت کنترل سیستم	عدم انعطاف‌پذیری سیستم در شرایط اضطراری
امکان استفاده از مسیر یک یا دو خطه	
تناسب این سیستم جهت استفاده در محیط‌های خاص (فرودگاه‌ها، مرکز تفریحی و....)	

۴-۲-۲- تراموا

تراموا وسیله‌ای است که با استفاده از انرژی الکتریکی بر روی یک مسیر دو ریلی حرکت می‌نماید. به‌طور معمول این وسیله در قطارهایی با ۳، ۵، ۷ و ندرتاً ۹ ماژول، در مسیر خود مسافران را در ایستگاه‌های مشخص سوار و پیاده می‌کند. به علت خصوصیات ویژه آن از جمله سهولت دسترسی، ایمنی و راحتی آن، این سیستم حمل‌ونقل از جذابیت خاصی بین برنامه‌ریزان حمل‌ونقل شهری و توده مردم برخوردار است. تراموا از لحاظ سادگی تکنولوژی، اجرا و اداره و ارزانی تأسیس و بهره‌برداری نسبت به سایر سیستم‌های ریلی و همچنین نزدیک‌تر بودن به اتوبوس، وسایل نقلیه موتوری و شخصی از لحاظ انعطاف‌پذیری، از جمله سیستم‌هایی است که در جهان مورد استقبال مسئولین و مجریان شهری قرار گرفته است.

وجه اختلاف این سیستم با قطار سبک شهری استفاده مشترک آن با وسایل نقلیه موتوری از سطح معابر شهری و بدون استفاده از معبر اختصاصی و تکنولوژی قدیمی در مقایسه با سیستم‌های مدرن به‌کاررفته در واگن‌های قطار سبک شهری است. با آنکه تراموا از خصوصیات دینامیکی خوبی برخوردار است اما قابلیت و سرعت حرکت آن به مقدار زیادی به شرایط مسیر بستگی دارد و در خیابان‌های باریک و با ترافیک سنگین عملکرد حرکتی آن ضعیف می‌شود. اشتراک مسیر با سایر وسایل نقلیه و در شرایط سنگین ترافیکی باعث کاهش سرعت عملکردی آن، که به‌مراتب کمتر از سیستم‌های دیگر ریلی درون‌شهری است، می‌شود.

ضعف‌های عملکردی و تکنولوژیک سیستم تراموا باعث شده که احداث نمونه‌های جدید این سیستم در شهرهای بزرگ در سراسر جهان از برنامه کاری طراحان شهری خارج شود و این سیستم به‌طور روزافزون جای خود را به طرح‌های احداث و توسعه قطار سبک شهری بدهد. نمونه‌ای از تراموای شهری در شکل ۵-۴ نشان داده شده است.

شکل ۵-۴- نمونه تراموای شهری

۴-۲-۳- قطار سبک شهری LRT

ویژگی مهم قطارهای سبک شهری که آن را نسبت به سایر سیستم‌های ریلی متمایز نموده، قابلیت تطبیق آن با شرایط متفاوت شهری، حومه‌ای و انواع شبکه معابر درون‌شهری است. برخلاف سیستم‌های ریلی دیگر (به‌جز تراموا)، قطار سبک می‌تواند در مواقع لزوم به‌صورت مشترک با جریان ترافیک عمل نماید و برخلاف تراموا، خط و معبر ریلی احداث شده فقط تحت شرایط خاصی قابل بهره‌برداری توسط سایر وسایل نقلیه خواهد بود. نمونه‌ای از قطار سبک شهری در شکل ۶-۴ نشان داده شده است.

شکل ۶-۴- قطار سبک شهری LRT

دامنه انعطاف‌پذیری زیاد و امکان ایجاد تغییرات در اجزاء متشکله سیستم‌های مدرن قطار سبک شهری، امکان بهره‌برداری بهینه از فناوری مربوطه را فراهم می‌کند و نتایج عملی ذیل را به دنبال خواهد داشت:

- قابلیت تغییر در ابعاد واگن‌ها به‌تناسب میزان تقاضای سفر،
- قابلیت طراحی واگن‌ها به فراخور وظیفه عملکردی آن از جمله ارتفاع کف، سیستم رانش و کشش، ترمز و غیره،

- قابلیت تطبیق با تقاضا و تغییر در تعداد واگن‌ها و آرایش قطار (طول قطار)،
- قابلیت انعطاف در مسیر حرکت به‌صورت خطوط عبوری هم‌سطح، در ارتفاع یا زیرگذر،
- انعطاف‌پذیری در طراحی و تجهیزات ایستگاه‌ها و نقاط تبادل مسافر با استفاده از سکوهای بلند و کوتاه،
- قابلیت طراحی سیستم‌های سیگنالینگ و حفاظت قطار به فراخور نوع وظایف عملکردی در دامنه گسترده از چراغ‌های راهنمایی،
- قابلیت استفاده از سیستم‌های رادیویی و دیجیتالی و سیستم‌های کنترل با بهره‌گیری از آخرین فناوری رایانه‌ای.

همچنین سیستم‌های قطار سبک شهری قابلیت تطابق و خدمات‌رسانی مشترک با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری و سایر خطوط حمل‌ونقل عمومی از جمله مترو، اتوبوس و تاکسی را داراست و در ایستگاه‌ها و پایانه‌های آن می‌توان از تسهیلاتی مانند پارک‌سوارهای اتومبیل، دوچرخه و غیره استفاده نمود.

مطالعات انجام گرفته در رابطه با طرح‌های مختلف قطار سبک در کشورهای جهان، مؤید آن است که این سیستم حمل‌ونقل شهری در موارد و شرایط متفاوت و ویژه‌ای قادر به دستیابی موفقیت‌آمیز به اهداف طراحان است. به‌عنوان‌مثال، احداث خطوط قطار سبک شهری در مراکز شهرهای پرجمعیت که دارای توزیع مناسب و یکنواخت تقاضا در ساعات مختلف روز است و نیز در مناطق مسکونی و تجاری نزدیک به مسیر قطار سبک شهری، حصول بازده بالاتر و پاسخگویی سریع‌تر به اهداف از پیش تعیین شده را به همراه داشته است. جدا بودن سیستم قطار سبک شهری از سایر جریان‌های ترافیکی، از جمله عواملی است که موفقیت بیشتری به دنبال دارد. طبعاً در صورت عدم جدایی مسیرِ سیستم مذکور از ترافیک معابر و عابران پیاده، این‌گونه مسیرها نیازمند علائم و ارتباطات و کنترل ویژه‌ای است که در افزایش هزینه‌های بهره‌برداری مؤثر است. مزایا و معایب استفاده از این مُد حمل‌ونقل در جدول ۲-۴ به‌صورت خلاصه ذکر شده است. قطار سبک شهری واجد ویژگی‌ها و خصوصیات ذیل است:

- امکان جانمایی خط در انواع مسیرها (هوایی، زمینی مجزا، زمینی مختلط و زیرزمینی)،
- استفاده از جریان الکتریسیته به‌عنوان منبع تأمین انرژی و به‌تبع آن کاهش آلودگی هوا در محیط متراکم شهری نسبت به اتوبوس و سایر وسایل حمل‌ونقل موتوری،

- ظرفیت مناسب (معمولاً در محدوده ۱۰,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰ مسافر در ساعت در یک جهت یا PPHPD)،
- سهولت در تغییر خط،
- امکان اعمال کنترل دستی یا اتوماتیک قطار، برحسب مقتضیات مسیر،
- سرعت مناسب (حداکثر تا حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت)،
- قابلیت گردش با شعاع‌های کم در صورت لزوم،
- قابلیت حرکت در شیب‌های تند تا ۶٪ در طول‌های کوتاه و تا ۵٪ در طول‌های معمول

جدول ۲-۴- مزایا و معایب قطار شهری سبک

معایب	مزایا
وجود مجموعه‌ای از پایه‌ها، دکل‌ها و کابل‌های انتقال برق در سطح وسیعی از فضای شهری در طول مسیر و در نتیجه اثرات نامطلوب آن بر سیما و منظر شهری	عدم تأثیرات نامطلوب بر محیط زیست به دلیل استفاده از انرژی الکتریکی
اثر نامناسب بر فضای شهر در صورت ایجاد مسیر مجزا به کمک سازه‌های هوایی	راحتی و آرامش سفر
اثر نامناسب بر جابجایی ترافیک موتوری در صورت ایجاد مسیر هم‌سطح با سواره‌رو و کاهش ظرفیت مسیرها	سرعت و ایمنی بیشتر در مقایسه با اتوبوس و سیستم‌های موتوری
نیاز به تملک حریم در صورت عدم امکان استفاده از مسیرهای موجود معابر شهری	زمان احداث کم‌تر نسبت به سیستم‌های مترو
	هزینه کم احداث و خرید تجهیزات، در مقایسه با سایر سیستم‌های ریلی
	انعطاف‌پذیری با شرایط مسیر به‌گونه‌ای که می‌تواند در جریان ترافیک، با حق تقدم، بدون حق تقدم و ... طراحی و اجرا شود.
	امکان احداث در سطح، ارتفاع و زیرزمین

۴-۲-۳-۱- طبقه‌بندی قطار سبک شهری از نظر مسیر

سیستم حمل‌ونقل قطار سبک، انعطاف‌پذیرترین سیستم حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری بوده است و امکان ایجاد مسیر با ویژگی‌های فنی مختلف برای آن وجود دارد. از مهم‌ترین شکل‌های مسیر قطار سبک شهری می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- **مسیر هوایی:** در این روش، قطار سبک شهری به مانند مونوریل در طول و یا بخشی از مسیر خود که به کمک سازه‌های نگهدارنده به ارتفاع برده شده است، به‌صورت مجزا از سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری جابجا می‌شود. از مزایای این سیستم می‌توان به عدم تداخل با ترافیک شهری و همچنین عدم نیاز به تحصیل حریم در مناطق متراکم شهری اشاره نمود. در مقابل ایجاد سازه‌های نگهدارنده، از نظر سیمای شهری به‌عنوان عامل منفی تلقی می‌شود.

در اکثر موارد از قطار سبک شهری به‌صورت شبکه کامل غیرهم‌سطح استفاده نمی‌شود؛ بلکه فقط در مناطق متراکم شهری، مراکز تجاری شهرها و تقاطع‌ها، مسیر قطار به ارتفاع برده می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به قطار شهری سبک در سنگاپور با مسیر کاملاً غیرهم‌سطح به طول ۷/۸ کیلومتر اشاره نمود.

- **مسیر مجزای هم‌سطح:** در این حالت مسیر قطار سبک شهری بر روی سطح سواره‌روها ولی کاملاً مجزا از آن با داشتن اولویت حق تقدم در تقاطع‌ها و چراغ‌های راهنمایی و به‌صورت غیرهم‌سطح در تقاطع‌های مهم، اجرا می‌شود. جداسازی مسیرها می‌تواند به کمک جداول و میانه‌های بتنی یا به کمک نرده‌های فلزی و هماهنگ با بافت شهری صورت گیرد. در این حالت پایین آمدن ظرفیت مسیرهای شهری برای عبور ترافیک موتوری و یا ضرورت تحصیل حریم شهری جهت اجرای مسیر قطار سبک شهری و تأسیسات ایستگاهی قطعی خواهد بود.
- **مسیر غیر مجزا:** در این شکل از مسیر که تداعی کامل سیستم تراموا است، راه‌آهن سبک شهری در سطح سواره‌رو با اختلاط با سیستم‌های دیگر حمل‌ونقل شهری حرکت می‌نماید. عدم امکان تنظیم سرفاصله‌ها و ایمنی پایین‌تر نسبت به سایر انواع مسیر و همچنین عدم امکان ایجاد اولویت تقدم عبور برای سیستم قطار شهری در چنین حالتی، از مهم‌ترین نقاط ضعف این شکل از مسیر به شمار می‌آید.

۴-۲-۳-۲- طبقه‌بندی قطار سبک شهری با توجه به واگن‌ها

تقریباً تمامی سیستم‌های قطار سبک شهری در سراسر جهان به کمک نیروی الکتریسیته جابجا می‌شوند. این امر به‌خصوص با توجه به آلودگی هوا در شهرهای بزرگ حائز اهمیت خواهد بود؛ اما در مقابل، لزوم ایجاد پایه‌ها و کابل‌های انتقال جریان به واگن‌ها، منظره نامناسبی از نظر سیمای شهری به وجود می‌آورد.

قطار سبک شهری را می‌توان با توجه به نوع واگن‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- واگن‌های با شاسی‌بلند[3]: این نوع قطارها معمولاً به نسل قدیمی‌تر قطار سبک شهری تعلق داشته است و ضمن صعوبت پیاده و سوار شدن مسافر، در مواردی به ایستگاه با سکوهایی مرتفع نسبت به سطح زمین نیازمند است.
- واگن‌های با شاسی کوتاه[4]: این شکل از واگن‌ها دارای تکنولوژی جدیدتری نسبت به واگن‌های شاسی‌بلند هستند و ضمن ایجاد سهولت در سوار و پیاده شدن مسافرین، نیاز به وجود سکوهای مرتفع در فضاهای شهری را از میان برده است.
- واگن‌ها با شاسی کوتاه در بخشی از طول واگن[5]: در این نوع، قسمت درب‌های ورود و خروج مسافرین با ارتفاع کم و نزدیک به زمین تعبیه گردیده است و بخش دیگر فضای واگن، کماکان به‌صورت شاسی با ارتفاع بالا ساخته شده است.

۴-۲-۴- مونوریل

مونوریل‌ها یا تک‌ریلی‌ها، قطارهایی هستند که روی یک ریل و اغلب در ارتفاع به‌صورت‌های سوار بر ریل، آویخته از ریل یا سوار بر کنار ریل حرکت می‌کنند. از این وسیله می‌توان بدون نیاز به ایجاد تغییرات اساسی در تکنولوژی آن، هم به‌عنوان سرویس حمل‌ونقل شهری و هم به‌عنوان سرویس‌های گردشگری و توریستی بهره‌برداری نمود. نمونه‌هایی از این قطارها در شکل ۷-۴ نشان داده شده است.

شکل ۷-۴- قطار مونوریل

[3] High Floor
[4] 100% Low Floor
[5] 70% Low Floor

۴-۲-۴-۱- طبقه‌بندی انواع مونوریل

برای مونوریل با توجه به پارامترهای مختلفی چون عملکرد، کاربری نواحی اطراف، تکنولوژی، ناوگان، زیرساخت‌ها، مسیر و... تقسیم‌بندی‌های مختلفی ارائه شده است. در ادامه به ۴ نوع تقسیم‌بندی در نظر گرفته شده برای این سیستم اشاره می‌شود:

- طبقه‌بندی بر اساس مکان به‌کارگیری (مکان استفاده)
  - مونوریل شهری
  - مونوریل تفریحی
- طبقه‌بندی بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه
  - توزیع به‌صورت یک شبکه در سطح شهر
  - مسیرهای جداگانه
- طبقه‌بندی بر اساس نوع حرکت در مسیر
  - دوخطه دوطرفه
  - یک‌خطه دوجهته
  - یک‌خطه یک جهته حلقوی
- طبقه‌بندی بر اساس چگونگی حرکت و تماس با ریل
  - معلق
  - سوار بر ریل
  - کنار ایستا
  - مغناطیسی بدون تماس

مزایا و معایب استفاده از این مُد حمل‌ونقل در جدول ۳-۴ به‌صورت خلاصه ذکر شده است.

جدول ۳-۴- مزایا و معایب مونوریل

مزایا	معایب
ایجاد سیستم ایمن حمل‌ونقل شهری	فرآیند بسیار پیچیده تغییر خط
سازگاری با محیط زیست	اجبار در استفاده از مسیر مجزا
نیاز به تملک حریم بسیار کم و عدم تداخل با ترافیک شهری	هزینه بالای خرید ناوگان
هزینه مناسب احداث زیرساخت	تخلیه مسافران در موارد اضطراری
مدت زمان معقول اجرای سیستم	ایجاد مشکلات منظر شهری و تسلط بر املاک مجاور

۴-۲-۵- مترو و سیستم‌های ریلی پرظرفیت و سنگین

مترو به لحاظ جابجایی انبوه مسافر، سرعت و کارآیی بالا، پرتوان‌ترین سیستم حمل‌ونقل شهری است. در نقاط مختلف جهان این سیستم را به نام‌های مختلفی همچون سیستم حمل‌ونقل سریع، سیستم ریلی سنگین، Subway Train، مترو، Tubes، Underground و U-Bahn می‌شناسند و آنچه در کتاب‌ها و نوشته‌های رسمی بیشتر استفاده شده «مترو» و «سیستم‌های ریلی پرظرفیت و سنگین» است؛ که البته «مترو» نامی شناخته‌تر است که در اکثر نقاط جهان نیز از همین نام استفاده می‌شود.

مسیر مترو اغلب ریلی است (حرکت چرخ فلزی بر ریل فلزی) و البته بعضی مواقع نیز به‌صورت چرخ‌های لاستیکی به کار می‌رود. حریم مترو به‌گونه‌ای است که با ترافیک بقیه سیستم‌های حمل‌ونقل شهری تداخل نداشته و دسترسی به آن کاملاً محدود و کنترل شده است. سکوهای مرتفع و درب‌های عریض از مشخصه‌های بارز این سیستم بوده که آن را در سوار و پیاده شدن مسافران سریع و ایمن کرده است. نمونه‌هایی از مترو در شهرهای جهان در شکل ۸-۴ نشان داده شده است.

شکل ۸-۴- مترو / MRT

در دسته‌بندی این مُد از حمل‌ونقل می‌توان متروهای متداول، خطوط ریلی حومه‌ای و منقطه‌ای و سیستم‌های حمل‌ونقل پرظرفیت و سنگین دیگر را در نظر گرفت.

۴-۲-۵-۱- متروهای متداول

فواصل بین ایستگاهی و توقف‌های قطار کوتاه بوده و تعداد درب‌های دسترسی مسافران به‌منظور تبادل آسان و سریع مسافران زیاد است. مسافران بسیاری در زمان پیک و یا هدوی‌های پایین توسط این سیستم جابجا می‌شوند. ویژگی اصلی این سیستم جدایی از ترافیک و سایر مُدهای حمل‌ونقل و بهره‌گیری از مسیر کاملاً مجزا است. تأمین توان عموماً از نوع فشار ضعیف (۷۵۰ ولت جریان مستقیم) و روش انتقال به قطار از نوع ریل سوم یا شبکه بالاسری است؛ استفاده از ریل سوم سبب کاهش ارتفاع سقف / مقطع تونل بوده که کاهش هزینه اجرا را نیز به دنبال خواهد داشت. خطوط متروی متداول در مناطق شهری متراکم به‌صورت زیرزمینی و در مناطق با تراکم کمتر به‌صورت مرتفع اجرا شده و اغلب به‌صورت هم‌سطح و در تداخل با ترافیک شهری بهره‌برداری نمی‌شوند.

۴-۲-۵-۲- سیستم‌های پرظرفیت و سنگین

ترکیبی از قطارهای سرویس‌دهنده منطقه‌ای با هدوی‌های نزدیک به مترو و با هدف انتقال مسافران از مناطق حومه‌ای شهرهای بزرگ به مناطق مرکزی شهر است. طول قطارهای این سیستم اغلب طولانی و با ظرفیت نشسته بیشتر مسافران (به دلیل زمان طولانی‌تر سفر) همراه بوده و فاصله متوسط بین ایستگاهی در این سیستم بیشتر از ۱ کیلومتر است.

به‌منظور افزایش ایمنی و سرعت تجاری، جدایی کامل مسیر سیستم مترو و سیستم‌های پرظرفیت و سنگین از ترافیک شهری و سایر مُدهای حمل‌ونقل توصیه می‌شود. جدایی کامل مسیر این امکان را فراهم می‌آورد که طول قطار از ۷۰ متر تا ۲۲۰ متر و بیشتر متغیر بوده و به‌این‌ترتیب امکان جابجایی مسافران تا ۶۰,۰۰۰ نفر در ساعت در جهت و به‌ندرت مقادیر بالاتر را امکان‌پذیر نماید.

سرعت تجاری و متوسط سیر در این مُد حمل‌ونقل تابع مشخصات عملکردی ناوگان و شرایط هندسی پلان و پروفیل شامل شیب و فرازها، قوس‌ها، فواصل بین ایستگاهی و... بوده و برای متروهای متداول از ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت و برای خطوط اکسپرس و منطقه‌ای از ۴۵ تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت متغیر است.

۴-۲-۵-۳- مزایا و معایب مترو

الف- مزایا

- ظرفیت بالا و فضای کم: سرویس‌های مترو با سرفاصله‌های کوتاه‌مدت (در مسکو از مترو با سرفاصله ۹۰ ثانیه بهره‌برداری شده است) و گنجایش واگن و همچنین جدا بودن تمامی طول مسیر از سایر وسایل نقلیه شرایط را برای عملکرد فشرده و پرظرفیت مترو فراهم نموده است؛ درحالی‌که این سیستم حمل‌ونقل شهری نیازمند حریم قابل‌توجه نبوده است و فضای معابر شهری را اشغال نمی‌کند.
- تأثیرگذار بر بافت و الگوهای شهرسازی: مترو بیشتر از هر سیستم حمل‌ونقل دیگر می‌تواند بر شکل کاربری‌ها و مراکز تجاری و کاری و... تأثیر بگذارد. ایستگاه مترو یک نقطه حساس برای افزایش دسترسی‌ها و بالا رفتن استفاده از امکانات اطراف آن است.
- عدم ایجاد تراکم در ترافیک سطحی: ازآنجاکه مسیر مترو می‌تواند به‌صورتی کاملاً جدا از سایر مُدها اجرا شود و حریمی غیرقابل‌دسترسی دارد، می‌تواند بدون درگیر شدن با تراکم‌ها و موانع مختلف به‌راحتی حرکت نماید.
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی: حرکت یک چرخ فلزی بر روی ریل و ادامهٔ این حرکت، به انرژی زیادی نیاز ندارد زیرا ضریب اصطکاک آن بسیار پایین است.
- ملاحظات زیست‌محیطی: به دلیل اینکه تمام سیستم‌های مترو از انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند، هیچ آلاینده‌ای در محیط شهری انتشار نمی‌دهند.
- قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم: علیرغم بعضی از سیستم‌های ریلی دیگر، مترو به دلیل مسیرهای کاملاً جداگانه و حتی شبکه ریلی انحصاری، بسیار قابل‌کنترل و اعتمادپذیر است. البته این بدان معنا نیست که حادثه به‌هیچ‌وجه در آن رخ نمی‌دهد بلکه احتمال رخداد آن خیلی کم است.

علاوه بر موارد فوق، مترو مزایای دیگری چون دوام، زیبایی محیط شهری، اتوماتیک‌سازی سیستم و ... نیز دارد که از بحث بیشتر درباره آن‌ها پرهیز می‌شود.

ب- معایب

- هزینه احداث: برای احداث مسیر مترو از هر نیروی کاری یا ماشینی نمی‌توان استفاده کرد و با توجه به تکنولوژی خاص ساخت مترو، نیازمند نیروی کاری و ماشین‌آلات گران‌قیمت، مخصوصاً در حفر تونل است و این هزینه را بالا می‌برد.
- هزینه نگهداری و بهره‌برداری: چنانچه از ظرفیت بالای مترو فقط در ساعات پیک استفاده شود و در ساعات غیرپیک، تقاضا خیلی کم شود، آنگاه کادر متخصص به کار گرفته شده و تجهیزات فراوان، برای مسافران اندک کار خواهند کرد و هزینه بهره‌برداری و نگهداری به ازای هر نفر بسیار افزایش خواهد یافت.
- دوره طولانی ساخت: علاوه بر دوره طولانی تصویب خط مترو، دوره ساخت خط مخصوصاً در مواقعی که مسیر زیرزمینی باشد بسیار زمان‌بر است.
- راحتی استفاده‌کنندگان از سیستم: معمولاً مسافران در ایستگاه‌ها با بالا و پایین رفتن از پله‌ها و یا تغییرات زیاد ارتفاعی مشکل دارند. حتی اگر در تمام مسیر از پله‌برقی استفاده شود کسانی که معلولیت جسمانی داشته و از صندلی چرخ‌دار استفاده می‌کنند، مشکل اساسی دارند. البته با صرف هزینه‌های بالاتر و به کار بردن آسانسور می‌توان موارد فوق را برطرف ساخت.
- غیرانعطاف‌پذیر بودن شبکه: بدیهی است که پس از احداث یک تونل تغییر این خط اگر غیرممکن نباشد، بسیار دشوار و وقت‌گیر است. البته تأثیر مترو به‌عنوان یک سیستم انعطاف‌ناپذیر ممکن است بر الگوی شهر نیز نمایان شود؛ زیرا همان‌طور که بیشتر گفته شد مترو بر کاربری‌ها و مراکز فعالیت به‌شدت تأثیرگذار است.

۴-۲-۵-۴- ویژگی‌ها و مشخصات کلی مترو

ویژگی‌های کلی مترو شامل موارد زیر است:

- تعداد واگن در هر مسیر قطار بین ۵ تا ۱۰ واگن بسته به ترافیک مسافر و هندسه واگن‌ها متفاوت است.
- فاصله متوسط بین ایستگاهی در حدود ۱۰۰۰ متر است.
- ماکزیمم شیب طولی توصیه شده در مسیر، ۵٪ و در ایستگاه‌ها ۰/۲ درصد است.

- سرفاصله زمانی کمینه ۲ دقیقه توصیه می‌شود که البته در مسکو این مقدار به ۹۰ ثانیه نیز رسیده است.
- ظرفیت این سیستم معمولاً در حدود ۵۰ تا ۶۰ هزار مسافر در ساعت در جهت، در زمان اوج در نظر گرفته می‌شود.
- سرعت ماکزیمم بهره‌برداری ناوگان مترو در حدود ۸۰ کیلومتر در ساعت است که طراحی مربوطه کاملاً وابسته به فاصله متوسط بین ایستگاهی می‌تواند متغیر باشد.
- شعاع قوس کمینه در خط اصلی در حدود ۳۰۰ متر است.
- مقدار عمق تونل بین ۱۰ تا ۴۰ متر است.
- تغذیه الکتریکی مترو از طریق شبکه بالاسری یا ریل سوم تأمین می‌شود.

۴-۲-۶- حومه‌ای و منطقه‌ای

خطوط حومه‌ای و منطقه‌ای به‌منظور اتصال نقطه‌به‌نقطه و برای خطوط با طول متوسط و بلند مورد استفاده هستند. ویژگی شاخص این مُد حمل‌ونقل استفاده از قطارهای پرظرفیت بوده که می‌تواند با رانش الکتریکی، دیزل و یا دیزل الکتریک در نظر گرفته شوند و با مبدأ و مقصد شهری هستند. این مُد حمل‌ونقل، ثابت شده بوده و ترکیب آن با سیستم‌های حمل‌ونقل شهری بسیار کارآمد و تجربه جهانی است که خط ۵ متروی تهران (خط ریلی تهران-کرج) نیز نمونه‌ای از این سیستم است.

نقطه قوت در طراحی چنین سیستمی قابلیت اقتصادی سرویس‌دهی در ساعات مختلف پیک و تفاوت تقاضای سفر در طول روز است که این مقدار می‌تواند از ۱۰,۰۰۰ تا ۶۰,۰۰۰ PPHPD متغیر باشد. طراحی قطار نیز می‌بایست از نظر ترکیب‌بندی قطار، دوطبقه یا یک طبقه بودن و میزان ظرفیت نشسته و ایستاده با توجه به فاصله مقاصد و زمان سفر تجربه شده توسط مسافران در نظر گرفته شده که در عین آسایش مسافران، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری چنین سیستمی، اقتصادی باشد. لازم به ذکر است که برای مقاصد با فواصل طولانی در نظر گرفتن سطح آسایش بیشتر برای مسافران اقتصادی نیز می‌تواند باشد.

خطوط ریلی که توسط قطارهای حومه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، در شرایطی قابل استفاده مشترک توسط سایر مُدهای حمل‌ونقل نظیر LRT و Metro/MRT به‌صورت محدود نیز هستند، هرچند که این روش

بهره‌برداری با سهولت به انجام نخواهد رسید و نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و پیش‌بینی زیرساخت‌های لازم به این منظور است.

قطارهای حومه‌ای تأثیر بسزایی در از بین رفتن گره‌های ترافیکی در شهرهای بزرگ خواهند بود. در شهری مثل سیدنی بیش از ۶۰ درصد سفرهای کاری از فواصل بیش از ۱۰۰ کیلومتر به مرکز شهر به انجام می‌رسد که استفاده از مُد حمل‌ونقلی حومه‌ای سبب عدم استفاده افراد از وسیله شخصی و کاهش ترافیک جاده‌ها و حذف گره‌های ترافیکی در مرکز شهر در پیک‌های صبحگاهی و عصرانه و همچنین رفع معضل جای پارک در شهرهای بزرگ می‌شود.

قطارهای حومه‌ای با در نظر گرفتن مسیرهای زیرزمینی و تونل، امکان تردد در داخل شهر را نیز داشته، لیکن از نظر بهره‌وری، شتاب شروع به حرکت، شتاب ترمزی، زمان توقف ایستگاهی و جمعاً سرعت تجاری کارایی لازم را مشابه سیستم‌های LRT و Metro/MRT نخواهد داشت. از طرف دیگر استفاده از قطارها به‌صورت مشترک در حومه و داخل شهر به‌ویژه در مسافت‌های کوتاه سبب کاهش سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری خواهد بود.

ناوگان خطوط حومه‌ای با فواصل ایستگاهی طولانی بسته به شرایط هندسی مسیر با سرعت بالا (۱۰۰ تا ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت) طراحی می‌شوند. با این وجود با توجه به فواصل بین ایستگاهی نسبتاً طولانی (۵ کیلومتر یا بیشتر)، نیازی به شتاب‌های بالا در زمان شروع حرکت نبوده و سرعت بالای سیر از نظر بهره‌برداری ارجح است. لذا در مواردی که مُد حومه‌ای در داخل شهر نیز سرویس می‌دهد، ترکیبی از سرعت بالای بهره‌برداری و رفتاری نزدیک به قطارهای MRT می‌بایست مدنظر طراحان قرار گیرد.

این نوع مُد حمل‌ونقل به‌طورمعمول با حداکثر امکان جداسازی از ترافیک جاده‌ای و عابرین پیاده با احداث تقاطعات غیر هم‌سطح، تونل‌ها و فنس‌کشی پیرامونی با در نظر گرفتن حداکثر قابلیت شیب‌پیمایی ناوگان طراحی می‌شوند.

۳-۴- روش انتخاب مُد حمل‌ونقل عمومی مناسب

به‌منظور انتخاب مُد حمل‌ونقل عمومی مناسب توجه به دو معیار اساسی ذیل حائز اهمیت است:

- بررسی حداکثر ظرفیت جابجایی مُد مورد نظر جهت همخوانی با وضعیت درخواستی ترافیک مسافر در افق طرح،
- شرایط و بافت محلی منطقه مورد بررسی.

با این وجود سایر شرایط حائز اهمیت که می‌بایست در نظر گرفته شوند به شرح ذیل هستند:

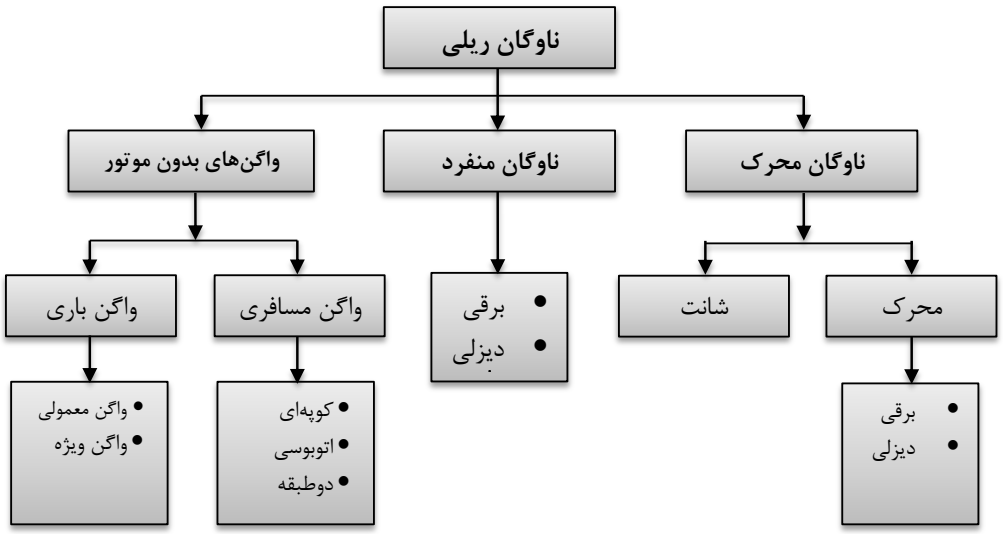
- سطح سرویس ارائه شده شامل سرعت تجاری قابل حصول، هدوی اعزام قطارها، نظم بهره‌برداری و سهولت در انتقال مسافران به سایر مُدهای حمل‌ونقل،
- قابلیت انعطاف و تطابق به‌منظور شرایط محتملی نظیر توسعه خط و شبکه،
- هزینه‌های دوره ساخت و دوره بهره‌برداری از سیستم.
- شناسایی دقیق سیستم پیشنهادی ترکیبی که امکان سیر در محدوده شهری و حومه را همزمان دارا باشد.

به‌منظور پیشنهاد بهترین سیستم حمل‌ونقل برای یک شهر، لازم است تعادلی از معیارهای فوق‌الذکر در نظر گرفته شود و همواره راه‌حل مطلقی وجود نداشته و جمیع شرایط در انتخاب مُد مناسب حمل‌ونقل می‌بایست در نظر گرفته شود.

۵- مقایسه کلیه ناوگان‌های قابل استفاده با توجه به ویژگی‌های مکانی جانمایی سامانه ریلی در مطالعات شهری

۵-۱- مقدمه‌ای بر ناوگان ریلی

ناوگان اصطلاحی است که برای توصیف همه وسایل نقلیه ریلی اعم از محرک[۶]، متحرک[۷] و یا ماشین‌آلات ویژه ریلی استفاده می‌شود. در شکل ۵-۱ طبقه‌بندی انواع ناوگان نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- تقسیم‌بندی ناوگان ریلی

وسایل نقلیه ریلی محرک، خودکشش بوده به این معنی که مجهز به موتورهای کششی هستند. این وسایل نقلیه ممکن است:

- تنها به‌منظور جابجایی و کشش وسایل نقلیه متحرک طراحی و ساخته شده باشند و لذا به آن‌ها «لکوموتیو» یا «واحدهای کشنده[۸]» گفته می‌شود.
- به‌منظور جابجایی مسافران ساخته شده باشند و بنابراین به آن‌ها «واگن منفرد[۹]» (که در یک سمت یا هر دو سمت دارای کابین راهبری هستند) یا «واگن موتوردار[۱۰]» گفته می‌شود.

[6] Powered
[7] Trailer
[8] Traction units
[9] Single railcar
[10] Motor car

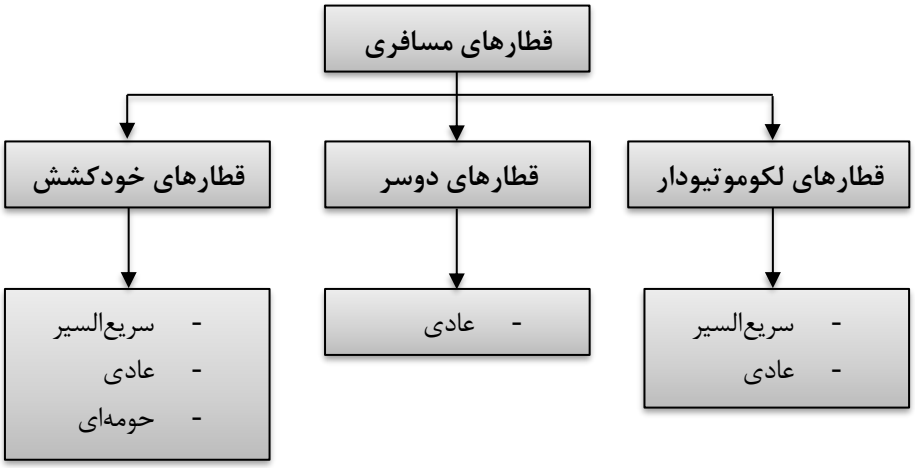
- برای استفاده در شانت طراحی و ساخته شده باشند و در نتیجه به آن‌ها «لکوموتیو شانت» گفته می‌شود.

امروزه، بسته به منبع تأمین نیروی کشش، لکوموتیوها و واگن‌های منفرد به دو دسته دیزلی[11] و برقی[12] تقسیم‌بندی می‌شوند.

واگن‌های متحرک (بدون موتور) قابلیت سیر به تنهایی را ندارند و عموماً برای حمل بار یا جابجایی مسافرین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ترکیبی از یک لکوموتیو و تعدادی واگن مسافری متحرک تشکیل یک رام قطار مسافربری را می‌دهد که توسط لکوموتیو کشیده شده و قابلیت سیر دارد. هنگامی‌که دو واحد کشنده در تشکیل یک رام قطار گنجانده شوند، به قطار به وجود آمده «قطار با دوبله لکوموتیو» گفته می‌شود.

ترکیبی از واگن‌های منفرد، واگن‌های موتوردار و/ یا واگن‌های متحرک تشکیل یک قطار یا وسیله نقلیه ریلی را می‌دهند. در شکل ۲-۵ طبقه‌بندی قطارهای مسافری نشان داده شده است.



شکل ۲-۵- انواع قطارهای مسافری

قطارهای خودکشش - به دلیل وجود کابین راهبری در هر دو سمت – می‌توانند بدون نیاز به لکوموتیو شانت در هر دو جهت حرکت کنند؛ این در حالی است که قطارهای مسافری که به کمک لکوموتیو جابجا

[11] DMU (Desiel Multiplie Unit)
[12] EMU (Electrical Multiplye Unit)

می‌شوند برای این منظور نیاز به لکوموتیو شانت دارند تا جبهه حرکت قطار را تغییر دهند.

قطارهای خودکشش (MU) به قطارهای خودکشش دیزلی (DMU) یا خودکشش برقی (EMU) تقسیم‌بندی می‌شوند که دارای مشخصات زیر هستند:

- این قطارها از واگن‌های محرک کابین‌دار، واگن‌های محرک و / یا واگن‌های متحرک (بدون موتور) که به‌صورت نیمه دائمی کوپل شده‌اند، تشکیل می‌شود،
- در هر دو انتهای قطار کابین راهبری در نظر گرفته شده است؛ و راهبران تنها لازم است کابین فعال را در ایستگاه‌های پایانه‌ای تغییر دهند،
- طول قطار را می‌توان با افزودن یا کم‌کردن تعداد واگن‌های میانی تغییر داد،
- تجهیزات تولید نیروی محرکه در کل طول قطار توزیع می‌شوند (فقط واگن‌های محرک کابین دار و واگن‌های محرک دارای این تجهیزات هستند).

آرایش‌های زیر به‌عنوان نمونه از یک قطار ارائه شده است:

SR + TC + SR + SR + TC + SR یا SR + MC + MC + SR یا SR + SR + SR + SR

که در این آرایش، حروف اختصاری عبارتند از:

SR: واگن محرک کابین‌دار[۱۳]

TC: واگن متحرک (بدون موتور)[۱۴]

MC: واگن محرک (موتوردار)[۱۵]

شکل ۳-۵- قطار خودکشش پردیس (DMU) / طراحی شرکت زیمنس

[13] Single Railcar (with cabin)
[14] Trailer Car
[15] Motor Car

شکل ۴-۵- قطار خودکشش ارم (DMU) / طراحی شرکت روتم

قطارهای دو سر[16] نوعی از قطار مسافری است که ویژگی‌های زیر در آن‌ها دیده می‌شود:

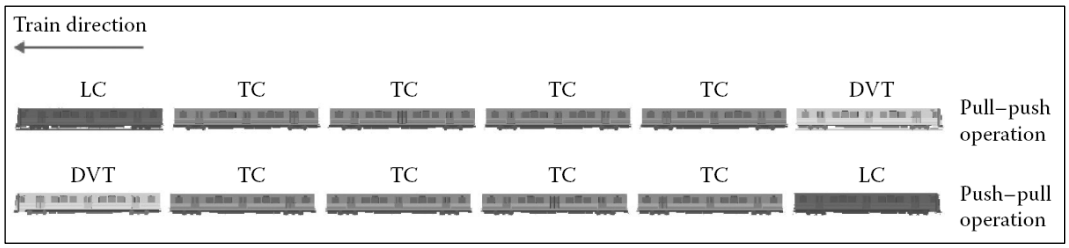
- یک لکوموتیو در جلوی قطار و یک لکوموتیو در انتهای قطار قرار دارد.
- یک واگن بدون موتور اما مجهز به کابین راهبری در انتها یا در ابتدای قطار وجود دارد و این امکان را به وجود می‌آورد تا قطار از هر دو سمت امکان حرکت را داشته باشد. (Driving Van Trailer)
- تعدادی واگن مسافری بدون موتور در میانه قطار

در شکل ۵-۵ که نمای شماتیکی از قطارهای دو سر است، علائم اختصاری عبارتند از:

DVT: واگن متحرک کابین‌دار[17]

TC: واگن متحرک[18]

LC: لکوموتیو[19]



شکل ۵-۵- عملکرد یک قطار دو سر

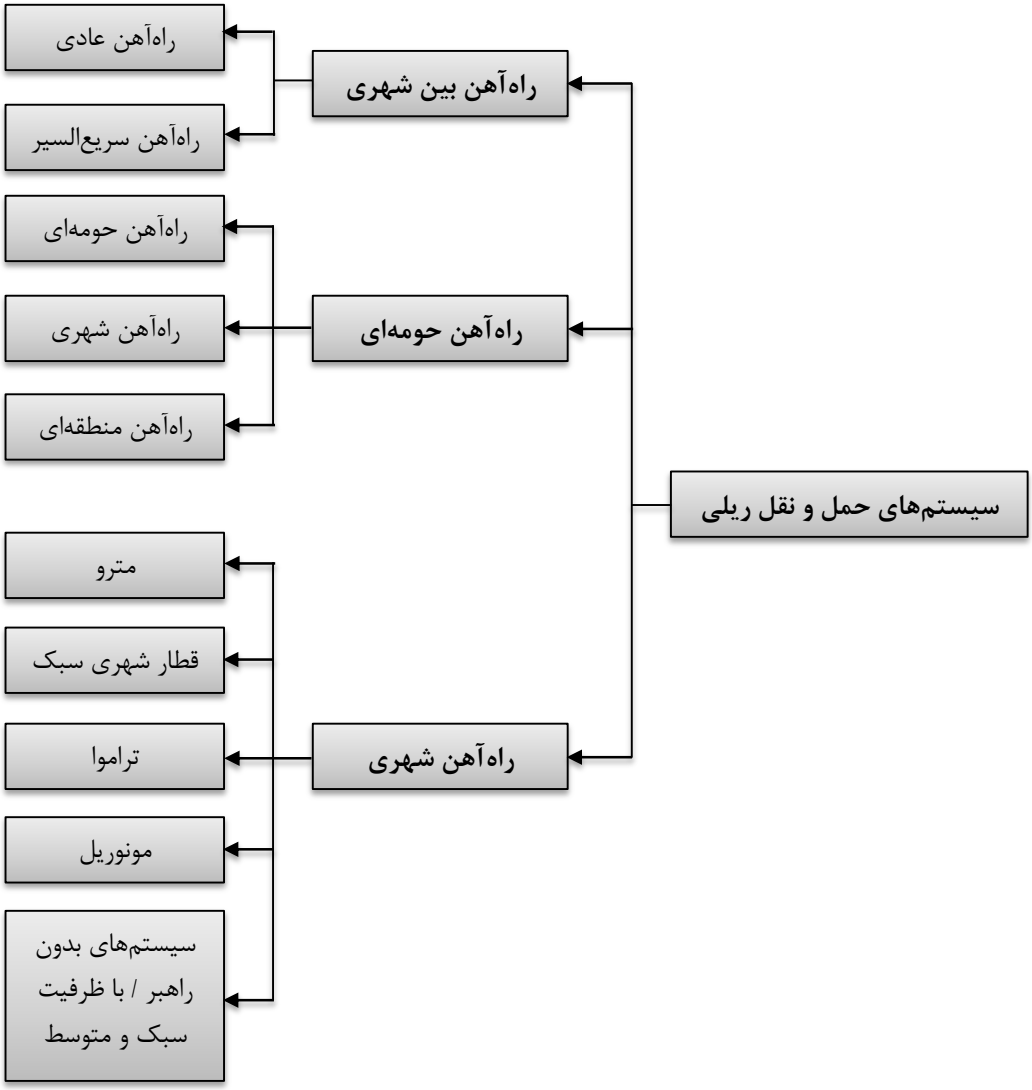
[16] Push-Pull
[17] Driving van trailer
[18] Trailer Car
[19] Locomotive

این نوع از قطارها قابلیت سیر در هر دو جهت را بدون نیاز به لکوموتیو شانت دارا هستند (شکل ۶-۵). هنگامی‌که واگن متحرک کابین‌دار در جلوی قطار باشد، لکوموتیو به‌صورت کنترل از راه دور توسط یک کابل که در سرتاسر قطار امتداد یافته است کنترل می‌شود.

شکل ۶-۵- نمونه‌ای از قطار دو سر

۲-۵- دسته‌بندی سیستم‌های ریلی بر اساس کاربرد

اصطلاح «وسایل حمل‌ونقل ریلی» ممکن است شامل کلیه وسایل حمل‌ونقلی باشد که سیستم حرکتی آن‌ها حداقل شامل یک جزء فولادی باشد (چرخ‌های فولادی بر روی ریل‌های فولادی یا چرخ‌های لاستیکی بر روی یک بستر فولادی). در شکل ۷-۵ دسته‌بندی انواع مُدهای حمل‌ونقل ریلی نشان داده شده است.



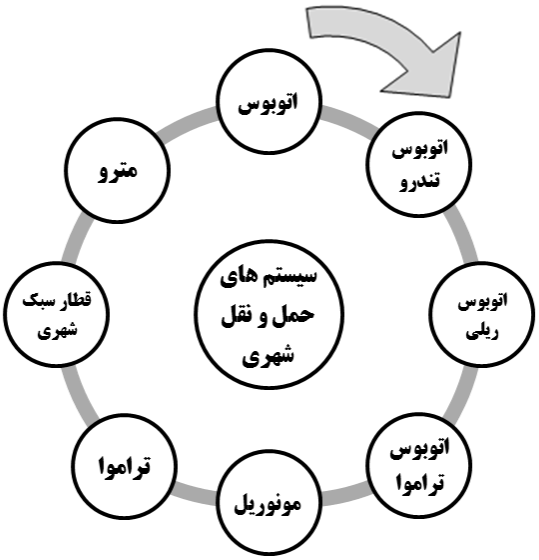
شکل ۷-۵- دسته‌بندی انواع مُدهای حمل‌ونقل ریلی

سیستم‌های ریلی بر اساس محیط جغرافیایی/شهری که در آن فعالیت می‌کنند و به‌طورکلی بر اساس عملکردشان، به موارد زیر تقسیم می‌شوند:

- راه‌آهن بین‌شهری
- راه‌آهن حومه‌ای / مسافری (راه‌آهن شهری) / منطقه‌ای
- راه‌آهن شهری

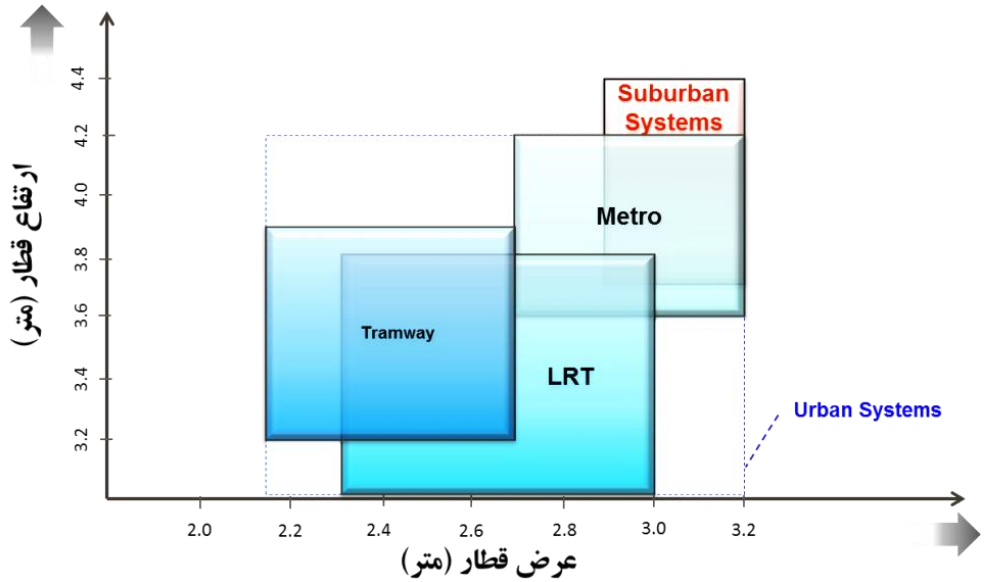
۳-۵- شناخت اولیه از انواع ناوگان ریلی در مُدهای مختلف حمل‌ونقل عمومی

در فصل ۲ به شناخت انواع مُدهای حمل‌ونقل عمومی پرداخته شد و در این فصل در خصوص انواع ناوگان مورد استفاده با تمرکز بر ناوگان ریلی شهری و معرفی انواع مورد استفاده، برگرفته در تجربیات متداول جهانی پرداخته خواهد شد. در نمودار ارائه شده در شکل ۸-۵ انواع ناوگان مورد استفاده در حمل‌ونقل عمومی شهری به ترتیب قابلیت و ظرفیت حمل مسافر نمایش داده شده است.



شکل ۸-۵- انواع ناوگان مورد استفاده در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری (جاده‌ای و ریلی)

از دیدگاه مشخصات ابعادی ناوگان ریلی مورد استفاده در مُدهای مختلف حمل‌ونقل عمومی، توجه به نمودار ارائه شده در شکل ۹-۵ حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که این نمودار بر اساس تجربیات متداول جهانی و در محدوده تولیدات شرکت‌های واگن‌سازی مطرح در سراسر دنیا تنظیم شده است.



شکل ۹-۵- طبقه‌بندی ناوگان ریلی در مُدهای مختلف حمل‌ونقل از نظر عرض و ارتفاع قطار

۵-۴- راه‌آهن شهری

۵-۴-۱- مترو

ناوگان حمل‌ونقل ریلی انبوه‌بر می‌توانند در آرایش‌های بسیار متنوعی عرضه شوند. قطار مترو سبک که ازاین‌پس به‌اختصار «قطار مترو» نامیده می‌شود، دارای ویژگی‌های مشترک زیادی با قطار شهری سبک است؛ اما عرض واگن‌های آن از مترو سنگین کمتر بوده و از واگن‌های مفصل‌دار استفاده می‌کند. برای تسریع در امر سوار و پیاده‌شدن مسافرین، واگن‌های مترو اغلب دارای تعداد زیادی درب (۴ در هر واگن در طول متداول حدود ۲۰ متر برای هر واگن) هستند و فضاهای مربوط به مسافرین ایستاده در آن‌ها به‌منظور جادادن تعداد زیادی مسافر ایستاده افزایش یافته است.

از مترو سبک بیشتر برای سفرهای کوتاه استفاده می‌شود (فاصله ایستگاه‌ها در حدود ۱ کیلومتر است). درحالی‌که مترو سنگین اساساً برای سفرهای طولانی‌تر مناسب است؛ بااین‌حال دو سیستم می‌توانند در شرایط خاص با یکدیگر ادغام شوند. قطارهای متروی سنگین به نسبت درب کمتری دارند و تعداد صندلی‌ها در آن‌ها بیشتر است.

قطار مترو حداکثر تا سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در خطوط با شیب صفر تا حداکثر ۵٪ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در عمل، حداکثر سرعت در حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت است. همچنین مشخصات

شتاب این نوع از قطارها در مقایسه با هر کدام از مُدهای حمل‌ونقل دیگر بسیار خوب است.

طول واگن‌های مترو با بدنه صلب[20] در حدود ۱۸ تا ۲۵ متر است که این مقدار برای مجموعه‌های با دو واگن مفصلی[21] از ۲۵ تا ۳۰ متر افزایش می‌یابد. قطارهای این سیستم به‌طورمعمول با آرایش ۴ تا ۱۰ واگن تشکیل می‌شوند.

عرض واگن‌ها از ۲.۶ متر تا ۳.۳ متر متغیر است. ناوگان با عرض کمتر (تا ۳.۰ متر) بیشتر برای بهره‌برداری در تونل‌ها مناسب‌تر هستند. ارتفاع آن‌ها در واگن‌های یک طبقه بین ۳.۳ متر تا حدود ۴ متر (از تاج ریل[22]) است که استفاده از ریل سوم به‌جای پانتوگراف برای تأمین نیروی محرکه قطار، باعث کاهش ارتفاع واگن می‌شود.

اغلب قطارهای مورد استفاده در این سیستم قطار شهری دارای ارتفاع کف واگن در حدود ۱.۰ متر است و این بدین معنا است که برای سوار و پیاده شدن مسافران نیاز به احداث سکو است.

ناوگان متروی سنگین ممکن است دو طبقه باشند؛ با این وجود تجربه استفاده از واگن‌های یک طبقه در دنیا مرسوم‌تر و برجسته‌تر است.

سیستم حمل‌ونقل ریلی که در شهر تهران ارائه و به‌کار برده شده است بر اساس ناوگان شرکت‌های تابعه CRRC کشور چین ساخته شده است که دارای ۲۰ متر طول، ۲.۶ متر عرض و ارتفاعی در حدود ۳.۸۵ متر است که با استفاده از ریل سوم و ولتاژ ۷۵۰ ولت DC کار می‌کند.

سیستم‌های مترو بر اساس حجم مسافرینی که به آن‌ها خدمت‌رسانی می‌کنند به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- مترو سنگین[23]
- مترو سبک[24]

مترو سبک، یک راه‌حل ترکیبی و میانه بین مترو سنگین و قطار سبک شهری است.

در مقایسه با مترو سنگین، مترو سبک با ظرفیت حمل‌ونقل (جابجایی مسافر) کمتر، ناوگان سبک‌تر و

[20] Rigid body
[21] Two car articulated sets
[22] TOR (Top of Rail)
[23] Heavy Metro
[24] Light Metro

فاصله کمتری بین ایستگاه‌ها (با فاصله ایستگاه‌هایی در حدود ۱ کیلومتر) شناخته می‌شود. از این سامانه عموماً برای جابجایی مسافرین در شهرهایی با جمعیت بین ۵۰۰,۰۰۰ تا ۵,۰۰۰,۰۰۰ نفر بهره برده می‌شود و در مقابل احداث مترو سنگین برای شهرهای با جمعیت بیشتر از ۵,۰۰۰,۰۰۰ نفر مناسب‌تر است.

شکل ۱۰-۵- مترو Athens (قطار با چرخ و محور فولادی، کنترل توسط راهبر)

شکل ۱۱-۵- مترو Lausanne (قطار با چرخ‌های لاستیکی و بدون راهبر)

جدول ۱-۵ برخی از مشخصات اصلی ساختی و عملکردی دو نوع مترو را که در بالا ذکر شد مقایسه می‌کند.

جدول ۱-۵- مشخصات اصلی ساختی و عملکردی متروی سبک و سنگین

مشخصه	متروی سبک	متروی سنگین
فاصله میان ایستگاه‌های متوالی	500-1000 m	800-1300 m
سرعت تجاری	25 – 35 Km/h	30 – 40 Km/h
موقعیت نسبت به سطح زمین	نسبی (هم روی‌سطح و هم زیرزمین)	عموماً زیرزمینی
حداکثر ظرفیت جابجایی	≈ 35,000 PPHPD	≥ 45,000 PPHPD
آرایش قطار	2-6	4-10
طول قطار	30 – 120 m	80 – 250 m
عرض ناوگان	2.10 – 2.65 m	2.60 – 3.20 m
سیستم راهبری	با راهبر یا اتوماتیک عموماً	با راهبر یا اتوماتیک

درجه اتوماسیون بهره‌برداری:

بر اساس درجه اتوماسیون بهره‌برداری- که به‌اختصار GoA[25] نامیده می‌شود- سیستم‌های مترو در چهار دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱۲-۵ این چهار دسته را به‌خوبی نشان می‌دهد و شاخصه‌های بهره‌برداری هر گروه که تعیین‌کننده GoA است را ارائه می‌دهد.

Grade of automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of disruption
GoA 1	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2	ATP and ATO with driver (STO)	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3	Driverless (DTO)	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

شکل ۱۲-۵- طبقه‌بندی سیستم‌های مترو بر اساس درجه اتوماسیون و نحوه بهره‌برداری آن‌ها

[25] Grade of Automation

GoA1: راهبری توسط راهبر: راهبر قطار به‌طور کامل و مؤثر در تمامی فعالیت‌های راهبری قطار نقشه دارد. در این سطح از اتوماسیون، تنها سامانه کنترلی، سامانه حفاظت اتوماتیک قطار یا همان ATP[۲۶] است.

GoA2: بهره‌برداری نیمه اتوماتیک - STO[27]: در این سطح از اتوماسیون، راهبر به‌عنوان یک ناظر در کابین راهبری حضور دارد تا در صورت بروز خرابی یا هر اشکالی در سیستم، عملیات راهبری را بر عهده گیرد و البته راهبر مسئولیت بازکردن و بستن درب‌ها را نیز بر عهده دارد. این قطارها علاوه بر سامانه حفاظت اتوماتیک قطار یا همان ATP مجهز به سیستم بهره‌برداری اتوماتیک قطار یا ATO[28] است.

GoA3: بهره‌برداری بدون راهبر: در این نوع از قطارها، راهبر حضور نداشته و حرکت قطار بدون راهبر است. به‌منظور باز و بسته کردن درب‌ها و نیز انجام اقدامات اصلاحی در حین بروز خطاهای احتمالی در سیستم راهبری، فردی به‌عنوان ناظر در قطار حضور دارد. این قطارها نیز مانند حالت GoA2 مجهز به سیستم‌های ATP و ATO هستند.

GoA4: بهره‌برداری بدون حضور ناظر: در این قطارها که مجهز به سیستم‌های ATP و ATO هستند، عملیات راهبری بدون حضور راهبر یا هرگونه ناظری و به‌صورت کاملاً اتوماتیک انجام می‌پذیرد.

به‌طورکلی، عملکرد قطار زمانی که قطارها بدون راهبر (driverless) باشند (یعنی سطوحGoA4 و GoA3) به‌صورت اتوماتیک در نظر گرفته می‌شود.

دو سطح اخیر GoA باید با نصب درب‌های اتوماتیک سکو یا PSD[۲۹] همراه باشد تا ضریب ایمنی مسافرین افزایش یابد.

[26] Automatic Train Protection
[27] Semi-Automatic Train Operation
[28] Automatic Train Operation
[2929] Platform Screen Door

شکل ۱۳-۵- حضور ناظر در قطار با سطح اتوماسیون GoA3

جدول ۲-۵ مزایا و معایب سیستم‌های بهره‌برداری اتوماتیک مترو را در مقایسه با سیستم‌های مترو با راهبر نشان می‌دهد.

جدول ۲-۵- مقایسه مزایا و معایب سیستم‌های بهره‌برداری اتوماتیک با سیستم‌های با راهبر

مزایا	معایب
کاهش هزینه‌های استخدام و به‌کارگیری راهبران	نگرانی برخی از مسافرین بالقوه این سامانه به‌عنوان یک فاکتور بازدارنده برای استفاده از این نوع مُد حمل‌ونقل به علت عدم وجود راهبر
منظم بودن و انعطاف‌پذیری خدمات‌رسانی به دلیل بهره‌برداری مستقل از راهبر	کاهش موقعیت‌های شغلی
افزایش ایمنی در ترافیک به علت حذف عامل انسانی	افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز هزینه‌های اضافی پرسنل مرتبط با ایمنی قطارها
راهبری با راندمان بالاتر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی	
افزایش تعداد قطارهای در سرویس و در نتیجه استفاده از قطارهای با طول کوتاه‌تر به ازای ظرفیت حمل‌ونقل ثابت و کاهش طول سکوی ایستگاه‌ها	
افزایش سرعت بهره‌برداری و خدمات‌رسانی و در نتیجه افزایش ظرفیت مسیر	
کاهش زمان تأخیر در سکوها و نیز کاهش زمان‌های مانور (شانت) در ایستگاه‌های ترمینالی و کاهش تعداد قطار مورد نیاز برای انجام همه سیرهای برنامه‌ریزی شده	

سایر دسته‌های طبقه‌بندی

بر اساس موقعیت سیر قطارهای مترو در رابطه با سطح زمین، سیستم‌های مترو به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- زیرزمینی
- سطحی
- رو سطحی

سرانجام، بر اساس شکل خطوط شبکه، سیستم‌های مترو به سیستم‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- شعاعی
- خطی با و یا بدون انشعاب
- شبکه‌ای

در اغلب شهرها، طرح شبکه مترو عمدتاً دیکته می‌شود، و با توسعه تدریجی، سیستم مترو شکل می‌گیرد و انعکاسی از چیدمان عملکردهای شهری (موجود یا برنامه‌ریزی شده) است. برای انشعابات جدید و به عبارتی توسعه خطوط یا شبکه‌های جدید، توسعه و احداث یک سیستم مترو به شکل شبکه در ارجحیت است و بنابراین برای پیاده‌سازی مطلوبیت دارد. دلیل این امر اجتناب از ریسک تراکم و شلوغی بیش‌ازحد مرکز شهر است. در مقابل در برخی از شهرها، شبکه خطوط شعاعی با هدف تقویت مرکز شهر انتخاب شده است. سرانجام، در برخی از شهرها، این شبکه ابتدایی و ناقص است زیرا که فقط شامل یک خط مترو است.

سیستم کشش:

ازآنجاکه مسیر سیر قطارهای مترو منحصربه‌فرد بوده و از ترافیک دیگر مُدهای حمل‌ونقل و عابرین پیاده جدا است و از طرفی طول قابل‌توجهی از مسیر در تونل خواهد بود، لذا بهره‌گیری از سیستم تأمین توان ۷۵۰ ولت DC با ریل سوم پیشنهاد می‌شود. استفاده از این گزینه امکان ساخت تونل‌هایی با حداقل قطر را فراهم می‌کند. درصورتی‌که نیاز به یک تکنولوژی مشترک برای هر دو مسیر سامانه‌های حمل‌ونقل منطقه‌ای و شهری باشد، به نظر می‌رسد استفاده از شبکه برق بالاسری با تغذیه بصورت AC یا DC مناسب‌ترین انتخاب است.

بدیهی است انتخاب این روش بر ارتفاع نهایی تونل بویژه در روش‌های غیرمکانیزه تأثیر می‌گذارد و تصمیم در این خصوص بسیار وابسته به موردی است که لازم است در آن خصوص این انتخاب انجام شود. موضوعات قابل در نظر گرفتن در خصوص این انتخاب عبارتند از:

- امکان تیپ‌سازی ناوگان و زیرساخت تجهیزات تامین توان با وضعیت شبکه موجود حمل و نقل عمومی ریلی در شهر مادر،
- پیش‌بینی امکان استفاده از زیرساخت تعمیراتی و دپوهای شبکه شهر مادر و کاهش هزینه‌های تملک، هزینه‌های تجهیزات تعمیرگاهی و هزینه‌های کارهای عمرانی و امکان استفاده از کارکنان مجرب و آموزش دیده مشغول بکار در دپوهای جامع شبکه ریلی در شهر مادر
- میزان فاصله حومه از شهر مادر،
- متوسط فاصله بین ایستگاهی در کل خط،
- حداکثر فاصله بین‌ایستگاهی در کل خط و تعیین تعداد مواردی که فاصله آنها بیش از ۴ کیلومتر می‌باشد،
- میزان گسترش خط در شهر مادر و نسبت طولی و ایستگاهی آن به توسعه صورت گرفته تا حومه،
- بررسی امکان پیش‌بینی پست‌های برق میان‌راهی در طول مسیر در گزینه‌هایی که سطح ولتاژ کاهش یافته و نوع تغذیه جریان مستقیم می‌باشد،
- مقایسه اقتصادی انواع روش تغذیه در انتخاب سطح ولتاژ و تکنولوژی ناوگان از منظر هزینه تجهیزات تامین توان، ناوگان و کارهای ساختمانی،
- پیش‌بینی امکان استفاده از قطار قرضی در شروع بهره‌برداری.

زیرساخت:

سیستم مترو از لحاظ الزامات زیرساختی، تشابه زیادی با راه‌آهن منطقه‌ای از منظر حق تقدمِ کاملاً تفکیک شده (مسیر سیر کاملاً مجزا)، خطوط ریلی فولادی با گیج خط استاندارد و لزوم احداث سکوهای مسافری دارد. با این وجود در مقایسه با راه‌آهن منطقه‌ای[۳۰]، در بخش زیرساخت‌های مورد نیاز، صرفه‌جویی‌هایی

[30] Regional Rail

در هزینه وجود دارد.

سطوح بالاتر اتوماسیون در متروها به این معنی است که می‌توان از ایستگاه‌ها، بدون پرسنل بهره‌برداری کرد و همچنین می‌توان سکوهای کوچک‌تری احداث کرد؛ چرا که ورود و خروج قطارها به ایستگاه با تناوب بیشتر به معنای کاهش زمان انتظار مسافران است. طول سکوها در متروها به‌طور نرمال در حدود ۱۰۰ تا ۱۶۰ متر است. به‌منظور کاهش فاصله میان قطار با لبه سکوها بایستی سکوها در مسیر مستقیم و بدون قوس ساخته شوند.

۵-۴-۱-۱- ناوگان مترو سبک

ناوگان مترو سبک دارای ویژگی‌های مشترک زیادی با ناوگان قطار سبک شهری است؛ برای تسریع در امر سوار و پیاده‌شدن مسافرین، واگن‌های مترو اغلب دارای تعداد زیادی درب (۴ درب در هر واگن) هستند و فضاهای مربوط به مسافرین ایستاده در آن‌ها به‌منظور جادادن تعداد زیادی مسافر ایستاده افزایش یافته است.

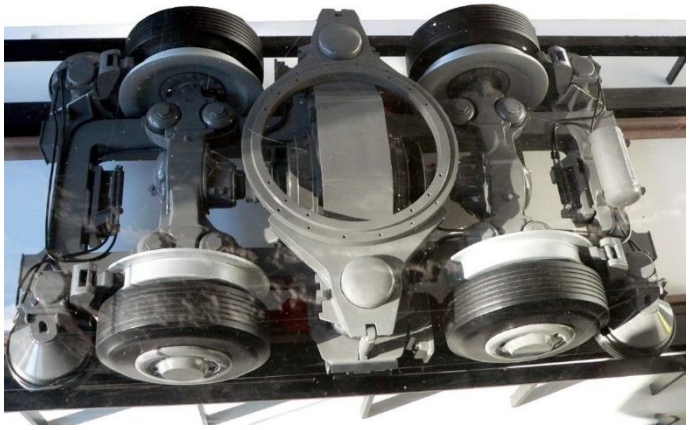
قطار مترو سبک حداکثر تا سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت در خطوط با شیب صفر تا حداکثر ۵٪ مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. همچنین مشخصات شتاب این نوع از قطارها در مقایسه با هر کدام از مُدهای حمل‌ونقل دیگر بسیار خوب است.

اغلب قطارهای مورد استفاده در این سیستم قطار شهری دارای ارتفاع کف واگن در حدود ۱ متر است و این بدین معنا است که برای سوار و پیاده شدن مسافران نیاز به احداث سکو است.

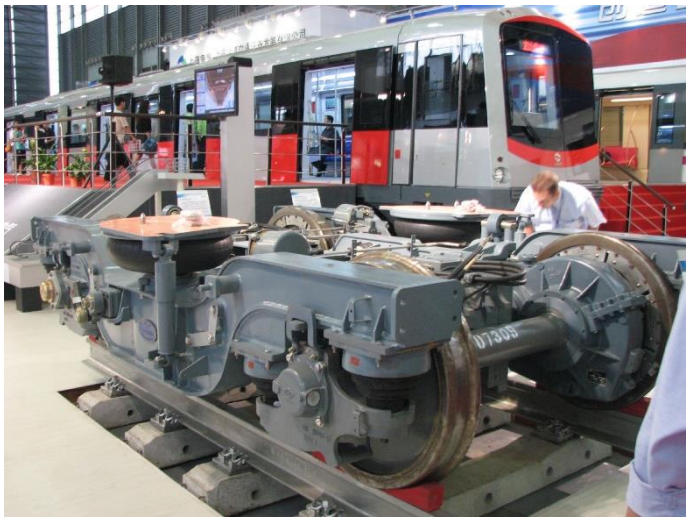
بر اساس سیستم حرکتی، قطارهای مترو به شکل زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- قطارهای با چرخ و محور فولادی
- قطارهای با چرخ‌های لاستیکی (تایر)

شکل ۱۴-۵ و شکل ۱۵-۵به ترتیب یک بوژی مترو با تایرهای لاستیکی و بوژی با چرخ و محور فولادی را نشان می‌دهند.



شکل ۱۴-۵- نمای یک بوژی مترو با چرخ‌های لاستیکی



شکل ۱۵-۵- نمای یک بوژی مترو با چرخ و محور فولادی

جدول ۳-۵ مزایا و معایب قطارهای دارای چرخ‌های لاستیکی و قطارهای با چرخ و محور فولادی را بیان می‌کند.

جدول ۳-۵- مزایا و معایب قطارهای دارای چرخ‌های لاستیکی و قطارهای با چرخ و محور فولادی

چرخ و محور فولادی	چرخ لاستیکی
- سروصدا و نویز زیاد	+ سروصدا و نویز کم
	- سروصدا و نویز بیشتر در شروع به حرکت
- شتاب کمتر	+ شتاب بیشتر
- توانایی عبور از فرازهای (شیب قائم) کوچک‌تر (تا ۵)	+ توانایی عبور از فرازهای بزرگ‌تر (تا ۱۳)
+ مصرف انرژی کمتر	- مصرف انرژی بیشتر
+ هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر	- هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالاتر (تعویض مکرر تایر)
- افزایش پایداری جانبی ناوگان	-کاهش پایداری جانبی ناوگان (لزوم استفاده از چرخ‌های هادی جانبی)
- بار محوری بیشتر	- بار محوری کمتر
- مسافت ترمزی بیشتر	+ مسافت ترمزی کمتر
- راحتی سفر (راحتی دینامیکی) کمتر	+ راحتی سفر بیشتر

بدنه قطارها از فولاد کربنی، فولاد ضدزنگ و یا آلومینیوم ساخته می‌شود. درب‌ها به شکل زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- کشویی دوبل بازشونده به سمت بیرون[۳۱]
- کشویی دوبل بازشونده در بدنه قطار[۳۲]

ظرفیت حمل‌ونقل مسافر در قطار (مسافران ایستاده و نشسته) با توجه به طراحی فضای داخلی واگن‌ها، معمولاً ۸۰۰ تا ۱,۷۰۰ نفر است. درصد مسافران نشسته به ایستاده از ۲۵ تا ۴۵ درصد متغیر است.

ناوگان مترو سبک به بوژی‌های معمولی مجهز هستند. ویژگی‌های زیر در این بوژی‌ها مشاهده می‌شود:

- فاصله محور تا محور کوچک‌تر (a=1.80-2.20 m) در مقایسه با 2.5 – 3.0 m در ناوگان مرسوم در راه‌آهن)
- قطر چرخ D=0.70-0.80 m در مقایسه با 0.9 – 1.0 m در قطارهای معمولی راه‌آهن

سیستم حمل‌ونقل ریلی که در شهر تهران ارائه و به کار برده شده است بر اساس ناوگان شرکت‌های تابعه CRRC چین ساخته شده است که دارای ۲۰ متر طول، ۲.۶ متر عرض و ارتفاعی در حدود ۳.۸۵ متر است

[31] Double Sliding Plug Doors
[32] Double Sliding Pocket Doors

که با استفاده از ریل سوم و ولتاژ ۷۵۰ ولت DC کار می‌کند.

جدول ۴-۵ خلاصه مشخصات عملکردی یک واگن مترو سبک ۵ واگنه را نشان می‌دهد که در خطوط جدید متروی تهران (خط ۸ تا ۱۱) پیشنهاد شده است.

جدول ۴-۵- خلاصه مشخصات عملکردی یک واگن مترو سبک با ۵ واگن

مشخصه	مقدار
آرایش قطار	۵ واگن
ابعاد واگن	۲۴۰۰ میلی‌متر ×۲۶۰۰ میلی‌متر
ظرفیت هر واگن (مسافر)	۱۰۵۰ (با معیار حداکثر ۶ نفر ایستاده بر هر مترمربع)
نوع تغذیه	750 v DC 3rd Rail
حداکثر سرعت	۸۰ کیلومتر بر ساعت
تعداد پرسنل بهره‌بردار در قطار	۱ نفر (راهبر)
اندازه گیج خط	۱۴۳۵ میلی‌متر
ارتفاع کف واگن از سطح ریل	۱۰۵۰ میلی‌متر

۵-۴-۲- قطار شهری سبک و تراموا

ناوگان قطار شهری سبک که امروزه در سراسر جهان در دسترس بوده و یا در حال بهره‌برداری هستند، در اشکال مختلف دیده می‌شوند. قطارهای تک واگنه برقی، قطارهای متشکل از ۲ و ۳ واگن مفصلی و سیستم‌های مدولار که حداکثر تا ۹ ماژول (بخش‌های مسافری، کابین راهبر، بخش نیروی محرکه، بخش مفصلی و غیره) را می‌توان در کنار یکدیگر قرارداد تا قطار دلخواه تشکیل شود، از انواع مختلف قطار شهری سبک هستند.

بر اساس آرایش قطار، طول ناوگان از ۱۸ متر تا تقریباً ۸۰ متر متغیر است. طول متداول قطار در حدود ۳۴ متر است و در وسط دارای مفصل است. عرض ناوگان معمولاً کمتر از ۳ متر (بین ۲۴۰۰ میلی‌متر تا ۲۷۵۰ میلی‌متر) و ارتفاع آن بین ۳.۴ متر تا ۳.۹ متر است.

ارتفاع کف قطارهای سبک شهری اختلاف قابل‌توجهی با وسایل نقلیه ریلی سنگین (از جمله راه‌آهن منطقه-ای و حومه‌ای) دارد. اکثر این قطارها دارای شاسی کوتاه با ارتفاع ۳۵۰ میلی‌متر بالاتر از سطح ریل

هستند که توسط شبکه برق بالاسری تغذیه می‌شوند. استفاده از ناوگان ریلی با ارتفاع شاسی کم، گزینه ایده‌آلی برای بهره‌برداری از ناوگان ریلی در شهرها است و نیاز به احداث زیرساخت اضافه برای سوار و پیاده‌شدن مسافرین را به حداقل می‌رساند. بااین‌حال، در صورت استفاده از ریل سوم برای تغذیه قطارها، حداقل ارتفاع کف از تاج ریل را تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر افزایش می‌دهد و لذا بهره‌گیری از سکوهای بلند برای سوار و پیاده‌شدن مسافرین اجتناب‌ناپذیر است.

انرژی الکتریکی برای رانش قطار معمولاً به‌جای ریل سوم از طریق شبکه برقی بالاسری ولتاژ بالا تأمین می‌شود و این بدان معناست که این قطارها به حدود ۵.۲ متر ارتفاع آزاد از روی ریل در تونل‌ها و یا زیر پل‌ها نیاز دارند. همچنین واگن‌ها معمولاً یک طبقه ساخته می‌شوند و این امر زمان‌های سوار و پیاده شدن مسافران را کاهش می‌دهد.

چیدمان داخلی واگن و نیز شمار درب‌ها متغیر است، و به‌طورکلی تولیدکنندگان می‌توانند واگن‌ها را بر اساس خواست و نیاز مشتری تولید کنند. اکثر واگن‌های ریلی سبک دارای ۱ یا ۲ درب در هر بخش (۴ تا ۵ درب برای یک قطار مفصلی به طول ۳۴ متر) هستند و به ازای ۲۰ تا ۳۰ درصد از ظرفیت کل مسافران صندلی وجود دارد. آرایش صندلی‌ها در کشورهای اروپایی معمولاً ۲ ردیف صندلی‌های دوتایی روبه‌جلو هستند، هرچند که هر نوع آرایش صندلی دیگری نیز قابل‌تصور و ساخت است. در برخی از شهرها برای به حداکثر رساندن ظرفیت مسافرین، افزایش نسبت مسافرین ایستاده به مسافر نشسته مناسب‌تر است. (به‌طور مثال ۸۵ در مقابل ۱۵). این امر تا حدی به طول سفر بستگی خواهد داشت و یک قانون کلی وجود دارد که هرچه سفر طولانی‌تر باشد، نیاز به صندلی بیشتری است. به همین ترتیب، می‌توان تعداد درب‌های واگن را برای افزایش سرعت سوار و پیاده‌شدن مسافرین افزایش داد. درب‌ها به‌طورکلی اتوماتیک هستند و توسط راهبر باز و بسته می‌شوند.

انتخاب آرایش ناوگان قطار شهری سبک بر اساس عوامل زیر انجام می‌شود:

- میزان اوج تقاضای مسافر،
- طول سفر،
- حداکثر طول عملیاتی قطار،
- اثرات نوع تغذیه (بالاسری) بر حداقل ارتفاع کف،
- نرخ سوار و پیاده‌شدن مسافرین، و

- عوارض فیزیکی و ارتفاع آزاد وسیله (پل و تونل).

۵-۴-۲-۱- زیرساخت

ناوگان قطار شهری سبک ریلی در مسیرهای با گیج خط استاندارد (۱۴۳۵ میلی‌متر) سیر می‌کنند. در این مُد حمل‌ونقل سیر ناوگان ریلی در خیابان مطلوب نیست، مسیر قطار سبک شهری بهتر است به‌طور کامل یا به‌صورت نسبی تفکیک شود و حق تقدم و مسیر کاملاً اختصاصی از ترافیک خیابان را داشته باشد. در این حالت از تونل یا گذرگاه مرتفع استفاده می‌شود.

هنگامی‌که از شبکه برق بالاسری استفاده می‌شود، حداقل ارتفاع آزاد ۵.۲ متر از سطح تاج ریل مورد نیاز است.

الف- بهره‌برداری در سطح خیابان و مسیر مشترک

بهره‌برداری از قطار سبک شهری در خیابان به‌عنوان یک تراموا برای کل یا بخشی از طول مسیر به راه‌حل‌های مختلفی برای زیرساخت نیاز دارد. قطارها می‌توانند در دو سمت کناری خیابان و یا در میانه آن حرکت کنند. برای سیر قطار در خیابان، می‌توان از مسیر روباز استاندارد استفاده کرد تا امکان تداخل مسیر با سایر وسایل نقلیه از بین رفته و به این شکل از مسیر ترافیک نیز محافظت شود. در این صورت در تقاطع جاده‌ها و گذرگاه‌های عابر پیاده از مسیرهای هم‌سطح استفاده می‌شود.

بهره‌برداری و سیر قطارها در سطح خیابان در شهرها نیاز به مدیریت گسترده ترافیک دارد. این موضوع شامل موارد زیر است:

- اولویت سیر قطار شهری سبک،
- جداسازی مسیر ترافیک در تقاطع‌های جاده و ریل،
- علائم ترافیکی دور زدن ممنوع،
- مسدودی کامل یا جزئی مسیرهای جاده‌ای،
- استفاده از خطوط جاده‌ای یا ریلی در لاین مخالف،
- کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در تقاطع جاده‌های کوچک و بزرگ،
- احداث تقاطع‌های عابر پیاده مجزا و یا کنترل ترافیک در توقفگاه‌های مسافری.

درصورتی‌که قطارها در دو طرف کناره خیابان حرکت کنند، ایستگاه‌ها در کناره خیابان جانمایی می‌شوند و ممکن است ممنوعیت گردش برای دیگر وسایل اعمال شود تا از عبور وسایل نقلیه از جلوی قطار سبک شهری جلوگیری به عمل آورده شود؛ در این صورت گردش خودروها و ترافیک خیابانی تأثیر بسیار کمی بر روی بهره‌برداری و سیر قطار شهری سبک دارد. با توجه به جابجایی ایستگاه‌ها و قرارگیری آن‌ها در کنار خیابان، عموماً این موضوع مخالفت و اعتراض شدید مغازه‌داران مواجه می‌شود چرا که ممکن است بخش بزرگی از فعالیت اقتصادی آن‌ها به فضای کنار خیابان وابسته باشد.

درصورتی‌که مسیر سیر قطار در لاین میانی خیابان باشد، ممکن است خطوط ترافیکی جابجا شوند و برای گردش وسایل نقلیه، لازم است طراحی تقاطع و کنترل ترافیک ویژه‌ای انجام شود.

سیر قطارها از وسط خیابان لزوم اندیشیدن تمهیدات ویژه‌ای را نیز برای عبور و مرور عابرین پیاده ایجاد می‌کند؛ که از مهم‌ترین آن‌ها دسترسی ایمن عابرین پیاده از پیاده‌روها به ایستگاه‌هاست که در وسط خیابان احداث شده‌اند. برای این منظور مسافران باید از عرض خیابان برای دسترسی به ایستگاه قطار شهری سبک عبور نمایند. برای حل این مشکل، چند راه‌حل عموماً در دسترس است. از جمله این تمهیدات، احداث گذرگاه‌های غیر هم‌سطح عابر پیاده (پل روگذر یا مسیر زیرگذر)، تقاطع هم‌سطح عابر پیاده مجهز به چراغ راهنمایی و رانندگی، باریک شدن مسیر خیابان برای کندکردن جریان ترافیک در محدوده تقاطع و یا وضع کردن برخی قوانین راهنمایی و رانندگی برای ممنوعیت عبور خودروها از محل توقف ناوگان قطار شهری سبک است.

درهرصورت باید فضایی ایمن و محافظت شده برای زمان انتظار مسافرین در نظر گرفته شود. استفاده از سکوهای جانبی و سکوهای جزیره‌ای هر دو امکان‌پذیر است، با این وجود، از آنجا که احداث سکوهای جزیره‌ای باعث می‌شود تا مسافرین برای دسترسی به ایستگاه از مسیر عبور قطار تردد نمایند لذا این نوع از سکوها ترجیحاً باید در مکان‌هایی ساخته شوند که دسترسی عابرین پیاده به ایستگاه‌ها از مسیر حرکت قطار تفکیک شده و یا دارای تقاطع غیر هم‌سطح باشد. عرض سکوهای جانبی باید حداقل ۳ متر و ترجیحاً ۵ متر باشد تا فضای لازم برای انتظار و گردش مسافر و همچنین سرپناه، صندلی‌ها و احتمالاً دستگاه‌های فروش بلیت را در خود داشته باشد.

سکوها باید از جان مسافرانی که منتظر ورود قطار به ایستگاه هستند در برابر جریان ترافیک خودروها

که در مسیرهای مجاور ایستگاه وجود دارد محافظت کنند. این امر به کمک حفاظ‌های نرده‌ای مقاوم و یا نیوجرسی امکان‌پذیر است.

طراحی و بهره‌برداری از قطارهای سبک شهری که در میانه خیابان حرکت می‌کنند بهترین فرصت را برای تفکیک مسیر قطار از ترافیک خودروها در خیابان‌ها را ارائه می‌دهد. مسیر عبور قطار را می‌توان نسبت به سطح خیابان بالاتر ساخت تا مانعی برای وسایل نقلیه دیگری باشد که ممکن است به‌صورت اتفاقی به مسیر عبور و مرور ورود پیدا کنند.

برای به حداکثر رساندن ظرفیت جابجایی قطار سبک شهری، ممکن است جداسازی مسیر ریل و خیابان در تقاطع‌های مهم و کلیدی لازم باشد. بدون این تفکیک ممکن است ظرفیت سیستم در برخی از شهرها به‌طورجدی کاهش یابد. بااین‌حال، پتانسیل تفکیک و جداسازی مسیرها به طول بلوک‌های شهری در کریدورهای منتخب برای مسیر ریلی بستگی دارد. با توجه به قابلیت سیر قطار در فرازهایی تا حدود ۶ درصد، ممکن است برای گذر کردن یک قطار از زیر یک خیابان در محل تقاطع به‌وسیله احداث یک زیرگذر به حدود ۱۰۰ متر فاصله نیاز باشد.

در سیستم‌های قطار شهری سبک که بر روی سطح خیابان سیر می‌کنند فاصله میان ایستگاه‌ها معمولاً نزدیک بوده و این موضوع بر سرعت تجاری و نیز سرفاصله زمانی قطارها تأثیر می‌گذارد؛ چرا که مجموع زمان‌های توقف در ایستگاه‌ها به‌طور بالقوه بیشتر از سیستم‌هایی است که مسیری کاملاً تفکیک شده دارند.

در این نوع از سیستم حمل‌ونقل ریلی، تأمین برق مورد نیاز برای سیر قطارها از طریق شبکه بالاسری انجام می‌شود؛ چرا که به خاطر مسائل ایمنی و احتمال خطر برق‌گرفتگی، استفاده از ریل سوم برقدار ممکن نیست. در عوض به‌منظور کابل‌کشی، باید سازه‌هایی برای این منظور نصب شود. این تیرک‌ها می‌توانند به‌صورت تیرک‌های مرکزی یا کناری باشند و یا اینکه به ساختمان‌های مجاور متصل شوند. استفاده از شبکه برق بالاسری تأثیر مستقیمی بر سیما و منظر شهری داشته و در شهرهای زیبا و دیدنی باید مورد توجه قرار بگیرد.

بزرگ‌ترین چالشی که در راه‌اندازی و بهره‌برداری از قطار شهری سبک در سطح خیابان وجود دارد موضوع اولویت یا حق تقدم عبور و مرور قطار نسبت به ترافیک عمومی خیابان‌ها است. بدون انجام اقدامات مؤثر برای جلوگیری از گیر افتادن قطارها در شلوغی‌های ترافیک شهری، این سیستم به‌عنوان یک مُد حمل‌ونقل نسبت به خودروهای شخصی و تاکسی مزیتی نخواهد داشت و بنابراین به مزیت ذاتی خود دست نخواهد یافت.

به‌منظور تأمین اولویت حمل‌ونقل ریلی در برای ترافیک خودرویی در خیابان‌ها، روش‌ها و رویکردهایی به قرار زیر وجود دارد:

- استفاده از علائم بصری واضح و قابل‌فهم در تقاطع‌ها: علامت‌گذاری در تقاطع‌های مسیر قطار شهری سبک و مسیر خیابان در حاشیه خیابان و یا روی پیاده‌روها، وسایل نقلیه خودرویی را از توقف در این مکان‌ها منع می‌کند تا مسیری باز و بدون مانع برای قطار شهری به وجود آید. البته این دست اقدامات از ارزش محدودی برخوردارند. در شهرهای پر ازدحام، برای خالی نگه‌داشتن تقاطع‌ها از ترافیک ماشین‌ها، اعمال قانون بسیار زیاد نیاز است.
- تفکیک چراغ‌های سیگنال (علائم) و نیز فازهای آن‌ها برای قطار شهری: این سیستم می‌تواند توسط خود قطار فعال شوند؛ به‌نحوی‌که قطار در تقاطع‌ها دارای اولویت عبور نسبت به ترافیک شهری باشد و با نزدیک شدن قطار به تقاطع‌ها، چراغ‌هایی راهنمایی و رانندگی برای متوقف کردن خودروها در مسیر متقابل تغییر رنگ داده و قرمز شود. استفاده از چنین سیستم‌هایی بسیار گران‌قیمت است و نیاز به نصب چراغ راهنمای ویژه و نیز احتمالاً نصب فرستنده‌هایی بر روی قطار دارد.
- در شهرهای شلوغ و دارای خطوط قطار شهری پرتردد، تعدد اعزام قطارها ممکن است به‌قدری زیاد باشد که عملاً استفاده از چراغ سیگنال‌های خاص ممکن نباشند؛ به‌طور مثال اگر زمان توقف و قرمز بودن چراغ راهنمایی و رانندگی از سرفاصله زمانی حرکت قطارها طولانی‌تر باشد و منجر به ترافیک جدی در خیابان‌های فرعی تقاطع و به‌اصطلاح پس‌زدن ترافیک می‌شود.
- سیر در خلاف جهت حرکت ترافیک یا مسیر ویژه: در این سیستم، در خیابان‌های یک‌طرفه مسیر جداگانه و منحصربه‌فردی را برای قطار شهری در نظر می‌گیرند. این شکل از طراحی مسیر، درجه بالایی از اولویت عبور و مرور را برای قطار شهری در معابر شهرها فراهم می‌کند، اما اجرای آن می‌تواند یک چالش بزرگ باشد. همچنین، ایجاد یک مسیر یک‌طرفه در برخی شهرها که پل‌های شهری محدودیت‌هایی را برای گردش ترافیک ایجاد می‌کنند، ممکن است دشوار باشد. علاوه بر این، حرکت قطار در جهت مخالف ترافیک خودروها به این معنی است که مسیرهای عبور قطار، در جهت سیر آن (حداقل به‌اندازه یک بلوک) از مسیر ترافیک خیابان جدا می‌شوند. مطلوب‌ترین روش استقرار قطار شهری در سطح خیابان‌ها، بهره‌گیری از یک مسیر واحد، مستحکم و در میانه خیابان است. این روش،

مسیری مناسبی را برای سیر قطار مهیا کرده و سودمندی آن را از منظر دید و دسترسی مسافرین، به حداکثر می‌رساند.

- خیابان‌های مسدود: در بسیاری از شهرهای دارای سیستم قطار شهری سبک، بخش‌های مرکزی شهر به‌استثنای قطار شهری سبک بر روی ترافیک عمومی بسته است. این اقدامات معمولاً به‌منظور پیاده‌راه‌سازی در مرکز شهر، یا ایجاد آرامش در ترافیک، کاهش سیستماتیک حجم ترافیک، دسترسی و سرعت در شهرها، مسدود کردن خیابان‌ها، نصب سرعت‌گیر یا ایجاد موانعی برای آرام‌سازی ترافیک[۳۳] انجام می‌شود. ایجاد محدودیت دسترسی وسایل نقلیه شخصی به شهر نه‌تنها می‌تواند شرایط بهره‌برداری و استفاده از سامانه حمل نقب ریلی را بهبود ببخشد، بلکه میزان تقاضای بالقوه سفر را نیز افزایش می‌دهد.

ب- بهره‌برداری در مسیر مجزا

بهره‌برداری از سیستم قطار شهری سبک با مسیر کاملاً مجزا و تفکیک شده، به زیرساخت‌های قابل‌توجهی نسبت به بهره‌برداری در سطح خیابان نیاز دارد. مزیت اصلی سیستم‌های تفکیک شده نسبت به سیستم‌های سطح خیابان بر این است که می‌توان بهره‌برداری پُر ترددتری را راه‌اندازی و مدیریت کرد؛ چرا که در این روش امکان سیر قطارهای بلندتر، با سرعت و ظرفیت مسافر بیشتر و سرفاصله زمانی کمتری وجود دارد.

قابلیت فرازپیمایی یک قطار سبک شهری یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است در طراحی و انتخاب سیستم باید گرفته شود زیرا که تأثیر بسزایی در هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از سیستم دارد. تفکیک کامل مسیر معمولاً به معنای یک سیستم زیرزمینی یا در ارتفاع است تا هیچ تقاطع هم‌سطحی وجود نداشته باشد. بااین‌حال، با تفکیک کامل، می‌توان از تغذیه ریل سوم به‌جای شبکه بالاسری استفاده کرد و این امر باعث کاهش ارتفاع آزاد سازه‌ها و تونل‌ها می‌شود.

در سیستم‌های تفکیک شده، فاصله ایستگاه‌ها به‌طور متوسط ۵۰۰ متر و بیشتر بوده که در مقایسه با سیستم‌هایی که از بخشی از خیابان برای عبور و مرور استفاده می‌کنند- عموماً ۳۰۰ متر و بالاتر- بیشتر است. در این سیستم، سکوهای مرتفع با طول ۵۰ تا ۱۶۰ متر با فضای گردش و انتظار مسافران مورد نیاز است. همچنین احداث سازه‌هایی برای دسترسی به ایستگاه‌ها مانند پله، پله‌برقی، آسانسور و رمپ نیز ضروری است.

[33] Traffic chicane

دستگاه‌های فروش بلیت نیز اغلب در نظر گرفته می‌شود.

عمق تونل‌ها یک متغیر مهم برای سیستم‌های تفکیک‌شده قطار شهری سبک است. به دلیل بهره‌برداری فشرده‌تر و با تعدد بالا و نیز فاصله نزدیک ایستگاه‌ها در مقایسه با گزینه مترو، تونل‌ها باید کم‌عمق- با روبارهٔ ۶ تا ۱۲ متر از سطح خیابان- بوده تا حداکثر دسترسی را از سطح زمین به سیستم داشته باشند. با وجود گزینه‌های زیرزمینی، فرصت ادغام ایستگاه‌های قطار شهری سبک با زیرگذرهای عابرین پیاده نیز دسترسی به فضاهای تجاری و مغازه‌ها فراهم می‌شود. موفق‌ترین سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی سبک در سراسر جهان، خطوطی هستند که توسعه مناطق شهری با توسعه و راه‌اندازی قطار شهری هماهنگ شده است.

با سیستم‌های تفکیک شده درجات بالاتری از اتوماسیون قطار امکان‌پذیر است و سامانه‌های سیگنالینگ و کنترل قطار می‌توانند سرفاصله زمانی را کاهش داده و سرعت تجاری سیستم را افزایش دهند.

۵-۴-۲-۲- بهره‌برداری

ناوگان قطار شهری سبک می‌توانند با سرعت‌های بالا و در حدود ۷۰ -۸۰ کیلومتر بر ساعت مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. بسته به میزان تفکیک مسیر قطار از دیگر مُدها، سرعت تجاری بین ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر در ساعت متغیر است.

قطارهای سبک شهری می‌تواند به سرفاصله‌های زمانی چشمگیری دست پیدا کنند. در ایالات‌متحده پس از جنگ جهانی دوم، رکورد ۳۰ ثانیه‌ای هم در خیابان و هم در تونل برای این سیستم به ثبت رسید. بااین‌حال کمینهٔ سرفاصله عملی برای یک سیستم قطار شهری ۹۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

سرفاصله بهره‌برداری تا حدود زیادی به تفکیک سیستم یا در غیر این صورت، به تعداد و فاصله بین ایستگاه‌ها و نیز درجه اتوماسیون بهره‌برداری قطار بستگی دارد.

از نظر نیاز پرسنل مورد نیاز، سیستم‌های تراموا و قطار شهری سبک هر دو به یک نفر به‌عنوان راهبر نیاز داشته تا قطاری متشکل از چند واگن را راهبری نماید.

مسیر قطار شهری سبک در سطح خیابان، باعث محدودیت در ظرفیت جابجایی مسافر و حداکثر طول قطار می‌شود. حداکثر طول عملیاتی قطار در بهره‌برداری در سطح خیابان به طول بلوک‌های شهری و زمان لازم برای عبور از تقاطع‌ها و آزادسازی مسیر بستگی دارد. در عمل، این موضوع باعث محدود کردن تعداد

واگن‌های یک تراموا می‌شود. عوامل فوق به همراه بهره‌برداری غیر اتوماتیک و وابسته به طول خط دید راهبر[۳۴] و نیز فاصله نزدیک ایستگاه‌ها، باعث می‌شود تا حداکثر ظرفیت تراموا از ۱۲،۰۰۰ مسافر در ساعت تجاوز نکند و این در حالی است که ظرفیت عملی و قابل‌دسترس آن به ۸،۰۰۰ مسافر در ساعت محدود می‌شود.

بهره‌برداری با مسیر مجزا امکان جابجایی مسافر بسیار بیشتری را تا حداکثر ۲۵،۰۰۰ در ساعت دارد. با توجه به اینکه گاهی در یک سیستم، مسیر به‌صورت کامل تفکیک شده نیست و امکان تحمیل محدودیت‌ها و سیر قطار در سطح خیابان نیز وجود دارد لذا حد معمول و مطلوب پذیرفته شده ۲۵ درصد کل مسافت سیر است.

برای کاهش استفاده مسیر قطار توسط دیگر وسایل نقلیه، می‌توان در بخش‌های روباز مسیر از خطوط بالادستی در وسط خیابان استفاده کرد. اگر چه خطوط ریلی در مسیرهایی که با گذرگاه‌های عابر پیاده تقاطع دارند باید هم‌سطح باشند.

سرعت متوسطی که برای سیستم‌های قطار شهری سبک در مسیرهای تفکیک شده در سراسر جهان به ثبت رسیده است، مزایای این سیستم را نشان می‌دهد. به‌طور مثال سرعت متوسط ۳۰ کیلومتر بر ساعت برای خطوطی که ۹۶ درصد از طول کل مسیر تفکیک شده، به ثبت رسیده است. با نسبت کمتری از مسیر تفکیک شده، سرعت متوسط کمتری به دست می‌آید. در مناطقی که سیستم‌های قطار شهری مسیر مشترکی با دیگر مُدهای ترافیکی دارند سرعت متوسط بین ۱۸ تا ۲۴ کیلومتر بر ساعت ثبت شده است.

۵-۴-۲-۳- ناوگان قطار سبک شهری

شکل ۵-۱۶ و شکل ۵-۱۷ قطار شهری سبک ساخت شرکت بومباردیر را نشان می‌دهند که از سال ۲۰۱۴ در سنگاپور مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

[34] line of sight control

شکل ۱۶-۵- نمایی از قطار سبک شهری در مسیر اختصاصی

شکل ۱۷-۵- نمایی داخلی از یک قطار سبک شهری

ظرفیت این قطار ۲۲ نفر نشسته و ۸۳ نفر ایستاده است. بدنه آن آلومینیومی بوده و طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب ۱۲.۸ متر، ۲.۸ مترو ۳.۴ متر است و دارای ۴ درب (۲ درب در هر طرف) است. سرعت بهره‌برداری آن ۵۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت تجاری آن ۴۸ کیلومتر بر ساعت است. سیستم برق‌رسانی آن از نوع ریل سوم و ۶۰۰ ولت AC است و با وزن ۱۵ تن قابلیت شتاب‌گیری با نرخ ۱ متر بر مجذور ثانیه و ترمزگیری با مقدار ۱.۳ متر بر مجذور ثانیه را داراست.

این قطار به‌صورت تک واگنه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و در صورت لزوم قابلیت کوپل شدن تا دو واگن را داراست. انتخاب آرایش ناوگان قطار شهری سبک بر اساس عوامل زیر انجام می‌شود:

- میزان اوج تقاضای مسافر،

- طول سفر،
- حداکثر طول عملیاتی قطار،
- اثرات نوع تغذیه (بالاسری) بر حداقل ارتفاع کف،
- نرخ سوار و پیاده‌شدن مسافرین (یعنی آیا تعدادی ایستگاه مقصد وجود دارد؟)، و
- عوارض فیزیکی و ارتفاع آزاد وسیله (پل و تونل).

۵-۵- طبقه‌بندی انواع ناوگان ریلی

۵-۵-۱- تعریف و انتخاب سطح سرویس‌دهی مناسب ناوگان

مطلوبیت یک سیستم حمل‌ونقل ریلی از نظر مسافرین به عوامل متعددی بستگی دارد. یک سفر با استفاده از وسایل نقلیه ریلی، از لحظه ورود به ایستگاه یا محل توقف قطار آغاز شده و با خروج مسافر از ایستگاه پایان می‌یابد. میزان رضایت مسافرین از سفر، به محیط ایستگاه‌ها، دسترسی آسان به آن‌ها، نحوه تهیه بلیت و خدمات مسافری، دسترسی به قطار، میزان روشنایی و نور ایستگاه‌ها و قطار، علائم و سامانه‌های آدرس‌دهی و بسیاری مشخصه‌های دیگر بستگی دارد.

برخی از عوامل فوق مربوط به نوع سیستم ناوگان بوده و عموماً در قالب «راحتی سیر و حرکت» مورد بحث قرار می‌گیرند. از جمله این موارد، عبارتند از:

- شتاب شروع به حرکت قطار (شتاب در هنگام رانش)،
- شتاب ترمزی قطار (شتاب در هنگام ترمزگیری)،
- نوسانات عمودی و جانبی وارد بر مسافر،
- نرخ تغییرات شتاب (جِرک)،
- میزان نویز یا آلودگی صوتی داخل قطار (تأثیر بر روی مسافرین سوار بر قطار)،
- میزان نویز خارج از قطار که در اثر حرکت و کارکرد سیستم‌های مختلف از جمله ترمز و تهویه حاصل می‌شود. (تأثیر بر مسافرین منتظر در سکوها و یا محیط‌های شهری که قطار از آن‌ها عبور می‌کند)،
- سطح روشنایی و نوع نور (گرم و سرد) داخل قطار،
- دمای محیط و میزان هوای تازه و در گردش،

- وضعیت صندلی‌ها، فرم و اندازه آن‌ها،
- سیستم‌های آدرس‌دهی و اعلان صوتی و بصری به مسافران،
- تعداد صندلی‌ها و به عبارتی نسبت ظرفیت صندلی‌ها به مسافرین ایستاده،
- تعداد درب‌ها،
- فاصله قطار از لبه سکو،

موارد فوق در طراحی ناوگان مؤثر بوده و به‌تفصیل در موقعیت مناسب بر اساس حدود پذیرش مطرح شده در استانداردها مورد بررسی قرار می‌گیرند. آنچه در این بخش به آن پرداخته می‌شود تعاریف مربوط به سطح سرویس‌دهی و ظرفیت ناوگان بر اساس مسافرین نشسته و ایستاده است که بر روی ظرفیت جابجایی حداکثر یک سیستم حمل‌ونقل ریلی تأثیر مستقیم داشته و در برآورده کردن میزان مسافر جابجا شده در یک ساعت و در یک جهت (PPHPD) نقش کلیدی دارد.

از آنجا که سفرهای درون‌شهری عموماً در مسافت‌های کوتاه صورت می‌گیرد و فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر نسبت به قطارهای حومه‌ای، منطقه‌ای و بین‌شهری کمتر است لذا زمان سفر معمولاً کوتاه است؛ از طرفی میزان سوار و پیاده شدن مسافرین در ایستگاه‌ها نسبت به دیگر مُدهای حمل‌ونقل به‌مراتب بیشتر است. لذا پائین‌تر بودن نسبت ظرفیت صندلی‌ها به مسافرین ایستاده از مطلوبیت آن‌ها نمی‌کاهد و در عوض کاهش معقولانه تعداد صندلی‌ها و افزودن به فضای مفید برای مسافرین ایستاده، باعث افزایش ظرفیت ناوگان شده و زمان‌های انتظار و در پی آن زمان سفر را کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است که نهایتاً ملاک اصلی تصمیم‌گیری کل زمان سفر تجربه شده توسط مسافرین و تحمل شتاب‌های جانبی و تکانه‌های در طول سفر است. به‌عنوان‌مثال ممکن است برای اتصال یک شهر حومه‌ای از شهر اصلی قطار برقی در نظر گرفته شده باشد که کل زمان سفر ۱۵ دقیقه بیشتر نبوده و میزان قوس و فرازهای مسیر نیز با ملایمت همراه بوده و مسافر در حین ۱۵ دقیقه سفر در قطار احساس ناخوشایندی نداشته باشند. لذا در این مورد افزایش تعداد مسافران نشسته به ایستاده توصیه نشده و این انتخاب صرفاً سبب افزایش هزینه‌های تأمین اولیه و نگهداری و تعمیرات ناوگان و تجهیزات ثابت و همچنین مصرف انرژی مضاعف در دوره بهره‌برداری از این خط ریلی خواهد بود. همچنین به دلیل نوع ماهیت این سفرها، لزومی به در نظر گرفتن فضای اضافه برای بار همراه مسافر نیز وجود

ندارد.

برای مشخص کردن ظرفیت حمل مسافر یک واگن یا یک قطار لازم است تا تعداد صندلی‌ها و فضای مفید برای جای‌دادن مسافرین ایستاده در دسترس باشد. اما اینکه «چه تعداد مسافر ایستاده در هر مترمربع جای بگیرند؟» پرسشی است که پاسخ به آن سطح سرویس مناسب ناوگان را تعیین می‌کند. بدیهی است که هر چه تعداد مسافر ایستاده در هر مترمربع کمتر باشد، مسافرین، آسایش بیشتری داشته اما ظرفیت ناوگان کاهش و تعداد ناوگان مورد نیاز برای تأمین تقاضای سفر افزایش می‌یابد. بالعکس با افزایش تعداد مسافرین در هر مترمربع، از آسایش مسافرین کاسته شده اما ظرفیت ناوگان افزایش و تعداد ناوگان کاهش می‌یابد. این موضوع بر هزینه‌های تأمین ناوگان و سرفاصله زمانی حرکت قطارها نیز تأثیرگذار است.

به‌منظور تعیین تعداد مطلوب مسافر ایستاده در هر مترمربع، در ابتدا حالت‌های مختلف بارگذاری بر اساس استاندارد EN 13452-1 مطابق جدول ۵-۵ معرفی می‌شود:

جدول ۵-۵- مختلف بارگذاری بر اساس استاندارد EN 13452-1

میزان بارگذاری	توضیح
EL E	قطار آماده بهره‌برداری (به همراه راهبر)؛ بدون مسافر
EL S	EL E + تمامی صندلی‌های ثابت اشغال باشد.
EL T	EL E + تمامی صندلی‌ها اعم از ثابت، تاشو و ... اشغال باشد.
EL X	EL S + X مسافر ایستاده در هر مترمربع به‌عنوان‌مثال: EL 4: تمامی صندلی‌ها پُر هستند و در هر مترمربع ۴ نفر ایستاده‌اند.

۵-۵-۲- بررسی و تعیین روش جذب انرژی توسط ناوگان

برای انتقال انرژی الکتریکی از پست‌های تراکشن به قطار، نیاز به یک شبکه تماس الکتریکی است. این شبکه انتقال قدرت، در طول مسیر حرکتی قطارها گسترده شده و می‌تواند به‌صورت شبکهٔ بالاسری در ارتفاع مناسبی از سطح زمین و یا به‌صورت ریل سوم در سطح زمین انجام شود.

در شبکه بالاسری، یک یا دو سیم هادی، وظیفه تغذیه و انتقال جریان الکتریکی به قطار را بر عهده دارد. این شبکه معمولاً در ارتفاع حدود ۴.۲ تا ۵ متر در داخل تونل و یا مسیر روباز اجرا می‌شود. عمومی‌ترین نوع شبکه هم‌سطح زمین نیز استفاده از هادی دیگری غیر از ریل‌های اصلی است که در طول خط و کنار ریل‌های

حرکتی کشیده شده است. به این هادی، ریل سوم[35] می‌گویند. در این سیستم، جریان الکتریکی توسط یک ریل کمکی در کنار دو ریل حرکت فراهم می‌شود. این ریل می‌تواند در کنار دو ریل دیگر و در سطحی بالاتر از ریل حرکت قرار گرفته و توسط ایزولاتورهایی از سطح زمین عایق شود.

در طول مسیر حرکت، وسیله نقلیه ریلی به‌صورت مداوم، توان الکتریکی را از طریق وسایل فوق دریافت می‌کند و به حرکت خود ادامه می‌دهد. درعین‌حال، مسیر برگشت جریان نیز از طریق ریل‌های حرکتی یا سیم هادی دیگری برقرار می‌شود. انتخاب ریل حرکت یا سیم حامل جریان برگشت به‌عنوان مسیر برگشت، بستگی به چگونگی انتخاب پست‌های تراکشن خواهد داشت.

انتخاب سیستم انتقال توان به قطارها همواره یکی از مسائل مهم طراحان راه‌آهن برقی است. عوامل فراوانی در این انتخاب تأثیر دارند. در این بخش سعی شده محاسن و مشکلات دو نوع متداول سیستم‌های انتقال توان به‌صورت خلاصه بررسی شود.

معیارهای اساسی در انتخاب نوع شبکه تغذیه عبارتند از:

- ایمنی و قابلیت اطمینان بالا،
- اقتصادی بودن،
- تعمیر و نگهداری آسان،
- نصب سریع،
- سازگاری با سایر خطوط،
- برنامه‌های توسعه و ...
- هماهنگی تجهیزاتی با سایر خطوط.

در این میان، قابلیت انتقال قطارها بین خطوط مختلف همواره یکی از عوامل مهم مدنظر کارفرمایان قطار شهری‌ها است. به‌هرحال این عامل، محدودکننده انتخاب سطح ولتاژ و نوع سیستم تغذیه است.

محاسن شبکه تغذیه بالاسری شامل موارد ذیل است:

[35] Third Rail

- شبکه بالاسری به‌این‌علت که در سطحی بالاتر از قطار و در ارتفاعی در حدود ۵ متر از سطح ریل حرکتی قرار می‌گیرد، دور از دسترس عموم بوده، لذا به لحاظ مسائل امنیتی و ایمنی دارای ارجحیت بوده و احتمال خطرات جانبی آن برای پرسنل کمتر است.
- به علت خاصیت انعطاف‌پذیری شبکه بالاسری، سرعت حرکتی قطارها بالا است. لذا نوع سیستم برق‌رسانی، عامل محدودکننده سرعت قطارها نیست.

معایب شبکه تغذیه بالاسری نیز به شرح زیر است:

- خطر پارگی و افتادگی سیم‌های تماس و حامل جریان و نیز مسائل خمش سیم تماس و اتصال کوتاه‌های ناخواسته در این سیستم تا حد زیادی وجود دارد.
- به علت قرارگیری در بالای قطار، باعث افزایش ابعاد تونل می‌شود. این امر مستلزم هزینه‌های بیشتری در احداث تونل با قطر بیشتر می‌شود.
- برای نصب و احداث شبکه بالاسری نیاز به زمان بیشتر و ماشین‌آلات خاص بوده که خود موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود.
- در هنگام بروز سوانح، زمان بیشتری برای رفع عیب و بازآرایی سیستم مورد نیاز است و برای نگهداری و تعمیرات نیز به ابزار و تجهیزات خاص نیاز داشته و به‌طورکلی هزینه‌های تعمیرات و نگهداری در این سیستم‌ها بالا و زمان‌بر است.

محاسن سیستم ریل سوم را می‌توان شامل موارد ذیل عنوان نمود:

- به علت سادگی سیستم، طراحی و نصب آن سریع‌تر، ساده‌تر و ارزان‌تر است.
- نسبت به شرایط محیطی کمتر صدمه می‌بینند.
- به علت قرارگیری در فاصله بین دو مسیر رفت‌وبرگشت قطارها، فضای کمتری را اشغال می‌کند؛ لذا باعث کاهش سطح مقطع تونل‌ها و پل‌ها می‌شود. این موضوع از آنجا که موجب کاهش هزینه‌های احداث تونل می‌شود، بیشتر مورد توجه مهندسین طراح تونل است.
- به‌واسطه سادگی نوع سیستم، به حداقل بازدیدها و تعمیرات دوره‌ای نیاز دارد و باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود.

معایب سیستم ریل سوم نیز شامل موارد ذیل است:

- به علت در دسترس بودن ریل سوم، امکان تماس افراد و یا جانداران در صورت عدم رعایت نکات ایمنی وجود دارد. ایجاد تماس باعث اتصال کوتاه در شبکه تراکشن شده و منجر به قطع برق سیستم می‌شود. برای رفع این مشکل می‌توان با نصب علائم هشداردهنده برای مردم و کارکنان و ایجاد دیوارهای حائل در محدوده ریلی، ورود حیوانات را در مناطق روباز کاهش داد.
- به علت قرار گرفتن هادی‌های ریل سوم در مجاورت زمین و همچنین در معرض تماس پرسنل، امکان افزایش ولتاژ به مقادیر بالاتر از حد معینی وجود ندارد؛ این محدودیت ولتاژ، باعث ایجاد محدودیت‌های فنی دیگری می‌شود.
- به علت غیر پیوسته بودن و همچنین وجود اصطکاک زیاد بین ریل سوم و کفشک جریان قطار، سرعت قطار محدود می‌شود.

۵-۵-۳- بررسی و تعیین نوع و سطح ولتاژ مناسب

در خطوط قطار شهری که عمدتاً روباز بوده و امکان ایجاد مسیر اختصاصی برای آن مقدور نباشد، برای افزایش ایمنی افراد در مقابل خطر برق‌گرفتگی، استفاده از شبکه بالاسری ضرورت می‌یابد. در خطوط با ظرفیت ترافیکی بالا که در بخش‌هایی از آن فاصله ایستگاه‌ها زیاد باشد، برای تأمین ظرفیت کافی، نیاز به افزایش سرعت قطار به بیش از ۸۰ یا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت است. در این نوع خطوط، استفاده از شبکه بالاسری ضرورت می‌یابد؛ چرا که سیستم ریل سوم به‌طورمعمول سرعت را به کمتر از ۹۰ کیلومتر بر ساعت محدود می‌کند.

در خطوط متروی حومه شهری و یا خطوط متروی درون‌شهری که به خطوط لینک حومه شهری متصل می‌گردند، تعداد پست‌های تراکشن نقش پررنگی در هزینه‌های آن ایفا می‌کند. برای کاهش تعداد پست‌ها، افزایش ولتاژ تغذیه به 1500 V-DC یا بیشتر و برای این سطوح ولتاژ نیز به لحاظ ایمنی استفاده از شبکه بالاسری ضرورت پیدا می‌کند.

علاوه بر مسائل فنی و اقتصادی ذکرشده، موارد مهمی به شرح ذیل نیز در انتخاب سیستم مؤثر هستند:

- امکانات ساخت داخل تجهیزات به‌ویژه در حوزه ناوگان،

- ارتباط خط مورد نظر با سایر خطوط مترو،
- استفاده از توانمندی‌های بهره‌برداری سایر خطوط قطار شهری کشور،
- زیرزمینی یا روزمینی بودن خط مورد نظر از لحاظ تأثیرات انتخاب سیستم در زمان‌بندی اجرای پروژه، و هزینه‌های عمرانی خط.

اگر چه نوع و سطح ولتاژ تغذیه می‌بایست بر اساس موقعیت و مشخصات خط مسیر پروژه (پلان و پروفیل مسیر) و امکانات موجود انتخاب شود، ولی امروزه اکثر کشورها برای کاهش تنوع و بر اساس توصیه‌های مؤسسات بین‌المللی سیاست‌گذار در زمینه راه‌آهن و مترو، نوع و سطح ولتاژهای خاصی را به کار می‌برند.

همان‌طور که انتظار می‌رود سیستم شبکه بالاسری برای خطوط متروی شهری متصل به خطوط لینک حومه شهری و خطوط حومه شهری و بین‌شهری توجیه بیشتری دارد و برای خطوط رایج قطار شهری داخلی به‌ویژه از نوع زیرزمینی، سیستم ریل سوم نیز استفاده شده است.

در خطوط بین‌شهری از ولتاژهای متناوب استفاده می‌شود. در این خطوط نیاز به‌شتاب اولیه و سرعت گرفتن سریع قطار نیست، لذا هر واگن لزوماً دارای موتور تراکشن نبوده و کل واگن‌ها به کمک یک سیستم تراکشن که بر روی لکوموتیو قرار دارد، کشیده/هل داده می‌شوند.

در خطوط برقی ریلی درون‌شهری به علت سادگی بیشتر در طراحی و بهره‌برداری، عموماً از ولتاژهای جریان مستقیم ۷۵۰ ولت و ۱۵۰۰ ولت استفاده می‌شود. در خطوط برقی ریلی حومه شهری نیز عموماً از ولتاژهای جریان مستقیم ۱۵۰۰ ولت و ۳۰۰۰ ولت و یا ولتاژهای متناوب ۲۵ و ۲۰ کیلوولت استفاده می‌شود.

انواع ولتاژهای مورد استفاده برای راه‌آهن برقی بر طبق استاندارد EN-50163 و IEC-60850 به‌صورت جدول ۶-۵ است.

جدول ۶-۵- انواع ولتاژهای مورد استفاده برای راه‌آهن برقی بر طبق استاندارد EN-50163 و IEC-60850

Un (v)	Voltage Type	U_{min1} (v)	U_{min2} (v)	U_{max1} (v)	U_{max2} (v)
600	DC	400	400	720	800
750	DC	500	500	900	1000
1500	DC	1000	1000	1800	1950
3000	DC	2000	2000	3600	3900
25000	AC	17500	19000	27500	29000

که در آن:

Un ولتاژ نامی

U_{min1} حد پایین ولتاژ حالت دائمی

U_{min2} حد پایین ولتاژ حالت غیردائمی، برای حداکثر ۱۰ دقیقه

U_{max1} حد بالای ولتاژ حالت دائمی

U_{max2} حد بالای ولتاژ حالت غیردائمی، برای حداکثر ۵ دقیقه

در جدول ۷-۵ اطلاعاتی در خصوص سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از کشورهای مهم جهان ارائه شده است.

جدول ۷-۵- سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از کشورهای مهم جهان

سطح ولتاژ	نوع سیستم انتقال	نام کشور
750 vDC	ریل سوم	در بسیاری از کشورهای دنیا جهت سیستم‌های مترو و LRT درون‌شهری با فواصل ایستگاهی ۱۰۰۰ متر و کمتر
1500 vDC	شبکه بالاسری	آرژانتین، برزیل، فرانسه، چین، کره جنوبی، ژاپن، هنگ‌کنگ، هند، سنگاپور، سوئیس، اسلواکی، اسپانیا، انگلیس، پرتقال، کره‌جنوبی، سوئد، ایتالیا، ترکیه، انگلیس، آمریکا
3000 vDC	شبکه بالاسری	بلژیک، برزیل، کانادا، شیلی، ایتالیا، هلند، روسیه، اکراین، اسپانیا، آفریقای جنوبی، آمریکا
15 kvAC	شبکه بالاسری	استرالیا، آلمان، نروژ، سوئد و سوئیس
25 kvAC	شبکه بالاسری	کانادا، ژاپن، مکزیک، پاکستان، کره‌جنوبی و آمریکا

در جدول ۸-۵ اطلاعاتی در خصوص سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از شهرهای

ایران ارائه شده است.

جدول ۸-۵- سیستم‌های تأمین توان و برق‌رسانی به ناوگان در برخی از شهرهای ایران

نام شهر	نوع سیستم انتقال	خطوط مترو / حومه
تهران	ریل سوم	- خطوط ۱ تا ۷ مترو که در دست تکمیل و بهره‌برداری هستند، - خطوط ۸ تا ۱۱ متروی تهران، - توسعه خط ۱ تا شهر پرند که حومه‌ای محسوب می‌شود.
	شبکه بالاسری	- خط ۵ که حومه‌ای بین تهران-کرج محسوب می‌شود، - قطار سبک شهری تهران در مرحله مطالعات امکان‌سنجی است.
مشهد	ریل سوم	- خط ۲ که در حال بهره‌برداری است. - خط ۳ که در دست ساخت و در آستانه بهره‌برداری است. - خط ۴ که در دست مطالعات است.
	شبکه بالاسری	- خط ۱ قطار شهری مشهد که در حال بهره‌برداری است.
قم	ریل سوم	- خط A قم که در دست ساخت است. - خط B قم که در دست مطالعات است.
کرج	ریل سوم	- خط ۲ کرج که در دست ساخت است.
اصفهان	شبکه بالاسری	- خط ۱ متروی اصفهان که در حال بهره‌برداری است. - خط ۲ متروی اصفهان که در دست ساخت است. - خط ۳ متروی اصفهان که در وضعیت انتخاب پیمانکار است.
شیراز	شبکه بالاسری	- خط ۱ متروی شیراز که در حال بهره‌برداری است. - خط ۲ متروی شیراز که حال بهره‌برداری موقت است. - خط ۳ و ۴ متروی شیراز که در دست مطالعات است.
تبریز	شبکه بالاسری	- خط ۱ متروی تبریز که در حال بهره‌برداری است. - خط ۲ متروی تبریز که در دست ساخت است. - خط ۳ متروی تبریز که در دست مطالعات است. - خط ۴ تراموای تبریز در دست مطالعات است.
اهواز	شبکه بالاسری	- خط ۱ متروی اهواز که در دست ساخت است.
کرمانشاه	ریل سوم	- خط ۱ قطار سبک شهری کرمانشاه که در دست ساخت است.
رشت	شبکه بالاسری	- تراموای رشت که در دست مطالعات است.

۶- انتخاب مُد حمل و نقل و ناوگان ارجح متناسب با شرایط طرح

۶-۱- انتخاب مُد حمل و نقل

بررسی وضعیت خط اکسپرس B متروی تهران با تمرکز بر بخش غربی آن بر اساس مُدهای حمل‌ونقل ریلی معرفی شده در بخش‌های پیشین پرداخته شده است و نتیجه اولیه به‌دست‌آمده، در نظر گرفتن مُد حمل‌ونقل مترو سبک یا منطقه‌ای / حومه‌ای با مسیر کاملاً مجزا است.

جدول ۶-۱- نتیجه اولیه انتخاب مُد حمل‌ونقل از دیدگاه بهره‌برداری و کارکرد سیستم

آیتم / مُد	وضعیت	قطار سبک شهری	مترو سبک	مترو سنگین	منطقه‌ای / حومه‌ای
سطح سرویس	۶۸٪ مسیر با کارکرد شهری و ۳۲٪ با کارکرد حومه	+	+++	++	++
متوسط فواصل بین ایستگاهی	تقریباً ۳۰۰۰ متر	+	+	++	+++
PPHPD	۱۸۰۰۰ ~ ۲۲۰۰۰	++	+++	+	++
سرعت متوسط مورد انتظار	۵۵ - ۶۵ Km/h	×	+	++	+++
مؤثر بودن هزینه‌های ساخت جهت پوشش تقاضا	-	+++	+++	+++	+++
قابلیت بهره‌برداری مشترک در شبکه خطوط در حال بهره‌برداری	✓	×	+++	×	+++
حفظ ویژگی‌های ابعادی و عملکردی ناوگان سایر خطوط	✓	×	+++	×	+++
نتیجه ارزیابی اولیه از دیدگاه بهره‌برداری		۷/۲۱	۱۷/۲۱	۱۰/۲۱	۱۹/۲۱
پیشنهاد اولیه اولویت مُد حمل‌ونقل ریلی		×	✓	×	✓

بر اساس توضیحات ارائه شده در فصل دوم و نتیجه‌گیری صورت گرفته در خصوص مُد حمل‌ونقل مناسب از دیدگاه بهره‌برداری، کلاس ناوگان فعلی در شبکه موجود متروی تهران، در کلاس کاری قطار سبک با ارتفاع شاسی‌بلند و یا مترو سبک بوده، فلذا مشخصات ابعادی و عملکردی پیشنهادی برای ناوگان خطوط شبکه متروی تهران، بر اساس مشخصات ابعادی و عملکردی واگن‌های این خطوط پیشنهاد می‌شود که در فصل

سوم، این مشخصات ارائه شده است و از ذکر مجدد آن در این فصل خودداری می‌شود. بااین‌حال انتخاب ترکیب‌بندی قطار مناسب خط اکسپرس B با تمرکز بر بخش غربی، با توجه به مطالعات ترافیک مسافر و PPHPD موضوع مهمی بوده که در بخش ۴-۶- به‌تفصیل به بیان گزینه‌های مختلف و نحوه ارزیابی آن‌ها اقدام شده است.

۲-۶- انتخاب ناوگان متناسب با مُد حمل و نقل

با توجه به توضیحات در بخش قبلی، پروژه متروی غرب استان تهران (به عنوان بخش غربی خط اکسپرس B در شبکه مترو تهران) از نظر مسافربری و ظرفیت حمل و نقل طی شاخص ترافیکی PPHPD در محدوده‌ای قرار گرفته است که بطور متداول در رنج متوسط مترو و در رنج پایین قطار حومه‌ای و منطقه‌ای می‌باشد و از نظر متوسط فاصله بین ایستگاهی در محدوده مطلوب قطار حومه‌ای و منطقه‌ای بوده و در رنج بالای قطار متروی سنگین قرار گرفته است؛ ضمناً لازم به یادآوری است که در طول بیش از ۱۰۰ کیلومتری خط اکسپرس B، نیمی از گسترده مکانی متعلق به محدوده شهر تهران بوده و نیمی دیگر امتداد آن به سمت حومه‌های غربی و شرقی در تهران می‌باشد. تامل به این نکته قابل توجه بوده که حومه غربی شهر تهران که اولین شهر در این گستره، شهر قدس می‌باشد به صورت کاملاً چسبیده به محدوده شهر تهران بوده و به طور واقعی مفهوم حومه از شهر تهران تا شهر قدس و بقیه شهرهای گسترش یافته در این بخش از کریدور را نمی‌توان متصور بود. این بخش از مسیر نیز حدود ۲۲ کیلومتر طول داشته که بر این اساس حدود ۶۸ ٪ از مسیر خط اکسپرس B متروی تهران نسبت به خدمات رسانی در محدوده با تراکم شهری با ۲۳ ایستگاه و متوسط فاصله بین ایستگاهی حدود ۳ کیلومتر به شهروندان اقدام می‌نماید. در این محدوده، مسیر ماهیت شهری داشته و صعوبت اجرا نظیر پروژه‌های شهری بوده و این در حالی است که برای گسترش مسیر به سمت شهر پردیس صعوبت اجرایی بسیار بالا بوده و روبازه تونل در برخی از مناطق به حدود ۲۰۰ متر نیز خواهد رسید. بخش شرقی خط و انتقال از شهر تهران به سمت پردیس مفهوم توسعه به حومه پیدا کرده زیرا اتصال به پرجمعیت‌ترین شهر این توسعه در بیشترین مسافت بوده و بیشترین فاصله ایستگاهی در کل کریدور متعلق به این محدوده خواهد بود. همچنین طبق بررسی بعمل آمده حداکثر فاصله بین ایستگاهی از ایستگاه سه راه مارلیک تا پایان شرق جدید در این محور متعلق به حد فاصل ایستگاه‌های ملکی تا سپاه اسلام به طول حدود ۶ کیلومتر و حد فاصل

ایستگاه‌های زین الدین تا خوشوقت به طول حدود ۷ کیلومتر می‌باشد و بقیه فواصل بین ایستگاهی در این محدوده طول‌های کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. لذا در این مرحله از تصمیم‌گیری چنانچه نیاز خط ریلی اکسپرس B از محدوده ایستگاه سه‌راه مارلیک تا پایانه شرق جدید مد نظر قرار گیرد، امکان استفاده از نوع تغذیه به صورت جریان مستقیم در محدوده تجربیات متداول بوده و صرفاً انتخاب بین:

۱) سطح ولتاژ ۷۵۰ ولت با استفاده ریل سوم
۲) سطح ولتاژ ۱۵۰۰ ولت با استفاده از شبکه بالاسری

می‌باشد.

در صورت استفاده از گزینه ۱ امکان تبادل ناوگان در شبکه متروی تهران وجود خواهد داشت و در کوتاه مدت و پیش از تامین ناوگان اختصاصی این خط می‌توان از قطارهای موجود در شبکه فعلی متروی تهران بهره برد و بعلاوه امکان استفاده از زیر ساخت تعمیراتی و دپوی جامع سوم شهر تهران در محدوده سه راه تقی‌آباد (برای خطوط ۹ و ۱۱ متروی تهران) نیز وجود خواهد داشت و بر این اساس هزینه‌های تامین تجهیزات تعمیرگاهی برای خط اکسپرس B کاهش خواهد یافت. لیکن در صورت استفاده از گزینه ۲ تعداد پست‌های ترکشنی و تجهیزات مرتبط حدود ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت و این در حالی است که امکان تبادل ناوگان در شبکه متروی تهران و مزیت‌های ممکن از خط اکسپرس B سلب خواهد شد. مقایسه اقتصادی در این خصوص در جدول ذیل جمع‌بندی شده است:

جدول ۲-۶- مقایسه اقتصادی در خصوص مقایسه تغییر سطح ولتاژ از ۷۵۰ ولت به ۱۵۰۰ ولت

موضوع	امکان استفاده از دپوی جامع			سیستم تامین توان		
	تجهیزات	تملک	ساختمان	اثر سطح ولتاژ از ۷۵۰ ولت به ۱۵۰۰ ولت	اثر روش تغذیه از ریل سوم به شبکه بالاسری	موقعیت ساختمان TPS بصورت زیرزمینی
نوع اثر جهت تغییر از سطح ولتاژ ۷۵۰ ولت به ۱۵۰۰ ولت	افزایشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی
میزان اثر	۱۰۰٪	۵٪	جزئی	۳۰٪	۲۵٪	۷۰٪

هزینه پایه با انتخاب سطح ولتاژه ۷۵۰ ولت و روش تغذیه ریل سوم (میلیون یورو)	۱۱	۲۰۰	-	۱۳۸	۴۷	۱۶.۵
اثر مالی (میلیون یورو)	-۱۱	-۱۰	۰	+۴۱	+۱۲	+۱۱.۵
جمع اثر مالی ناشی از این انتخاب						+۴۳.۵
میزان اثر در کل پروژه با فرض هزینه ساخت هر کیلومتر معادل ۳۰ میلیون یورو						۱.۴٪

بر اساس توضیحات جدول فوق مشخص است که اثر مالی تغییر سطح ولتاژ تغذیه قطار از ۷۵۰ ولت به ۱۵۰۰ ولت جریان مستقیم حدود ۱.۴٪ کاهشی نسبت به کل هزینه‌های احداث بوده لیکن با اتخاذ این تصمیم امکان سیر قطارهای شبکه متروی تهران در خط اکسپرس B مهیا نبوده و این ویژگی مثبت از بهره‌بردار پروژه سلب خواهد شد.

در هر صورت با توجه به اینکه تصمیم نهایی در خصوص سطح ولتاژ تغذیه متاثر از توسعه این خط به سمت شهر پردیس نیز می‌باشد، توصیه می‌شود که تصمیم نهایی در این خصوص به مصوبه وزارت محترم کشور پس از اتمام مرحله C2 از مطالعات ۷۷۷ موکول شده تا در صورت حذف توسعه مسیر به سمت شهر جدید پردیس، استفاده از نوع تغذیه AC به صورت کلی منتفی گردد. در این مرحله استفاده از واگن‌های منطبق با ابعاد واگن‌های استفاده شده در کل کشور قطعی بوده و صرفاً انتخاب چیدمان صندلی‌ها و سطح آسایش مسافران ایستاده و تعداد درب‌های سالن مسافری در هر واگن مورد بررسی خواهد بود که در بخش بعدی به این مهم پرداخته شده است.

۳-۶- تاثیر چیدمان صندلی در سالن مسافری

در بخش پیشین مشخصات ابعادی واگن‌ها در انطباق با وضعیت موجود واگن‌های شبکه متروی تهران و ناوگان مترویی سایر کلان شهرهای ایران جهت استفاده برای ناوگان خط اکسپرس B پیشنهاد گردید. در این بخش هدف تعیین نسبت مسافرین نشسته به ایستاده و تعیین سطح آسایش مسافرین ایستاده با توجه به طول خط و الگوی سفر در محدوده شهری و تقاضای سفرهای روزانه در محدوده حومه می‌باشد. با توجه به

فاصله متوسط بین ایستگاهی ۳ کیلومتر و بیشتر در این خط، پیشنهاد می‌گردد که نسبت مسافرین نشسته بر روی صندلی به مسافرین ایستاده در مقایسه با وضعیت فعلی واگن‌های مترویی کشور بیشتر گردد که راه حل عملی برای ایجاد این وضعیت پیش بینی صندلی‌ها در بخش قابل توجهی از واگن به شیوه عرضی می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه تبادل مسافران در این خط با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر صرفاً در ۲۹ ایستگاه صورت می‌پذیرد، لذا امکان کاهش درب‌های مسافری در هر واگن از ۴ درب به ۳ درب وجود داشته و تاثیر افزایش زمان توقف ایستگاهی نسبت به زمان سفر اندک بوده و قابل توجه نمی‌باشد؛ لیکن با این اقدام امکان چیدمان صندلی‌ها به صورت عرضی به شیوه مناسب‌تری فراهم شده که در تصویر شکل زیر مقایسه چیدمان در دو گزینه کاملاً طولی (مطابق وضعیت موجود واگن‌های مترویی) و بخشی به صورت عرضی نمایش داده شده است.

شکل ۱-۶- نمایی چیدمان عرضی و طولی قطارهای مترویی استفاده شده در کشور

بدیهی است که با انجام این اقدام تعداد صندلی‌ها افزایش یافته ولیکن مساحت استقرار مسافران ایستاده متناسباً کاهش می‌یابد. همچنین در خصوص آسایش مسافرین ایستاده نرخ قابل قبول در سفرهای شهری از ۴ نفر تا ۶ نفر در هر متر مربع در نظر گرفته می‌شود؛ لیکن برای خط اکسپرس B می‌توان سطح آسایش مسافرین ایستاده را به نحوی ارتقا داد که ضمن ایجاد این شرایط مناسب‌تر برای مسافرین، تعداد ناوگان مورد نیاز و هزینه تامین آنها جهت پوشش تقاضا همچنان در محدوده اقتصادی قرار گیرد. با نگاهی به رفتار ترافیکی مسافرین در جدول ۱-۲، مشاهده گردد که حداکثر تقاضا در کل خط مربوط به سفرهای آونگی از شهرهای غرب استان تهران بوده که عمدتاً تا میدان آزادی تراکم و ازدحام جمعیت وجود داشته لیکن پس از میدان آزادی و همچنین از مسیر برگشت (از شهر پردیس به سمت تهران) رفتار ترافیکی مشابهی را شاهد نخواهیم بود. لذا پیشنهاد سطح آسایش مسافرین ایستاده در قطار بین ۳ الی ۴ مسافر برای این خط در شلوغ‌ترین فاصله بین ایستگاهی پیشنهاد می‌گردد. در جدول زیر میزان مسافر قابل جابجایی توسط قطار برای گزینه‌های ۶، ۷، ۸، ۱۰ واگنی نمایش داده شده است و ملاک سطح آسایش ۳ مسافر ایستاده در هر متر مربع پیشنهاد

شده است.

جدول ۳-۶- ظرفیت ناوگان در آلترناتیوهای مختلف ترکیب‌بندی واگن و چیدمان صندلی‌ها

Configuration		Comfort Rate		Near Phase	Far Phase
				3	6
		Multiple Unit Operation		PPHPD	18000
		M	T		
6	Commuter - Longitudinal Seat Arrangement	4	2	707	1178
8		6	2	962	1596
10		6	4	1217	2013
6	Commuter - Lateral Seat Arrangement	4	2	679	1065
8		6	2	926	1452
10		6	4	1174	1840
7		5	2	835	1307

۶-۴- تعیین ترکیب‌بندی قطار پیشنهادی در بخش غربی خط اکسپرس B

۶-۴-۱- بررسی نیازمندی‌های بهره‌برداری بر اساس مطالعات فرادست و PPHPD حدود ۱۸۰۰۰

نتایج مطالعات فرادست در بخش‌های پیشین به آن‌ها اشاره شده است. در جدول ۶-۴ الی جدول ۶-۵ هدوی عملی با رُند کردن آن به ۳۰ ثانیه نیز جهت تدقیق تعداد قطارها و انتخاب هدوی متناسب با سطح سرویس‌دهی مناسب به مسافران برای قطار ۶ واگنه با قابلیت بهره‌برداری بصورت یونیت چندگانه به‌عنوان آلترناتیو اول ارائه شده است.

جدول ۶-۴- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	6	679	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
				Extra time (s)	160
				Required Practical Headway (s)	**135**
				Active Fleets (Trains in Operation)	24 (1)
				Hot Standby Train	1 (2)
				Maintenance Reserve Fleet 15%	4 (3)
				Total Fleet Size (1)+(2)+(3)	**29**
				Whole Modules	**174**
				Rolling Stock Comfort Rate	2.97 p/m^2

جدول ۶-۵- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶
واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	6	679			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
				Extra time (s)	220
				Required Practical Headway (s)	**150**
				Active Fleets (Trains in Operation)	22 (1)
				Hot Standby Train	1 (2)
				Maintenance Reserve Fleet 15%	4 (3)
				Total Fleet Size (1)+(2)+(3)	**27**
				Rolling Stock Comfort Rate	3.6 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۷ واگنه با قابلیت بهره‌برداری بدون یونیت چندگانه در جدول ۶-۶ الی جدول ۶-۷ به‌عنوان آلترناتیو دوم ارائه شده است.

جدول ۶-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	7	835	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					240
Required Practical Headway (s)					**166**
Active Fleets (Trains in Operation)					20 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet			15%		3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**24**
Whole Modules					**168**
Rolling Stock Comfort Rate					2.97 p/m^2

جدول ۶-۷- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی عملی رّند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	7	1,174			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					160
Required Practical Headway (s)					**180**
Active Fleets (Trains in Operation)					18 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet			15%		3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**22**
Rolling Stock Comfort Rate					3.4 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۸ واگنه با قابلیت بهره‌برداری یونیت چندگانه در جدول ۸-۶ الی جدول ۹-۶ به‌عنوان آلترناتیو سوم ارائه شده است.

جدول ۸-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	8	926	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					250
Required Practical Headway (s)					**185**
Active Fleets (Trains in Operation)					18 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet			15%		3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**22**
Whole Modules					**176**
Rolling Stock Comfort Rate					2.99 p/m^2

جدول ۹-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	8	926			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					280
Required Practical Headway (s)					**210**
Active Fleets (Trains in Operation)					16 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet			15%		3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**20**
Rolling Stock Comfort Rate					3.7 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۱۰ واگنه با قابلیت بهره‌برداری یونیت چندگانه در جدول ۱۰-۶ الی جدول ۱۱-۶ به‌عنوان آلترناتیو چهارم ارائه شده است.

جدول ۱۰-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	10	1,174	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					196
Required Practical Headway (s)					**234**
Active Fleets (Trains in Operation)					14 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**18**
Whole Modules					**180**
Rolling Stock Comfort Rate					2.98 p/m^2

جدول ۱۱-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		18,000			
Rolling stock Configuration	10	1,174			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					160
Required Practical Headway (s)					**270**
Active Fleets (Trains in Operation)					12 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	2 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**15**
Rolling Stock Comfort Rate					3.8 p/m^2

۶-۴-۲- بررسی نیازمندی‌های بهره‌برداری بر اساس مطالعات فرادست و PPHPD حدود ۲۲۰۰۰

نتایج مطالعات فرادست در بخش‌های پیشین به آن‌ها اشاره شده است. در جدول ۶-۱۲ الی جدول ۶-۱۳ هدوی عملی با رُند کردن آن به ۳۰ ثانیه نیز جهت تدقیق تعداد قطارها و انتخاب هدوی متناسب با سطح سرویس‌دهی مناسب به مسافران برای قطار ۶ واگنه با قابلیت بهره‌برداری بصورت یونیت چندگانه به‌عنوان آلترناتیو اول ارائه شده است.

جدول ۶-۱۲- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶ – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	6	679	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
				Extra time (s)	139
				Required Practical Headway (s)	**111**
				Active Fleets (Trains in Operation)	29 (1)
				Hot Standby Train	1 (2)
				Maintenance Reserve Fleet 15%	5 (3)
				Total Fleet Size (1)+(2)+(3)	**35**
				Whole wagons	**210**
				Rolling Stock Comfort Rate	3.00 p/m^2

جدول ۶-۱۳- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۶
واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	6	679			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
				Extra time (s)	160
				Required Practical Headway (s)	**120**
				Active Fleets (Trains in Operation)	27 (1)
				Hot Standby Train	1 (2)
				Maintenance Reserve Fleet 15%	5 (3)
				Total Fleet Size (1)+(2)+(3)	**33**
				Rolling Stock Comfort Rate	3.4 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۷ واگنه با قابلیت بهره‌برداری بدون یونیت چندگانه در جدول ۱۴-۶ الی جدول ۱۵-۶ به‌عنوان آلترناتیو دوم ارائه شده است.

جدول ۱۴-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	7	835	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					184
Required Practical Headway (s)					**136**
Active Fleets (Trains in Operation)					24 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	4 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**29**
Whole wagons					**203**
Rolling Stock Comfort Rate					2.98 p/m^2

جدول ۱۵-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۷ واگنه – تعیین هدوی عملی رّند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	7	1,174			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					220
Required Practical Headway (s)					**150**
Active Fleets (Trains in Operation)					22 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	4 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**27**
Rolling Stock Comfort Rate					3.5 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۸ واگنه با قابلیت بهره‌برداری یونیت چندگانه در جدول ۱۶-۶ الی جدول ۱۷-۶ به‌عنوان آلترناتیو سوم ارائه شده است.

جدول ۱۶-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	8	926	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					91
Required Practical Headway (s)					**151**
Active Fleets (Trains in Operation)					21 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	4 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**26**
Whole wagons					**208**
Rolling Stock Comfort Rate					2.98 p/m^2

جدول ۱۷-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۸ واگنه – تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	8	926			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					160
Required Practical Headway (s)					**180**
Active Fleets (Trains in Operation)					18 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**22**
Rolling Stock Comfort Rate					4.0 p/m^2

محاسبات مشابه با قطار ۱۰ واگنه با قابلیت بهره‌برداری یونیت چندگانه در جدول ۱۸-۶ الی جدول ۱۹-۶ به‌عنوان آلترناتیو چهارم ارائه شده است.

جدول ۱۸-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه – تعیین هدوی تئوریک

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	10	1,174	3 P/m^2		
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					184
Required Practical Headway (s)					**192**
Active Fleets (Trains in Operation)					17 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**21**
Whole wagons					**210**
Rolling Stock Comfort Rate					3.00 p/m^2

جدول ۱۹-۶- نتایج اولیه مطالعات بهره‌برداری مفهومی با قطار ۱۰ واگنه - تعیین هدوی عملی رُند شده به ۳۰ ثانیه (رو به بالا)

PPHPD		22,000			
Rolling stock Configuration	10	1,174			
			Track 1	**Track 2**	**Total Round Trip**
Length of the line (m)			22,000		44,000
Running Time with Coasting + Dwtime (s)			1320.0	1320.0	3080.0
Minimum Turn-Back Time in Terminus (s)			220	220	
Commercial Speed (km/h)			**60.00**	**60.00**	**51.43**
Extra time (s)					280
Required Practical Headway (s)					**210**
Active Fleets (Trains in Operation)					16 (1)
Hot Standby Train					1 (2)
Maintenance Reserve Fleet				15%	3 (3)
Total Fleet Size (1)+(2)+(3)					**20**
Rolling Stock Comfort Rate					3.5 p/m^2

۵-۶- تحلیل و جمع‌بندی در خصوص ترکیب‌بندی ناوگان پیشنهادی

بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش‌های پیشین و نتایج عنوان شده با توجه به PPHPD به‌دست‌آمده برای خط اکسپرس B که مقدار بیشینه در بخش غربی حادث می‌گردد، می‌توان در ادامه با فرض قطارهای ۶، ۷، ۸ و ۱۰ واگنه در انطباق با ویژگی‌های ابعادی و وضعیت فعلی واگن‌های شبکه فعلی متروی تهران، نسبت به ارزیابی هدوی مورد نیاز اقدام نمود.

جدول ۲۰-۶- ارزیابی گزینه‌های انتخاب ناوگان از دیدگاه ترکیب‌بندی و قابلیت توسعه در افق‌های آتی

کریدور			آلترناتیو با ظرفیت کمینه				آلترناتیو با ظرفیت بیشینه			
طول خط			۲۲+۰۰۰				۲۲+۰۰۰			
PPHPD			۱۸۰۰۰				۲۲۰۰۰			
ترکیب قطار			۶ واگنه	۷ واگنه	۸ واگنه	۱۰ واگنه	۶ واگنه	۷ واگنه	۸ واگنه	۱۰ واگنه
هدوی طراحی (ثانیه)			۱۳۵	۱۶۶	۱۸۵	۲۳۴	-	۱۳۶	۱۵۱	۱۹۲
نرخ آسایش طراحی (p/m^2)			۳.۰	۳.۰	۳.۰	۳.۰	-	۳.۰	۳.۰	۳.۰
۲:۳۰	۱۵۰	نرخ آسایش عملی (p/m^2)	۳.۶					۳.۴		
		تعداد واگن مورد نیاز	۱۶۲					۱۵۴		
۳:۰۰	۱۸۰	نرخ آسایش عملی (p/m^2)		۳.۴					۴	
		تعداد واگن مورد نیاز		۱۵۴					۱۷۶	
۳:۳۰	۲۱۰	نرخ آسایش عملی (p/m^2)			۳.۷					۵.۶
		تعداد واگن مورد نیاز			۱۶۰					۲۰۰
۴:۳۰	۲۷۰	نرخ آسایش عملی (p/m^2)				۳.۸				
		تعداد واگن مورد نیاز				۱۵۰				
حداکثر میزان PPHPD قابل جابجایی با نرخ آسایش مسافران ایستاده به میزان حداکثر ۶ مسافر در هر متر مربع با هدوی ۱۸۰ ثانیه			۲۱,۳۰۰	۲۶,۰۰۰	۲۹,۰۰۰	۳۷,۰۰۰	۲۱,۳۰۰	۲۶,۰۰۰	۲۹,۰۰۰	۳۷,۰۰۰

همانطور که از جدول فوق مشاهده می‌شود در کریدور با آلترنانیو ظرفیت بیشینه (۲۲۰۰۰ PPHPD) بطور کلی امکان استفاده از قطار ۶ واگنه با حداقل هدوی ۱۵۰ ثانیه بدون نقض حد بالای ظرفیت مسافر ایستاده ۴ نفر در متر مربع وجود نخواهد داشت. همچنین در گزینه ۱۰ واگنه نیز هدوی افزایش یافته است و همین موضوع سبب می‌گردد که جذابیت خط کمی کاهش یابد. با نگاه از دیدگاه قابلیت توسعه نیز مشخص

است که ناوگان ۱۰ واگنه در افق‌های طولانی ۳۷۰۰۰ مسافر در ساعت در جهت قابل جابجایی است که عدد بسیار بالایی است و بعید به نظر می‌رسد چنین تقاضای بالایی در افق‌های آتی برای این کریدور ریلی ایجاد شود. از اینرو به نظر می‌رسد که رقابت بین گزینه ۷ واگنه و ۸ واگنه می‌باشد که برای ایجاد قابلیت یونیت‌های چندگانه صرفاً ناوگان با تعداد واگن زوج می‌بایست در نظر گرفته شود.

در قطارهای با قابلیت بهره‌برداری بصورت یونیت‌های چندگانه تعداد کابین و تجهیزات مربوطه ۴ واحد (۲ واحد بیشتر از قطارهای بدون این قابلیت) می‌باشد و همین موضوع سبب می‌گردد که این نوع قطار نسبت به ناوگان بدون قابلیت سیر بصورت یونیت چندگانه گران‌تر تامین شود. پیش‌بینی اولیه از این تغییر قیمت که بواسطه تجهیزات کابین، تجهیزات آنبورد سیگنالینگ و مخابرات، طراحی متفاوت و دیگر زیرسیستم‌های مورد نیاز می‌باشد، حدود ۱۰٪ افزایش هزینه پیش‌بینی می‌گردد. علی ایحال پیشنهاد مشاور اندیشکار استفاده از قطار با قابلیت بهره‌برداری بصورت یونیت‌های چندگانه بوده و مهم‌ترین دلیل برای پذیرش این افزایش هزینه اتصال خط ریلی به حومه از دو طرف و پذیرش رفتار آونگی سفر در پیک صبحگاهی و بعد از ظهر می‌باشد. این بدان معناست که در طول روز ظرفیت بشدت کاسته شده و در صورت استفاده از قطار به طول ۱۴۰ الی ۱۶۰ متر، اعزام قطار با ظرفیت کمی اتفاق افتاده (وابسته به تعداد هدوی اعزام) و بر این اساس هزینه‌های بهره‌برداری به ازای هر مسافر افزایش یافته و اتلاف انرژی و استهلاک ناوگان را نیز در این صورت خواهیم داشت؛ لیکن با امکان اعزام قطارهای ۴ واگنه متناسب با تقاضا مسافر، سازمان بهره‌بردار امکان تغییر آرایش قطار را داشته و متناسب با ظرفیت نسبت به اعزام قطار با هدوی مطلوب و حفظ جذابیت سفر می‌تواند اقدام نماید بنحویکه همچنان هزینه‌های بهره‌برداری پایین باقی بماند.

بعلاوه با در نظر گرفتن طول سکو به میزان ۱۶۰ متر، امکان استفاده از تمامی تیپ‌های ناوگان مورد استفاده در شبکه متروی تهران بصورت قرضی و موقت در شروع بهره‌برداری نیز فراهم خواهد شد. لذا پیشنهاد مهندسین مشاور اندیشکار استفاده از قطار ۸ واگنه با قابلیت بهره‌برداری بصورت یونیت‌های چندگانه و ساخت ایستگاه‌ها با طول حداقل ۱۶۰ متر می‌باشد.

۶-۶- خلاصه مشخصات و پارامترهای عملکردی ناوگان

در جدول ۲۱-۶ خلاصه مشخصات فنی و عملکردی ناوگان پیشنهادی ذکر شده است. بدیهی است که تدقیق این مشخصات در مطالعات پایه ناوگان در مراحل آتی به انجام خواهد رسید.

جدول ۲۱-۶- خلاصه مشخصات فنی و عملکردی ناوگان پیشنهادی

مشخصات	اطلاعات ورودی به‌دست‌آمده از مطالعات ناوگان
طول واگن	۲۰ متر
طول قطار	۱۶۰ متر
سیستم جمع‌آوری جریان	ریل سوم / برق بالاسری
ولتاژ کاری	۷۵۰ ولت /۱۵۰۰ ولت
حداکثر سرعت طراحی قطار	۱۰۰ کیلومتر بر ساعت
حداکثر سرعت بهره‌برداری	۹۰ کیلومتر بر ساعت
حداقل شتاب شروع به حرکت	۱ متر بر مجذور ثانیه
شتاب متوسط از سرعت ۰ تا ۴۲٪ حداکثر سرعت بهره‌برداری	۱ متر بر مجذور ثانیه
حداقل شتاب مانده در حداکثر سرعت بهره‌برداری	۰.۲ متر بر مجذور ثانیه
شتاب نرمال ترمز سرویس از سرعت حداکثر تا توقف کامل	۱ متر بر مجذور ثانیه
حداقل شتاب ترمزی اضطراری	۱.۳ متر بر مجذور ثانیه
حداکثر جرک مجاز	۰.۸ متر بر مکعب ثانیه
حداکثر شیب مسیر	٪ ۵
حداکثر بربلندی	۱۲۰ میلی‌متر
حداکثر کسری بربلندی	۷۵ میلی‌متر
تعداد صندلی‌های هر واگن	۴۶ صندلی برای واگن‌های با کابین و ۵۴ صندلی برای واگن‌های بدون کابین
وزن قطار بدون مسافر	حدود ۳۷.۵ تن واگن‌های موتوردار و ۳۳ تن واگن‌های تریلر
ظرفیت قطار در وضعیت باری AW2 (۴ نفر در هر مترمربع)	بیش از ۱۱۰۲ نفر
ظرفیت قطار در وضعیت باری ۳ نفر در هر مترمربع	در حدود ۹۲۶ نفر
ظرفیت قطار در وضعیت باری AW3 (۶ نفر در هر مترمربع)	در حدود ۱۴۵۲ نفر
مصرف ترکشنی قطار	در حدود ۴.۵ مگاوات
نوع موتور	آسنکرون
حداکثر ضریب چسبندگی چرخ و ریل	۰.۱۸
نرخ راحتی مسافر	حداکثر ۶ نفر در هر مترمربع
وزن مسافر	۷۰ کیلوگرم
تعداد مسافران	For AW0 load case :291 Tons For AW2 load case :368 Tons
پیش‌بینی سرعت تجاری	بیش از ۶۰ کیلومتر بر ساعت

۷- ملزومات عمومی تعمیر و نگهداری واگن‌ها

۷-۱- تعیین اولیه سطوح تعمیر و نگهداری لازم برای ناوگان

شناخت صحیح ناوگان مورد استفاده و مورد نظر، جهت انجام تعمیرات در دپو حائز اهمیت بوده و می‌بایست قبل از طراحی دپو به این موضوع توجه ویژه‌ای داشت. اطلاعات نوعی مورد نیاز از ناوگان به شرح ذیل قابل دسته‌بندی است:

- طول واگن‌ها،
- طول قطار،
- تعداد واگن‌ها برای هر یونیت/ قطار،
- نحوه تأمین توان در سالن‌های تعمیراتی برای برخی از عملیات تعمیرات.

درصورتی‌که گزینه‌های متفاوتی برای ناوگان وجود داشته باشد، مناسب است که از طراحی انعطاف‌پذیر برای تجهیزات و موقعیت آن‌ها در دپو بهره گرفت؛ در این راستا با توجه به تنوع ناوگان و تغییر ناوگان طی دوره عمر دپو موارد ذیل حائز اهمیت است:

- بررسی شود که آیا امکان آن وجود دارد که تجهیزات موجود در دپو دستخوش تغییرات نشده و صرفاً استفاده از این تجهیزات به‌صورت مشروط برای قطارهای جدید و تعمیرات آن‌ها فراهم شود.
- از طراحی و نصب المان‌های ثابت و سنگین در دپو حتی‌الامکان اجتناب شود تا در آینده به‌واسطه تغییرات تکنولوژی نیاز به تخریب این زیرساخت‌ها نباشد (به‌عنوان‌مثال برای سازه‌های بتنی بررسی شود که آیا امکان نصب تجهیزات با امکان جابجایی آسان امکان‌پذیر است یا خیر؟)

درجایی که فراهم کردن این شروط امکان‌پذیر نیست، می‌بایست پیش‌بینی زمان و هزینه‌های ایجاد تغییرات در دپو صورت پذیرد. لازم به ذکر است که انعطاف‌پذیری در طراحی بسیار حائز اهمیت بوده زیرا عمر طراحی برای یک دپو و زیرساخت‌های آن به‌طورکلی بسیار بالاتر از عمر ناوگان ریلی است.

۷-۱-۱- اهداف تعمیرات و نگهداری

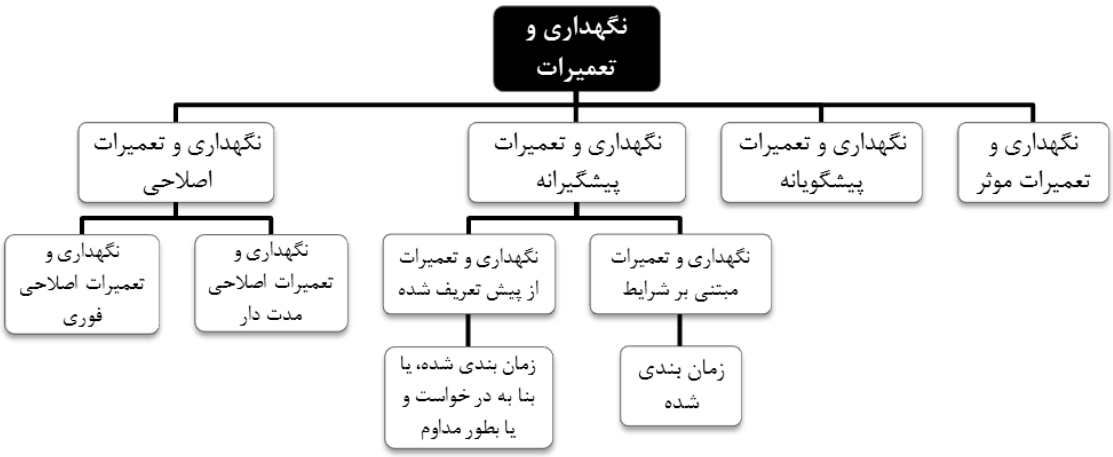
بنا به تجربهٔ جاری در فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری، چهار هدف تعمیرات و نگهداری برای سیستم‌های

حمل‌ونقل ریلی به ترتیب اهمیت در ذیل آورده شده است:

- ایمنی،
- واکنش‌پذیری و در دسترس بودن،
- بهره‌وری از نظر هزینه‌کرد،
- چشم‌انداز بلندمدت.

۷-۱-۲- واژه‌شناسی و تعاریف

سیستم تعمیرات و نگهداری ترکیبی از همه اقدامات فنی، اداری و مدیریتی در طول چرخه عمر یک آیتم به‌منظور بازگرداندن یا ترمیم وضعیت آن به وضعیتی است که بتواند وظیفه مورد انتظارش را به انجام رساند. در ذیل شماتیکی از اقدامات و عملیات تعمیراتی ارائه شده است.



شکل ۱-۷- دیاگرام انواع عملیات تعمیرات و نگهداری

۷-۱-۲-۱- نگهداری و تعمیرات اصلاحی / واکنشی[۳۶]

این استراتژی بدین‌صورت بیان می‌شود که «تعمیرات پس از وقوع خرابی انجام شود». در این روش بعد از وقوع خرابی نسبت به تعمیر ماشین و بازگشت وضعیت به حالت اولیه اقدام می‌شود. از این روش با عنوان تعمیرات پس از خرابی یا ازکارافتادگی نیز یاد شده و در ایران نیز این سبک تعمیرات را، تعمیرات اصلاحی یا تعمیرات اضطراری می‌نامند.

[36] Corrective/Reactive Maintenance

این سیستم در سال‌های آغازین تکامل نت (نگهداری و تعمیرات) مورد استفاده قرار می‌گرفته و بدین سبب با ساختار امروزی ماشین‌آلات و تجهیزات همخوانی چندانی نداشته و معایب زیر را با خود به همراه دارد:

- کاهش ایمنی کار با ماشین‌آلات.
- عدم برنامه‌ریزی دقیق به علت بروز مشکلات کمی و کیفی.
- نیاز به گروه تعمیراتی قوی و آماده‌به‌کار.
- افزایش زمان تعمیرات به علت مشاهده خرابی‌های فرعی.
- نیاز به ذخیره و انبار کردن وسیع قطعات یدکی.

لازم به ذکر است با توجه به معایب ذکر شده، انجام چنین عملیاتی در هر سیستم اجتناب‌ناپذیر است و اصولاً علیرغم به‌کارگیری تمامی تمهیدات، ممکن است برخی عملیات تعمیراتی به‌صورت عملیات اصلاحی انجام پذیرد.

۷-۱-۲-۲- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[۳۷]

این استراتژی بدین‌صورت بیان می‌شود که «تعمیرات قبل از وقوع خرابی انجام شود». به زبان ساده، تعمیرات پیشگیرانه به معنای حفظ سلامت مطلوب از عملکرد و بهره‌برداری نظیر انجام عملیات تنظیمی، نظافت و تمیزکاری خارجی و داخلی، پُرکردن مواد مصرفی نظیر شن در سیستم‌های شن‌پاش، تعویض و پُرکردن روغن، محلول‌های شستشوی شیشه جلو، تعویض قطعات مصرفی، انجام تست‌های عملکردی، بازدیدهای چشمی نظیر صدمات وارده به داخل و خارج قطار، روشنایی داخل سالن و کابین، عملکرد درب‌ها، علائم و نوشته‌ها، کفشک‌های جمع‌کننده جریان/ پانتوگراف‌ها، کنترل سیستم‌های الکتریکی کنترلی در کابین و سایر عملیات مربوط به تعمیرات پیشگیرانه برای یک قطار است.

نت پیشگیرانه بر اساس تناوب اجرای فعالیت‌ها برنامه‌ریزی و اجرا گردیده و به همین دلیل عبارت «تعمیرات بر اساس زمان کارکرد» نیز به این دسته از فعالیت‌ها اتلاق می‌شود.

[37] Preventive Maintenance

۷-۱-۲-۳- نگهداری و تعمیرات پیشگویانه[۳۸]

این استراتژی بدین‌صورت بیان می‌شود که «تعمیرات بر اساس شرایط و وضعیت مشخص انجام شود». نت پیشگویانه به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که جهت تعیین شرایط فنی کارکرد اجزاء ماشین (اندازه‌گیری میزان فرسایش اجزاء) در حین بهره‌برداری انجام گردیده و بر اساس نتایج حاصله از آن، زمان و نوع فعالیت نت مورد نیاز تعیین می‌شود.

نت پیشگویانه بر اساس شرایط کارکرد اجزاء ماشین، برنامه‌ریزی و اجرا گردیده و به همین دلیل عبارت تعمیرات بر پایه وضعیت[۳۹] نیز به این دسته از فعالیت‌ها اطلاق می‌شود.

فعالیت‌های نت پیشگویانه به شرح زیر قابل‌تقسیم هستند:

- بازرسی فنی توسط حواس انسانی: بازرسی فنی توسط کارکنان ماهر نت با استفاده از حواس پنج‌گانه انسانی (همچون بازرسی سروصدای غیرعادی یا گرم‌شدن بیش‌ازحد اجزاء) انجام می‌پذیرد،
- اندازه‌گیری فرسایش با استفاده از ابزار توسط انسان: بازرسی فنی اجزاء ماشین و اندازه‌گیری فرسایش با استفاده از ابزارهایی همچون ارتعاش‌سنج، حرارت‌سنج، آنالایزر روغن و ... انجام می‌پذیرد.

در این روش بازرسی در فواصل زمانی مشخص و در حین کارکرد ماشین، با استفاده از ابزار نسبت به‌اندازه‌گیری میزان فرسایش اجزاء اقدام و نتایج به‌دست‌آمده را با محدودهٔ کارکرد مجاز اجزاء مقایسه می‌نمایند. تصمیم جهت ادامه کار ماشین و یا توقف آن جهت انجام فعالیت‌های نت بر اساس نتایج حاصله از این تحلیل خواهد بود،

- بازرسی و اندازه‌گیری پیوسته توسط ابزار: امروزه استفاده از روش کنترل پیوسته توسط طراحان ماشین‌های صنعتی به‌عنوان روشی جهت جلوگیری از خطاهای برنامه‌ریزی نت مورد توجه قرار گرفته است. فیلترهای هوا، مجهز به سنسورهایی جهت تعیین زمان دقیق تعویض فیلتر شده‌اند؛ برای یاتاقان‌ها، سنسورهای حرارتی طراحی گردیده تا زمان دقیق روان‌سازی آن‌ها مشخص و به اپراتورها اعلام شود.

[38] Predictive Maintenance
[39] Time Based Maintenance

۷-۱-۲-۴- نگهداری و تعمیرات موثر[۴۰]

این استراتژی بدین‌صورت بیان می‌شود که «به تعمیرات بسنده نشده، بلکه نسبت به بهبود شرایط کاری اقدام شود». نت موثر به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که با هدف بهبود وضعیت کارکرد ماشین‌آلات، کاهش میزان نیاز آن‌ها به اجرای نت و حذف کامل علل وقوع خرابی‌ها انجام می‌گیرد. در استاندارد تعمیرات و نگهداری بهره‌ور فراگیر که از سوی انجمن مهندسین نت ژاپن تدوین گردیده عبارت پیشگیری از تعمیرات، برای نت مؤثر استفاده گردیده است. فعالیت‌های نت مؤثر عبارتند از:

- انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات و یا تغییر در نحوه استفاده از آن‌ها بر اساس سوابق نت و تجربیات کارکنان نت و تولید،
- طراحی مجدد اجزاء ماشین با هدف حذف علل وقوع خرابی‌ها،
- بازنگری در طراحی، نصب و نحوه بهره‌برداری از تجهیزات.

۷-۱-۳- معرفی سطوح تعمیراتی

به‌منظور بهینه‌سازی توان نیروی انسانی و همچنین دستیابی به تعمیرات با بهره‌وری بالا می‌بایست فعالیت‌های تعمیراتی را به سطوح مختلف تقسیم نمود.

بر اساس استاندارد EN 13306 اروپا، استاندارد FD X60-000 فرانسه و قواعد معمول جهانی، می‌توان پنج سطح نگهداری و تعمیر مناسب برای ناوگان، تأسیسات ثابت و اموال غیرنظامی تعریف نمود.

لازم به ذکر است که این سطوح تعمیرات و نگهداری مستقل از زمان برنامه نگهداری (دوره‌ای) است. این تقسیم‌بندی بر اساس شرایط ذیل است:

- پیچیدگی رویه‌های تعمیرات و نگهداری،
- پیچیدگی استفاده از ابزارهای مورد نیاز برای پیاده‌سازی آن رویه‌ها،
- مهارت مورد نیاز کارکنان.

پنج سطح تعمیرات و نگهداری در ادامه شرح داده می‌شوند.

[4040] Proactive Maintenance

۷-۱-۳-۱- شناخت سطح ۱ تعمیرات

اقدامات ساده‌ای جهت بهره‌برداری و پیش‌بردن کار بر روی قطعات با دسترسی آسان و ایمنی بالا مورد نیاز است. این سطح شامل وظایف تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه پایه و بازرسی‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری است. این فرآیند به‌طورکلی شامل امور خدمات‌رسانی نظیر نظافت، بازرسی چشمی تجهیزات مشخص، جایگزینی چراغ‌ها یا اجزاء تزئینات داخلی واگن‌ها، همچنین تعمیرات جزئی و تنظیمات است.

سطح ۱ تعمیرات و نگهداری متشکل از تمامی فعالیت‌هایی است که نیاز به هیچ‌گونه ابزار یا تجهیزات کنترلی ندارند. این فعالیت‌ها می‌توانند توسط کارکنان با حداقل دانش و آموزش‌های فنی به اجرا درآیند.

تعمیرات اصلاحی سطح ۱، عملیات تسکین‌دهنده انجام شده توسط کارکنان عملیاتی است و خرابی به‌صورت قطعی تعمیر نمی‌شود تا زمانی که دپارتمان تعمیرات و نگهداری اظهارنظر نماید.

اکثر فعالیت‌های این سطح تعمیراتی شامل عملیات نظارت و بازدیدهای چشمی است. از دیدگاه زمانی می‌توان این سطح تعمیرات را بازدیدهای روزانه و یا هفتگی محسوب کرد.

۷-۱-۳-۲- شناخت سطح ۲ تعمیرات

اقداماتی که نیازمند روش ساده و یا تجهیزاتی با استفاده آسان باشند، متعلق به این سطح تعمیرات و نگهداری دسته‌بندی می‌شوند. سطح ۲ تعمیرات و نگهداری شامل عملیات انجامی بر روی تجهیزات نصب‌شده در قطار هستند که در کارگاه‌های تعمیراتی ناوگان انجام می‌شوند.

برخی ویژگی‌های این سطح تعمیراتی به شرح ذیل است:

- عملیاتی که پروسه انجام آن زیاد پیچیده نیست،
- زمان انجام این عملیات کمتر از ۳ ساعت است،
- این عملیات معمولاً به‌صورت دوره‌ای انجام می‌شود و توسط افراد صلاحیت‌دار انجام می‌شود،
- اغلب فعالیت‌های این سطح مربوط به تعویض قطعات و تجهیزات ساده است.

این قبیل عملیات می‌تواند توسط تکنسین‌هایی با کمترین دانش نسبت به سیستم، اسناد تعمیرات و نگهداری، مواد مصرفی، قطعات و ابزار ضروری انجام شود. برگشت به سرویس قطار نیازمند بررسی عملکردی است.

مثال‌ها: تعویض اجزای ساده (اجزاء قابل تعویض در خط یا LRU، بازدیدهای ایمنی متشکل از کنترل ایمنی و بازرسی چشمی، عملیات روغن‌کاری (گریس‌کاری، تعویض روغن) و ...

برای ناوگان نقلیه ریلی شهری معمولاً فعالیت‌های این سطح به‌صورت ماهانه تا سالانه قابل انجام و تکرار است.

۷-۱-۳-۳- شناخت سطح ۳ تعمیرات

سطح ۳ تعمیرات و نگهداری متشکل است از اقداماتی است که نیازمند استفاده از تجهیزاتی با تکنولوژی بالا و پروسه‌های نسبتاً پیچیده بوده که انجام آن می‌بایست در کارگاه‌های تعمیراتی صورت پذیرد؛ این رویه‌ها مستلزم داشتن دانش درباره تکنولوژی ویژه و یا به‌کارگیری تجهیزات خاص هستند. انجام این‌گونه فعالیت‌ها توسط یک نفر تکنسین آموزش‌دیده و یا یک تیم با مدیریت فردی مجرب صورت می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال تعویض کمپرسور هوای فشرده در قطار در سطح تعمیراتی ۳ طبقه‌بندی می‌شود. همچنین برای انجام این سطح تعمیرات احتیاج به تجهیزات ویژه و ابزار کنترلی خاص برای راه‌اندازی مجدد تجهیزات است.

سطح ۳ تعمیرات و نگهداری در کارگاه‌ها بر روی اجزاء قابل تعویض در خط (LRU) که در طی عملیات مرحله ۲ از محل اصلی جدا شده، انجام می‌شود.

عملیات سطح ۳ توسط تکنسین‌های ویژه، دارای دانش کامل درباره تجهیزاتی که با آن‌ها کار می‌کنند، انجام می‌شود. پشتیبانی لجستیک آن‌ها شامل دستورالعمل‌های تعمیرات و نگهداری، سوابق چون‌ساخت[41]، مواد مصرفی، قطعات و ابزار ضروری است.

به‌عنوان نمونه، انجام عملیات تعمیراتی در سطح ۳، شامل تعمیر و یا جایگزینی اجزاء قابل تعویض در کارگاه‌ها (WRU) بوده که نیازمند داشتن دانش عمیق از سیستم‌ها و طراحی آن‌ها است.

فعالیت‌های صورت گرفته در این سطح معمولاً طی دوره‌های یک‌ساله بر روی ناوگان انجام می‌گیرد. فعالیت‌های مربوط به این سطح شامل بازرسی عملکرد سیستم‌ها و تعویض قطعات مصرفی مانند فیلتر، روغن، لنت ترمز و تعمیر قطعات معیوب است.

از ویژگی‌های این سطح تعمیراتی جدا نمودن بوژی از واگن به‌منظور انجام برخی اقدامات نظارتی و

[41] As built Records

تعمیراتی است. شایان‌ذکر است این‌گونه تعمیرات به نام «*تعمیرات نیمه سنگین*» نیز معروف هستند. سیستم‌های ذیل (به‌عنوان نمونه) در صورت خرابی، مورد تست و تعمیرات قرار خواهند گرفت:

- ترکشن موتور
- گیربکس
- کمپرسور
- مکانیزم درب‌ها
- سیستم تهویه مطبوع
- سیستم‌های کنترلی و رادیویی
- سیستم تعلیق اولیه و ثانویه
- کوپلر
- سیستم تغذیه انرژی (کفشک جمع‌کننده جریان یا پانتوگراف)
- سیستم ترمز
- چرخ و محور
- برخی فعالیت‌هایی که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود در این سطح انجام می‌شوند:
- فعالیت‌های مربوط به تراش چرخ
- گریس‌کاری
- آچارکشی اتصالات
- کنترل ارتفاع قطار نسبت به سطح ریل از طریق تنظیم ارتفاع سیستم تعلیق

۷-۱-۳-۴- شناخت سطح ۴ تعمیرات

این سطح از تعمیرات شامل تمامی عملیات اورهال[۴۲] و تعمیرات سنگین می‌شود. در این سطح، ضمن نیاز به تجهیزات ویژه و خاص، احتیاج به تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری متناسب نیز است؛ همچنین به‌کارگیری کارکنان مجرب، از نیازمندی‌های اولیه انجام این‌گونه فعالیت‌ها است.

[۴۲] واژه اورهال برگرفته از واژه لاتین Overhaul بوده و به معنی پیاده‌سازی کامل تجهیزات جهت انجام تعمیرات است.

سطح ۴ تعمیرات و نگهداری متشکل است از:

- عملیات انجام شده در کارگاه‌های تخصصی بر روی ماژول‌ها و یا آیتم‌های جدا شده از تجهیزات در طی عملیات سطوح ۲ و ۳،
- بازرسی جهت بازسازی.

لازم است که عملیات سطح ۴ توسط تکنسین‌های بسیار متخصص با استفاده از ابزارهای مخصوص انجام شود. کار آن‌ها به‌طورکلی بر پایه تجزیه و تحلیل اسناد طراحی است.

تعمیر و بازسازی اجزاء قابل تعویض در کارگاه‌ها (WRU) که نیاز به دانش عمیق نسبت به سیستم یا طراحی تجهیزات دارد و کارهایی که استفاده از ابزار تخصصی در آن‌ها ضروریست از جمله مثال‌هایی برای سطح ۴ تعمیرات و نگهداری است.

لازم به ذکر است از دیدگاه زمانی و کیلومتراژ طی شده توسط قطار، برای انجام این سطح تعمیرات، این اقدامات در بازه حدود ۵ الی ۷ سال و یا کیلومتراژ حدود ۵۰۰,۰۰۰ تا ۷۰۰,۰۰۰ انجام می‌گیرد.

کلیه فعالیت‌های ذکر شده در سطح ۳ با دقت و حساسیت بیشتری در این مرحله نیز انجام می‌شود. از ویژگی‌های این سطح، تعویض برخی تجهیزات و قطعات است که علیرغم کارکرد صحیح آن‌ها بر اساس توصیه سازنده می‌بایست تعویض شود.

برخی فعالیت‌هایی که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود در این سطح انجام می‌شوند:

- بازدید از سقف واگن و دریچه‌ها از نظر کارکرد روان و پوسیدگی
- بررسی پوسیدگی رنگ
- بررسی لاستیک‌های آب‌بندی
- عملیات نقاشی
- سایر عملیات‌های ترمیمی و اصلاحی

۷-۱-۳-۵- شناخت سطح ۵ تعمیرات

سطح ۵ تعمیرات و نگهداری متشکل از عملیاتی است که نیازمند دانش بر پایه تکنیک‌های خاص، تکنولوژی و فرآیند یا پشتیبانی تجهیزات است. همچنین این سطح تعمیراتی شامل تعمیرات تجهیزات اجزاء

قابل تعویض در کارگاه‌ها (WRU) مانند اینورتر، بردهای الکترونیکی و ... است.

تغییرات برای بهبود در دسترس‌پذیری تجهیزات و بازسازی داخلی ناوگان، از جمله نمونه‌های عملیات انجامی در سطح ۵ تعمیرات و نگهداری است.

تمام فعالیت‌هایی که در راستای بازسازی ناوگان صورت می‌گیرد در این دسته جای خواهند گرفت. معمولاً این اقدامات در میانه عمر مفید وسیله نقلیه انجام می‌گیرد تا ناوگان برای طی نیمهٔ دوم کاربری، آمادگی لازم را از نظر صحت و سلامت عملکرد تجهیزات خود داشته باشد.

انجام این فعالیت‌ها ضمن به‌کارگیری نیروی انسانی مجرب و تجهیزات ویژه و مکفی، نیازمند در اختیار داشتن فضای تعمیرگاهی خاص برای انجام این فعالیت‌ها است.

در این عملیات کلیه تجهیزات و ادوات قطار از قبیل صندلی‌ها، درب‌ها، تجهیزات زیر قطار، تجهیزات روی سقف، کوپلر و غیره دمونتاژ می‌شود تا هر یک جهت بازسازی روانه کارگاه مخصوص خود شود. بدنه واگن نیز مشابه یک واگن آهنگری شده زیرسازی و نقاشی می‌شود.

لازم به ذکر است تمامی تجهیزات دمونتاژ شده نیز هر یک پس از تعویض قطعات و ادوات بر اساس دستورالعمل موجود تست شده و مجدداً بر روی بدنه قطار نصب می‌گردند.

شایان‌ذکر است تعمیرات سطوح ۴ و ۵ به نوعی تعمیرات «سنگین» محسوب می‌شوند.

مشـــــاوران اندیشـــکار

تاسیس ۱۳۵۵

تهران – سعادت آباد – خیابان علامه طباطبایی-
کوچه شهید قدیری (۳۰ غربی) – پلاک ۳

www.andishkar.com

info@andishkar.com

(۰۲۱) ۸۸ ۶۸۰ ۲۲۴ – ۸۸ ۶۹۰ ۴۲۸

(۰۲۱) ۸۸ ۶۹۰ ۴۳۳