وزارت کشور

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

سری منابع آموزشی شهرداری‌ها

۲۶

حمل و نقل نوین در شهرها

تهیه و تنظیم:

معاونت آموزشی

پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

بسم الله الرحمن الرحیم

حمل و نقل نوین
در شهرها

نویسنده:

جلیل شاهی

علی نادران

علی‌رضا جمالزاده

وزارت کشور
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی

استانداری مازندران
معاونت امور عمرانی
دفتر امور شهری و شوراها

جهاد دانشگاهی
پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری

شهرداری کرمان

سری منابع آموزشی شهرداری‌ها

سرشناسه: شاهی، جلیل
عنوان و نام پدیدآور: حمل و نقل نوین در شهرها/ مولفان جلیل شاهی، علی نادران، علیرضا جمالزاده.
مشخصات نشر: تهران: سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری: ش، ۱۸۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست: ... سری منابع آموزشی شهرداریها
شابک: ۸-۷۶-۸۴۶۶-۹۶۴-۹۷۸
یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۸۰ - ۱۸۲.
موضوع: حمل و نقل شهری
شناسه افزوده: نادران، علی
شناسه افزوده: جمالزاده، علیرضا، ۱۳۵۷ -
شناسه افزوده: سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور
رده بندی کنگره: ۱۳۹۰ ۸ح۲ش/TA۱۲۰۵
رده بندی دیویی: ۳۸۸/۴
شماره کتابشناسی ملی: ۲۳۹۴۳۱۰

عنوان: حمل و نقل نوین در شهرها
ناشر: انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
تهیه و تنظیم: معاونت آموزشی پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
مجری: استانداری مازندران - شهرداری کرمان - شهرداری آمل - پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی
مدیر پروژه: سید عیسی هاشمی، حسین رجب صلاحی
ناظر پروژه: سید یونس حسینی، جواد نیکنام
نویسنده: جلیل شاهی، علی نادران، علیرضا جمالزاده
ویراستار: تهمینه فتح اللهی
شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ: اول
تاریخ چاپ: تابستان ۱۳۹۰
قیمت: ۴۲۰۰۰ ریال
شابک: ۸-۷۶-۸۴۶۶-۹۶۴-۹۷۸
نظارت چاپ: عقیق ۴-۸۸۹۳۲۴۰۳

حق چاپ و نشر برای انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور محفوظ است

پیشگفتار

گسترش شهرنشینی و مسائل و مشکلات خاص زندگی شهری، بیش از پیش ضرورت توجه همه جانبه به راهبردهای سودمند برای بهینه سازی زندگی ساکنان شهرها را لازم ساخته است . در میان عوامل تاثیرگذار در شهرها مانند محیط زیست شهری، حمل و نقل شهری، ایمنی شهری و برنامه ریزی شهری، یک عامل بسیار مهم که تاثیر فزاینده و تعیین‌کننده‌ای بر دیگر عوامل سازنده زندگی شهری دارد، مدیریت شهری است . هر فعالیت اجتماعی بدون وجود مدیریت سازمان یافته که اهداف و ابزارهای رسیدن به آنها را مشخص کند و فعالیت‌ها را هماهنگ سازد - از هم می‌پاشد و به بی نظمی می‌گراید . شهرها نیزکه پیچیده‌ترین و متنوع‌ترین جلوه‌های زندگی اجتماعی بشری را در خود دارند بدون وجود نظام مدیریت شهری‌که ضمن انجام برنامه ریزی‌های لازم برای رشد و توسعه آینده شهر به مقابله با مسائل و مشکلات‌کنونی آنها بپردازد بی سامان می‌گردند .

در نظریه‌های جدید مدیریت، به بالاترین سازمان از نظرکیفیت، سازمان متعالی می‌گویند . یک سازمان زمانی متعالی است‌که تمام اعضا به ماهیت ذاتی و درونی روابط خود اهمیت دهند، بدین معناکه هر فردی برای‌کارآیی بیشتر از هیچ‌کوششی دریغ نورزد . بر خلاف یک رابطه متقابل خشک و رسمی‌که در آن طرفین به چگونگی تقسیم منافع علاقمندی نشان می‌دهند، اعضاء یک سازمان متعالی و برتر بیشتر مایل اند بدانند چگونه هر یک از آنان می‌توانند نفع بیشتری به سازمان ارائه دهند، افزون بر این، تمامی‌اعضا سازمان به این موضوع علاقمندندکه چگونه می‌توانند برای افراد خارج از سازمان نیز مثمر ثمر باشند .

نظام مدیریت شهری نیز می‌باید به جایگاه متعالی خود برای خدمات رسانی بهتر به منظور رضایتمندی هر چه بیشتر شهروندان‌کشور دست یابد . مهمترین راه برای رسیدن به این هدف برای نظام مدیریت شهری دست یابی به جریان دانش و اطلاعات بهتر در جهت اخذ تصمیم مناسب وکاهش خطاها در تصمیم‌گیری و اجرا می‌باشد . داشتن دانش و اطلاعات از عدم قطعیت در روند تصمیم‌گیری‌ها می‌کاهد . مهمترین ابزار دست یابی به اطلاعات در جهان امروز متون نوشتاری یا الکترونیک می‌باشدکه اگر حاصل تلفیق علم وعمل باشند تاثیرگذاری آن به مراتب بر مخاطبین بیشتر خواهد بود . به منظور انتشار دست آوردهای جدید علمی و عملی در زمینه‌های مختلف مدیریت شهری پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های‌کشور با همکاری دفتر امور شهری و شوراهای استانداری مازندران اقدام به انتشارکتب آموزشی ای با عناوین زیر نموده است تاگامی‌هر

چندکوچک در ارتقاءسطح علمی شهرداری‌هاکشور برداشته شده باشد .

۱- حمل و نقل نوین در شهرها .

۲- آشنایی با سیستم‌های هوشمند حمل و نقل .

۳- ممیزی و نوسازی املاک .

۴- گردشگری شهری .

۵- سیستم مدیریت دفع و بازیافت مواد زاید جامد شهری.

۶ - آمایش سرزمین .

۷- مبلمان شهری .

۸- نظام حقوقی نحوه تملک املاک در شهرداری‌ها .

۹- اصول بودجه نویسی و اجرای بودجه در شهرداری .

۱۰- آنچه شورای اسلامی شهر باید بداند .

کتاب حاضر با عنوان حمل و نقل نوین در شهرها در شش فصل تهیه شده است . فصول این کتاب عبارتند از: فصل اول: آشنایی با سیستم‌های حمل و نقل همگانی نوین شهری، فصل دوم: قطار سبک شهری، فصل سوم: سیستم مونوریل، فصل چهارم: قطار حومه ای، فصل پنجم: مترو و فصل ششم: اتوبوس تندرو .

در پایان از همکاری صمیمانه آقایان سید عیسی هاشمی معاون امور عمرانی استانداری مازندران، حسین رجب صلاحی معاون آموزشی پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری کشور، سید یونس حسینی مدیرکل دفتر امور شهری و شوراهای استانداری مازندران، شهرداری کرمان، شهرداری آمل و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی که در تهیه، تدوین و نشر این کتاب تلاش فراوانی نمودند نهایت تقدیر و تشکر به عمل می‌آید .

محمد رضا بمانیان
رئیس پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

سیدعلی‌اکبر طاهایی
استاندار مازندران

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ..... أ

فصل اول:آشنایی با سیستم‌های حمل و نقل همگانی نوین شهری ۱

اهداف ۲

۱. آشنایی با سیستم های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری ۳

۱-۱. مقدمه ۳

۱-۲. انواع سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری ۶

۱-۲-۱. تراموا ۸

۱-۲-۲. قطار سبک شهری ۱۰

۱-۲-۳. مونوریل ۱۳

۱-۲-۴. قطار حومه‌ای ۱۵

۱-۲-۵. مترو ۱۶

۱-۲-۶. سیستم اتوبوس تندرو ۱۷

خلاصه ۲۰

خود آزمایی ۲۱

فصل دوم: قطار سبک شهری ۲۱

اهداف ۲۴

۲. قطار سبک شهری ۲۵

۲-۱. مقدمه ۲۵

۲-۲. قطار سبک شهری ۲۵

۲-۲-۱. اجزای تشکیل‌دهنده سیستم قطار سبک شهری ۲۸

۲-۳. طبقه‌بندی سیستمهای قطار سبک شهری ۲۸

۲-۳-۱. طبقه‌بندی از نظر مسیر ۲۹

۲-۳-۲. طبقه‌بندی با توجه به فن‌آوری قوای محرکه و واگن‌ها ۳۰

۲-۳-۳. طبقه‌بندی با توجه به نوع بهره‌برداری ۳۱
۲-۴. مشخصه‌های ناوگان قطار سبک شهری ۳۳
۲-۵. علایم، مسیرها و سیستم‌های کنترلی قطار سبک شهری ۳۵
۲-۵-۱. انواع مسیر حرکت ۳۵
۲-۵-۱-۱. مسیر کاملاً اختصاصی ۳۶
۲-۵-۱-۲. مسیر نیمه اختصاصی ۳۶
۲-۵-۱-۳. مسیر اشتراکی ۴۰
۲-۵-۲. محدودیت سرعت در مسیرهای مختلف ۴۳
۲-۵-۳. عمده مشکلات ترافیکی سیستم قطار شهری ۴۳
۲-۵-۴. کنترل ترافیکی تقاطع‌های هم‌سطح با قطار سبک شهری ۴۶
۲-۵-۴-۱. علایم ۴۷
۲-۵-۴-۲. خط‌کشی‌ها ۵۵
۲-۵-۴-۳. روشنایی محدوده حرکت قطار در تقاطع‌ها ۵۵
۲-۵-۴-۴. تجهیزات کنترل تقاطع‌های هم‌سطح ۵۶
خلاصه ۵۷
خودآزمایی ۵۸
فصل سوم: سیستم مونوریل ۵۵
اهداف ۶۱
۳. سیستم مونوریل ۶۲
۳-۱. مقدمه ۶۲
۳-۲. تعریف مونوریل ۶۳
۳-۳. مزایا و معایب مونوریل ۶۳
۳-۳-۱. مزایای مونوریل ۶۴
۳-۳-۲. معایب مونوریل ۶۶
۳-۴. طبقه‌بندی مونوریل ۶۹
۳-۴-۱. طبقه‌بندی بر اساس مکان به کارگیری ۷۰

۳-۴-۲. طبقه‌بندی مونوریل بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه ۷۲
۳-۴-۳. طبقه‌بندی بر اساس نوع حرکت در مسیر ۷۴
۳-۴-۴. طبقه‌بندی بر اساس چگونگی حرکت و تماس با ریل ۷۶
۳-۵. مشخصه های عملکردی و هندسی سیستم‌های مونوریل ۸۱
۳-۵-۱. سرعت ۸۲
۳-۵-۲. شتاب ۸۴
۳-۵-۳. سرفاصله ۸۵
۳-۵-۴. فواصل ایستگاه‌ها ۸۷
۳-۵-۵. شیب ۸۹
۳-۵-۶. شعاع قوس‌ها ۹۱
خلاصه ۹۴
خودآزمایی ۹۵
فصل چهارم: قطار حومه‌ای ۸۹
اهداف ۹۷
۴. قطار حومه‌ای ۹۸
۴-۱. مقدمه ۹۸
۴-۲. اجزای سیستم‌های قطار حومه‌ای ۱۰۰
۴-۲-۱. ناوگان ۱۰۰
۴-۲-۱-۱. لوکوموتیوها ۱۰۰
۴-۲-۱-۲. واگن‌ها ۱۰۱
۴-۲-۱-۳. واگن‌های موتوردار ۱۰۱
۴-۲-۱-۴. واحدهای چندگانه دیزلی ۱۰۲
۴-۲-۲. مسیر و ایمنی ۱۰۳
۴-۲-۳. ایستگاه‌ها ۱۰۵
۴-۲-۳-۱. کاربری ۱۰۵
۴-۲-۳-۲. امکانات رفاهی ۱۰۷

۴-۲-۳-۳. فاصله ۱۰۷
۴-۲-۳-۴. دسترسی ۱۰۷
۴-۲-۳-۵. سکوها ۱۰۸
۴-۲-۴. کیفیت سرویس ۱۱۰
۴-۲-۵. سیستم‌های کنترل و هدایت ۱۱۰
۴-۲-۶. محل‌های پایانه ۱۱۲
۴-۲-۷. نیرو محرکه ۱۱۲
۴-۲-۸. ظرفیت ۱۱۳
۴-۲-۹. برنامه زمانبندی ۱۱۵
خلاصه ۱۱۶
خودآزمایی ۱۱۷
فصل پنجم: مترو ۱۱۱
اهداف ۱۲۱
۵. مترو ۱۲۲
۵-۱. معرفی سیستم مترو ۱۲۲
۵-۲. مقایسه مترو و قطار سبک شهری ۱۲۲
۵-۲-۱. مزایا ۱۲۲
۵-۲-۲. معایب ۱۲۳
۵-۳. اجزای سیستم و خصوصیات عملکردی ۱۲۴
۵-۳-۱. مسیر و حریم آن ۱۲۴
۵-۳-۱-۱. مسیر ترانشه باز ۱۲۷
۵-۳-۱-۲. مسیر هوایی ۱۲۸
۵-۳-۱-۳. مسیر زیرسطحی ۱۲۸
۵-۳-۱-۴. مسیرتونل ۱۲۸
۵-۳-۲. وسعت شبکه ۱۳۲
۵-۳-۳. ایستگاه‌ها ۱۳۳

۵-۳-۳-۱. سکوهای مرکزی ۱۳۴
۵-۳-۳-۲. سکوهای کنارهای ۱۳۵
۵-۳-۴. تسهیلات رفاهی ۱۳۶
۵-۳-۴-۱. سیستم تهویه ۱۳۶
۵-۳-۴-۲.گرمایش و سیستم تهویه مطبوع ۱۳۷
۵-۳-۴-۳. روشنایی ۱۳۷
۵-۳-۴-۴. سرویس‌های بهداشتی ۱۳۸
۵-۳-۵. کنترل آلودگی صوتی ۱۳۸
۵-۳-۶. صندلی‌ها ۱۳۸
۵-۳-۷. سیستم‌های ارایه اطلاعات ۱۳۹
۵-۳-۸. ایمنی ۱۳۹
۵-۳-۹. سیستم‌های کنترل ۱۴۱
۵-۳-۱۰. نیروی محرکه ۱۴۲
۵-۳-۱۱. ناوگان ۱۴۳
۵-۳-۱۲. سرعت عملکردی ۱۴۴
۵-۳-۱۳. ظرفیت و برنامه زمانبندی ۱۴۴
۵-۳-۱۴. هزینه‌های احداث ۱۴۶
۵-۴. سیستم متروی بانکوک (قطار هوایی بانکوک) ۱۴۸
۵-۴-۱. معرفی سیستم ۱۴۹
۵-۴-۲. کرایه، تعداد مسافر و هزینه‌های بهره‌برداری ۱۵۰
۵-۴-۳. یکپارچگی با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل ۱۵۱
۵-۴-۴. ناوگان ۱۵۲
۵-۴-۵. نیاز به توسعه ۱۵۲
خلاصه ۱۵۳
خودآزمایی ۱۵۴
فصل ششم: اتوبوس تندرو ۱۴۵

اهداف ۱۵۷
۶. اتوبوس تندرو ۱۵۸
۶-۱. مقدمه ۱۵۸
۶-۲. معرفی سیستم اتوبوس تندروی همگانی ۱۵۸
۶-۳. شناسایی اجزای اصلی سیستم اتوبوس تندروی همگانی ۱۶۳
۶-۳-۱. تفکیک مسیر حرکت ۱۶۳
۶-۳-۲. مشخصات ایستگاه‌ها ۱۶۹
۶-۳-۳. مشخصات خودروها ۱۷۱
۶-۳-۴. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در سیستم اتوبوس تندروی همگانی ۱۷۳
۶-۴. عملکرد سیستم‌های اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان ۱۷۷
۶-۵. سیستم‌های اتوبوس تندروی موفق در آمریکای جنوبی ۱۸۴
نتیجه‌گیری ۱۹۰
خلاصه ۱۹۱
خودآزمایی ۱۹۲
فهرست منابع و مراجع ۱۹۳

فهرست جداول و اشکال

عنوان **صفحه**

شکل شماره ۱-۱: سیستم قدیمی تراموا ۹

شکل شماره ۱-۲: سیستم مدرن تراموا..... ۹

شکل شماره ۱-۳: سیستم‌های قطار سبک شهری (بالا راست: پورتو، بالا چپ: کوالالامپور) ۱۳

شکل شماره ۱-۴، مونوریل (بالا: مالزی، چپ: توکیو- هاندا) ۱۵

شکل شماره ۱-۵: سیستم‌های قطار حومه‌ای ۱۶

شکل شماره ۱-۶: سیستم متروی شهر تهران ۱۸

شکل شماره ۲-۱: مسیر غیرهم‌سطح قطار سبک شهری، سن خوزه، آمریکا. به شیب تند پل در سمت راست توجه کنید ۲۷

شکل شماره ۲-۲: مسیر هم‌سطح قطار سبک شهری در یک پیادهراه، مجزا از سایر جریان‌های ترافیک، سنخوزه، آمریکا..... ۲۷

شکل شماره ۲-۳، ایستگاه قطار سبک شهری هم‌سطح، در دالاس، آمریکا..... ۲۸

شکل شماره ۲-۴، قطار سبک شهری در حال عبور از شیب قابل ملاحظه، سانفرانسیسکو، آمریکا۲۸

شکل شماره ۲-۵: طبقه‌بندی‌های مختلف برای قطار سبک شهری ۳۳

شکل شماره ۲-۶، قطار سبک شهری مینیاپولیس در ایستگاه ۳۴

شکل شماره ۲-۷، قطار سبک شهری با شاسی کوتاه، بندر پورتو..... ۳۴

شکل شماره ۲-۸: نمونه‌ای از یک از مسیر کاملاً اختصاصی سیستم قطار سبک شهری ۳۶

شکل شماره ۲-۹: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۱)..... ۳۷

شکل شماره ۲-۱۰: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۲)..... ۳۸

شکل شماره ۲-۱۱: مسیر مجزای قطار سبک شهری در امتداد آزادراه، سن خوزه، آمریکا..... ۳۸

شکل شماره ۲-۱۲: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۳)..... ۳۹

شکل شماره ۲-۱۳: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۵)..... ۴۰

شکل شماره ۲-۱۴: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع (۱) ۴۱

شکل شماره ۲-۱۵: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع (۲) ۴۱

شکل شماره ۲-۱۶: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع(۳) ۴۲

شکل شماره ۲-۱۷:مسیر هم‌سطح قطار سبک شهری در محدوده عابران پیاده، سن خوزه، آمریکا ۴۲
جدول شماره ۲-۱: انواع مسیر حرکت قطار درون‌شهری بر اساس نوع دسترسی ۴۲
جدول شماره ۲-۲: حداکثر سرعت مجاز قطار در مسیرهای مختلف ۴۴
شکل شماره ۲-۱۸: ممنوعیت سبقت از قطار در هنگام پیاده و سوار نمودن مسافر ۵۰
شکل ۲-۱۹: عدم تجاوز به حریم حرکت قطار ۵۰
شکل شماره ۲-۲۰: تابلوی نشان‌دهنده تقسیم خیابان به دو بخش توسط مسیر ریل ۵۱
شکل شماره ۲-۲۱: تابلو مشخص‌کننده نقطه توقف در تقاطع‌های مجهز به چراغ ۵۱
شکل شماره ۲-۲۲: تابلو مشخص‌کننده محل توقف در تقاطع‌های مجهز به راه بند ۵۲
شکل شماره ۲-۲۳: تابلو مشخص‌کننده محدودیت عبور از تقاطع ۵۲
شکل شماره ۲-۲۴: تابلو مشخص‌کننده حضور قطار در تقاطع ۵۳
شکل شماره ۲-۲۵: شکل کلی چراغ چشمک‌زن مشخص‌کننده نزدیک شدن قطار ۵۴
شکل شماره ۲-۲۶: تابلو مشخص‌کننده محل ایستگاه قطار سبک شهری ۵۴
شکل شماره ۳-۱: مونوریل تفریحی دنیای والتدیزنی[۹] ۶۵
شکل شماره ۳-۲، مونوریل شونان[۹] ۶۶
شکل شماره ۳-۳:مونوریل آلوگ سیاتل که در سال ۱۹۶۲ افتتاح شد[۹] ۶۶
شکل شماره ۳-۴: مونوریل‌های معلق و سوار بر ریل[۹] ۶۸
شکل شماره ۳-۵: معبر اضطراری در مونوریل لاسوگاس[۱۳] ۶۹
شکل شماره ۳-۶: طبقه‌بندی سیستم‌های مونوریل بر اساس مکان به کارگیری ۷۲
شکل شماره ۳-۷: طبقه‌بندی مونوریل بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه ۷۴
شکل شماره ۳-۸: مسیرهای رفت و برگشتی دو خطه در مونوریل تاما[۹] ۷۵
شکل شماره ۳-۹: مسیر رفت و برگشتی در یک خط و عبور قطارها از کنار هم در ایستگاه‌ها، مونوریل شونان ژاپن[۹] ۷۵
شکل شماره ۳-۱۰: یک مسیر حلقوی و قطار فقط در یک جهت حرکت می‌کند، مونوریل مگدبورگ آلمان[۹] ۷۶
شکل شماره ۳-۱۱: طبقه‌بندی مونوریل بر اساس نوع حرکت در مسیر ۷۶

شکل شماره ۳-۱۲:مونوریل واپرتال آلمان[۹] ۷۸
شکل شماره ۳-۱۳: سیستم مونوریل معلق دوسلدروف آلمان، شرکت زیمنس و شونان ژاپن، شرکت میتسوبیشی[۹] ۷۹
شکل شماره ۳-۱۴: مونوریل سوار بر ریل لاسوگاس[۹] ۷۹
شکل شماره ۳-۱۵: مونوریل فاترکس، ساخته شده در مقیاس یک چهارم ۸۰
شکل شماره ۳-۱۶: مونوریل مگِلو، امزلند آلمان[۹] ۸۱
جدول شماره ۳-۱، سرعتهای بیشینه طراحی و متوسط مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶]. ..۸۴
جدول شماره ۳-۲: سرفاصله زمانی سیستم‌های مونوریل در چند شهر دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶]. ۸۶
جدول شماره ۳-۳: متوسط فاصله بین ایستگاه‌های مونوریل‌های تفریحی دنیا ۸۷
جدول شماره ۳-۴: متوسط فاصله بین ایستگاه‌های مونوریل‌های حمل‌ونقل شهری دنیا ۸۸
جدول شماره ۳-۵: شیب مسیرهای اجرا شده مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶]. ۹۰
شکل شماره ۳-۱۷: مسیر قوسی در مونوریل شهرکوالالامپور[۹] ۹۲
شکل شماره ۳-۱۸: مسیری با تیر قوسی بتنی[۹] ۹۲
جدول شماره ۳-۶: حداقل شعاع قوس‌های اجرا شده مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶]. ۹۴
شکل شماره ۴-۱: قطار حومه‌ای شهر جکسون ویل ۹۹
شکل شماره ۴-۲: قطار حومه‌ای دو طبقه شهر فلوریدا ۹۹
شکل شماره ۴-۳: قطار حومه‌ای شهر سیاتل ۱۰۰
شکل شماره ۴-۴: نمایش فضای داخلی قطارهای حومه‌ای یک و دو طبقه ۱۰۲
شکل شماره ۴-۵: ابعاد فضای آزاد مورد نیاز حرکت قطار، (واحد: فوت و اینچ) ۱۰۵
شکل شماره ۴-۶: خطوط شعاعی قطار حومه‌ای در شهر بوینس آیرس ۱۰۶
شکل شماره ۴-۷: قطار با تعداد مسافر بیش از ظرفیت در جاکارتای اندونزی! ۱۱۴
شکل شماره ۴-۸: سیستم قطار حومه‌ای در شهر بمبئی هند ۱۱۵
شکل شماره ۵-۱: قطار یو- باهن شهر فرانکفورت آلمان ۱۲۵
شکل شماره ۵-۲: قطار تی- بانا در کشور سوئد ۱۲۶
شکل شماره ۵-۳: مسیر متروی شهر شیکاگو در سطح زمین ۱۲۷
شکل شماره ۵-۴:مراحل ساخت مسیر زیرسطحی ۱۲۹

شکل شماره ۵-۵: تونل حفر شده با روش ترانشه باز ۱۳۰
شکل شماره ۵-۶: تونل حفر شده با روش اتریشی ۱۳۰
شکل شماره ۵-۷: تونل حفر شده با استفاده از ماشین حفار ۱۳۱
شکل شماره ۵-۸: شبکه متروی شهر پاریس ۱۳۲
شکل شماره ۵-۹، شبکه متروی شهر سانفرانسیسکو ۱۳۳
شکل شماره ۵-۱۰: انواع سکوهای انتظار ۱۳۴
شکل شماره ۵-۱۱: نمونهای از سکوهای کنارهای ۱۳۵
شکل شماره ۵-۱۲: نمونهای از محل قرارگیری تاسیسات تهویه هوا ۱۳۶
شکل شماره ۵-۱۳: انواع واگنها و چیدمان فضای داخلی قطارهای مترو ۱۴۶
شکل شماره ۵-۱۴: سیستم قطار هوایی بانکوک ۱۵۰
شکل شماره ۶-۱: خط اتوبوس تندرو در شهر بوگوتا ۱۶۱
شکل شماره ۶-۲: نمونهای از ایستگاههای خط اتوبوس تندرو در شهر بوگوتا ۱۶۱
جدول شماره ۶-۱: طبقهبندی مسیرهای حرکت بر اساس نحوه و میزان تفکیک ۱۶۴
جدول شماره ۶-۲: تقسیمبندی مسیرهای حرکت بر اساس نوع تسهیلات ۱۶۵
شکل شماره ۶-۳: چگونگی درهَم کُنش اجزای سیستم هوشمند سیستم حملونقل با اتوبوسها ۱۷۵
شکل شماره ۶-۴: بیشترین مسافر جابجا شده توسط سه نوع سیستم حملونقلی ۱۷۹
جدول شماره ۶-۴: مشخصات تعدادی از خطوط پرظرفیت دنیا [۲۲]،[۲۳]و[۲۵] ۱۸۰
جدول شماره ۶-۴: مشخصات تعدادی از خطوط پرظرفیت دنیا (ادامه) ۱۸۲
جدول شماره ۶-۵: خصوصیات خطوط اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان[۲۲]،[۲۳]و[۲۵] ۱۸۳
جدول شماره ۶-۵: خصوصیات خطوط اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان (ادامه) ۱۸۴
جدول شماره ۶-۶: اطلاعات بعضی از خطوط اتوبوسرانی آمریکای جنوبی[۲۲]،[۲۳] ۱۸۵
شکل شماره ۶-۴: ایستگاهی استوانهای شکل در شهر کوریتیبا ۱۸۷
جدول شماره ۶-۷: ملاحظات کلی برای رسیدن به ظرفیتهای زیاد در سیستم اتوبوسرانی ۱۹۱

فصل اول

آشنایی با سیستم‌های حمل ونقل همگانی نوین شهری

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. ارایه دید کلی راجع به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

۲. ارایه مختصری از ویژگی‌های سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

۳. ادبیات سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

۴. خصوصیات عملکردی سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

۱. آشنایی با سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

۱-۱. مقدمه

تجربیات حاصل در بسیاری از شهرهای جهان گویای این واقعیت است که سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع[1] (MRT) از جمله روش‌های جابجایی هستند که می‌توانند پاسخگوی حجم زیاد تقاضای سفر باشند و از طرفی موجب کاهش زمان سفر، ارتقای ایمنی و حفظ محیط‌زیست شهری شوند[۳]. با بررسی مطالعات موردی در خصوص سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع در کشورهای مختلف، مشخص می‌شود که یک یا چند هدف زیر در احداث و استفاده از سیستم‌های فوق مدنظر بوده است:

۱. ارتقای سطح اقتصادی از طریق توسعه خطوط ارتباطی
۲. کمک به توسعه عمران شهر از طریق به کارگیری سیستم حمل‌ونقل مدرن
۳. پاسخگویی به تقاضای حمل‌ونقل درون‌شهری و کمک به حفظ محیط‌زیست از دیدگاه کاهش آلودگی هوا و انتشار ذرات جامد آلاینده
۴. افزایش سرعت سفرهای درون‌شهری
۵. افزایش ایمنی و کاهش تصادفات
۶. کاهش استفاده از خودروهای شخصی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست
۷. افزایش راحتی مسافران و ارتقای سطح خدمات حمل‌ونقل از نظر کیفی

1. Mass Rapid Transit (MRT)

۸. ایجاد خطوط ارتباطی مدرن با ظرفیت زیاد بین پایانه‌های اصلی درون‌شهری

۹. ارایه سرویس ارزان‌تر

۱۰. استفاده از تکنولوژی سازگار با شرایط عمرانی شهر

با توجه به این موارد، روی آوردن به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع به منظور نیل به بالاترین بازده حمل‌ونقل درون‌شهری، راهگشا خواهد بود. در ادامه آمار بعضی از شهرهای کشورهای توسعه یافته و یا درحال‌توسعه به منظور مقایسه سطح حمل‌ونقل همگانی آن‌ها با شهری مانند تهران، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به عنوان نمونه شهر توکیو پایتخت ژاپن را می‌توان نام برد که قطب اصلی اقتصاد ژاپن است. جمعیت توکیوی بزرگ با احتساب جمعیت حومه و شهرک‌های اقماری بیش از ۳۲ میلیون نفر است که در حدود ۲۶ درصد جمعیت کل ژاپن را شامل می‌شود. جمعیتی بالغ بر ۱۲ میلیون نفر در منطقه شهری توکیو جای گرفته‌اند. آمارگیری‌های انجام شده نشان می‌دهد روزانه حدود۸۰ میلیون سفردر توکیوی بزرگ انجام می‌شود. تعداد کل خودروها در توکیوی بزرگ در حدود ۲۲ درصد کل خودروهای ژاپن بوده که اگر چه در مقایسه با جمعیت توکیو (که ۲۶ درصد جمعیت کل ژاپن را تشکیل می‌دهد) این درصد نسبتاً پایین-تر است ولی با توجه به آن‌که مساحت توکیوی بزرگ تنها ۳/۶ درصد کل ژاپن را تشکیل می‌دهد، می‌توان گفت تعداد زیادی از خودروهای ژاپن در این منطقه تمرکز یافته‌اند. با نگاهی به ارقام و آمار فوق و مقایسه آن با شهرهای کشورمان، مشخص می‌شود که شرایط حاکم بر شهر توکیو بسیار پیچیده‌تر و مشکل‌تر از شرایط حاکم بر شهرهای بزرگ ایران، حتی تهران است.

مدیران شهر توکیو علاوه بر اعمال سیاست‌های بهبود شبکه معابر و احداث آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، با عنایت به این‌که هزینه احداث شبکه جاده‌ای (هزینه تملک + هزینه ساخت)

بیشتر از هزینه احداث سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع است، اقدام به توسعه شبکه ریلی درون‌شهری خود نموده‌اند. به طوری‌که در حال حاضر شبکه حمل‌ونقل ریلی توکیو یکی از کامل‌ترین سیستم‌های حمل‌ونقل درون‌شهری دنیا است. ۲۹۲/۶ کیلومتر خط ریلی پرظرفیت و سریع که شامل خطوط زیرزمینی و یا در سطح با ۲۶۶ ایستگاه، ۲۴/۲ کیلومتر خط کنار آبی توکیو[1] با ۲۰ ایستگاه و نیز ۴ خط مونوریل که جمعاً شامل ۵۵ کیلومتر با ۵۵ ایستگاه است، دسترسی و جابجایی شهروندان را بر عهده دارند.

به عنوان مثالی دیگر می‌توان به شهر لندن اشاره نمود. این شهر از لحاظ جمعیت شباهت بیشتری به تهران دارد. جمعیت لندن با احتساب شهرک‌های حومه و اطراف، بالغ بر ۱۲ میلیون نفر است. از طرفی آمارها نشان می‌دهند که حدود ۷/۵ میلیون نفر در خود شهر لندن ساکن هستند. مساحت لندن بزرگ (لندن و حومه) بالغ بر ۱۵۷۹ کیلومتر مربع است. شهر لندن صاحب قدیمی‌ترین سیستم حمل‌ونقل ریلی زیرزمینی (مترو) است. در این شهر به منظور بهبود کیفیت حمل مسافر، ۴۰۸ کیلومتر خط متروی زیرزمینی با ۲۵۳ ایستگاه و ۲۷ کیلومتر خط قطار سبک شهری با ۱۷ ایستگاه، علاوه بر خط روسطحی جنوب شرقی، احداث شده است. این ارقام در مقایسه با ۶۸ کیلومتر خطوط مترو در حال بهره‌برداری در تهران، گویای این واقعیت است که به منظور بهبود کیفیت وضع ترافیک در کلان‌شهری چون تهران می‌بایست توجه بیشتری به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع شود.

از جمله شهرهای دیگر می‌توان به کوالالامپور پایتخت مالزی که از جمله کشورهای درحال‌توسعه است، اشاره نمود. جمعیت این شهر با احتساب جمعیت حومه و شهرک‌های اطراف در حدود ۳ تا ۴ میلیون نفر است که بدون در نظر گرفتن جمعیت حومه در حدود

1. Tokyo Water Front Area Rapid Transit Line

۱/۵ میلیون نفر می‌شود. این شهر از دو خط قطار سبک شهری به طول ۵۶ کیلومتر با ۴۹ ایستگاه و یک خط مونوریل به طول ۸/۶ کیلومتر در دو جهت با ۱۱ ایستگاه برخوردار است.

۱-۲. انواع سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین شهری

به منظور مقایسه صحیح و در نتیجه انتخاب سیستم مناسب و متناسب[1] با شرایط کشور، شناسایی و طبقه‌بندی سیستم‌های متداول حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع ضروری است. این تقسیم‌بندی زمینه مناسبی را برای امکان‌سنجی، برنامه‌ریزی، احداث و بهره‌برداری یک نوع خاص از سیستم حمل‌ونقل ریلی برای پاسخگویی مناسب به تقاضای سفر در کریدورهای شهری فراهم می‌نماید. به طور کلی انواع سیستم‌های متداول حمل‌ونقل همگانی که گاهی ترکیبی از بعضی یا همه آن‌ها در گستره انتخاب سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع شهرها قرار می‌گیرند به شرح زیر است:

۱. تراموا[2]
۲. قطار سبک شهری[3]
۳. مونوریل[4] (تک ریل)
۴. قطار حومه‌ای و منطقه‌ای[5]
۵. مترو[6]

1. Appropriate System
2. Tramway
3. Light Rail Transit (LRT)
4. Monorail
5. Commuter Rail
6. Metro

۶. اتوبوس تندرو[1]

در ادامه شرح مختصری از هر یک از انواع سیستم‌های فوق ارایه شده است.

1. Bus Rapid Transit (BRT)

۱-۲-۱. تراموا

تراموا وسیله‌ای است که با استفاده از انرژی الکتریکی بر روی یک مسیر دو ریلی حرکت می‌نماید. این وسیله در ترن‌های ۱، ۲ یا ۳ واگنه، در مسیر خود مسافران را در ایستگاه‌های مشخص سوار و پیاده می‌کند. به علت خصوصیات ویژه آن از جمله سهولت دسترسی، ایمنی و راحتی، این سیستم حمل‌ونقل از جذابیت مناسبی بین توده مردم برخوردار است. تراموا از لحاظ سادگی تکنولوژی و اجرا و ارزانی بهره‌برداری نسبت به سایر سیستم‌های ریلی و همچنین نزدیک‌تر بودن به اتوبوس از لحاظ انعطاف‌پذیری، از جمله سیستم‌هایی است که در جهان مورد استقبال مسئولین و مجریان شهری قرار گرفته است. به همین علت در حال حاضر بیشتر از هر سیستم حمل‌ونقل ریلی دیگر در شهرهای دنیا از آن استفاده می‌شود. تراموا از جمله سیستم‌های قدیمی حمل‌ونقل همگانی ریلی محسوب می‌شود که در محدوده شهرها و در سطح معابر و به صورت مشترک با سایر خودروها ، عمل می‌نماید. با آن‌که تراموا از خصوصیات دینامیکی خوبی برخوردار است ولی قابلیت و سرعت حرکت آن به مقدار زیادی به شرایط مسیر بستگی دارد و در خیابان‌های باریک و با ترافیک سنگین قابلیت حرکت آن ضعیف می‌شود. به علت اشتراک مسیر با سایر خودروها، در شرایط ترافیک سنگین سرعت عملکردی آن کاهش یافته و به مراتب از سیستم‌های ریلی دیگر درون‌شهری کمتر می‌شود. بدیهی است می‌توان با دادن اولویت‌هایی به تراموا به خصوص در نقاط شلوغ بر این ضعف فائق آمد. شکل‌های (۱-۱) و (۱-۲) نمونه‌هایی از این سیستم را نشان می‌دهند.

شکل شماره ۱-۱: سیستم قدیمی تراموا

شکل شماره ۱-۲: سیستم مدرن تراموا

اگر چه از نظر حق تقدم، تداخل با جریان‌های ترافیکی و نیز لحاظ نمودن حریم‌ها، تراموا و اتوبوس تا حدود زیادی وجه اشتراک دارند ولی این دو سیستم حمل‌ونقلی دارای تفاوت‌هایی به شرح زیر هستند:

- راحتی مسافران در تراموا خیلی بیشتر از اتوبوس است.
- تراموا سریع‌تر حرکت می‌نماید و آلودگی ندارد.
- وسایل و تجهیزات در تراموا عملکرد بهتری دارند.
- ظرفیت حمل مسافر تراموا به مراتب بیشتر از اتوبوس در هر ساعت و در هر جهت[1] است.
- هزینه‌های اولیه تاسیس سیستم تراموا نسبت به اتوبوس بیشتر است.
- تراموا در مسیرهای مخصوص و بر روی ریل حرکت می‌نماید و از این لحاظ نسبت به اتوبوس انعطاف کمتری دارد.

1. Passenger per hour per direction

- هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و انتقال انرژی تراموا از اتوبوس بیشتر است[۱].

۱-۲-۲. قطار سبک شهری

قطار سبک شهری توسط آشتو[1] بدین‌گونه تعریف شده است: «سیستم حمل‌ونقل شهری که از نیروی برق استفاده کرده و واگن‌های ریلی کم وزن را به صورت یک یا چند واگن در مسیرهای دو ریلی به حرکت درمی‌آورد و می‌تواند جدا از عبور و مرور سایر خودروها عمل نماید (در ارتفاع یا در زیرزمین) و مسافران را در سکوهایی به ارتفاع کم تا متوسط سوار و پیاده کند»[۸].

انجمن تحقیقات حمل‌ونقل آمریکا[2] نیز قطار سبک را این‌گونه تعریف می‌کند: «قطار سبک یک سیستم حمل‌ونقل ریلی الکتریکی است که در آن یک واگن یا یک قطار کوچک در یک مسیر کاملا مجزا به صورت هم‌سطح زمین، هوایی، زیرگذر و یا در خیابان (همراه با سایر خودروها) در شهر حرکت کرده و مسافران را در ایستگاه‌های هم‌سطح زمین و یا هم‌سطح کف واگن، سوار و پیاده می‌کند».

ویژگی بسیار مهم قطارهای سبک که آن را نسبت به سایر سیستم‌های ریلی متمایز نموده، قابلیت تطبیق آن با شرایط متفاوت شهری، حومه‌ای و انواع شبکه معابر است. برخلاف سیستم‌های ریلی دیگر (به جز تراموا)، قطار سبک می‌تواند در مواقع لزوم به صورت مشترک با جریان ترافیک عمل نماید و برخلاف تراموا، خط ریلی فقط تحت شرایط خاصی قابل استفاده توسط سایر خودروها خواهد بود. دامنه انعطاف‌پذیری زیاد و امکان ایجاد

1. America Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
2. Transportation Research Board (TRB)

تغییرات در اجزای متشکله سیستم‌های مدرن قطار سبک شهری، امکان بهره‌برداری بهینه از فناوری مربوط را فراهم کرده و نتایج عملی زیر را به دنبال خواهد داشت:

- قابلیت تغییر در ابعاد واگن‌ها به تناسب 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 تغییرات حجم ترافیک از طریق تغییر در تعداد واگن‌ها و آرایش قطار (طول قطار)
- قابلیت انعطاف در مسیر حرکت به صورت 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[1] (علایم) و حفاظت قطار به فراخور نوع وظایف عملکردی در دامنه گسترده‌ای از چراغ‌های راهنمایی
- قابلیت استفاده از سیستم‌های رادیویی، 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 از جمله مترو، اتوبوس و تاکسی را داشته و در ایستگاه‌ها و پایانه‌های آن می‌توان از تسهیلاتی مانند پارک‌سوارها[2]، دوچرخه و غیره استفاده نمود.

1. Signaling
2. Park and Ride

مطالعات انجام گرفته در رابطه با طرح‌های مختلف قطار سبک در کشورهای جهان موید آن است که در موارد و شرایط متفاوت این‌گونه طرح‌ها به موفقیت نایل شده‌اند. بـه عنـوان مثال احداث خطوط قطار سبک شـهری در مراکـز شـهرهای پرجمعیـت کـه دارای توزیـع مناسب و یکنواخت تقاضا در ساعات مختلف روز هستند و نیز در مناطق مسکونی و تجـاری نزدیک به مسیر قطار سبک شهری، حصول بازده بالاتر و پاسخگویی سریع‌تـر بـه اهـداف از پیش تعیین شده را به همراه داشته است[۱۱]. جدا بودن سیسـتم قطـار سـبک شـهری از سایر جریان‌های ترافیکی، از جمله عواملی است که موفقیت بیشتری به دنبال دارد. طبعاً در صورت عدم جدایی مسیر از ترافیک معابر و عابران پیاده، این‌گونه مسیرها نیازمنـد علایـم و ارتباطات و کنترل ویژه‌ای است که باعث افزایش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود.

نقطه عطف مطالب فوق را می‌توان در کشورهایی نظیر آمریکا، فرانسه و دانمـارک دیـد که در آن‌ها استفاده از روش‌های جدید کنترل ترافیک از طریق اولویت‌بخشی به قطار نسبت به خودروها مورد توجه ویژه بوده است. افزون بر این، سیستم‌های نظارت خودکـار خـودرو[1] که در مبحث قطار شهری تحت عنوان سیسـتم موقعیـت‌یـاب قطارهـا تلقـی مـی‌شـود بـه برنامه‌ریزان خطوط قطار سبک شهری اجازه می‌دهد برنامه‌های زمان‌بندی گسیل قطارهـا را با موفقیت اجرا کنند.

یادآوری می‌شود در برخی طبقه‌بندی‌ها، تراموا را نیز نوعی قطار سبک در نظر می‌گیرند. سیستم‌های قطار سبک شهری می‌تواند به صـورت روسـطحی[2] و یـا در زیـرزمین[3] و یـا در

1. Automatic Monitoring System of Vehicle
2. Elevated
3. Underground

سطح[1] مورد بهره‌برداری قرار گیرند[۴]. شکل شماره (۱-۳) نمونه‌هایی از این سیستم را نشان می‌دهد.

شکل شماره ۱-۳: سیستم‌های قطار سبک شهری (بالا راست: پورتو، بالا چپ: کوالالامپور)

۱-۲-۳. مونوریل

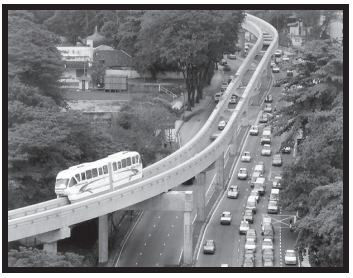
مونوریل یا تک‌ریل، قطاری است که روی یک ریل و اغلب در ارتفاع به صورت‌های سوار بر ریل یا آویخته از ریل یا سوار بر کنار ریل حرکت می‌کند. از این وسیله می‌توان بدون نیاز به ایجاد تغییرات اساسی در تکنولوژی آن، هم به عنوان سرویس حمل‌ونقل شهری و هم به عنوان سرویس‌های گردشگری و توریستی بهره‌برداری نمود. یادآوری می‌شود که سیستم قطارهای تک ریلی می تواند در سطح و داخل تونل نیز استفاده شود[۱].

جامعه مونوریل[2]، مونوریل را به صورت زیر تعریف کرده است: «مونوریل سیستمی است شامل یک ریل که به منظور جابجایی مسافران در وسایلی که روی خط مذکور حرکت می‌کند، عمل می‌نماید. در بسیاری از موارد مونوریل در ارتفاع حرکت می‌کند، ولی در برخی

1. Atgrade
2. Monorail Society

موارد می‌توان از مونوریل در سطح و یا در زیر زمین نیز استفاده نمود. قطارها در این سیستم حمل‌ونقل اغلب سوار بر ریل یا آویزان بوده و نیازمند عرض کمی برای عبور هستند»[۹].

ابعاد کم زیرساخت‌ها و تاسیسات این نوع سیستم ریلی در مقایسه با سایر سیستم‌ها به عنوان یک عامل مثبت برای استفاده از آن در محیط‌های متراکم شهری، به شمار می‌آید. در واقع در این سیستم، مسیر عبور کاملاً هوایی است، بنابراین با توجه به این‌که سطح بسیار کمی را روی زمین (به اندازه سطح مقطع پایه‌ها) نیاز دارد، در میان سیستم‌های حمل‌ونقل شهری کمترین سطح ممکن را در شبکه شهری اشغال می‌کند. به این ترتیب عدم نیاز به تملک اراضی از مزایای اصلی آن است. از طرفی با امکان پیش‌ساخته بودن قطعات، می‌توان سرعت اجرای طرح را بالا برد و در هزینه‌های جانبی که گاهی از هزینه-های اصلی بیشتر است، صرفه‌جویی نمود[۱]. در طی ۹۰ سال گذشته، در بسیاری از کشورها احداث مونوریل به عنوان نوعی از سیستم حمل‌ونقل تفریحی، توریستی یا حمل‌ونقل شهری مورد بررسی قرار گرفته و در این میان تعدادی از کشورها فراتر از مراحل برنامه‌ریزی اولیه، اقدامات ساخت و توسعه خطوط مونوریل را نیز به انجام رسانده‌اند. شکل (۱-۴) نمونه‌هایی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱-۴، مونوریل (بالا: مالزی، چپ: توکیو- هاندا)

۱-۲-۴. قطار حومه‌ای

قطار حومه‌ای یکی از سیستم‌های قدیمی و با سابقه حمل‌ونقل ریلی است که جزء پربازده‌ترین سیستم‌ها برای جابجایی سریع حجم انبوهی از مسافران در مسافت‌های طولانی تلقی می‌شود. این نوع سیستم ریلی معمولاً نقش حلقه اتصال سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مثل مترو و قطار سبک شهری) و مراکز مسکونی و تجاری حومه شهر را دارد. از این نظر به آن مترولینک[1] نیز گفته می‌شود. بررسی‌های اقتصادی در مورد این سیستم نشان می‌دهد که استفاده از ناوگان حمل‌ونقل سنگین (حتی پرحجم‌تر و با ظرفیت بیشتری از مترو) در این سیستم می‌تواند مقرون به صرفه باشد. بنابراین استفاده از واگن‌های زیاد و معمولاً دو طبقه در این سیستم ریلی معمول است.

طول خطوط در این سیستم معمولاً زیاد است و به صورت مجزا از مسیر دیگر سیستم‌ها ساخته می‌شود. سیستم محرکه قطارها معمولاً از نوع موتورهای الکتریکی و یا دیزلی است. فاصله بین ایستگاه‌ها در خطوط مذکور بیشتر از سایر سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی و معمولاً بین ۵ تا ۱۰ کیلومتر است، بنابراین سرعت سفر با آن‌ها بیشتر از سایر سیستم‌های

1. Metro-link

ریلی درون شهری است[۲]. این نوع سیستم یکی از بهترین وسایل حمل‌ونقل برای طی مسافت‌های طولانی و در زمانی که فاصله بین مراکز کار با نواحی مسکونی زیاد است، محسوب می‌شود[۸]. لازم به ذکر است سیستم‌های قطار حومه‌ای در صورتی به خوبی عمل می‌کنند که ارتباط مناسبی بین آن‌ها و سایر سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی به ویژه سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی درون شهری برقرار باشد.

از جمله این سیستم‌ها می‌توان به قطار حومه‌ای توکیو، پاریس، شیکاگو و بوستن اشاره کرد. خط ۵ متروی تهران به کرج را نیز می‌توان نمونه‌ای از این نوع سیستم ریلی به حساب آورد. شکل (۱-۵) نمونه‌هایی از این سیستم را نشان می‌دهد.

شکل شماره ۱-۵: سیستم‌های قطار حومه‌ای

۱-۲-۵. مترو

به سیستم حمل‌ونقل ریلی زیرزمینی با ظرفیت زیاد، مترو اتلاق می‌شود. خطوط مترو برای ظرفیت‌های ۳۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ مسافر در هر ساعت در هر جهت طراحی می‌شوند. البته مواردی همچون متروی هنگ‌کنگ با ۸۰۰۰۰ و متروی سائوپولو با ۶۰۰۰۰ مسافر در هر ساعت در هر جهت، وجود دارند که با ظرفیت‌های بالای ۴۰۰۰۰ نفر به جابجایی مسافر

می‌پردازند[۱۰]. نکته بارز و جالب توجه در مورد سیستم مترو آن است که تا کنون هزینه اجرای تمام سیستم‌های مترو بیشتر از برآوردهای پیش‌بینی شده بوده است (به جز هنگ-کنگ و پورتوآلگر[1] که طبق بودجه تنظیم شده به اتمام رسیده است).

هزینه ساخت مترو از ۸ میلیون دلار در هر کیلومتر برای سیستم واقع در سطح معابر شهر با حق اولویت عبور در تقاطع تا ۱۵۰ میلیون دلار در هر کیلومتر برای سیستم ریلی زیرزمینی و با تأسیسات و امکانات پیشرفته، متغیر است. به عنوان مثال هزینه تمام شده متروی کاراکاس که در سال ۲۰۰۴ اتمام یافته و به صورت کامل زیرزمینی است بالغ بر ۹۰/۲۵ میلیون دلار در هر کیلومتر شده است و در مورد متروی بانکوک که در سال ۱۹۹۹ افتتاح شده و در تمام مسیر، هوایی و جدا از سایر جریان‌های ترافیکی است ۷۳/۵۹ میلیون دلار در هر کیلومتر است.

نرخ بازگشت سرمایه در مورد احداث خطوط مترو به عوامل مختلفی بستگی دارد. درآمد مالی مناسب شهروندان و بالا بودن ارزش وقت آن‌ها و بالا بودن حجم مسافر جابجا شده، کم شدن هزینه‌های ساخت مترو و اتمام دوره احداث مترو در زمان معین و در نتیجه کاهش تاخیر ساخت، مجموعه عواملی هستند که باعث کاهش دوره اقتصادی بازگشت سرمایه مربوط به احداث خطوط مترو می‌شوند. شکل (۱-۶) نمونه‌ای از این سیستم را نشان می‌دهد.

۱-۲-۶. سیستم اتوبوس تندرو

1. Porto Alegre

سیستم اتوبوس تندرو یکی از سیستم‌های مناسب برای ارایه سرویس حمل‌ونقل همگانی شهری در کریدورهای پرتقاضا است. این سیستم با پرهیز از پایین آوردن توان عملکردی ناوگان (به دلیل عدم تداخل با ترافیک شهری) و با توجه به داشتن هزینه بسیار پایین احداث مسیر و خرید ناوگان، نگهداری و بهره‌برداری و داشتن ظرفیت حمل مسافر در حدی که در بسیاری موارد با ظرفیت سیستم‌های سبک ریلی حمل‌ونقل شهری برابری می‌کند، گزینه مناسبی را در اختیار طراحان و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل شهری قرار می‌دهد تا با پرهیز از اختصاص منابع مالی قابل توجه برای احداث سیستم‌های ریلی حمل‌ونقل شهری، نسبت به ایجاد امکانات حمل‌ونقل شهری با کیفیت و ظرفیت مناسب اقدام نمایند.

شکل شماره ۱-۶: سیستم متروی شهر تهران

از مهم‌ترین ویژگی‌های این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مسیرهای مجزای عبور سیستم،
- سرعت در سوار و پیاده شدن مسافران،
- ایستگاه‌های مناسب، ایمن و جذاب،

- سیستم‌های کارآمد اخذ کرایه،
- سیستم‌های مناسب اطلاع‌رسانی،
- برخورداری از حق تقدم در تقاطع‌ها،
- عملکرد یکپارچه با سایر تسهیلات و سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در ایستگاه‌ها و پایانه‌ها،
- تطابق ناوگان سیستم با معیارهای زیست محیطی،
- هزینه پایین احداث نسبت به سیستم‌های ریلی.

خلاصه

در این فصل ابتدا مقایسه‌ای بین وضعیت حمل‌ونقل همگانی توکیو، لندن و تهران صورت گرفت. به عنوان مثال مطرح شد که با وجود این‌که لندن از نظر جمعیتی شهری مشابه شهر تهران است ولی طول شبکه متروی آن ۶ برابر است که لزوم توجه و سرمایه‌گذاری بیشتر را برای احداث سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی در کلان‌شهرهای کشور نشان می‌دهد.

سپس انواع سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی نوین متداول به طور مختصر معرفی شدند. سیستم‌های انبوه‌بر به ترتیب توانایی پاسخگویی به تقاضای سفر عبارتند از: مترو، قطار سبک، اتوبوس تندرو، مونوریل، تراموا و اتوبوس.

گرچه در کنار سیستم‌های معرفی شده‌ای مانند قطار سبک شهری، مونوریل، قطار حومه‌ای، مترو و سیستم اتوبوس تندرو، سیستم تراموا نیز به طور مختصر معرفی شد، ولی این سیستم در فصل‌های بعدی مورد بررسی تفصیلی بیشتر قرار نگرفته است. علت این است که رویکرد استفاده از تراموا تغییر یافته و این سیستم حمل‌ونقل ریلی، در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری جای خودش را به قطار سبک شهری داده است. به گونه‌ای که در حال حاضر فقط ۱٪ از پروژه‌های ریلی در حال ساخت دنیا به تراموا اختصاص دارند که کمترین مقدار بین سایر سیستم‌های ریلی است.

خودآزمایی

۱. اهداف بهره‌برداری از سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر سریع را نام ببرید.

۲. تفاوت‌های سیستم تراموا و اتوبوس چیست؟

۳. تعریف قطار سبک شهری چیست؟ آیا می‌توان از اتوبوس تندرو به جای آن استفاده نمود؟

۴. به چند مورد از مزایای سیستم مونوریل به اختصار اشاره نمایید.

۵. ویژگی‌های سیستم قطار حومه‌ای را شرح دهید.

۶. دو مورد از شهرهایی که سیستم متروی با ظرفیت بیشتر از ۴۰۰۰۰ نفر در ساعت در خط دارند، را نام ببرید.

۷. مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم اتوبوس تندرو چیست؟

فصل دوم

قطار سبک شهری

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. معرفی سیستم قطار سبک شهری

۲. شرح مزایا و معایب قطار سبک شهری

۳. ارایه طبقه‌بندی‌های گوناگون این سیستم

۴. معرفی مشخصه‌های ناوگان

۵. معرفی انواع مسیرها

۶. شرح عمده مشکلات ترافیکی

۷. معرفی مختصر تجهیزات کنترل تقاطع‌های مسیر

۲. قطار سبک شهری

۲-۱. مقدمه

قطار سبک شهری یکی از گزینه‌های مطرح برای رفع معضل ترافیک شهرها و بهبود اوضاع حمل‌ونقل همگانی است. ویژگی بسیار مهم قطارهای سبک که آن را نسبت به سایر سیستم‌های ریلی متمایز نموده است، قابلیت تطبیق آن با شرایط متفاوت شهری، حومه‌ای و انواع شبکه‌های معابر است. بر خلاف سیستم‌های ریلی دیگر (به جز تراموا)، قطار سبک می‌تواند در مواقع لزوم به صورت مشترک با جریان ترافیک عمل نماید و برخلاف تراموا، خط ریلی فقط تحت شرایط خاصی قابل بهره‌برداری توسط سایر خودروها خواهد بود.

همچنین سیستم‌های قطار سبک شهری قابلیت تطابق و خدمت‌رسانی مشترک با سایر سیستم‌های خطوط حمل‌ونقل همگانی از جمله مترو، اتوبوس و تاکسی را داشته و در ایستگاه‌ها و پایانه‌های آن می‌توان از تسهیلاتی مانند پارک‌سوار خودرو، دوچرخه و غیره استفاده کرد.

۲-۲. قطار سبک شهری

«قطار سبک شهری یک سیستم حمل‌ونقل ریلی- الکتریکی مسافری است که با یک یا چند واگن در طول مسیری هوایی، زمینی یا زیرزمینی به صورت مجزا یا مشترک با جریان سایر سیستم‌های حمل‌ونقل احداث و بهره‌برداری می‌شود. این سیستم می‌تواند در

مسیرهای مختلط با ترافیک موتوری به جابجایی مسافر پرداخته و در ایستگاه‌های هم‌سطح با مسیر ریلی و یا خیابان، مسافران را پیاده و سوار نماید»[۲۸].

طراحی مسیر سیستم قطار سبک شهری به گونه‌ای است که امکان عبور از تسهیلات مختلف از جمله خیابان‌های شهری، میانه آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، حریم ریلی مترو و راه‌آهن بین‌شهری و محدوده‌های ویژه‌ی عابران پیاده[1] را با استفاده از سازه‌های زیرزمینی و هوایی داراست. قطار سبک شهری به عنوان یک گزینه حمل‌ونقل شهری معمولاً دارای ظرفیت پایین‌تری نسبت به مترو بوده و استفاده از واژه سبک برای آن، ناشی از همین خصوصیت و نیز هزینه‌های سبک‌تر ساخت، نگهداری و بهره‌برداری آن نسبت به مترو است.

از جمله مواردی که طراحان و برنامه‌ریزان سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به عنوان نقاط ضعف این سیستم ذکر نموده‌اند عبارت است از[۸]:

۱. قیمت بالای این سیستم در مقایسه با سیستم اتوبوسرانی

۲. 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 سیمای شهر

۳. اثر نامناسب بر جابجایی ترافیک موتوری در صورت ایجاد مسیر هم‌سطح با سواره‌رو و کاهش ظرفیت مسیرها

۴. نیاز به تملک حریم در صورت عدم امکان استفاده از مسیرهای موجود معابر شهری

در مقابل، مزایای زیر نیز برای قطار سبک شهری عنوان شده‌اند[۸]:

۱. امکان جابجایی مسافر به صورت انبوه

۲. نداشتن تأثیرات نامطلوب بر محیط‌زیست به دلیل استفاده از انرژی الکتریکی

1. Pedestrian Malls

۳. راحتی و آرامش سفر

۴. سرعت بیشتر در مقایسه با اتوبوس

۵. ایمنی بیشتر نسبت به خودروهای موتوری

۶. هزینه کم احداث و خرید تجهیزات، در مقایسه با سایر سیستم‌های ریلی

۷. انعطاف‌پذیری با شرایط مسیر به گونه‌ای که می‌تواند در جریان ترافیک، با حق تقدم و بدون حق تقدم طراحی و اجرا شود

۸. زمان احداث کم‌تر نسبت به سیستم‌های مترو

۹. سهولت در تغییر خط

۱۰. امکان اعمال کنترل دستی یا اتوماتیک قطار، بر حسب ویژگی‌های مسیر

۱۱. قابلیت گردش با شعاع‌های کم (حداقل ۲۰ متر و تا ۱۵ متر با سرعت‌های پایین)

۱۲. قابلیت حرکت در شیب‌های تند تا حداکثر ٪۱۰

۱۳. امکان جانمایی خط در انواع مسیرها (هوایی، زمینی مجزا، زمینی مختلط و زیرزمینی)

شکل‌های (۲-۱) تا (۲-۴) برخی از انواع مسیرهای قطار سبک شهری را نشان می‌دهند.

شکل شماره ۲-۱: مسیر غیرهم‌سطح قطار سبک شهری، سن خوزه، آمریکا. به شیب تند پل در سمت راست توجه کنید

شکل شماره ۲-۲: مسیر هم‌سطح قطار سبک شهری در یک پیاده‌راه، مجزا از سایر جریان‌های ترافیک، سن‌خوزه، آمریکا

شکل شماره ۲-۳، ایستگاه قطار سبک شهری هم‌سطح، در دالاس، آمریکا

شکل شماره ۲-۴، قطار سبک شهری در حال عبور از شیب قابل ملاحظه، سانفرانسیسکو، آمریکا

۲-۲-۱. اجزای تشکیل‌دهنده سیستم قطار سبک شهری

سیستم‌های قطار سبک شهری موجود در جهان به طور کلی دارای عناصر زیر هستند[۵]:

۱. زیرساخت‌ها: شامل مسیر حرکت، ایستگاه، پایانه و پارکینگ،

۲. ناوگان قطار سبک شهری[1] (LRV)،

۳. تجهیزات ثابت شامل مرکز کنترل، مرکز تعمیر و نگهداری، شبکه تأمین و انتقال نیرو، علایم و تابلوهای ترافیکی، شبکه مخابراتی و سیستم اخذ کرایه.

۲-۳. طبقه‌بندی سیستم‌های قطار سبک شهری

با توجه به پیشرفت سریع تکنولوژی در زمینه احداث مسیر، واگن‌ها، سیستم‌های کشش، کنترل و بهره‌برداری و به تبع آن تنوع به وجود آمده در تجهیزات این سیستم، تعریف رسمی عبارت «قطار سبک شهری» که توسط کمیته ملی تحقیقات ایالات متحده (۱۹۸۹)

1. Light Rail Vehicle

در قسمت ۲-۲ ارایه گردید، تمامی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری را تحت پوشش قرار نمی‌دهد. اما هنوز در سطح جهانی به عنوان معیار اساسی مقایسه این گزینه حمل‌ونقل شهری با سایر گزینه‌ها شناخته می‌شود. در ادامه به برخی انواع طبقه‌بندی‌های در نظر گرفته شده برای قطار سبک شهری اشاره می‌شود.

۲-۳-۱. طبقه‌بندی از نظر مسیر

سیستم قطار سبک شهری، یکی از انعطاف‌پذیرترین سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی درون-شهری است و امکان ایجاد مسیر با ویژگی‌های فنی مختلف برای آن وجود دارد. از مهم‌ترین انواع مسیر قطار سبک شهری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

الف) مسیر هوایی : در این روش قطار سبک شهری در تمام و یا بخشی از طول مسیر خود که به کمک سازه‌های نگهدارنده به ارتفاع برده شده است، به صورت مجزا از سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری عمل می‌کند. 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 به عنوان عامل منفی تلقی می-شود. معمولاً از قطار سبک شهری به صورت شبکه کاملاً 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 سبک شهری در سنگاپور با مسیر کاملاً غیرهم‌سطح به طول ۷/۸ کیلومتر اشاره نمود[۴].

ب) مسیر مجزای هم‌سطح : در این حالت مسیر قطار سبک شهری بر روی سطح سواره-رو ولی کاملاً مجزا از آن با داشتن اولویت حق تقدم در تقاطع‌ها و چراغ‌های راهنمایی و به

صورت غیرهم‌سطح در تقاطع‌های مهم، اجرا می‌شود. جداسازی مسیرها می‌تواند بـه کمـک جداول و میانه‌های بتنی یا به کمک نرده‌های فلزی و هماهنگ با بافت شهری صورت گیرد. در این حالت ممکن است ظرفیت معابر برای عبور ترافیک موتوری پایین آمده و یا تحصـیل حریم برای اجرای مسیر قطار سبک شهری و تأسیسات ایستگاهی ضرورت یابد[۴].

پ) مسیر غیرمجزا : در این شکل از مسیر، قطار سبک شهری در سطح سواره‌رو به صورت اشتراکی با سایر سیستم‌های حمـل‌ونقـل شـهری حرکـت مـی‌نمایـد. عـدم امکـان تنظـیم سرفاصله‌ها و ایمنی پایین‌تر نسبت به سایر انواع مسیر و همچنین عدم امکان ایجاد اولویـت عبور برای سیستم قطار شهری، از مهم‌ترین نقاط ضعف این شکل از مسیر بـه شـمار مـی-آید[۴].

۲-۳-۲. طبقه‌بندی با توجه به فن‌آوری قوای محرکه و واگن‌ها

تقریباً تمامی سیستم‌های قطار سبک شهری در سراسر جهان به کمک نیـروی الکتریسـیته جابجا می‌شوند. این امر به خصوص با توجه به آلودگی هوا در شهرهای بزرگ حـائز اهمیـت است. اما در مقابل، لزوم ایجاد پایه‌ها و کابل‌های انتقال جریان به واگن‌ها، منظره نامناسبی از نظر سیمای شهری به وجود می‌آورد. برای رفـع ایـن مشـکل در برخـی از سیسـتم‌هـای حمل‌ونقل درون‌شهری از کشنده‌های قطار سبک مجهز به موتورهای دیزل که با معیارهـای تعیین شده زیست محیطی مطابقت دارند استفاده می‌شود. بر اسـاس نـوع انـرژی مصـرفی، قطار سبک شهری را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم نمود:

الف) سوخت فسیلی : در این نوع قطارها برای تأمین انرژی مورد نیاز قطارها از سـوخت-های فسیلی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه در نیوجرسی شبکه‌ای به طول ۵۵ کیلومتر، با

۲۰ ایستگاه وجود دارد که نیروی محرکه قطارهای آن با استفاده از موتور بنز با مشخصات استانداردهای ملی کیفیت هوا در ایالات متحده، تأمین می‌شود. میزان مصرف انرژی این موتور در حد یک اتوبوس شهری و ظرفیت حمل مسافر آن تا چهار برابر است (۹۰ مسافر نشسته و ۱۰۰ مسافر ایستاده).

ب) جریان الکتریسیته : سیستم‌های متعارف قطار سبک شهری که همگی با استفاده از جریان الکتریسیته عمل می‌نمایند، در این گروه قرار دارند.

از سوی دیگر قطار سبک شهری را با توجه به نوع واگن‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

الف) واگن‌های شاسی بلند : این نوع قطارها معمولاً به نسل قدیمی‌تر قطار سبک شهری متعلق بوده و ضمن دشواری پیاده و سوار شدن مسافر، در مواردی به ایستگاه‌هایی با سکوهای مرتفع نسبت به سطح زمین نیازمند هستند.

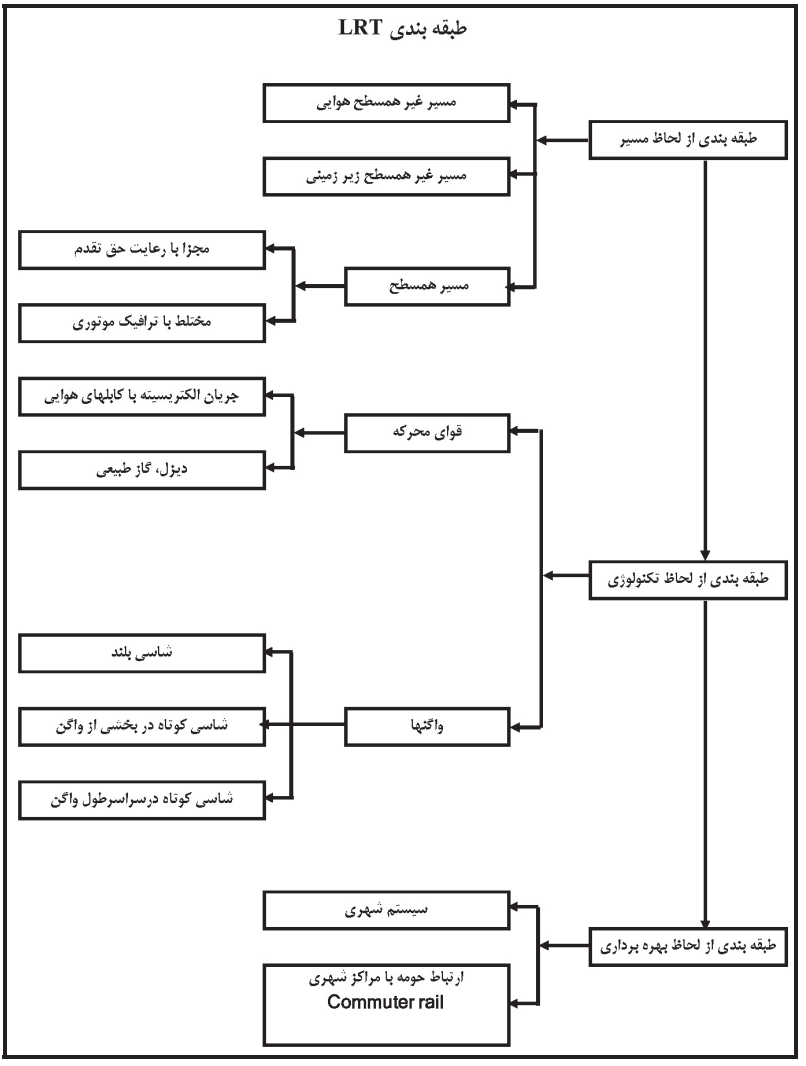
ب) واگن‌های با شاسی کوتاه در بخشی از طول واگن : در این نوع واگن، قسمت درب‌های ورود و خروج مسافران با ارتفاع کم نزدیک به زمین تعبیه شده اما بخش دیگر فضای واگن کماکان به‌صورت شاسی با ارتفاع بالا ساخته می‌شود.

۲-۳-۳. طبقه‌بندی با توجه به نوع بهره‌برداری

کلیه سیستم‌های قطار سبک شهری برای جابجایی و حمل مسافر به کارگرفته می‌شوند و عموماً به دو شکل زیر تقسیم می‌شوند[۴].

الف) قطار سبک شهری درون‌شهری : در این سیستم، مسیر قطارها عموماً از مناطق درون‌شهری عبور کرده و طول قطارها با توجه به معابر و ایستگاه‌های شهری تعیین می‌شود.

ب) قطار سبک شهری حومه‌ای : در این سیستم، مسیر قطارها معمولاً به صورت مجزا و در حومه شهر قرار دارد. قطارها طویل‌ترند (گاهی با استفاده از واگن‌های دو طبقه) و در مواردی با استفاده از قوای محرکه دیزل حرکت می‌کنند. این سیستم‌ها بیشتر برای جابجایی مسافران بین حومه‌ها و مراکز شهری به کار گرفته می‌شوند. شکل (۲-۵) انواع طبقه‌بندی معرفی شده در سه بخش قبلی را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲-۵: طبقه‌بندی‌های مختلف برای قطار سبک شهری

۲-۴. مشخصه‌های ناوگان قطار سبک شهری

واگن‌ها و کشنده‌های سیستم قطار سبک شهری به دلیل قدمت و گستردگی استفاده و نیز تنوع سازندگان این سیستم‌ها در سراسر جهان، در اشکال مختلف و گوناگونی دیده می‌شوند. این تنوع، همراه با به کارگیری آخرین دستاوردهای فناوری در ساخت باعث شده ناوگان قطار سبک شهری، با داشتن کیفیت بالا و امکانات رفاهی قابل توجه برای مسافران، به عنوان جاذبه‌ای برای پاسخ به تقاضای سفرهای شهری عمل نماید. امروزه با به کارگیری طرح‌های مدرن و جذاب در ساخت بدنه این قطارها، در برخی موارد قطار سبک شهری به عنوان یکی از نمادهای شهرهای مدرن شناخته می‌شود. شکل‌های (۲-۶) و (۲-۷) نمونه‌ای از سیستم‌های ریلی پیشرفته با طرحی ارگونومیک[1] و جذاب را در مینیاپولیس آمریکا و پورتوی پرتقال نشان می‌دهند[۵].

شکل شماره ۲-۶، قطار سبک شهری مینیاپولیس در ایستگاه

شکل شماره ۲-۷، قطار سبک شهری با شاسی کوتاه، بندر پورتو

1. Ergonomic Design

۲-۵. علایم، مسیرها و سیستم‌های کنترلی قطار سبک شهری

بهره‌برداری از قطار سبک شهری می‌تواند اثرات منفی احتمالی بر وضعیت ترافیکی محدوده مسیر قطار داشته باشد. بنابراین باید با وضع قوانین و مقررات خاص، ایجاد مسیر متناسب با وضعیت ترافیکی معبر و استفاده از علایم ترافیکی مناسب، نسبت به کاهش خطرات احتمالی، تسهیل رفت و آمد و بالا بردن ظرفیت بهره‌برداری اقدام نمود. به طور کلی به منظور تعیین قوانین و مقررات، طراحی مسیر، تعیین انواع علایم و چراغ‌های مخصوص برای کنترل حرکت قطار و سایر خودروها در مسیرهای مرتبط با قطار سبک شهری، بررسی موارد زیر ضروری است:

۱. نوع مسیر حرکت قطار سبک شهری در معبر،
۲. سرعت طرح برای سیستم قطار سبک شهری،
۳. ایمنی در عملکرد قطار سبک شهری و تصادفات،
۴. کنترل ترافیکی.

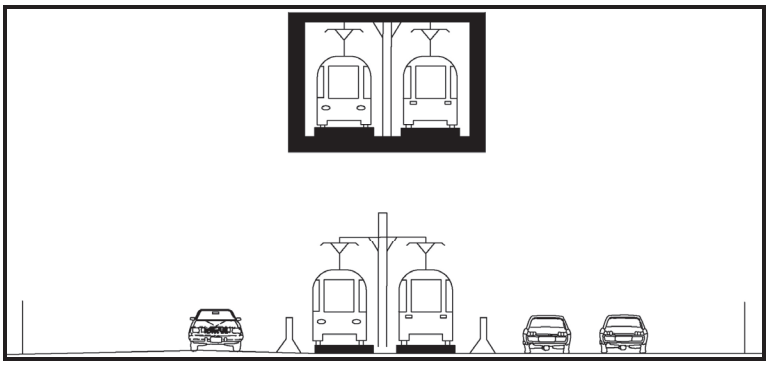
۲-۵-۱. انواع مسیر حرکت

به منظور بررسی قوانین و سیستم علایم مورد نیاز برای تنظیم رفت و آمد قطار سبک شهری در داخل شهر، تقسیم‌بندی انواع مسیرها و حالاتی که این سیستم می‌تواند در داخل شهر حرکت کند ضروری است. این نوع تقسیم‌بندی بر اساس چگونگی کنترل دسترسی‌ها و

محدوده‌های تداخلی[1] با مسیر قطار انجام می‌شود و در حال حاضر در کشورهایی کـه دارای سیستم قطار سبک شهری هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۳].

۲-۵-۱-۱. مسیر کاملاً اختصاصی[2]

در این حالت مسیر حرکت قطار کاملاً مجزا از مسیر حرکت سایر خودروها و عـابران اسـت. این نوع مسیرها به علت نداشتن هیچ‌گونه تقاطع هم‌سطح یا تداخل ترافیکی دارای بالاترین میزان ایمنی و سرعت بهره‌برداری هسـتند. ایـن مسـیرها ممکـن اسـت بـه صـورت کـاملاً غیرهم‌سطح هوایی یا زیرزمینی و یا به صورت هم‌سطح با تقاطع‌های غیرهم‌سطح اجرا شوند که در شکل (۲-۸) نمونه‌ای از آن مشاهده می‌شود.



شکل شماره ۲-۸: نمونه‌ای از یک از مسیر کاملاً اختصاصی سیستم قطار سبک شهری

۲-۵-۱-۲. مسیر نیمه اختصاصی

1. Conflicts
2. Exclusive Alignment

این مسیرها دارای تقاطع‌های هم‌سطح محدود و کنترل‌شده هستند. مسیرهای نیمه اختصاصی خود به ۵ دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه بررسی خواهند شد.

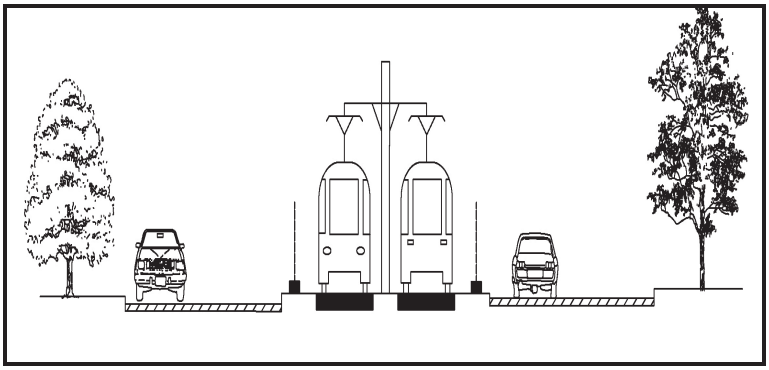
الف) مسیر نیمه اختصاصی نوع (۱)

در این حالت مسیر حرکت قطار ضمن عبور از سطح معابری که در طول مسیر توسط موانعی از قبیل فنس و یا دیوار از هم جدا شده‌اند، دارای تقاطع‌های هم‌سطح با مسیر حرکت سایر خودروها یا عابران پیاده‌اند. خودروها و عابران پیاده فقط در محل‌های مشخص و تقاطع‌های کنترل‌شده می‌توانند مسیر حرکت قطارها را قطع نمایند. نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۱) در شکل (۲-۹) نشان داده شده است.

شکل شماره ۲-۹: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۱)

ب) مسیر نیمه اختصاصی نوع (۲)

در این حالت مسیر حرکت قطار در حریم خیابان و به موازات مسیر حرکت سایر خودروها است که با استفاده از جدول‌هایی که دارای حداقل ۱۵ سانتی‌متر ارتفاع هستند، از حریم خیابان جدا شده است. علاوه بر این، مسیر حرکت با استفاده از حصار یا فنس به طور کامل از حریم خیابان جدا شده است. خودروها و عابران فقط در محدوده‌های مشخص شده می‌توانند از محدوده مسیر حرکت قطار عبور نمایند. نمونه‌ای از این حالت در شکل شماره (۲-۱۰) نشان داده شده است.



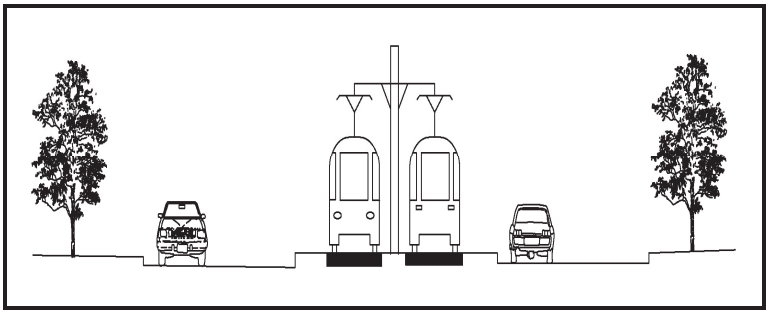
شکل شماره ۲-۱۰: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۲)

شکل شماره ۲-۱۱: مسیر مجزای قطار سبک شهری در امتداد آزادراه، سن خوزه، آمریکا

پ) مسیر نیمه اختصاصی نوع (۳)

در این حالت نیز مسیر حرکت قطار در محدوده حرکت سایر خودروها و به موازات آن‌ها است، ولی حریم حرکت آن‌ها با استفاده از جدول‌هایی با ارتفاع حداقل ۱۵ سانتی‌متر از هم جدا شده است. خودروها و عابران پیاده فقط در محدوده‌های مشخصی می‌توانند از مسیر

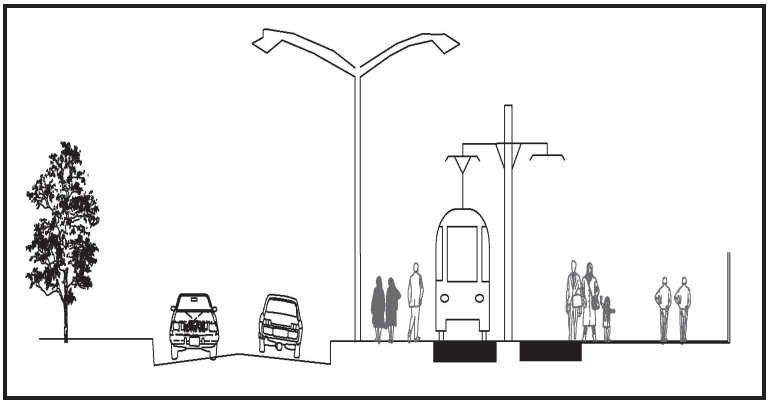
حرکت قطار عبور کنند. نمونه‌ای از این حالت در شکل شماره (۲-۱۲) نشان داده شده است.



شکل شماره ۲-۱۲: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۳)

ت) مسیر نیمه اختصاصی نوع (۴)

در این حالت مسیر حرکت قطار در محدوده رفت و آمد عابران پیاده در مجاورت خیابان قرار گرفته است. محدوده رفت و آمد قطار و عابران توسط جداولی به ارتفاع حداقل ۱۵ سانتی‌متر از محدوده خیابان جدا شده است. مسیر حرکت قطار با خط‌کشی و استفاده از بافت روسازی مشخصی از مسیر عبور عابران پیاده متمایز شده است. خودروها در نقاط مشخص و طراحی شده می‌توانند از محدوده عبور قطار و مسافران بگذرند. عابران پیاده نیز آزادانه می‌توانند از مسیر حرکت قطار عبور کنند. نمونه‌ای از این نوع مسیرها در شکل (۲-۱۳) نمایش داده شده است.



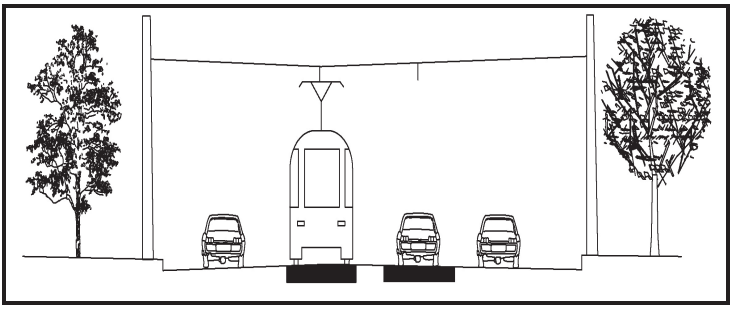
شکل شماره ۲-۱۳: نمونه‌ای از مسیر نیمه اختصاصی نوع (۵)

۲-۵-۱-۳. مسیر اشتراکی

مسیرهای اشتراکی به طور کلی مسیرهایی هستند که قطار به صورت مشترک با سایر خودروها و عابران پیاده حرکت می‌نماید. مسیرهای اشتراکی خود به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند، که در ادامه بررسی شده‌اند.

الف) مسیر اشتراکی نوع (۱)

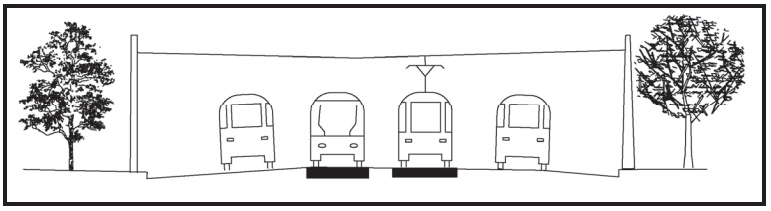
در این نوع از مسیرهای اشتراکی، قطار، خودروها و دوچرخه سواران به صورت مشترک و آزادانه از سطح خیابان استفاده می‌کنند. عابران پیاده در نقاط مشخص و کنترل شده می‌توانند از عرض خیابان عبور کنند. تصویر شماتیکی از این نوع مسیرها در شکل (۲-۱۴) ارایه شده است.



شکل شماره ۲-۱۴: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع (۱)

ب) مسیر اشتراکی نوع (۲) (مسیر ویژه)

در این مسیرها، قطار سبک شهری به همراه سایر خودروها حمل‌ونقل همگانی در یک مسیر مخصوص به منظور جابجایی مسافر تردد می‌کند. محدوده پیاده‌روها توسط جداول مرتفع از مسیر ویژه جدا شده است. سایر خودروها حق تردد در این مسیر را ندارند. این نوع خودروها و عابران پیاده در نقاط خاص و طراحی شده می‌توانند از عرض مسیر عبور نمایند. تصویر شماتیکی از مسیر اشتراکی نوع (۲) در شکل شماره (۲-۱۵) ارایه شده است.

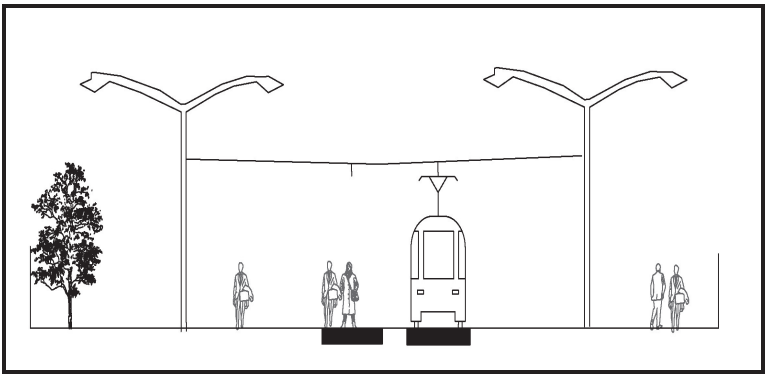


شکل شماره ۲-۱۵: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع (۲)

پ) مسیر اشتراکی نوع (۳)

در این حالت قطار و عابران پیاده به صورت مشترک از یک مسیر استفاده می‌نمایند. مسیر حرکت قطار با انجام خط‌کشی و استفاده از بافت روسازی مشخصی از مسیر عبور عابران پیاده متمایز شده است. خودروها در مکان‌های مشخص و طراحی شده می‌توانند از محدود

مشترک عبور قطار و مسافران بگذرند. عابران پیاده آزادانه می‌توانند در مسیر حرکت قطار حرکت کنند. تصویر شماتیکی از مسیر اشتراکی نوع (۳) در شکل (۲-۱۶) و شکل شماره (۲-۱۷) مشاهده می‌شود.



شکل شماره ۲-۱۶: نمونه‌ای از مسیر اشتراکی نوع(۳)

شکل شماره ۲-۱۷:مسیر هم‌سطح قطار سبک شهری در محدوده عابران پیاده، سن خوزه، آمریکا

خلاصه‌ای از انواع مسیرها و دسته‌بندی هریک از آن‌ها نیز در جدول شماره (۲-۱) ارایه شده است.

جدول شماره ۲-۱: انواع مسیر حرکت قطار درون‌شهری بر اساس نوع دسترسی

نوع مسیر	دسته-بندی	وضعیت دسترسی
مسیر اختصاصی	-	مسیر فاقد هر گونه تقاطع هم‌سطح است.
مسیر نیمه اختصاصی	نوع ۱	مسیر حرکت به صورت کاملاً مجزا با تقاطع‌های هم‌سطح محدود و کنترل شده است.
	نوع ۲	مسیر حرکت واقع در محدوده حرکت سایر خودروهاست که توسط جداول و موانع (مانند فنس) از حریم حرکت سایر خودروها جدا شده و دارای تقاطع‌های کنترل شده است.
	نوع ۳	مسیر حرکت در محدوده حرکت سایر خودروها قرار دارد. مسیر توسط جداول از حریم حرکت سایر خودروها جدا شده است و دارای تقاطع‌های کنترل شده است.
	نوع ۴	مسیر حرکت در محدوده عبور و مرور عابران و در کنار خیابان اصلی قرار گرفته است.
مسیر اشتراکی	نوع ۱	مسیر حرکت به صورت کاملاً مشترک با مسیر حرکت سایر خودروها است.
	نوع ۲	مسیر حرکت قطار با مسیر حرکت سایر خودروها همگانی، مشترک است.
	نوع ۳	مسیر حرکت با مسیر رفت و آمد عابران پیاده مشترک است.

۲-۵-۲. محدودیت سرعت در مسیرهای مختلف

تعیین محدوده سرعت قطار در هر یک از مسیرهایی که در بخش قبل به آن‌ها اشاره شد، به منظور دستیابی به بالاترین درجه ایمنی و بهترین سرعت بهره‌برداری ضروری است. در جدول شماره (۲-۲) حداکثر سرعت پیشنهادی در هر یک از این مسیرها ارایه شده است.

۲-۵-۳. عمده مشکلات ترافیکی سیستم قطار شهری

در مسیرهای اشتراکی و مسیرهای نیمه اختصاصی نوع (۲) و (۵)، احتمال ایجاد مشکلاتی مرتبط با ظرفیت مسیر، زمان سفر و ایمنی سیستم وجود دارد. طبیعت و نوع این‌گونه مشکلات ارتباط مستقیم با خصوصیات سیستم از قبیل نوع مسیر، طرح هندسی مسیر و سیستم‌های کنترل ترافیک دارد.

بر اساس مطالعاتی که روی سیستم‌های قطار سبک شهری در ۱۰ شهر بزرگ آمریکا انجام شد عمده مشکلاتی که طی روند بهره‌برداری از سیستم قطار سبک شهری منجر به

تصادفات سنگین شده مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. خلاصه‌ای از نتایج این مطالعات که به علل اصلی تصادفات مربوط به قطار سبک شهری و راه‌حل‌ها می‌پردازد به شرح زیر است[۶]:

جدول شماره ۲-۲: حداکثر سرعت مجاز قطار در مسیرهای مختلف

نوع مسیر		محدوده	حداکثر سرعت مجاز
کاملاً اختصاصی		تمام محدوده‌ها	بیش از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
نیمه اختصاصی مسیر	نوع ۱	مابین تقاطع‌ها	بیش از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
		در تقاطع‌های محافظت شده با راه بند[1]	بیش از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
	نوع ۲	مابین تقاطع‌ها	حداکثر سرعت خودروهای کمتر از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
		در تقاطع‌های محافظت شده با راه‌بند	حداکثر سرعت خودروها کمتر از ۱۵ کیلومتر بر ساعت
		در تقاطع‌های محافظت نشده با راه‌بند[2]	حداکثر سرعت خودروها کمتر از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
	نوع ۳	تمام محدوده‌ها	حداکثر سرعت خودروها کمتر از ۵۵ کیلومتر بر ساعت
	نوع ۴	تمام محدوده‌ها	۳۲ کیلومتر بر ساعت
مسیر اشتراکی	نوع ۱	تمام محدوده‌ها	حداکثر سرعت خودروها کمتر از ۵۶ کیلومتر بر ساعت
	نوع ۲ و۳	تمام محدوده‌ها	حداکثر سرعت خودروها کمتر از ۵۶ کیلومتر بر ساعت

۱. تجاوز عابران به حریم حرکت قطار سبک شهری به دلیل عدم وجود فضای کافی پیاده-روها

۲. عدم وجود فضای کافی و ایمن برای صف مسافران

۳. گردش به چپ غیرمجاز خودروها برای عبور از مسیر قطار درست بعد از قرمز شدن چراغ

1. Gated
2. Nongated

۴. عبور و یا عدم توجه آن‌ها به تابلوی گردش ممنوع (گردش ممنوع در مواقع عبور قطـار) و عدم توجه به نزدیک شدن قطار

۵. وجود مسیرهای دوطرفه سیستم قطار سبک شهری برای توجه بیشتر به دو سمت مسیر در هنگام عبور

۶. عدم توجه رانندگان خودروها به علایم و چراغ‌های راهنمایی در محدوده‌هایی با سـرعت کم قطار

۷. وجود تقاطع‌ها با طرح‌هندسی پیچیده و سردرگمی رانندگان

۸. اشتباه گرفتن چراغ‌های راهنمایی، تابلوها و علایـم راهنمـایی مربـوط بـه قطـار و سـایر خودروها توسط رانندگان

۹. ورود خودروها به حریم حرکت قطار (در محدوده‌هایی که مسیر حرکت قطار فقط توسط خط‌کشی‌های برجسته از محدوده حرکت سایر خودروها جدا شده است)

پس از طرح مشکلات موجود در بهره‌برداری از سیستم قطار سبک شـهری، اصـول زیـر برای تعیین ضوابط و قوانین و همچنین طرح سیستم‌های ترافیکی مربوطـه پیشـنهاد مـی-شود:

۱. ثابت نگاه داشتن الگوی کلی ترافیک و سفرها علی‌رغم ایجاد برخی تغییرات در وضعیت حمل‌ونقل شهری

۲. اجرای برنامه‌های آموزشی مناسب

۳. در نظر گرفتن کلیه شرایط محتمل در تداخل حرکت قطار، خودروها و عابران پیـاده در طراحی سیستم‌های ترافیکی

۴. طراحی و اجرای سیستم‌های کنترل ترافیک به گونه‌ای که امکان تصمیم‌گیری سریع و آسان را برای رانندگان خودروها و مسافران ایجاد نماید و باعث کاهش احتمال بروز تصادف شود

۵. عبور قطار سبک شهری از محدوده میانی معبر در خیابان‌های دوطرفه و همچنین حرکت قطار به موازات مسیر حرکت خودروها دیگر و در جهت موافق آن‌ها در خیابان‌های یک‌طرفه و اجتناب از عبور دادن قطار در خلاف جهت ترافیک

۶. کنترل کامل با استفاده از علایم و چراغ‌ها در صورت وجود مسیر حرکت قطار در داخل خیابان و در محدوده‌هایی که امکان تداخل حرکت قطار با سایر خودروها باشد

۷. طرح چراغ‌ها و تابلوهای مخصوص قطار باید به صورتی کاملاً متفاوت با چراغ‌های راهنمایی مربوط به سایر خودروها (در طراحی، نحوه نصب و غیره) باشد

۸. طرح فازبندی مناسب چراغ‌ها به منظور جلوگیری از توقف و ایجاد گره در تقاطع‌ها

۹. مجزا کردن محدوده حرکت عابران پیاده به منظور جلوگیری از تجاوز آن‌ها به حریم حرکت قطار

۲-۵-۴. کنترل ترافیکی تقاطع‌های هم‌سطح با قطار سبک شهری

انتخاب سیستم علایم مناسب و اصولی در بهره‌برداری ایمن از قطار سبک شهری بسیار مهم است. سیستم علایم باید با دقت و توجه کافی به الگوی حرکت وسیله نقلیه، عابران پیاده و قطار انتخاب و اجرا شود. در مواقعی که با توجه به شریط خاص شهری مسیر حرکت قطار دارای طرح هندسی نامناسبی باشد، استفاده از یک سیستم علامت‌گذاری صحیح و اصولی

می‌تواند حاشیه ایمنی معقولی را فراهم نماید. لذا توجه به این بخش به عنوان یکی از اساسی‌ترین زیرساخت‌های سیستم قطار شهری بسیار با اهمیت است[۱۷].

سیستم‌های کنترل ترافیک به منظور ایجاد شرایط ایمن، مناسب، یکنواخت و قانونمند برای حرکت خودروها و قطار در کنار هم ایجاد می‌شوند. در تقاطع‌های هم‌سطح بیشترین امکان تداخل حرکت قطار شهری، خودروها و عابران پیاده وجود دارد. لذا لازم است که از لحاظ ایمنی بیشترین توجه به محل تقاطع‌های هم‌سطح معطوف شود. مهم‌ترین مواردی که در محل تقاطع‌های هم‌سطح باید به دقت کنترل شوند به شرح زیر است:

۵. گردش و دور زدن خودروها در محدوده حرکت قطار
۶. عبور عابران پیاده در محدوده حرکت قطار
۷. طرح و زمان‌بندی چراغ راهنمایی مربوط به قطار
۸. خط‌کشی محدوده (حریم) حرکت قطار

برای این منظور از علایم و تجهیزات مختلفی استفاده می‌شود که در بخش‌های بعد تعدادی از آن‌ها بررسی می‌شوند.

۲-۵-۴-۱. علایم[1]

علایم و خط‌کشی‌ها به منظور جلب کردن توجه به موقعیت و یا وضعیتی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم اطلاع‌رسانی باعث می‌شود تا رانندگان ناوگان قطار سبک شهری، سایر وسایل نقلیه، موتورسواران و عابران پیاده اقدام صحیح را در قبال مشاهده آن انجام دهند. در ادامه انواع این علایم بررسی می‌شوند:

1. Signs

الف- علایم خبری

۱. علامت ایست

در تمام محدوده تقاطع‌های هم‌سطح، علایم ایست، چراغ‌های راهنمایی یا موانع متحرک بسته به نوع شرایط مختلف (سرعت قطار و سایر وسایل نقلیه، مسافت دید، حجم ترافیک و غیره) باید مورد استفاده قرار گیرند.

به هر حال تمام تقاطع‌های هم‌سطح قطار سبک شهری باید شامل نوعی از علایم خبری باشند. حداقل وسیله کنترلی در تقاطع، تابلوی «ایست» است. استفاده صرف از تابلوی «ایست» می‌بایست پس از مطالعات دقیق ترافیکی صورت گیرد. تقاطع‌هایی که در آن‌ها از تابلوی «ایست» به تنهایی استفاده می‌شود می‌تواند دارای خصوصیات زیر باشند:

۹. خیابان‌های فرعی با حجم ترافیک پایین (خیابان‌های دوطرفه فرعی و کوچه‌ها)،

۱۰. مواقعی که راننده قطار در فاصله‌ای مناسب از تقاطع دارای دید کافی نسبت به تقاطع برای بوق زدن و یا متوقف ساختن قطار باشد،

۱۱. رانندگان خودروها در فاصله‌ای مناسب از تقاطع دارای دید کافی نسبت به تقاطع باشند، به گونه‌ای بتوانند قبل از رسیدن قطار از تقاطع عبور کنند و یا بایستند،

۱۲. حجم ترافیک عبوری از خیابان فرعی کمتر از ۱۵۰۰ خودرو در روز باشد (مسیرهای نیمه اختصاصی نوع ۲، ۳و ۴)،

۱۳. سرعت قطار سبک شهری از ۴۰ کیلومتر برساعت تجاوز نکند (مسیرهای نیمه اختصاصی نوع ۲، ۳ و ۴)،

۱۴. فاصله دید و ترمز برای خودروها و قطار سبک شهری مناسب باشد (مسیرهای نیمه اختصاصی نوع ۲، ۳ و ۴).

۲. علایم محدودیت دور زدن

در تقاطع‌ها، دور زدن خودروها به سمت چپ یا راست از روبروی قطار می‌تواند منجر به توقف حرکت قطار شود. در این موارد تمهیدات زیر لازم است:

۱۵. ممنوع کردن دور زدن به سمت چپ و یا راست در مسیرهایی که حرکت قطار سبک شهری و خودروها دیگر به موازات هم و در طول مسیر خیابان است،

۱۶. کنترل دور زدن‌ها در تقاطع‌های مجهز به چراغ‌های راهنمایی طوری که دور زدن خودروها و حرکت ناوگان‌های سبک شهری در فازهای مختلف انجام شود،

۱۷. محدود کردن دور زدن در تقاطع‌های خاص به طور کامل و یا در زمان‌های خاص،

۱۸. ممنوع کردن دور زدن وسایل نقلیه‌ای که در حال دور زدن هستند، در زمان رسیدن قطار و قراردادن چراغ‌های هشداردهنده در هنگام نزدیک شدن قطار.

۳. تابلوی ممنوعیت سبقت از قطار متوقف شده

این تابلو به منظور ممنوع کردن سبقت گرفتن از قطار زمانی که قطار در حال پیاده و یا سوار کردن مسافراست، استفاده می‌شود. این تابلو تأکید می‌کند که خودروها باید در پشت قطار سبک توقف کنند تا مسافران بتوانند با امنیت کامل از عرض خیابان عبور کنند. نمونه تابلوی پیشنهادی برای کنترل این وضعیت در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است.

شکل شماره ۲-۱۸: ممنوعیت سبقت از قطار در هنگام پیاده و سوار نمودن مسافر

۴. تابلوی عدم تجاوز به حریم مسیر قطار سبک شهری

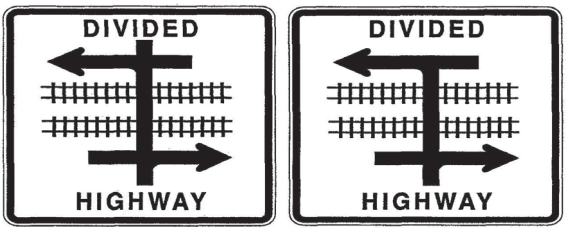
این تابلو به منظور ممنوع کردن حرکت خودروها دیگر روی مسیر قطار سبک شهری به کار می‌رود. این تابلو در محل‌هایی که خودروها امکان تجاوز به حریم حرکت قطار را دارند به کار گرفته می‌شود. تابلوی پیشنهادی این حالت در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است.

شکل ۲-۱۹: عدم تجاوز به حریم حرکت قطار

۵. تابلوی تقسیم خیابان به دو قسمت توسط قطارحرکت کننده در وسط خیابان

این تابلو در محل تقاطع با خیابان‌هایی که مسیر قطار سبک شهری از وسط آن عبور می‌کند، برای مشخص شدن جهات حرکت در دو طرف خیابان استفاده می‌شود. این علامت از سردرگمی مسافران در انتخاب جهت حرکت صحیح جلوگیری می‌کند. دو نوع مختلف از

تابلوهای پیشنهادی برای این حالت در وضعیت‌های مختلف تقاطع در شکل (۲-۲۰) نشـان داده شده است.



شکل شماره ۲-۲۰: تابلوی نشان‌دهنده تقسیم خیابان به دو بخش توسط مسیر ریل

۶. تابلوهای تعیین‌کننده خط قرمز توقف

این نوع تابلوها را می‌توان در نقاطی که لازم است مکان توقف خودروها هنگام عبور مشخص شود استفاده نمود. این تابلوها معمولاً در مکان دقیق توقف خودروها در تقاطع‌های کنتـرل شونده با چراغ راهنمایی استفاده می‌شوند که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل (۲-۲۱) نشـان داده شده است.

شکل شماره ۲-۲۱: تابلو مشخص‌کننده نقطه توقف در تقاطع‌های مجهز به چراغ

نمونه دیگری از این تابلوها که در تقاطع‌های مجهز به راه بند[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شکل (۲-۲۲) نشان داده شده است.

شکل شماره ۲-۲۲: تابلو مشخص‌کننده محل توقف در تقاطع‌های مجهز به راه بند

۷. تابلوی محدودکننده عبور از تقاطع به جز عابران پیاده و دوچرخه سواران

این تابلو در مواقعی که فقط عبور دوچرخه‌سواران یا عابران پیاده از محل تقاطع مجازاست، استفاده می‌شود. نمونه پیشنهادی این تابلوها در شکل (۲-۲۳) پیشنهاد شده است.

شکل شماره ۲-۲۳: تابلو مشخص‌کننده محدودیت عبور از تقاطع

ب- علایم اخطاردهنده

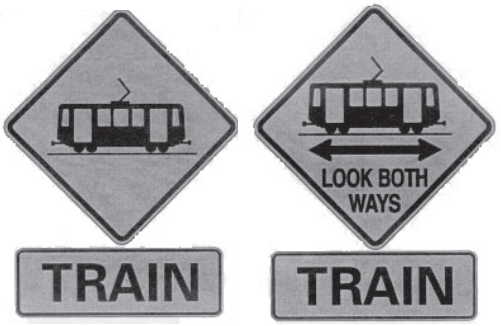
1. Gated

علایم اخطاردهنده در مواقعی که مطلع کردن ترافیک عبوری از وجود سیستم قطار سبک شهری در محدوده مسیر حرکتشان ضروری باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این علایم را می‌توان به صورت تابلو و یا چراغ‌های چشمک‌زن استفاده کرد.

در استفاده از این علایم باید توجه داشت که تعداد آن‌ها باید به حداقل ممکن کاهش یابد. زیرا وجود تعداد زیادی از این نوع علایم باعث ایجاد نوعی بی‌توجهی خواهد شد. در ادامه به تعدادی از این نوع علایم اشاره می‌شود.

۱. تابلوی مشخص‌کننده عبور قطار از تقاطع

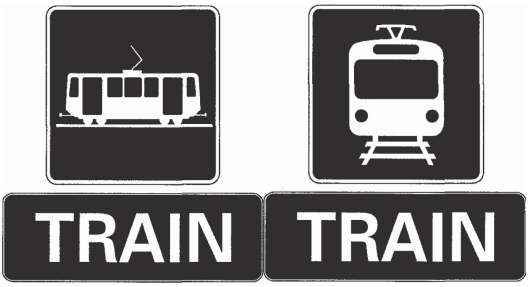
این نوع تابلوها در خیابان‌هایی که در امتداد خود، خیابان‌های دارای مسیر قطار سبک شهری را قطع می‌کنند، نصب می‌شوند. این تابلوها اغلب در تقاطع‌های فاقد راه بند استفاده می‌شوند. این تابلوها نباید در خیابان‌هایی که به موازات مسیر قطار هستند، نصب شوند. شکل (۲-۲۴) نمونه‌های پیشنهادی این نوع تابلوها را در مورد مسیرهای یک‌طرفه و دوطرفه قطار نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲-۲۴: تابلو مشخص‌کننده حضور قطار در تقاطع

۲. علایم مشخص‌کننده نزدیک شدن قطار به تقاطع

این علایم به صورت چراغ‌های چشمک‌زن در تقاطع‌هایی که بدون راه بند کنترل می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از این چراغ به رانندگانی که قصد دور زدن در محدوده مسیر قطار را دارند، نزدیک شدن قطار را اطلاع می‌دهد. شمایی از این چراغ‌ها در شکل (۲-۲۵) نمایش داده شده است.



شکل شماره ۲-۲۵: شکل کلی چراغ چشمک‌زن مشخص‌کننده نزدیک شدن قطار

پ- علایم هدایت کننده

تنها علامتی که از مجموعه علایم هدایت‌کننده در سیستم‌های قطار سبک شهری متداول است، تابلوی مشخص‌کننده محل ایستگاه است. این تابلو به منظور هدایت خودروها یا عابران پیاده به سمت محل ایستگاه قطار سبک شهری به کار می‌رود. نمونه پیشنهادی این نوع تابلوها در شکل (۲-۲۶) نشان داده شده است.

شکل شماره ۲-۲۶: تابلو مشخص‌کننده محل ایستگاه قطار سبک شهری

۲-۵-۴-۲. خط‌کشی‌ها[1]

خط‌کشی‌ها شامل موارد زیر هستند:

۱. خط‌کشی مشخص‌کننده گاباری دینامیک قطار: به طور کلی گاباری دینامیک عبارتست از حداقل فضای خالی لازم در دو طرف قطار به گونه‌ای که هیچ‌گونه برخوردی بین قطار و اشیاء اطراف و عابران پیاده هنگام حرکت قطار اتفاق نیفتد. محدوده گاباری دینامیک قطار می‌بایست به صورتی مناسب در داخل خیابان مشخص شود (مسیرهای نیمه اختصاصی و اشتراکی). برای مشخص کردن گاباری دینامیک، می‌توان از روسازی با الگوی متفاوت از خیابان استفاده نمود. در مرزهای مسیر نیز می‌بایست از خط‌کشی‌های برجسته استفاده کرد.

۲. خط‌کشی‌های مربوط به عابران پیاده در تقاطع مسیر قطار با مسیر عابران پیاده: مسیر حرکت عابران در محل‌هایی که با مسیر حرکت قطار تقاطع دارد باید با استفاده از حداقل دو خط موازی ممتد مشخص گردد (این محدوده را نیز می‌توان با اجرای روسازی با الگوی متفاوت مشخص کرد).

۲-۵-۴-۳. روشنایی محدوده حرکت قطار در تقاطع‌ها

در تقاطع‌های هم‌سطح قطار سبک شهری با سایر وسایل نقلیه، در صورتی‌که این سیستم دارای سرویس شبانه باشد، لازم است تا با استفاده از امکانات مناسب محدوده حرکت قطار و تقاطع به طور کامل روشن و مشخص شود.

1. Markings

۲-۵-۴-۴. تجهیزات کنترل تقاطع‌های هم‌سطح

تجهیزات و سیستم‌های مختلفی به منظور آگاه کردن رانندگان خودروها یا عابران پیاده از عبور قطار در محل تقاطع وجود دارد. این سیستم‌ها عبارتند از:

۱۹. موانع خودکار

۲۰. چراغ‌های چشمک‌زن

۲۱. چراغ‌های زمان‌بندی شده خودکار

۲۲. سایر تجهیزات کنترلی

بسته به شرایط مختلف، تقاطع‌های هم‌سطح با استفاده از سیستم‌های فوق کنترل می‌شوند. در این ارتباط نکات زیر باید مد نظر قرار گیرند:

۲۳. در صورتی‌که سرعت حرکت قطار از ۵۶ کیلومتر بر ساعت تجاوز کند، تقاطع هم‌سطح در مسیرهای نیمه اختصاصی نوع ۱ و۲ باید با استفاده از راه بندهای خودکار[1] و چراغ‌های چشمک‌زن یا چراغ‌های زمان‌دار کنترل شود. چراغ‌های چشمک‌زن و موانع خودکار بسته به بعضی شرایط (مانند وضعیت دید در تقاطع) باید در محل‌هایی که سرعت قطار از ۵۶ کیلومتر برساعت کمتر است نیز مورد استفاده قرار گیرند.

۲۴. در مسیرهای نیمه‌اختصاصی نوع ۲،۳ و۴ وقتی سرعت از ۵۶ کیلومتر بر ساعت کمتر باشد تقاطع‌ها می‌بایست از طریق چراغ‌های چشمک‌زن یا زمان‌دار کنترل شوند.

۲۵. در مسیرهای اشتراکی، تقاطع‌ها می‌بایست از طریق چراغ‌های راهنمایی کنترل شوند.

1. Automatic gates

۲۶. راه بندهای خودکار در مسیرهایی که سرعت قطار بیش از ۵۶ کیلومتر بر ساعت باشد، باید مورد استفاده قرار گیرند.

۲۷. راه بندهای خودکار بایددر مسیر حرکت عابران پیاده نیز در صورت تجاوز سرعت قطار از ۵۶ کیلومتر بر ساعت، نصب شوند.

۲۸. راه بندهای خودکار در محل‌هایی که سرعت قطار سبک شهری کمتر از ۵۶ کیلومتر بر ساعت باشد، بسته به شرایط ترافیکی ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

۲۹. چراغ‌های چشمک‌زن در تقاطع‌های هم‌سطح بسته به شرایط تقاطع ممکن است استفاده شوند. البته این چراغ‌ها اکثراً در مواقعی که نیاز به جلب توجه مضاعف رانندگان به راه بند موجود در تقاطع باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳۰. چراغ‌های چشمک‌زن و زمان‌دار مربوط به سیستم قطار سبک شهری می‌بایست دارای الگو و شکل کلی متفاوتی نسبت به چراغ‌های مربوط به سایر خودروها باشند.

خلاصه

در این فصل بعد از مقدمه، تعریف سیستم قطار سبک شهری ارایه شد و مزایا و معایب این سیستم به طور جداگانه بررسی شدند. سپس با معرفی اجزای تشکیل‌دهنده سیستم قطار سبک شهری، طبقه‌بندی‌های گوناگون این سیستم از نظر مسیر، تکنولوژی نیروی محرکه و واگن‌ها و نوع بهره‌برداری شرح داده شد.

در ادامه با اشاره مختصری به مشخصه‌های ناوگان قطار سبک شهری، بحث مفصلی راجع به انواع مسیر حرکت این سیستم انجام شد. با توجه به محل خدمت‌دهی سیستم قطار سبک شهری که عمدتاً در سطح خیابان‌های شهر است، بیان عمده مشکلات ترافیکی

آن در تداخل با سایر سیستم‌های شهری ضروری بود که بـه آن اشـاره شـد و پیشـنهاداتی برای تعیین ضوابط و قوانین ترافیکی مربوط به این سیستم ارایه شد.

در نهایت این فصل با معرفی سیسـتم علایـم مربـوط بـه سیسـتم و تجهیـزات کنتـرل تقاطع‌های مسیر به پایان رسید.

خودآزمایی

۱. سیستم قطار سبک شهری را به اختصار تعریف نمایید.
۲. مزایا و معایب سیستم قطار سبک شهری را نام ببرید.
۳. سیستم قطار سبک شهری را با توجه به نوع بهره‌برداری طبقه‌بندی نمایید.
۴. انواع مسیر حرکت قطار سبک شهری کدامند؟
۵. عمده مشکلات ترافیکی سیستم قطار سبک شهری را نام ببرید.
۶. انواع علایم اخطار دهنده مربوط به سیستم قطار سبک شهری را معرفی نمایید.
۷. گاباری دینامیک قطار چیست؟
۸. تجهیزات کنترل تقاطع‌های هم سطح قطار سبک شهری را نام ببرید.

فصل سوم

سیستم مونوریل

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. معرفی سیستم مونوریل

۲. معرفی مزایا و معایب سیستم مونوریل از دیدگاه موافقان و مخالفان

۳. ارایه طبقه‌بندی سیستم مونوریل از نظر مکان به کارگیری، چگونگی توزیع خطوط در شبکه، مسیر و چگونگی حرکت و تماس با ریل

۴. معرفی مشخصه‌های عملکردی و هندسی سیستم مونوریل

۳. سیستم مونوریل

۳-۱. مقدمه

انواع مختلفی از تکنولوژی‌های مونوریل در دنیا وجـود دارد، امـا همـه آن‌هـا دارای اجزایـی چون یک ریل واحد، تیر اصلی و یا کانال که واگن مسافران را نگه می‌دارد، هسـتند. تفـاوت عمده مونوریل با سایر سیستم‌های ریلی، در شکل سازه‌ای آن اسـت. در سیسـتم مونوریـل، حمل مسافر هم می‌تواند به صورت معلق که در آن مونوریل دارای یک تیـر بـالایی اسـت و کابین در زیر تیر حرکت می‌کند و هم به صورت ایستاده که کابین روی ریل یـا تیـر اصـلی حرکت می‌کند، انجام شود.

اولین سیستم مونوریل از نوع معلق که برای حمل مسافران در تمام شهر بـه کـار رفـت، بیش از ۱۰۰ سال قبل در سال ۱۹۰۱ در شهر واپرترال آلمان بازگشایی شد. این سیستم تا به امروز به طور کامل با ۱۹ ایستگاه و طول خط ۱۳ کیلومتر در حال سرویس‌دهی به مردم است و اخیراً با بازسازی برخی ایستگاه‌ها، تعمیر و نوسازی شـده اسـت. توسـعه اخیـر ایـن سیستم در مقیاس شهری را می‌توان در شهر چیبا در نزدیکی شهر توکیوی ژاپـن مشـاهده کرد که در آن دو خط مونوریل با تکنولوژی معلق و در سال ۱۹۸۸ ساخته شده است.

توسعه و گسترش سیستم‌های مونوریل ایستاده اندکی متفاوت است. به علـت مکانیسـم پیچیده مونوریل ایستاده کاربرد این نوع تکنولوژی، اخیراً مد نظر قرار گرفته اسـت. انـواع و اشکال جدید تکنولوژی مونوریل بیشتر در نیمه دوم قرن بیستم به وجود آمدند. سـازندگان

عمده وسایل و قطعات این سیستم در آلمان شرکت آلوگ[1] و در ژاپن شرکت هیتاچی[2] است که اخیراً این دو شرکت به هم پیوسته‌اند.

۳-۲. تعریف مونوریل

مونوریل، همان‌طور که از نام آن پیداست به یک سیستم تک‌ریلی (سیستمی که در آن ترن بر روی یک ریل حرکت می‌کند) گفته می‌شود. انجمن مونوریل[3] به عنوان یک مرجع رسمی، مونوریل را چنین تعریف می‌نماید:

«یک ریل منفرد که به عنوان یک مسیر برای خودروهای باری و مسافری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اغلب اوقات این ریل مرتفع است، اما مونوریل‌ها می‌توانند به صورت هم‌سطح، زیرگذر و تونل زیرزمینی نیز به کار گرفته شوند. خودروها می‌توانند به صورت آویزان یا سوار بر یک مسیر هدایت شونده[4] باشند. خودروها مونوریل پهن‌تر از مسیر هدایت شونده خود هستند»[۹].

۳-۳. مزایا و معایب مونوریل

برای مونوریل نیز همانند سایر سیستم‌های ریلی، ویژگی‌های مختلفی از سوی مخالفان و موافقان آن مطرح می‌شود که در ادامه به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود.

1 Alweg
2 Hitachi
3. The Monorail Society
4. Guideway

۳-۳-۱. مزایای مونوریل

مدافعان مونوریل مزایایی برای این سیستم برمی‌شمرند که به طور کلی برگرفته از تجربه‌های استفاده از این سیستم در مناطق مختلف دنیا است. آنان بر این اعتقادند که مونوریل یک سیستم کارآمد است که از مزایای زیر برخوردار است[۸]:

۱. یک سیستم امتحان پس‌داده: روزانه صدها هزار مسافر با راحتی و ایمنی کامل توسط مونوریل جابجا می‌شوند. سیستم‌های مونوریل، در نقاط مختلف جهان خصوصاً در کشورهای توسعه یافته به چشم می‌خورند. سیستم مونوریل دنیای والت دیسنی[1] در نزدیکی اورلاندو (در ایالت فلوریدا)، یکی از بیشترین جابجایی‌ها را در بین تمام مونوریل‌های جهان با بیش از ۱۰۰۰۰۰ مسافر در روز، بر روی ۱۴ مایل مسیر دارد. این رقم از میزان جابجایی بالاترین سیستم‌های قطار سبک شهری در آمریکا بسیار بیشتر است. شکل (۳-۱) نمایی از مونوریل دنیای والت‌دیزنی را نشان می‌دهد. ژاپن و آمریکا از جمله کشورهایی هستند که تعداد زیادی از سیستم‌های مونوریل در آن‌ها قرار دارد و روزانه تعداد زیادی از مسافران توسط این سیستم‌ها جابجا می‌شوند.

1. Walt Diesny World Monorail

شکل شماره ۳-۱: مونوریل تفریحی دنیای والت‌دیزنی[۹]

۲. یک سیستم ایمن: طبیعت این نوع سیستم اجازه خروج وسیله از خط را، چه در حالت معلق و چه در حالت سوار بر ریل، نمی‌دهد. این مشکلی است که سیستم‌های ریلی دیگر همواره با آن مواجهند. این سیستم در ارتفاع قرار دارد، به همین دلیل برخورد و تصادف آن با خودروها در جریان ترافیک غیرممکن است. با توجه به عدم برخورد و تصادف و نیز عدم امکان خارج شدن قطار از ریل، می‌توان گفت احتمال به وجود آمدن خسارت‌های جانی و مالی ناشی از این‌گونه موارد نزدیک به صفر است.

۳. سازگاری با محیط زیست: با توجه به اینکه انرژی این سیستم از برق تأمین می‌شود، هیچ‌گونه مواد آلاینده‌ای را منتشر نمی‌کند. اغلب آن‌ها روی چرخ‌های لاستیکی حرکت کرده و بسیار بی‌صدا هستند. مونوریل‌ها، دارای زیباترین نمود ظاهری در بین دیگر سیستم‌های ریلی هستند و طراحی زیبای آن در تطابق با محیط‌های شهری مدرن صورت گرفته است. زمان ساخت کم، اختلال کمتری را نسبت به سایر سیستم‌ها در محیط‌های اطراف اعم از تجاری یا مسکونی به دنبال خواهد داشت.

۴. سازگاری و قابلیت انطباق با بافت شهری: مونوریل‌ها نسبت به سایر سیستم‌های ریلی بیشترین قابلیت را برای انطباق با بافت شهری دارند. قوس‌های افقی نیز با شعاع کوچک و ابعاد کم معبر و عدم اشغال فضای وسیع در سطح خیابان‌ها باعث شده است که از مونوریل حتی در خیابان‌های فرعی نیز بتوان استفاده نمود. شکل (۳-۲) مونوریل شونان ژاپن و چگونگی انطباق آن با بافت شهری را نشان می‌دهد[۱۲].

همچنین شکل (۳-۳) تصویری از مونوریل سوار بر ریل شهر سیاتل است و نشان می‌دهد که مونوریل چگونه از بین شبکه نه چندان وسیع معابر راه خود را پیدا می‌کند.

شکل شماره ۳-۲: مونوریل شونان[۹]

شکل شماره ۳-۳: مونوریل آلوگ سیاتل که در سال ۱۹۶۲ افتتاح شد[۹]

۳-۳-۲. معایب مونوریل

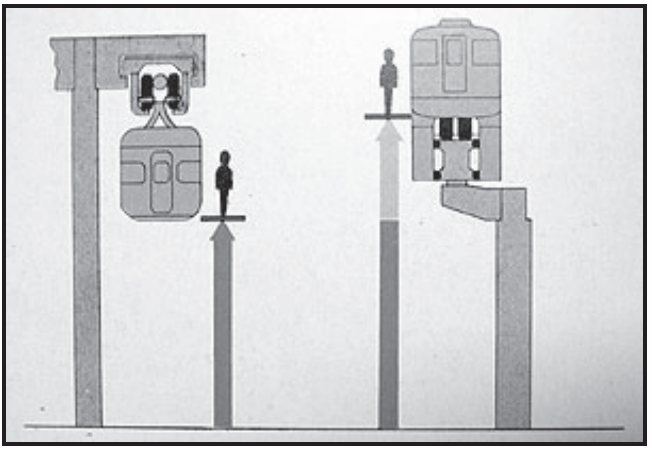
نمونه‌هایی که در زیر می‌آید مواردی هستند که منتقدان و مخالفان این سیستم ریلی، به عنوان معایب و خصوصیات منفی مونوریل از آن یاد می‌کنند[۸].

۱. فرآیند دشوار تغییر خط

فرآیند تغییر خط در این سیستم با جدا شدن یک تیر متحرک از یک مسیر و اتصال آن به مسیر دیگر، میسر می‌شود. این فرآیند در مقایسه با سایر سیستم‌ها، بسیار پیچیده بوده و از تکنولوژی بالایی برخوردار است.

۲. اجبار در استفاده از مسیری مجزا

چون ترافیک معمولی نمی‌تواند در همان سطحی که مونوریل مورد استفاده قرار می‌گیرد، حرکت کند، این سیستم باید در مسیری اختصاصی (در ارتفاع، در سطح و یا در زیرزمین) به کار گرفته شود. هزینه‌های ساخت تیرهایی که گذرگاه قطار مونوریل است به مراتب بیشتر ازریل‌های معمولی است. در حالت زیرزمینی هم به تونل‌هایی با ارتفاع بلندتر نسبت به سایر سیستم‌ها نیاز است. مونوریل‌های معلق نیاز به ستون‌ها و پایه‌های مرتفع‌تری نسبت به مونوریل‌های سوار بر ریل دارند. البته در این نوع سیستم، زیرساخت‌های مورد نیاز برای انتقال مسافران به ارتفاع و سوار کردن آن‌ها، نیاز به ارتفاع کمتری نسبت به مونوریل‌های سوار بر ریل دارند. شکل شماره (۳-۴) موید این مطلب است.



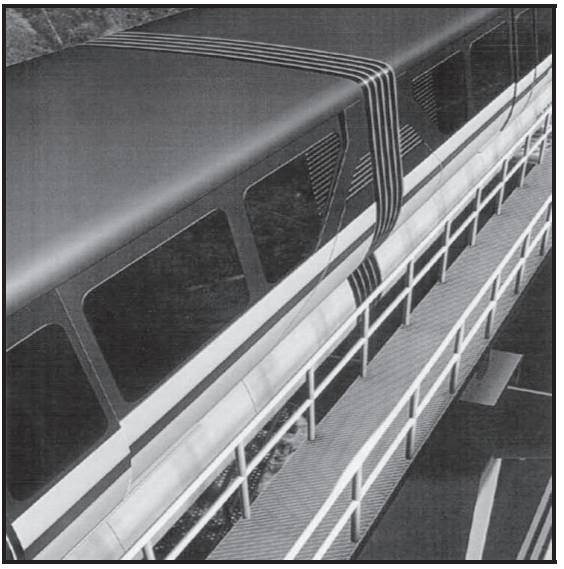
شکل شماره ۳-۴: مونوریل‌های معلق و سوار بر ریل[۹]

۳. خودروها گران‌تر

اگرچه بدنه قطارها در مونوریل همانند حالت معمولی است، اما مکانیسم آویخته یا سوار بر ریل شدن پیچیده‌تر است و این خود هزینه‌های به مراتب بیشتری را به همراه دارد.

۴. مشکل تخلیه اضطراری مسافران

به هنگام توقف اجباری در وسط مسیر، به دلیل نقص فنی و یا دلایل مشابه، چون بر روی عرشه مسیر امکانی برای پیاده حرکت کردن نیست، تخلیه مسافران کار بسیار پرزحمتی بوده و نیاز به امکانات و تجهیزات ویژه‌ای برای این منظور است. از طرفی استفاده از راهروها و معابر اضطراری، منجر به بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود که بعضی از سازندگان و خریداران، مثل مونوریل مالزی، به منظور کاهش این هزینه‌ها از آن صرف‌نظر می‌کنند[۱۳]. شکل شماره (۳-۵) استفاده از معبر اضطراری در بین دو خط مونوریل لاس‌وگاس را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۳-۵: معبر اضطراری در مونوریل لاس‌وگاس[۱۳]

۵. عدم امکان تغییر یا تصحیح مسیر

به دلیل ساخت ویژه، در صورتی که به هر دلیل نیاز به تغییر و تصحیح مسیر اولیه باشد، این کار با صرف هزینه‌ای معقول (در مقایسه با سایر سیستم‌ها) ناممکن خواهد بود.

۶. عدم ساخت و بهره‌برداری از سیستم مونوریل به عنوان شبکه ریلی شهری

بیشترین کاربرد سیستم مونوریل در محیط‌های تفریحی- توریستی بوده است. با توجه به همه شرایط، احداث این سیستم به صورت شبکه ریلی شهری احتمالاً مقرون به صرفه نخواهد بود. تاکنون نیز در دنیا این سیستم به صورت شبکه شهری احداث نشده است.

۳-۴. طبقه‌بندی مونوریل

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

۱. طبقه‌بندی بر اساس مکان به کارگیری (مکان استفاده)
۲. طبقه‌بندی بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه
۳. طبقه‌بندی بر اساس نوع حرکت در مسیر
۴. طبقه‌بندی بر اساس چگونگی حرکت و تماس با ریل

۳-۴-۱. طبقه‌بندی بر اساس مکان به کارگیری

در این طبقه‌بندی سیستم‌های مونوریل به دو گروه شهری و مراکز تفریحی- توریستی تقسیم می‌شوند.

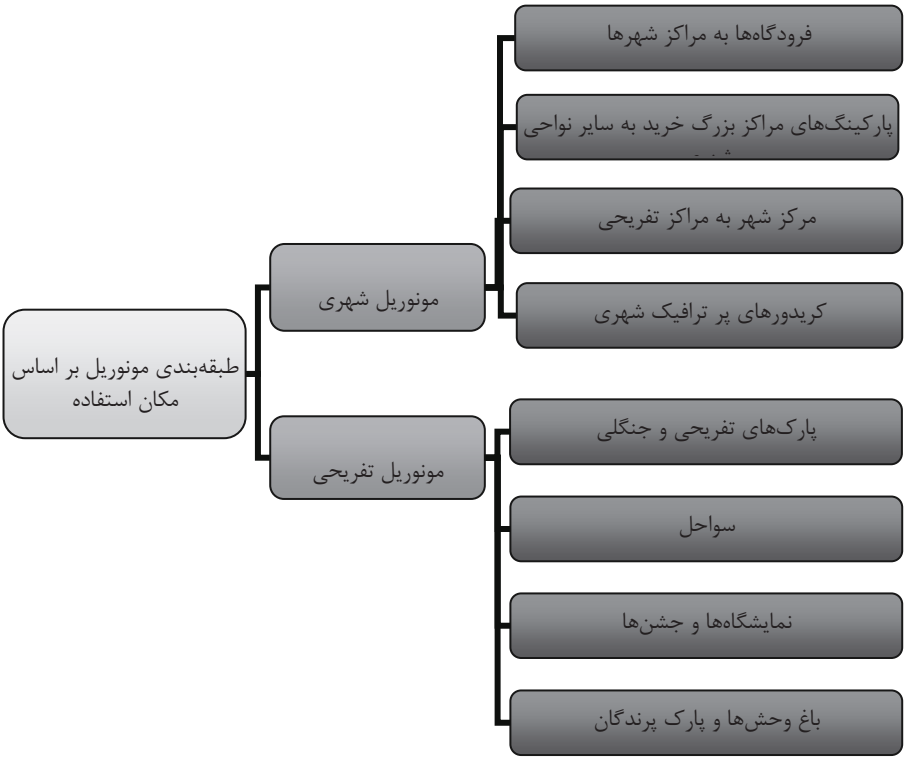
الف) مونوریل شهری: این گروه از مونوریل‌ها به منظور پاسخ‌گویی به تقاضای سفرهای درون‌شهری احداث می‌شوند. در حال حاضر مونوریل‌های بسیاری از این نوع در شهرهای دنیا، عمدتاً در مسیرهایی مثل فرودگاه به مراکز شهر، پارکینگ‌های مراکز بزرگ خرید به سایر نقاط شهری، مراکز تفریحی به سایر نواحی شهری، کریدورهای پرترافیک و کم وسعت

شهر که احداث سایر سیستم‌های ریلی در آنجا مقرون به صرفه یا امکان‌پذیر نیست، به چشم می‌خورند.

ب) مونوریل مراکز تفریحی- توریستی: مونوریل‌هایی که در این گروه جای می‌گیرند اکثراً در باغ‌وحش‌ها، مراکز تفریحی و سرگرمی، نمایشگاه‌ها و جشن‌ها، پارک‌های تفریحی و نواحی ساحلی احداث شده‌اند. جذابیت‌های ساختاری سیستم مونوریل از یک طرف و قابلیت جابجایی مسافران در ارتفاع و به صورت آرام و لذت‌بخش از طرف دیگر، باعث جذب گردشگران و توریست‌ها به مناطق تفریحی و توریستی می‌شود. از جمله این مونوریل‌ها می‌توان به مونوریل باغ وحش یونو[1] که اولین مونوریل ساخته شده در ژاپن است و یا مونوریل باغ وحش چستر[2] در انگلیس اشاره نمود.

لازم به ذکر است که مونوریل‌هایی که عملکرد آن‌ها حمل مسافران در یک محیط شهری از نقاط پرتردد به سمت مراکز تفریحی است را نباید به عنوان مونوریل‌های تفریحی- توریستی به حساب آورد. شکل (۳-۶) این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد.

1. Ueno zoo
2. Chester zoo



شکل شماره ۳-۶: طبقه‌بندی سیستم‌های مونوریل بر اساس مکان به کارگیری

۳-۴-۲. طبقه‌بندی مونوریل بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه

الف) توزیع خطوط به صورت یک شبکه گسترده در سطح شهر

استفاده از سیستم مونوریل به صورت یک شبکه گسترده حمل‌ونقل شهری، تا کنون به واقعیت نپیوسته است. به صورت واقعی هر چند اکثر مونوریل‌های حمل‌ونقلی دنیا دارای طرح‌های توسعه آتی هستند و چه بسا در بسیاری از آن‌ها توسعه خطوط به صورت شبکه خطوط مونوریل پیش‌بینی شده‌است، ولی در همه آن‌ها مراحل ساخت بعد از اجرای خطوط اول و یا دوم، متوقف شده است. به عنوان مثال در شهر شیبا در ژاپن، علی‌رغم برنامه‌ریزی

برای توسعه خطوط مونوریل به صورت یک شبکه گسترده که قرار بود تمام شهر را پوشش دهد، از سال ۱۹۸۸ تا کنون فقط ۲ خط احداث شده است[۸].

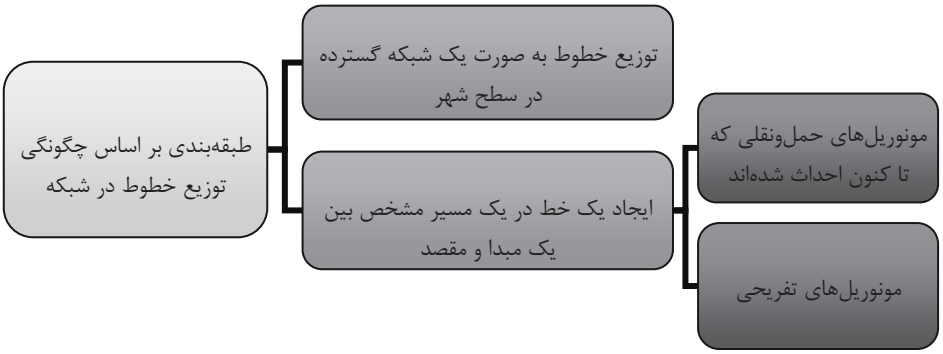
ب) ایجاد یک خط در یک مسیر مشخص بین یک مبدا و مقصد

اکثر مونوریل‌های دنیا خصوصاً مونوریل‌های حمل‌ونقل شهری را می‌توان از این دسته به شمار آورد. این‌گونه مونوریل‌ها اکثراً دارای تکنولوژی سوار بر ریل هستند و اقدام به جابجایی مسافر در یک مسیر مشخص از شهر می‌نمایند. به عنوان مثال می‌توان به خط مونوریل توکیو- هاندا که با طولی در حدود ۱۷ کیلومتر، فرودگاه هاندا را به نواحی شهری متصل می‌کند و خط مونوریل تاما[1] که شهر جدیدی را در ۱۶ کیلومتری توکیو به مرکز توکیو متصل می‌نماید، اشاره نمود. یک خط کوتاه در ریودوژانیروی[2] برزیل نیز که مسئولیت حمل مسافران را به یک مرکز خرید بر عهده دارد، از جمله این نوع سیستم‌های مونوریل به شمار می‌رود[۸].

بیشترین استفاده از سیستم مونوریل در یک مسیر مشخص را می‌توان در کشور ژاپن و با ظهور سازندگانی مثل هیتاچی[3] و میتسوبیشی[4] مشاهده کرد[۹].

مونوریل‌هایی که در محیط‌های بسته‌ای چون پارک‌ها، باغ‌وحش‌ها، نمایشگاه‌ها و نواحی ساحلی احداث شده‌اند نیز در این گروه قرار می‌گیرند. شکل (۳-۷) این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد.

1. Tama
2. Riodujaniro
3. Hitachi
4. Mitsubishi



شکل شماره ۳-۷: طبقه‌بندی مونوریل بر اساس چگونگی توزیع خطوط در شبکه

۳-۴-۳. طبقه‌بندی بر اساس نوع حرکت در مسیر

بر این اساس مونوریل‌ها به ۳ گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۳۱. رفت و برگشتی دو خطه

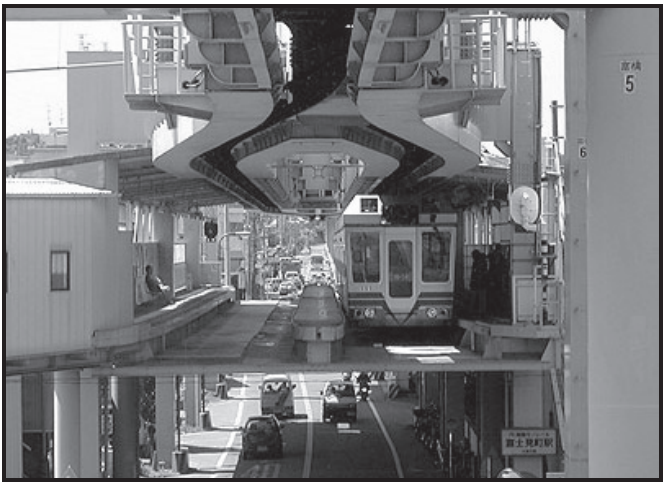
۳۲. رفت و برگشتی یک خطه

۳۳. حرکت در یک جهت، در یک مسیر حلقوی یا در مسیر مستقیم

شکل شماره (۳-۸)، مسیرهای رفت و برگشتی دو خطه را نشان می‌دهد. در این سیستم، هیچ‌گونه تداخلی بین قطارها در دو مسیر رفت و برگشت به وجود نمی‌آید.

شکل شماره ۳-۸: مسیرهای رفت و برگشتی دو خطه در مونوریل تاما[۹]

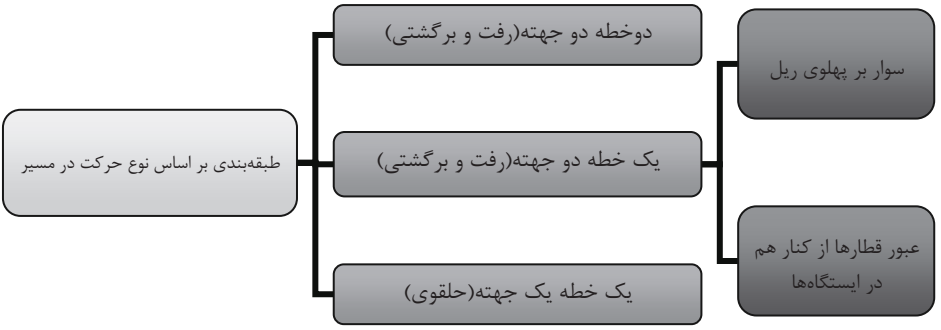
شکل شماره (۳-۹)، یک مسیر رفت و برگشتی یک خطه را نشان می‌دهد. در این سیستم علی‌رغم وجود یک خط (ریل) در مسیر، ترن‌ها در دو جهت رفت و برگشت مسافران را جابجا می‌نمایند. عبور ترن‌ها از کنار یکدیگر در ایستگاه‌ها که مسیر دو خطه می‌شود میسر می‌شود. در این سیستم باید برنامه زمان‌بندی دقیق و منظمی برای حرکت قطارها در دو مسیر رفت و برگشت در نظر گرفته شود تا قطارهایی که در جهت مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند با یکدیگر برخورد ننمایند. مونوریل شونان در ژاپن و مونوریل دورتموند در آلمان نمونه‌هایی از این مجموعه‌اند.



شکل شماره ۳-۹: مسیر رفت و برگشتی در یک خط و عبور قطارها از کنار هم در ایستگاه‌ها، مونوریل شونان ژاپن[۹]

شکل شماره (۳-۱۰) مثالی از یک مسیر حلقوی را که در آن قطار فقط در یک جهت حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. شکل شماره (۳-۱۱) نیز طبقه‌بندی مونوریل بر اساس نوع حرکت در مسیر را نشان می‌دهد.

شکل شماره ۳-۱۰: یک مسیر حلقوی و قطار فقط در یک جهت حرکت می‌کند، مونوریل مگ‌دبورگ آلمان[۹]



شکل شماره ۳-۱۱: طبقه‌بندی مونوریل بر اساس نوع حرکت در مسیر

۳-۴-۴. طبقه‌بندی بر اساس چگونگی حرکت و تماس با ریل

مونوریل‌ها از نظر چگونگی حرکت آن‌ها در تماس با ریل و موقعیت ترن نسبت به تیر مسیر، به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند:

۳۴. معلق[1]

۳۵. سوار بر ریل[2]

۳۶. کنارایستا[3]

۳۷. مغناطیسی[4]

در ادامه به بررسی هر یک از این سیستم‌ها پرداخته می‌شود[۱۴].

الف) مونوریل معلق

اولین باری که مونوریل به معنای واقعی از سایر سیستم‌های دیگر حمل‌ونقل عمومی متمایز شد، زمانی بود که مونوریل معلق اشوب‌بان[5] در واپرتال[6] آلمان افتتاح گشت. شکل (۳-۱۲) این مونوریل را نشان می‌دهد.

1. Suspend
2. Straddle
3. Cantilevered Or Side-Straddle
4. Magnet
5. Schwebebahn
6. Wuppertal

شکل شماره ۳-۱۲:مونوریل واپرتال آلمان[۹]

در این نوع مونوریل از تیرهای بتنی یا فلزی توخالی به عنوان تیر حامل مونوریل استفاده می‌شود و چرخ‌های فلزی یا لاستیکی بر روی تیرهای مربوطه به حرکت در می-آیند. در حال حاضر انواع مختلفی از این نوع سیستم با تیرهای بتنی و فلزی و قطارهای با چرخ‌های لاستیکی و فلزی در دنیا موجود است. شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از این سیستم را نشان می‌دهد.

شکل شماره ۳-۱۳: سیستم مونوریل معلق دوسلدروف آلمان، شرکت زیمنس و شونان ژاپن، شرکت میتسوبیشی[۹]

ب) مونوریل سوار بر ریل

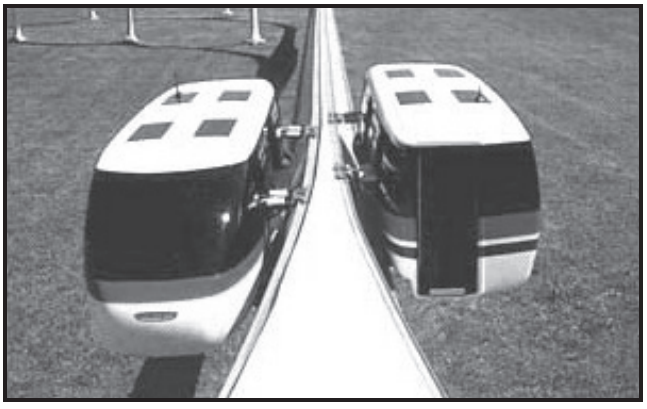
این نوع مونوریل متداول‌ترین نوع مونوریل مورد استفاده در جهان است. این سیستم از نظر عملکردی نسبت به مونوریل‌های معلق، شرایط بهتر و مناسب‌تری را برای انطباق با محیط شهری فراهم می‌آورد و در مقایسه با مونوریل‌های معلق که می‌بایست ارتفاع ستون شامل ارتفاع قطار نیز باشد، از ستون‌های با ارتفاع کمتری برخوردار است. مونوریل‌های سوار بر ریل بر روی تیرهای بتنی و یا فلزی حرکت می‌نمایند. شکل شماره (۳-۱۴) نمونه‌ای از مونوریل سوار بر ریل را نمایش می‌دهد.

شکل شماره ۳-۱۴: مونوریل سوار بر ریل لاس‌وگاس[۹]

پ) مونوریل‌های کنارایستا

این مونوریل‌ها از نظر ظاهر و عملکرد تقریباً شبیه مونوریل‌های سوار بر ریل هستند با این تفاوت که در این سیستم برای عبور قطارها در دو جهت، یک تیر در مسیر کافی است. قطارها در دو جهت مخالف هم، می‌توانند به طور مشترک از یک تیراستفاده نمایند. به همین دلیل تیرها دارای ابعاد نسبتاً بزرگتری نسبت به نوع سوار بر ریل هستند. در این نوع،

چرخ‌های هر قطار در سطح کناری تیرهای مسیر قرار گرفته و بدین‌صورت ترن در مسیر خود حرکت می‌کند. اگر چه شرکت‌های بسیاری استفاده از این سیستم را تشویق و تبلیغ نموده‌اند اما تا کنون این سیستم در دنیا احداث نشده است. شکل (۳-۱۵) نمونه‌ای از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۳-۱۵: مونوریل فاترکس، ساخته شده در مقیاس یک چهارم

ت) مونوریل مغناطیسی

این نوع مونوریل با تغییری که در سیستم حرکتی مونوریل‌های سوار بر ریل صورت گرفت، پدید آمد. در این مونوریل‌ها حرکت به صورت حالت شناور[1] مغناطیسی و بدون تماس با سطح ریل صورت می‌پذیرد. نحوه عملکرد فوق بر اثر برهمکنش مغناطیس‌های نصب شده روی قطار با مغناطیس‌های قرار گرفته در ریل صورت می‌گیرد. در شکل شماره (۳-۱۶) نمونه‌ای از این نوع مونوریل نشان داده شده است.

شکل شماره ۳-۱۶: مونوریل مگ‌لِو، امزلند آلمان[2] [۹]

۳-۵. مشخصه‌های عملکردی و هندسی سیستم‌های مونوریل

مشخصه‌هایی که در این بخش برای انواع سیستم‌های مونوریل ارایه می‌شود عبارتند از:

۱. سرعت

۲. شتاب

۳. سرفاصله

1. Magnetic Levitation
2. Emsland, Germany

۴. فواصل ایستگاه

۵. شیب

۶. قوس مسیر

شرکت‌های سازنده مونوریل برای سیستم‌های خود مقادیر متفاوتی را نسبت به یکدیگر، برای پارامترهای بالا عنوان نموده‌اند. در ادامه این بخش، مقادیر این پارامترها از دو منظر: ۱- ادعای سازندگان و ۲- عملکرد سیستم‌های موجود، ارایه می‌شود.

۳-۵-۱. سرعت

سرعت در سیستم‌های ریلی از دو مفهوم سرعت متوسط و سرعت بیشینه برخوردار است. سرعت متوسط یا همان سرعت عملکردی عبارت است از طول مسیر بخش بر کل زمان سفر مسیر (از شروع تا پایان خط). کل زمان مسیر در برگیرنده زمان‌های توقف در ایستگاه‌ها نیز هست. بدیهی است سرعت متوسط می‌تواند با توجه به شرایط مختلف از جمله فاصله بین ایستگاه‌ها و تعداد مسافر منتظر در هر ایستگاه (یا تعداد مسافری که در هر ایستگاه پیاده می‌شوند)، متفاوت باشد.

سرعت بیشینه از دو مفهوم جدا برخوردار است، سرعت بیشینه عملیاتی که بیشترین سرعتی است که یک ترن در طول یک خط می‌تواند به آن برسد (که می‌تواند برای هر خط متفاوت باشد) و سرعت بیشینه طراحی (اسمی) که نشان می‌دهد ترن تا چه سطحی قابلیت افزایش سرعت را دارا است. عوامل متعددی بر اندازه سرعت عملیاتی سیستم‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. از جمله این عوامل عبارتند از:

۱. شرایط مسیر: طرح هندسی مسیر (شعاع قوس، شیب مسیر و ...) و مصالح سازنده مسیر (فولادی، بتنی) بر سرعت سیستم تأثیرگذار هستند.

۲. فاصله بین ایستگاه‌ها: هر چه فاصله بین ایستگاه‌ها بیشتر باشد، سرعت عملیاتی به سرعت طراحی نزدیک‌تر می‌شود.

۳. طول قطار: هرچه طول و یا تعداد واگن‌های قطار افزایش یابد، قدرت مانور و در نتیجه سرعت آن کاهش می‌یابد.

۴. ظرفیت سیستم: در صورت بالارفتن ظرفیت سیستم، به دلایل ایمنی و افزایش وزن سیستم، معمولاً از سرعت پایین‌تری استفاده می‌شود.

۵. شتاب: با افزایش شتاب سیستم، سرعت عملیاتی سیستم نیز افزایش می‌یابد. با توجه به فاصله محدود بین دو ایستگاه، شتاب شروع حرکت و توقف در سرعت سیستم تأثیرگذار است.

در ادامه سرعت‌های متوسط و اسمی و مشخصات برخی سیستم‌های مونوریل، بر اساس آنچه شرکت‌های سازنده اعلام داشته‌اند در جدول (۳-۱) ارایه می‌شود. در این جدول اطلاعاتی همچون تعداد ایستگاه، طول مسیر، فاصله بین ایستگاه‌ها و تعداد مسافر سوار شده به ترن در ساعت اوج مشاهده می‌شود. همان‌طور که از اطلاعات ارایه شده پیداست سرعت بیشینه طراحی در بازه ۴۰ تا ۸۰ و سرعت متوسط بین ۱۷/۵ تا ۴۳/۵ (برای این نمونه‌ها) قرار دارد. سرعت متوسط ارتباط معنی‌داری با متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها دارد.

جدول شماره ۳-۱: سرعت‌های بیشینه طراحی و متوسط مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶].

نام مونوریل	سرعت بیشینه طراحی (km/h)	سرعت متوسط (km/h)	طول مسیر (km)	تعداد ایستگاه	متوسط فاصله بین ایستگاهی (m)	تعداد مسافر جابجا شده در روز
Tokyo-Haneda	80	43/5	16/9	9	2110	8760
Kita Kyushu	65	28	8/8	13	680	4780
Osaka	75	35	21/2	4	1630	3952
Tama	65	25	16	19	770	4200
Shonan	75	29	6/6	8	940	1824
Chiba	65	26	15/2	15	960	2370
Naha	64	27/8	12/8	15	914	1458
Kuala Lampur	80	30	8/6	11	860	51000

۳-۵-۲. شتاب

شتاب به دو نوع شتاب مثبت و شتاب منفی تقسیم می‌شود. شتاب مثبت، شتابی است که ترن در شروع حرکت دارد و شتاب منفی، شتابی است که ترن در هنگام توقف قابلیت رسیدن به آن را دارا باشد.

تکنولوژی سیستم، در شتاب حرکت و توقف قطار تأثیرگذار است. به عنوان مثال، تایرهای لاستیکی توانایی شتابگیری بیشتری نسبت به تایرهای فلزی دارند در حالی که با توجه به حریم انحصاری مونوریل و جدایی آن از هرگونه ترافیک شهری، این سیستم نیاز به شتاب توقف بالایی ندارد. بنابراین تنها عامل محدود کننده شتاب قطار، راحتی و آسایش مسافران به خصوص ایستاده‌ها است. در صورت افزایش شتاب شروع و توقف قطار، نیروی نامطلوب و ناخوشایندی به مسافران وارد می‌شود.

در ادامه محدوده شتاب سیستم‌های مختلف ارایه شده است:

۱. شرکت هیتاچی برای انواع سیستم‌های خود، شتاب ۰/۹۷ متر بر مجذور ثانیه، در حالت شروع حرکت، شتاب ۱/۱۱ متر بر مجذور ثانیه در حالت توقف معمولی و شتاب ۱/۲۵ متر بر مجذور ثانیه را برای حالت توقف سریع عنوان نموده است.

۲. شرکت بمباردیر برای انواع سیستم‌های خود شتاب ۱ متر بر مجذور ثانیه، در حالت شروع حرکت و شتاب ۲ متر بر مجذور ثانیه را برای حالت توقف عنوان نموده است.

۳-۵-۳. سرفاصله[1]

سرفاصله به فاصله زمانی بین حرکت دو ترن گفته می‌شود. کاهش یا افزایش سرفاصله زمانی، تأثیر زیادی بر ظرفیت جابجایی یک خط خواهد داشت. با کاهش سرفاصله زمانی، ظرفیت خط افزایش و با افزایش آن ظرفیت خط کاهش می‌یابد.

با توجه به این‌که از اهداف عمده به کارگیری سیستم‌های ریلی، افزایش ظرفیت جابجایی مسافر است، در طراحی این سیستم‌ها همواره رسیدن به حداقل سرفاصله زمانی مورد نظر بوده است (به جز در مواردی که اهداف دیگری تعیین‌کننده بوده است). مقدار سرفاصله زمانی به شرایط مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. بیشترین زمان توقف ترن در ایستگاه (که خود وابسته به تعداد مسافر سوار و پیاده شده دارد)

۲. نحوه مدیریت سیستم

۳. امکانات و تکنولوژی‌های به کار برده شده برای مدیریت و هدایت ترن

1. Headway

۴. مدت زمان تغییر خط[1]

سازندگان مختلف سیستم‌های مونوریل دنیا، سرفاصله زمانی تا ۲ دقیقه را برای سیستم‌های خود عنوان نموده‌اند. اما تجربیات سیستم‌های مونوریل دنیا، سرفاصله زمانی کمتر از ۳ دقیقه را نشان نمی‌دهد. حتی ژاپنی‌ها که پیشگام تکنولوژی مونوریل در دنیا هستند در مقالات خود سرفاصله زمانی کمتر از ۳ دقیقه را سفارش نمی‌کنند. این مسأله در مورد مونوریل‌های با کاربرد حمل‌ونقل شهری بیشتر موضوعیت می‌یابد. از دلایل عدم رساندن سرفاصله زمانی به کمتر از ۳ دقیقه در سیستم‌های موجود دنیا، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱. تضمین بیشتر ایمنی مسافران برای جلوگیری از برخورد ترن‌ها

۲. افزایش بیش از اندازه هزینه‌ها به دلیل نیاز به تکنولوژی‌های بسیار پیشرفته

۳. کافی بودن زمان لازم برای توقف ترن‌ها (زمانی که یک ترن بنا به دلایلی متوقف شده باشد)

جدول شماره (۳-۲) سرفاصله زمانی سیستم‌های مونوریل را در چند شهر دنیا نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳-۲: سرفاصله زمانی سیستم‌های مونوریل در چند شهر دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶].

نام مونوریل	سرفاصله زمانی	مشخصات	
Tokyo Monorail	۴ دقیقه	ATC[2]	با راننده وراهنما
Kita Kyushu Monorail	۶ دقیقه	ATO[3]	با یک راننده

1. Switching
2 .Automatic Train Control
3. Automatic Train System

Osaka Monorail	۶ دقیقه و ۴۲ ثانیه	ATC	با یک راننده
Tama Monorail	۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه	ATC	با یک راننده
Shonan Monorail	۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه	ATS[1]	با راننده وراهنما
Chiba Monorail	۴ دقیقه	ATC	با یک راننده
Kulalampur	۵-۴ دقیه در ساعت اوج و ۱۰-۷ دقیقه در ساعات عادی	نیمه اتوماتیک	با راننده وراهنما

۳-۵-۴. فواصل ایستگاه‌ها

فواصل ایستگاه‌ها با توجه به شرایط و نیازها می‌تواند متغیر باشد. با توجه به این‌که سرعت جابجایی مسافران در سیستم مونوریل، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و نیز با توجه به این‌که مسافرانی که از این سیستم استفاده می‌کنند اغلب طول سفرشان بیشتر از یک کیلومتر است، همچنین با توجه به حداکثر طول مسافت پیاده‌روی قابل تحمل برای مسافران که حدود ۵۰۰ متر است، فاصله بین ایستگاه‌ها در محدوده ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. البته عوامل دیگری همچون نزدیکی دو مرکز مهم که سیستم مونوریل به آن‌ها خدمت-دهی می‌نماید، می‌تواند در تعیین فاصله بین دو ایستگاه تعیین‌کننده باشد. جدول (۳-۳) تعداد، فاصله و طول خط را در چند سیستم مونوریل دنیا نشان می‌دهد. جدول (۳-۴) همین اطلاعات را برای برخی مونوریل‌های حمل‌ونقل شهری نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳-۳: متوسط فاصله بین ایستگاه‌های مونوریل‌های تفریحی دنیا

نام مونوریل	کشور	نوع مونوریل	طول مسیر (کیلومتر)	تعداد ایستگاه	متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها (متر)

1. Automatic Train Operation

نام مونوریل	کشور	نوع مونوریل	طول مسیر (کیلومتر)	تعداد ایستگاه	متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها (متر)
Ueno Zoo	ژاپن	معلق	0/3	2	300
Inuyama	ژاپن	سوار برریل	1/1	3	550
Tokyo Disneyland	ژاپن	سوار برریل	4/8	4	1600
Sentosa	سنگاپور	سوار برریل	6/4	6	1280
Bangkok	تایلند	سوار برریل	1/6	4	533
Sunway	مالزی	سوار برریل	3/2	3	1600
Lotte world	کره	سوار برریل	NA	2	NA
Jurong Birdpark	سنگاپور	سوار برریل	1/7	2	1700
Alton Towers	انگلیس	سوار بر ریل	3/2	2	3200
Chester zoo	انگلیس	سوار برریل	1/5	2	1500
Europa Park	آلمان	سوار برریل	2/5	3	1250
Mirabilandia Amusement Park	ایتالیا	سوار برریل	2	2	2000
Magdeburg	آلمان	سوار برریل	2/8	2	2800
Disneyland	آمریکا	سوار برریل	3/7	2	3700
La Ronde	کانادا	سوار برریل	2/1	2	2100
Walt Disney World	آمریکا	سوار برریل	23/6	6	4720
Magic Mountain	آمریکا	سوار برریل	1	3	500
Pearlrige	آمریکا	سوار برریل	0/5	2	500
Miami Metrozoo	آمریکا	سوار برریل	3/2	4	1067
متوسط فواصل ایستگاه‌ها					1717

جدول شماره ۳-۴: متوسط فاصله بین ایستگاه‌های مونوریل‌های حمل‌ونقل شهری دنیا

نام مونوریل	کشور	نوع مونوریل	طول مسیر (کیلومتر)	تعداد ایستگاه	متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها (متر)
Shonan	ژاپن	معلق	6/6	8	943
Wuppertal (Schwebebahn)	آلمان	معلق	13/3	20	700
Dortmund(H-Bahn)	آلمان	معلق	2/4	4	800

نام مونوریل	کشور	نوع مونوریل	طول مسیر (کیلومتر)	تعداد ایستگاه	متوسط فاصله بین ایستگاه‌ها (متر)
Dusseldorf International Airport	آلمان	معلق	2/5	3	1250
Chiba	ژاپن	معلق	15/5	18	912
Kitakyushu(City Monorail)	ژاپن	سوار بر ریل	8/8	13	733
Osaka	ژاپن	سوار برریل	23/8	16	1587
Tama	ژاپن	سوار برریل	16/0	19	889
Taedok	کره	سوار برریل	2/4	3	1200
Window on the World	چین	سوار بر ریل	1/7	3	850
Shenzhen	چین	سوار بر ریل	4/4	7	733
Kuala Lumpur	مالزی	سوار بر ریل	8/6	11	860
Putrajaya	مالزی	سوار بر ریل	18	23	818
Sentosa	سنگاپور	سوار بر ریل	2/1	4	700
Chongqing	چین	سوار بر ریل	17/4	17	1088
Jakarta	اندونزی	سوار بر ریل	27	29	964
Moscow	روسیه	سوار برریل	5	5	1250
Sea world, Gold coast	استرالیا	سوار برریل	2	3	1000
Sydney	استرالیا	سوار برریل	3/6	8	514
Broadbeach	استرالیا	سوار برریل	1/3	3	650
Barra Shopping Center	برزیل	سوار برریل	1/6	3	800
Seattle	آمریکا	سوار برریل	1/5	2	1500
Jacksonville sky line Express	آمریکا	سوار برریل	7	8	1000
Las Vegas	آمریکا	سوار برریل	6/3	7	1050
Tokyo-Haneda	ژاپن	سوار برریل	16/9	10	1878
Naha	ژاپن	سوار برریل	12/8	15	914
Tampa International Airport	آمریکا	سوار برریل	1	8	143
Newark International Airport	آمریکا	سوار برریل	4/8	8	686
متوسط فواصل ایستگاه‌ها					943

۳-۵-۵. شیب

منظور از شیب مسیر نسبت تغییر ارتفاع مسیر در یک متر آن است. از نظر تئوری، اصطکاک بین تایرهای لاستیکی با مسیر برای حرکت روی مسیر تا شیب ۱۵٪ کافی است. در واقع حرکت روی مسیرهایی با شیب‌های تندتر، نیاز به موتورهایی با قدرت بسیار زیادی دارد و علاوه بر آن حرکت در شیب‌های تند برای مسافران ایستاده ناخوشایند است. اگر چه مونوریل در این مورد برتری ویژه‌ای نسبت به دیگر سیستم‌ها ندارد اما در شیب‌های تندتر نیز می‌تواند حرکت نماید. برای مثال شیب مونوریل معلق شونان، ۱۰٪ است. نمونه دیگر، مونوریل شهر سیاتل است که در هنگام عبور از رودخانه سیاتل برای کاهش هزینه ساخت پل و کوتاه نمودن آن از مسیری با شیب تند طراحی می‌گذرد.

در ادامه حداکثر شیب مجاز مسیر مونوریل از نظر شرکت‌های سازنده مونوریل ارایه می‌شود. شرکت هیتاچی حداکثر شیب مجاز را ۶٪، شرکت بمباردیر حداکثر شیب مجاز را ۸٪، شرکت این تأمین حداکثر شیب مجاز را ۱۰٪ عنوان نموده‌اند. همچنین شرکت‌های فاترکس و اوتی‌جی حداکثر شیب مجاز را برای سیستم‌های خود ۱۲٪ ادعا نموده‌اند[۱۴]. جدول (۳-۵) حداکثر شیب مسیر را برای چند سیستم مونوریل در دنیا نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳-۵: شیب مسیرهای اجرا شده مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶].

نام مونوریل	شیب مسیرهای اجرا شده (درصد)
Chiba	۶
Kita Kyushu	۴
Osaka	۶
Shonan	۷/۴
Tokyo	۶
Inuyama	۹/۷
Naha	۶

۳-۵-۶. شعاع قوس‌ها

به طور کلی طراحی مسیر مونوریل باید به گونه‌ای صورت گیرد که در مسیرهای شیب‌دار و قوسی شکل یکنواختی حرکت و راحتی مسافران تأمین شود.

این سیستم به دلیل توانایی حرکت روی قوس‌هایی با شعاع کمتر نسبت به دیگر سیستم‌های ریلی توانایی تطبیق بالاتری با محیط شهری دارد. در شکل (۳-۱۷) نمونه‌ای از قوس‌های اجرا شده ارایه شده است.

حداقل شعاع قوس در مونوریل با توجه به پارامترهایی چون سرعت، مصالح سازنده مسیر، نوع چرخ مونوریل و حداکثر طول قطار تعیین می‌شود. تیرهای مسیر مونوریل در قوس‌ها، عموماً فولادی هستند و ساخت مسیر بتنی در قوس‌ها نیاز به تکنولوژی پیشرفته‌ای دارد که معمولاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در شکل شماره (۳-۱۸) یک نمونه قوس بتنی نشان داده است.

شرکت سورن لمب، حداقل شعاع قوس را برای سری SL و نوع ایستاده مونوریل‌های خود با حداکثر ۶ کوپه که هر کوپه ۱۸۴ نفر ظرفیت دارد و مسیری با تیر فلزی و چرخ لاستیک‌دار، ۲۳/۱۰ متر اعلام داشته است.

شکل شماره ۳-۱۷: مسیر قوسی در مونوریل شهرکوالالامپور[۹]

شکل شماره ۳-۱۸: مسیری با تیر قوسی بتنی[۹]

شرکت هیتاچی حداقل شعاع طراحی قوس مسیر را بـرای قطارهـای خـود در سـه نـوع کوچک، استاندارد و بزرگ چنین ارایه می‌دهد.

نوع کوچک: حداقل ۴۰ متر

نوع استاندارد: حداقل ۵۷/۵ متر

نوع بزرگ: حداقل ۷۰ متر

شرکت بمباردیر حداقل شعاع طراحی قوس مسیر را ۴۵ متر و شـرکت منوریـل مـالزی این رقم را ۷۰ متر اعلام می‌دارد. شرکت اربنات[1] حداقل شعاع طراحی قوس مسیر را بـرای قطارهای ۶ کوپه‌ای خود ۳۸ متر اعلام داشته‌است. جدول شماره (۳-۶) چند نمونه از شعاع قوس‌های مونوریل‌های ساخته شده دنیا را نشان می‌دهد.

1. Urbanat

جدول شماره ۳-۶: حداقل شعاع قوس‌های اجرا شده مونوریل‌های دنیا[۱۴] ،[۱۵] و[۱۶].

نام مونوریل	شعاع قوس اجرا شده
Chiba	۵۷/۵ متر
Kita Kyushu	۹۲ متر
Osaka	۱۱۵ متر
Shonan	۵۷/۵ متر
Tokyo Monorail	۱۳۸ متر
Tokyo-Tama	۱۱۵ متر

خلاصه

در این فصل در مقدمه تاریخچه بسیار مختصری از سیستم مونوریل ارایه شد و به نام سازندگان عمده این سیستم اشاره شد. سپس سیستم مونوریل تعریف شد و مزایا و معایب آن از دیدگاه موافقان و مخالفان ارایه شد.

در ادامه به طبقه‌بندی‌های گوناگون سیستم مونوریل بر اساس مکان به کارگیری، چگونگی توزیع خطوط در شبکه، نوع حرکت در مسیر و چگونگی حرکت و تماس با ریل، اشاره شد.

شرکت‌های سازنده مونوریل مقادیر مختلفی را برای خصوصیات فیزیکی و عملکردی سیستم‌های ساخت خود ادعا نموده‌اند که بعضاً با آنچه در تجربه حاصل شده است متفاوت است. این خصوصیات فیزیکی و عملکردی مانند: سرعت، شتاب، سرفاصله، فواصل ایستگاه‌ها، شیب و قوس مسیر از هر دو منظر ارایه شده‌اند.

خودآزمایی

۱. سیستم مونوریل را تعریف نمایید.

۲. مزایا و معایب سیستم مونوریل چیست؟

۳. سیستم مونوریل را با توجه به مکان به کارگیری طبقه‌بندی نمایید.

۴. سیستم مونوریل را با توجه به چگونگی حرکت و تماس با ریل طبقه‌بندی نمایید.

۵. عوامل مؤثر بر سرعت عملیاتی مونوریل را نام ببرید.

۶. عامل اصلی محدودسازی شتاب سیستم و مونوریل کدام است؟

۷. دلایل عدم رساندن سرفاصله زمانی سیستم مونوریل به زیر ۳ دقیقه چیست؟

فصل چهارم

قطار حومه‌ای

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. معرفی سیستم قطار حومه‌ای

۲. معرفی اجزای ناوگان سیستم

۳. شرح خصوصیات مسیر سیستم

۴. ارایه خصوصیات ایستگاه‌ها

۵. تعریف محل‌های پایانه و خصوصیات آن‌ها

۶. معرفی نیرو محرکه سیستم

۷. معرفی ظرفیت و برنامه زمان‌بندی سیستم

۴. قطار حومه‌ای

۴-۱. مقدمه

قطارهای سنتی هنوز هم موثرترین روش برای جابجا نمودن تعداد بسیار زیاد مسافر با سرعت منطقی در مسافت‌های طولانی است. هنگامی که این قطارها در مقیاس حومه شهرهای بزرگ خدمت‌دهی می‌نمایند به عنوان سیستم قطار حومه‌ای[1] یا سیستم قطار روزمره[2] شناخته می‌شوند. از سیستم قطار حومه‌ای هنگامی استفاده می‌شود که تعدادی شهرهای به هم پیوسته با مراکز شغلی بزرگ و تمرکز جمعیت بالا در یک دالان به صورت زنجیره‌ای قرار گیرند. چرا که ایستگاه‌هایی که این قطار در آن‌ها توقف می‌نماید باید به اندازه کافی از هم فاصله داشته و تعداد کافی مسافر از آن‌ها سوار قطار شود.

سیستم قطار حومه‌ای دارای سنگین‌ترین ناوگان بین تمام سیستم‌های ریلی است که وسیع‌ترین زیرساخت‌ها را به خود اختصاص می‌دهد و یکی از اصلی‌ترین دلایل امکان شکل‌گیری کلان‌شهرها و مجموعه شهرهای اقماری اطراف آن‌ها است که تا به امروز توانسته چنین مجموعه‌های شهری را به هم متصل نگه دارد. این سیستم هنگامی بهترین کارایی را دارد که تقاضا بسیار زیاد باشد و لذا از جمله ضروری‌ترین اجزای مجموعه‌های عظیم شهری آینده خواهد بود. در شکل نمونه‌هایی از قطار حومه‌ای در شهرهای مختلف نشان داده شده است[۸].

1. Regional Rail
2. Commuter Rail

شکل شماره ۴-۱: قطار حومه‌ای شهر جکسون ویل

شکل شماره ۴-۲: قطار حومه‌ای دو طبقه شهر فلوریدا

شکل شماره ۴-۳: قطار حومه‌ای شهر سیاتل

۴-۲. اجزای سیستم‌های قطار حومه‌ای

۴-۲-۱. ناوگان[1]

ناوگان قطارهای حومه‌ای مسافری در گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند[۸]:

۴-۲-۱-۱. لوکوموتیوها

واحدهای کشنده‌ای هستند که قطار را می‌کشند یا هل می‌دهند، اما خود قادر به جابجایی مسافر نیستند. از آنجا که دیگر از موتورهای بخار استفاده نمی‌شود، قطارهای حومه‌ای از لوکوموتیوهای دیزلی یا برقی استفاده می‌کنند. بعضی از لوکوموتیوها نیز می‌توانند هم در مسیرهای برقی و هم در مسیرهای معمولی حرکت کنند.

1. Rolling Stock

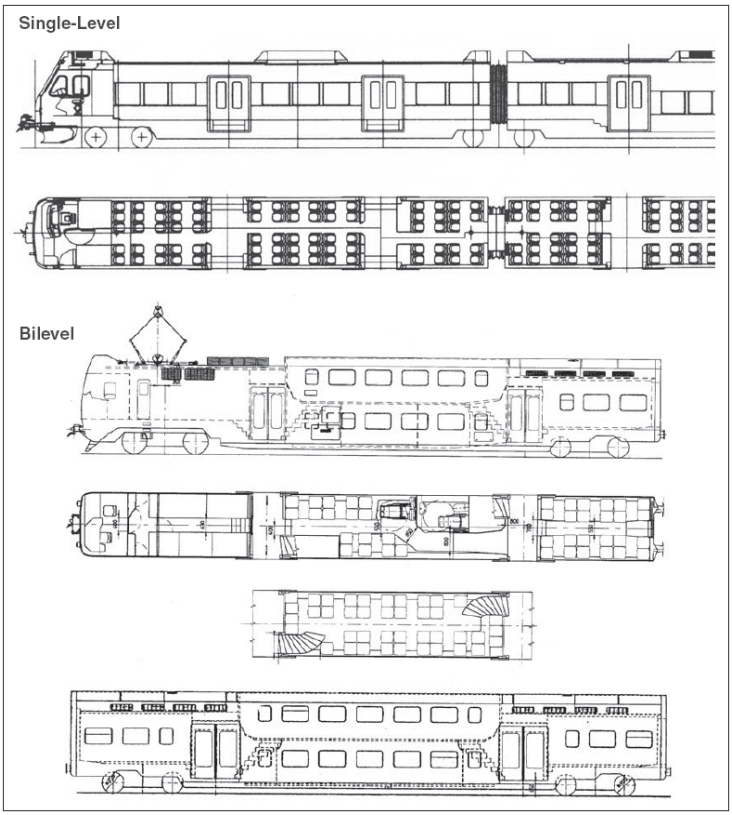
۴-۲-۱-۲. واگن‌ها[1]

واگن‌ها برای جا دادن مسافران طراحی شده و توسط لوکوموتیو کشیده یا هل داده می‌شوند. چیدمان صندلی‌ها به صورت ۲ در ۲ یا ۲ در ۳ در هر ردیف است که یک راهروی مرکزی از میان آن‌ها عبور می‌کند. واگن‌ها همچنین می‌توانند ۲ طبقه باشند. شکل (۴-۴) نمونه‌ای از چیدمان صندلی‌ها در قطارهای یک و دو طبقه را نشان می‌دهد.

۴-۲-۱-۳. واگن‌های موتوردار[2]

واگن‌هایی هستند که موتور الکتریکی زیر آن‌ها قرار می‌گیرد و نیروی محرکه لازم را از سیم‌های بالاسری موتور یا ریل سوم تامین می‌کنند. اگر این وسیله نقلیه تمام کنترل قطار را در اختیار داشته باشد و بتواند به تنهایی خدمت‌دهی نماید، به آن واحد منفرد[3] گفته می‌شود. خودروهای رایج‌تر، برای خدمت‌دهی ترکیبی به قطار دارای راننده طراحی شده‌اند که به آن‌ها واحدهای چندگانه[4] گفته می‌شود.

1. Coaches or Trailers
2. Powered Cars
3. Single Unit(SU)
4. Multiple Units(MU)



شکل شماره ۴-۴: نمایش فضای داخلی قطارهای حومه‌ای یک و دو طبقه

۴-۲-۱-۴. واحدهای چندگانه دیزلی[1]

خودروهایی هستند که مسافران را روی ریل‌های معمول جابجا می‌نمایند و توسط یک موتور دیزلی کشیده می‌شوند. این واحدها می‌توانند به تنهایی عمل نمایند یا چند واگن را نیز به دنبال خود بکشند و در اروپا معمول‌تر از آمریکا هستند.

1. Diesel Multiple Units (DMUs)

۴-۲-۲. مسیر و ایمنی

اکثر سیستم‌های قطار حومه‌ای در مسیرهایی حرکت می‌کنند که تعدادی از مناطق حومه‌ای پرجمعیت را به کلان‌شهر مرکزی متصل می‌نمایند. اگر چه این قطارها از مسیر ویژه جداگانه استفاده می‌نمایند اما اغلب، قطارهای باری و مسافری در یک مسیر و روی یک ریل حرکت می‌کنند که می‌تواند مشکلات ایمنی زیادی ایجاد نمایند. اگرچه خیلی معمول نیست که دو اداره جداگانه مسئولیت تامین ایمنی حرکت قطارهای مسافری و باری را روی یک مسیر به عهده داشته باشند اما به هرحال بهترین روش برای پیشگیری از مشکلات ایمنی این است که قطارهای باری و مسافری مسیرهای جداگانه با تعدادی نقاط تقاطع مشخص که تحت کنترل هستند داشته باشند.

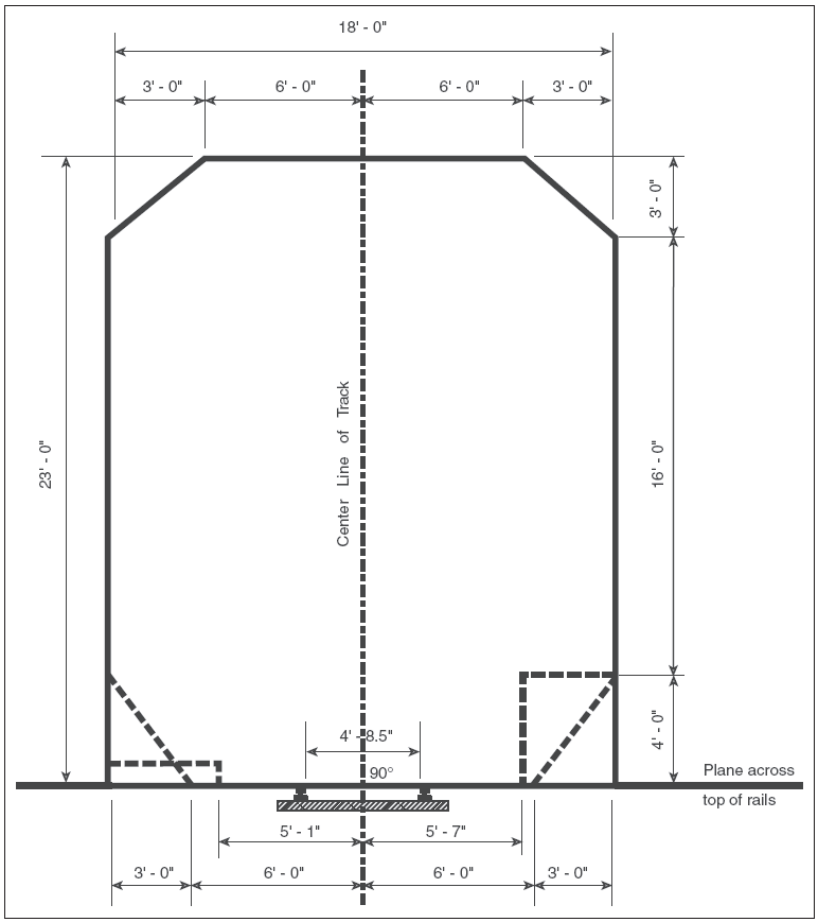
اگر تعداد هر یک از این دو نوع قطار به طور ویژه‌ای زیاد نباشد، می‌توان مانند آنچه در خطوط معمول راه‌آهن انجام می‌شود هر دو نوع قطار را روی یک مسیر حرکت داد اما اگر تعداد قطارهای مسافری زیاد باشد و به طور کلی حق عبور با آن‌ها باشد، قطارهای باری در اکثر موارد فقط هنگام شب روی همان مسیر می‌توانند حرکت نمایند.

از آن‌جا که سیستم‌های قطار حومه‌ای از محل مسیرهای قدیمی ریلی گذرنده از شهرها عبور می‌کنند، می‌توان گفت این خطوط از نظر هندسی، شیب مسیر، فاصله‌های آزاد جانبی و فوقانی و سایر ویژگی‌های فیزیکی، وضعیت مناسبی دارند. امروزه نکته اساسی مورد نیاز مسیرهای قطار حومه‌ای، تامین ایمنی است چرا که تعداد مسافران سیستم قطار حومه‌ای بسیار زیاد، قطارها بسیار سریع و ناوگان این سیستم به ویژه لوکوموتیوها سنگین هستند. در چنین شرایطی، جنبش حرکتی قطار بسیار زیاد و لطمات ناشی از تصادف جبران ناپذیر است.

از جمله نیازهای ایمنی سیستم قطار حومه‌ای، تعیین مناسب ابعاد فیزیکی افقی و عمودی فضای حرکتی مورد نیاز قطار، با استفاده از خصوصیات واگن طراحی[1] (بزرگترین واحد ناوگان که روی خط حرکت می‌کند) است. از آنجا که این واگن در پیچ‌های مسیر دچار انحراف از محور عمودی می‌شود، ابعاد فضای آزاد لازم به صورت یک طرح کلی دینامیکی تعریف می‌شود که در واقع پوش ابعاد واگن طراحی است. ابعاد اولیه واگن طراحی در شکل شماره (۴-۵) نشان داده شده است. البته ضروری است که پیاده‌روهای لازم برای تعمیرات یا تخلیه اضطراری در خارج از پوش فضای آزاد در طرفین ناوگان تعبیه شوند[۸].

از جمله دیگر نیازهای ایمنی، جداسازی فضایی- زمانی ناوگان باری و مسافری تا حد ممکن است. اختصاصی کردن مسیر ریلی از طریق کاهش یا حذف امکان گذر سایر خودروها، مردم، حیوانات و اشیا از مسیر ریلی حاصل می‌شود. چنین جداسازی به معنای ایجاد اختلاف سطح بین مسیر قطار حومه‌ای و سایر مسیرهای عبوری گذرنده از آن است که نیاز به منابع مالی عظیمی دارد که شاید در بودجه‌های تعمیر و نگهداری سیستم‌های قطار حومه‌ای نگنجد. البته خوشبختانه اکثر سیستم‌های قطار حومه‌ای در دوران پیشتر که منابع مالی کافی در اختیار داشتند، دارای مسیرهای غیرهم‌سطح شده‌اند. به هر حال اگر تقاطعی در طول مسیر به صورت هم‌سطح باقی بماند، تمام تمهیدات کنترلی لازم باید برای تامین ایمنی در آن اعمال شود. این به معنای اعمال تاخیرات لازم به ترافیک موتوری گذرنده از تقاطع هم‌سطح با مسیر قطار خواهد بود.

1. Design Vehicle

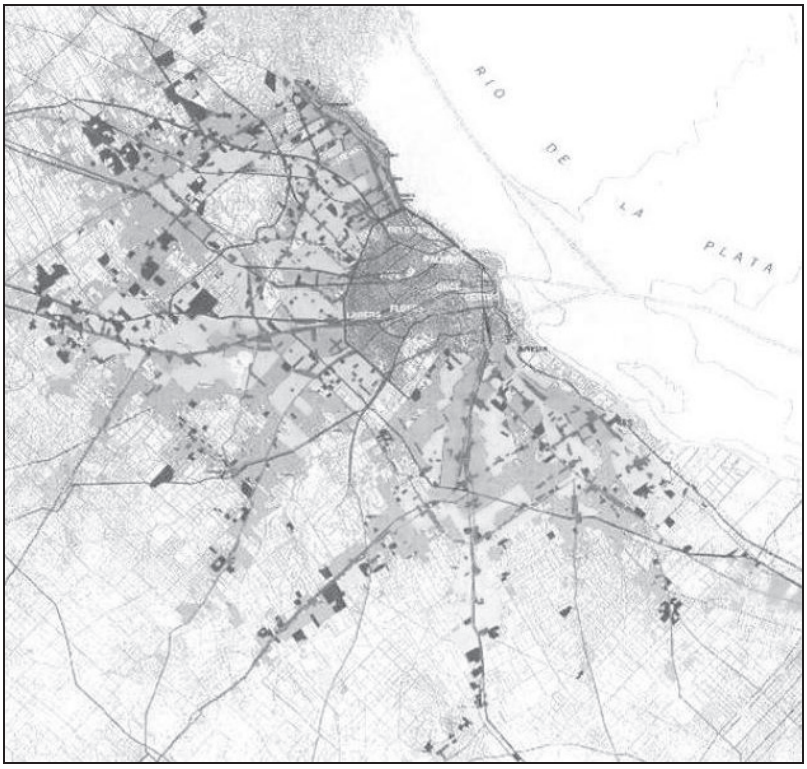


شکل شماره ۴-۵: ابعاد فضای آزاد مورد نیاز حرکت قطار، (واحد: فوت و اینچ)

۴-۲-۳. ایستگاه‌ها

۴-۲-۳-۱. کاربری

قطارهای حومه‌ای معمولاً از ایستگاهی قدیمی در مراکز تجاری شهرها آغاز شده و با امتدادی شعاعی در مسیری قدیمی به سوی ایستگاه‌های قدیمی حومه شهر حرکت می‌کنند. در شکل (۴-۶) خطوط قطار حومه‌ای شهر بوینس‌آیرس نشان داده شده است[۲۷]. در آمریکا مسیرهای قطارهای حومه‌ای، باقیمانده از مسیرهای ریلی ۱۰۰ سال پیش هستند و از نظر فیزیکی بر خطوط ریلی قدیمی منطبق هستند.



شکل شماره ۴-۶: خطوط شعاعی قطار حومه‌ای در شهر بوینس آیرس

اگر چه چنین رویکردی در استفاده از زیرساخت‌های ریلی قدیمی استفاده‌ای خلاقانه از فناوری و دانش روز حمل‌ونقل نیست ولی بهترین استفاده از زیرساخت‌های موجود است که

در صورت عدم استفاده متروکه می‌شوند. البته ایستگاه‌های قدیمی می‌توانند تبدیل به رستوران یا نمایشگاه‌های هنری شوند اما نکته مهم، بعد فرهنگی تاریخی ایستگاه‌ها در فرهنگ شهر است که با تغییر کاربری آن‌ها از بین می‌رود.

۴-۲-۳-۲. امکانات رفاهی

ایستگاه‌های قطار حومه‌ای علاوه بر تسهیلات رفاهی مانند: محافظت در برابر شرایط جوی، فضای انتظار، بوفه، اطلاعات، گیشه فروش بلیط و فضای استراحت باید طراحی مناسب حرکتی داشته باشد. در طراحی ایستگاه‌ها هدف برقراری تعادل بین راحتی و ایمنی فضاهای حرکتی قطارها و دسترسی‌های بیرونی است.

۴-۲-۳-۳. فاصله

برای حفظ سطح سرویس مناسب در سیستم قطارحومه‌ای با توجه به نرخ پایین شتاب قطارهایی که توسط لوکوموتیو کشیده می‌شوند، فاصله ایستگاه‌ها به ندرت می‌تواند از ۱/۵ کیلومتر کمتر باشد حال این‌که قاعده معمول فاصله بیش از ۵ کیلومتر است.

۴-۲-۳-۴. دسترسی

ایستگاه‌ها باید در محلی که دسترسی مناسبی توسط سیستم‌های حمل‌ونقل شهری دارد، احداث شوند. یکی از مسایل اساسی در ایستگاه‌های حومه‌ای روش دسترسی به ایستگاه از مناطق شهری است. وجود سرویس‌های حمل‌ونقلی تغذیه‌کننده محلی، سیستم‌های پاراترانزیت و تاکسیرانی که امکان حرکت تا سکوهای ایستگاه ریلی را دارند ضروری است.

البته تجربه نشان می‌دهد حتی در بهترین شرایط همه مردم از سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی برای دسترسی به ایستگاه‌های قطار حومه‌ای استفاده نمی‌کنند بلکه تعدادی از سیستم توقف- حرکت[1] و بیشتر از سیستم پارک‌سوار[2] استفاده می‌نمایند. در سیستم توقف- حرکت، یکی از اعضای خانواده پشت فرمان خودروی سواری است که در مسیر سفر خود، از ایستگاه سیستم قطار حومه‌ای می‌گذرد تا فرد دیگر خانواده را که قصد استفاده از این سیستم را دارد به محل ایستگاه برساند. امروزه وجود سیستم‌های پارک‌سوار در جوار ایستگاه‌های حومه‌ای، اصلی بدیهی است. به عنوان مثال هرگونه رشد بیشتر برای جذب مسافر در بسیاری از مسیرهای قطارهای حومه‌ای کلان شهر نیویورک، وابسته به تامین پارکینگ مناسب در این ایستگاه‌هاست. تامین پارکینگ مناسب در ایستگاه‌هایی که در مراکز تجاری شهرها قرار دارند بسیار دشوارتر از ایستگاه‌های حومه‌ای است. در چنین ایستگاه‌هایی می‌توان از سرویس کرایه دوچرخه در پایانه استفاده نمود. چنین استفاده‌ای در اروپا بسیار معمول‌تر از آمریکاست. به عنوان روش دیگر می‌توان از کرایه ماشین‌های کوچک دو نفره که صندوق کوچک دارند در محل ایستگاه‌ها نام برد. مسافران قطار حومه‌ای می‌توانند چنین ماشینی را کرایه کنند، یک شب نگه دارند و در اول روز بعد آن را به محل ایستگاه بازگردانند[۸].

۴-۲-۳-۵. سکوها

1. Kiss and Ride
2. Park and Ride

از هر دو نوع سکوهای مرکزی و کناره‌ای در ایستگاه‌ها می‌توان استفاده نمود. پرسش اصلی این است که آیا عبور هم سطح مسافران پیاده یا سوارشده در سکوها از خطوط ریلی قابل قبول است یا خیر. چنین عبوری در سیستم‌های ریلی گذشته انجام می‌شد ولی با معیارهای فعلی، قابل قبول نیست. در خطوط با تعداد کم قطار در بعضی موارد استثنایی شاید بتوان چنین عبوری را پذیرفت. البته به شرطی که هشدار واضحی به مسافران راجع به قطاری که به ایستگاه نزدیک می‌شود داده شود و هیچ‌گونه مانعی (مانند پله موقت روی مسیر ریلی) برای تسهیل عبور مسافران روی مسیر ریلی قرار نگیرد. در غیر این صورت عبور مسافران از مسیر ریلی حتما باید به صورت غیرهم‌سطح باشد. احداث چنین گذرگاه‌های غیرهم‌سطحی، نیاز به سرمایه‌گذاری قابل ملاحظه‌ای دارد. مخصوصاً که این گذرگاه‌ها باید برای عبور افراد ناتوان با صندلی چرخ‌دار هم مناسب باشند. از جمله دیگر هزینه‌های عمده احداث چنین گذرگاه‌هایی، هزینه تعمیر و نگهداری دوربین‌های مدار بسته‌ای است که از نظر امنیتی باید نصب شوند.

نکته دیگر چگونگی استفاده از سکوهای بلند یا کوتاه است. به طور سنتی سکوهای قطار به صورت کوتاه ساخته می‌شدند که نیاز به چند پله بود تا مسافر بتواند سوار قطار شود. امروزه سکوهای بلند به علت راحتی استفاده برای افراد ناتوان و هم‌چنین کوتاه ساختن زمان پیاده و سوار شدن مسافران، مطلوب‌تر هستند. سکوهای بلند نیاز به دقت بالا در ساخت تمام اجزای ایستگاه دارند چراکه فاصله لبه سکو تا لبه قطار باید به اندازه کافی به هم نزدیک باشند. البته به جای احداث سکوهای بلند می‌توان از قطارهای با سطح کف پایین استفاده نمود.

باید توجه داشت که فاصله کم بین سکو و قطار، موجب محدودتر شدن پوش حرکتی قطار می‌شود. بنابراین قطارهای باری اگر از خط مشترک با قطارهای مسافری استفاده

می‌نمایند، سرعت و عملکردشان یا محدود می‌شود یا به طور کلی ممنوع می‌شود. در چنین مواقعی باید یک خط موازی با خط قبلی برای عبور قطارهای باری از ایستگاه احداث شود[۸].

۴-۲-۴. کیفیت سرویس

سیستم قطار حومه‌ای همیشه به علت کیفیت بالا از سایر سیستم‌های ریلی متمایز بوده است. تهویه مطبوع، صندلی‌های راحت، نورپردازی مناسب و ایمنی کافی از جمله مشخصات کیفی اکثر سیستم‌های قطار حومه‌ای است.

استفاده از چنین سطح کیفیتی در این قطارها توجیه‌پذیر است چرا که مسافران این سیستم امکان استفاده از وسیله نقلیه شخصی و یا کارکردن در محل‌هایی خارج از پوشش این سیستم ریلی را دارند و در صورت پایین بودن کیفیت این سیستم ریلی، دیگر از آن استفاده نمی‌کنند.

۴-۲-۵. سیستم‌های کنترل و هدایت

در گذشته راننده قطار با دیدن مانعی در مسیر، قطار را متوقف می‌نمود. امروزه به جای چنین سیستم دیداری، از تسهیلات تشخیص مانع دستی یا اتوماتیک استفاده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که دو قطار در یک خط با هم برخورد نمی‌کنند. از آنجا که قطارهای حومه‌ای روی مسیرهای ریلی معمول حرکت می‌کنند، باید با نیازها وامکانات سیستم‌های کنترل مدرنی که در شبکه خطوط ریلی اطراف کلان شهرها وجود دارند مطابقت داشته باشند. اگر چه اکثر این سیستم‌های کنترلی اتوماتیک بسیار قابل اطمینان هستند ولی با

سیستم‌های کنترل و بهره‌برداری اتوماتیک پیشرفته‌ای که امروزه در خطوط ریلی شهری در مناطق متراکم خدمت‌دهی می‌نمایند، قابل مقایسه نیستند.

در تصمیم‌گیری برای سیستم‌های کنترل و هدایت قطارهای حومه‌ای، ملاحظات پیچیده‌ای را باید در نظر گرفت. به عنوان مثال اینکه آیا باید یک سیستم کنترل مرکزی داشت که کل خطوط را پوشش می‌دهد یا می‌توان تعدادی برج‌های محلی کنترل راه‌اندازی نمود. قطارهایی که با سرعت ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت یا بیشتر خدمت‌دهی می‌نمایند، نیاز به سیستم‌های کنترل و هدایت مکمل دارند که هزینه‌های قابل ملاحضه‌ای دربردارند. اگر قطارهای باری و مسافری روی یک خط خدمت‌دهی نمایند، سیستم‌های هدایت بهینه برای آن دو یکسان نیست چرا که هر یک، الگوهای عملکردی و فاصله‌های توقف ایمن مربوط به خود را دارند.

برای استفاده از سیستم‌های کنترل باید توجه داشت که یقیناً دانش کم برای تصمیم-گیران این حوزه بسیار خطرناک است. تصمیم‌گیری برای این سیستم‌ها باید به متخصصان با تجربه‌ای سپرده شود که مسئولیت ایمنی شبکه خطوط را به عهده دارند. مسایل اصلی در این حوزه عبارتند از: پیشگیری از برخورد قطارها با فرض وقوع اشتباهات انسانی، اطمینان از عدم تغییر خط اتفاقی قطارها و اطمینان از تقریباً غیرممکن بودن گذر سایر وسایل نقلیه، افراد و یا حیوانات از مسیر ریلی.

تصمیم‌گیری راجع به انتخاب سیستم‌های کنترل و هدایت باید با ایجاد تعادل بین بیشینه ایمنی و بیشینه ظرفیت جابجایی مسافر سیستم، گرفته شود.

۴-۲-۶. محل‌های پایانه[1]

تمام سیستم‌های ریلی نیاز به فضایی برای انبار و تعمیر و نگهداری ناوگان دارند. از آنجا که قطارهای حومه‌ای معمولاً روی ریل‌های راه‌آهن موجود اطراف شهرها حرکت می‌کنند، در واقع از همان فضای پایانه موجود راه‌آهن استفاده می‌نمایند. در بعضی موارد محل‌های تعمیر و نگهداری ناوگان باری می‌تواند برای استفاده سیستم قطار حومه‌ای، دوباره فعال شوند. از جمله اهداف پایانه عبارتند از: نگهداری تجهیزات هنگام شب و وسط روز، تعمیرات منظم دوره‌ای، عملیات نظافت، نقاشی و تعویض قطعات ناوگان. همچنین بازرسی‌های ضروری سازمان‌های ریلی مسئول از ناوگان در همین فضا انجام می‌شوند.

احداث یک پایانه جدید به علت نیاز به فضای بسیار بزرگی که مناسب این کار باشد، دشوار است. از نظر تئوری، بهترین محل احداث پایانه انتهای خطوط ریلی یا جایی است که چندین خط ریلی به صورت متقاطع عبور می‌نمایند. اما در واقعیت چنین فضایی کمتر پیدا می‌شود.

۴-۲-۷. نیرو محرکه

در کنار سوخت دیزل، لوکوموتیوهای برقی نیز در سیستم‌های قطار حومه‌ای استفاده می‌شوند. موتورهای برقی مورد استفاده از ۱۱۰۰۰ ولت برق متناوب ۲۵ هرتز که توسط سیم تأمین می‌شود استفاده می‌کنند. موتورهای مدرن حتی از برق ۲۵۰۰۰ ولت متناوب ۶۰

1. Yards

هرتز استفاده می‌کنند. بعضی از سیستم‌های قطار حومه‌ای مانند سیستم مترو از برق ۶۰۰ تا ۶۵۰ ولت مستقیم که توسط ریل سوم تأمین می‌شود، استفاده می‌کنند.

۴-۲-۸. ظرفیت

ظرفیت سیستم قطار حومه‌ای به ظرفیت مسافر هر واگن، تعداد واگن‌ها و تعداد قطارهای مورد بهره‌برداری بستگی دارد. البته پارامترهای دیگری مانند زمان توقف طولانی در ایستگاه‌ها هم می‌تواند موجب کاهش ظرفیت سیستم شود ولی به علت سرفاصله‌های طولانی قطارهای حومه‌ای، زمان توقف قطارها در ایستگاه‌ها در کاهش ظرفیت سیستم چندان موثر نیست. البته بخشی از تاخیرات سیستم قطار حومه‌ای به دلیل مشکلات بهره-برداری مانند پیچیدگی ورود و خروج قطارها از محل پایانه به محل خط است. طی دوره-های اوج مشکلاتی در زمینه جمع‌آوری تعداد کافی قطارها برای ورود سریع و پشت سرهم به سکوها و شلوغی بیش از حد مسافران، ممکن است پیش آید که خود باعث کاهش ظرفیت سیستم می‌شوند.

توان عملیاتی خط که با تعداد قطارهایی که در یک ساعت روی یک خط حرکت می-کنند مشخص می‌شود، به مقدار زیادی به سیستم کنترل و هدایت بستگی دارد. به عنوان مثال با رویکردی محافظه کارانه در یک قطعه ۳ مایلی حدود ۴ تا ۶ قطار در ساعت می‌توانند خدمت‌دهی نمایند. البته سیستم‌های خیلی پیشرفته که به ندرت در سیستم‌های قطار حومه‌ای استفاده می‌شوند و از ناوگان ویژه استفاده می‌نمایند می‌توانند به سر فاصله‌های کوتاهی برسند که امکان حرکت ۲۵ تا ۳۰ قطار در ساعت را پیدا می‌کنند.

بر خلاف سایر سیستم‌های ریلی، در طراحی سیستم قطار حومه‌ای فرض بر این است که مسافران حتی در دوره اوج روز، جای نشستن دارند. البته سیستم‌های قطار حومه‌ای در

بعضی شهرهای پرجمعیت نه تنها جای نشستن برای مسافران ندارند بلکه جای ایستادن هم به زحمت پیدا می‌شود. در شکل (۴-۷) قطاری که بیش از حد مسافر سوار کـرده اسـت در جاکارتای اندونزی نشان داده شده است.

بنابراین اگر از واگن‌های دو طبقه با ظرفیت نشستن ۱۴۰ نفر استفاده شود و هر قطار ۸ واگن داشته باشد، هر قطار توان جابجایی ۱۱۲۰ مسافر را خواهد داشت. اگر امکان داشـتن سر فاصله‌های ۴ دقیقه‌ای وجود داشته باشد، تعداد سکوی کـافی در مبـدا و مقصـد وجـود داشته باشد و همچنین خط‌های ریلی به صورت دنباله‌ای بعد از مبدا و مقصد بـرای جـذب قطارهای خالی وجود داشته باشند، می‌توان با سیستم قطار حومه‌ای به ظرفیـت جـابجـایی مسافر معقولی دست پیدا کرد. با فرض وجود شرایط فوق، توان عملیاتی خط ۱۶۸۰۰ مسافر در هر ساعت خواهد بود که با ظرفیت سایر سیستم‌های ریلی قابل مقایسه است[۸].

شکل شماره ۴-۷: قطار با تعداد مسافر بیش از ظرفیت در جاکارتای اندونزی!

اگر چه ممکن است در بعضی موارد چنین تقاضایی در واقعیت وجود داشته باشد اما سناریوی منطقی‌تر وجود ۱۰۰ مسافر در هر واگن و وجود ۶ قطار با سرفاصله زمانی ۱۰ دقیقه است که در نتیجه تعداد ۳۶۰۰ مسافر در ساعت در خط جابجا می‌شود. اگرچه عدد ۳۶۰۰ هم عدد مناسبی است ولی در مقایسه با انتظاراتی که از یک سیستم ریلی سنگین وجود دارد، بسیار کم است. لذا اکثر خطوط قطار حومه‌ای در آمریکای شمالی با سر فاصله‌های زمانی ۲۰، ۳۰ و حتی ۶۰ دقیقه خدمت‌دهی می‌نمایند. در شهر بمبئی در هند روزانه حدود ۶ میلیون مسافر با سیستم قطار حومه‌ای سفر می‌نمایند[۲۷].

شکل شماره ۴-۸: سیستم قطار حومه‌ای در شهر بمبئی هند

۴-۲-۹. برنامه زمان‌بندی

سیستم‌های قطار حومه‌ای که علاوه بر مسافران رفت‌وآمد کننده مکرر، مسافران دیگری نیز دارند، در تمام طول روز خدمت‌دهی می‌نمایند. سرفاصله چنین قطارهایی در ساعات غیراوج کمتر است و در شب به کلی قطع می‌شوند. سیستم قطار حومه‌ای در شهرهای نیویورک، میامی و لس‌آنجلس از این نوع است. سیستم‌های قطار حومه‌ای دیگر فقط در دوره اوج خدمت‌دهی می‌نمایند مانند قطار حومه‌ای شهر واشنگتن. بعضی از سیستم‌های قطار حومه‌ای هم هستند که در بعضی مسیرها در کل روز و در بعضی مسیرها فقط در دوره اوج خدمت‌دهی می‌نمایند مانند قطار حومه‌ای شهرهای بالتیمور، شیکاگو و تورونتو.

بعضی برنامه‌های زمان‌بندی حرکت قطارهای حومه‌ای، سرویس‌های اکسپرس ارایه می‌دهند که فقط در بعضی ایستگاه‌های پرتقاضا توقف می‌نمایند و از سایر ایستگاه ها به سرعت عبور می‌نمایند[۸].

خلاصه

در مقدمه قطار حومه‌ای به عنوان سیستمی معرفی شدکه هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تعدادی شهرهای به هم پیوسته با مراکز شغلی بزرگ و تمرکز جمعیت بالا در یک دالان به صورت زنجیره‌ای قرار گیرند. علت هم این بود که ایستگاه‌هایی که این قطار در آن‌ها توقف می‌نماید باید به اندازه کافی از هم فاصله داشته باشند و همچنین باید تعداد کافی مسافر در آن‌ها وجود داشته باشد.

در ادامه اجزای سیستم‌های قطار حومه‌ای معرفی شدند. از جمله این اجزاء ناوگان بود که خود به لوکوموتیوها، واگن‌ها، واگن‌های موتوردار و واحدهای چندگانه دیزلی تقسیم شد

و هر یک به طور جداگانه شرح داده شد. خصوصیات مسیر و ایمنی سیستم دیگر مواردی بودند که مورد بحث قرار گرفتند.

سپس به خصوصیات ایستگاه‌های سیستم اشاره شد و جوانب مختلفی مانند کاربری، فواصل، چگونگی دسترسی، انواع سکوهای انتظار و کاربردهای آن‌ها ارایه شد.

کیفیت سرویس در سیستم‌های قطار حومه‌ای به علت مسافت های طولانی سفر از اهمیت خاصی برخوردار است لذا مواردی که در تعیین کیفیت سیستم قطار حومه‌ای مؤثرند نام برده شدند و بعد از آن به معرفی سیستم‌های کنترل و هدایت پرداخته شد.

در نهایت محل‌های پایانه‌ای ناوگان، نیرو محرکه، ظرفیت سیستم و برنامه زمان‌بندی همگی شرح داده شدند.

خودآزمایی

۱. سیستم قطار حومه‌ای چه خصوصیاتی دارد؟

۲. انواع واگن‌های مورد بهره‌برداری در سیستم قطار حومه‌ای کدامند؟

۳. خصوصیات مسیر سیستم قطار حومه‌ای چیست؟

۴. ابعاد فیزیکی مناسب فضای حرکتی مورد نیاز ناوگان حومه‌ای چگونه تعیین می‌شوند؟

۵. مسافران سیستم قطار حومه‌ای بیشتر از چه روش‌هایی برای دسترسی به ایستگاه‌ها استفاده می‌نمایند؟

۶. در طراحی سیستم‌های کنترل سیستم قطار حومه‌ای به چه نکاتی باید توجه داشت؟

۷. منظور از توان عملیاتی خط چیست؟ و حدود بیشینه و کمینه توان عملیاتی سیستم قطار حومه‌ای چقدر است؟

فصل پنجم

مترو

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. معرفی سیستم مترو

۲. مزایا و معایب سیستم مترو

۳. معرفی اجزای سیستم مترو

۴. معرفی خصوصیات عملکردی سیستم مترو

۵. پرظرفیت‌ترین سیستم‌های متروی دنیا

۵. مترو

۵-۱. معرفی سیستم مترو

سیستم مترو از قطارهای الکتریکی با ظرفیت زیاد برای جابجایی مسافر که نرخ شتاب و ترمز بالایی دارند، بهره می‌برد. این سیستم دارای بالاترین عملکرد در بین سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی است که کمترین هزینه‌های عملیاتی را در هر کیلومتر دارد. اجرای این سیستم، سرمایه‌گذاری بسیار زیاد و عملیات ساخت طولانی مدت نیاز دارد. با این وجود، سیستم مترو عمر نامحدودی دارد و تأثیر قوی و دایمی بر الگوی جابجایی مردم و همین‌طور بر شکل و هویت شهر دارد[۸].

۵-۲. مقایسه مترو و قطار سبک شهری

مزایا و معایب مترو در مقایسه با قطار سبک شهری از دیدگاه موافقان و مخالفان این سیستم به شرح زیر است[۲۹] :

۵-۲-۱. مزایا

۱. در صورت استفاده از مسیرهای کاملاً جدا و کنترل تمام دیجیتالی، مترو دارای سرعت، قابلیت اطمینان و ایمنی بالاتری است.

۲. به علت استفاده از قطارهای بلند و سرعت بالای سوار و پیاده شدن مسافران در ایستگاه‌ها، مترو دارای ظرفیت خط بسیار بیشتری است.

۳. به علت عملکرد قوی‌تر و تصویر مناسب‌تر، مترو دارای جذب مسافر بیشتری است.

۴. تصویر متمایز ایستگاه‌ها و عملکرد سیستم، بالاترین پتانسیل تأثیرگذاری مثبت بر توسعه شهر را به سیستم مترو می‌بخشد.

۵-۲-۲. معایب

۱. سیستم مترو نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بیشتر و عملیات ساخت‌وساز بلندمدت‌تر دارد.

۲. مسیرهای قطار سبک شهری نسبت مترو انعطاف‌پذیرتر هستند ضمن آن که مترو وارد محدوده‌های عابرین پیاده نمی‌تواند بشود.

۳. مترو فقط می‌تواند از مسیرهای کاملاً جدا استفاده کند در حالی‌که قطار سبک شهری از انواع مسیرها می‌تواند استفاده نماید.

علی‌رغم تفاوت‌هایی‌که بین مترو و قطار سبک شهری عنوان شد، طراحی سیستم قطار سبک شهری می‌تواند به اندازه‌ای با استانداردهای عالی انجام شود که خصوصیاتی نزدیک به مترو داشته باشد. در واقع نوآوری و خلاقیت در طراحی سیستم‌های ریلی در دهه‌های اخیر، خانواده‌ای از سیستم‌های ریلی با خصوصیات بسیار نزدیک به هم را ایجاد کرده است.

رشد شهرها، افزایش تقاضای سفر و رشد نیاز به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی با عملکرد بالایی که در مسیرهای مستقل از خیابان‌های پرازدحام حرکت کنند، منجر به ساخت مترو در تعداد زیادی از شهرهای دنیا در سال‌های اخیر شده است. در سال ۱۹۵۰ فقط ۱۷ شهر در تمام دنیا مترو داشتند در حالی‌که در سال ۲۰۰۵ بیش از ۱۰۰ شهر دارای سیستم مترو بودند.

دلیل اصلی ساخت مترو در این شهرها، تأمین ظرفیت بالای جابجایی مسافر در امتداد خطوط اصلی تمایل سفر است. در تعداد بسیاری از شهرهایی که مترو دارند، هدف علاوه بر تأمین ظرفیت بالا تأمین سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی با کیفیت بالا است. دلیل در نظر گرفتن کیفیت بالا به عنوان یک هدف، رشد توقعات از سرویس‌های حمل‌ونقل همگانی است و این که شهروندان ترغیب شوند به جای استفاده از خودرو شخصی از این سرویس‌ها استفاده نمایند. سایر شاخص‌هایی که سرمایه‌گذاری و زحمت ساخت مترو را توجیه می‌کنند عبارتند از: بهبود شاخص‌های جابجایی، تقویت فعالیت‌های اقتصادی و افزایش زیست‌پذیری محیط شهری.

۵-۳. اجزای سیستم و خصوصیات عملکردی

از آنجا که مترو نیز مانند سیستم‌های قطار سبک شهری و قطار حومه‌ای یک سیستم ریلی شهری است، اجزای فیزیکی آن خیلی متفاوت از اجزای این سیستم‌ها نیست جز این‌که اجزای سیستم مترو باید پیشرفته‌تر باشند و در برابر استفاده دایمی مقاوم باشند. مترو در واقع نهایت عملکرد یک سیستم ریلی است. اجزای مترو در ادامه شرح داده شده‌اند.

۵-۳-۱. مسیر و حریم آن

چون مسیر سیستم مترو باید به طور کامل غیرهم‌سطح باشد معمولاً به صورت زیرزمینی یا هوایی احداث می‌شود. مسیر فقط هنگامی می‌تواند هم‌سطح باشد که از عبور ترافیک موتوری جانبی توسط فنس‌های غیرقابل نفوذ، سپرهای محافظ و سایر ابزارهای مشابه

جلوگیری شود یا این‌که این ترافیک با استفاده از گذرگاه‌های غیرهم‌سطح از مسیر مترو عبور نماید.

سیستم‌های متروی عبوری از مراکز تجاری شهرهای بزرگ مانند نیویورک، پاریس و توکیو، معمولاً داخل تونل حرکت می‌کنند. عملکرد زیرزمینی به این سیستم تصویر ویژه‌ای می‌بخشد. ضمن آن که موجب می‌شود در نقاط مختلف با نام‌های مختلف شناخته شود چنان‌که در آمریکا زیر مسیری، در انگلستان زیرزمینی، در آلمان یو- باهن و در سوئد تی بانا، نامیده می‌شود[۲۹].

شکل شماره ۵-۱: قطار یو- باهن شهر فرانکفورت آلمان

شکل شماره ۵-۲: قطار تی- بانا در کشور سوئد

از آنجا که احداث تونل نیاز به سرمایه‌گذاری بسیار زیادی دارد، بسیاری از شهرهای دنیا مانند شیکاگو، هامبورگ، لندن و نیویورک بخش اعظم خطوط متروی خود را بالای سطح زمین احداث نموده‌اند. این تنوع پذیری مسیر مترو نشان از توان سیستم مترو در تطبیق با شرایط فیزیکی، محیط‌زیست شهری و منابع مالی دارد.

شکل شماره ۵-۳: مسیر متروی شهر شیکاگو در سطح زمین

به طور کلی چهار نوع مسیر مترو وجود دارند[۸] :

۵-۳-۱-۱. مسیر ترانشه باز[1]

در این نوع مسیر ابتدا خاکبرداری انجام می‌شود، سپس دیواره‌های ترانشه تثبیت می‌شوند و مترو در دالانی روباز خدمت‌دهی می‌نماید. در این نوع مسیر، خیابان‌ها از روی مسیر مترو توسط پل عبور می‌نمایند و تهویه هم به صورت طبیعی انجام می‌شود.

1. Open cut

۵-۳-۱-۲. مسیر هوایی[1]

اگر نازیبایی و آلودگی صوتی این نوع مسیر برای جامعه قابل تحمل باشد، این نوع مسیر علاوه بر این‌که تمام خصوصیات بهره‌برداری لازم را دارد، هزینه‌های ساخت آن نیز کمتر است. در این نوع مسیر مترو می‌تواند از بالای خیابان‌ها یا از میان ساختمان‌ها عبور نماید. البته حالت عبور از میان ساختمان‌ها به علت نیاز به تملک حریم، هزینه‌ها را افزایش خواهد داد.

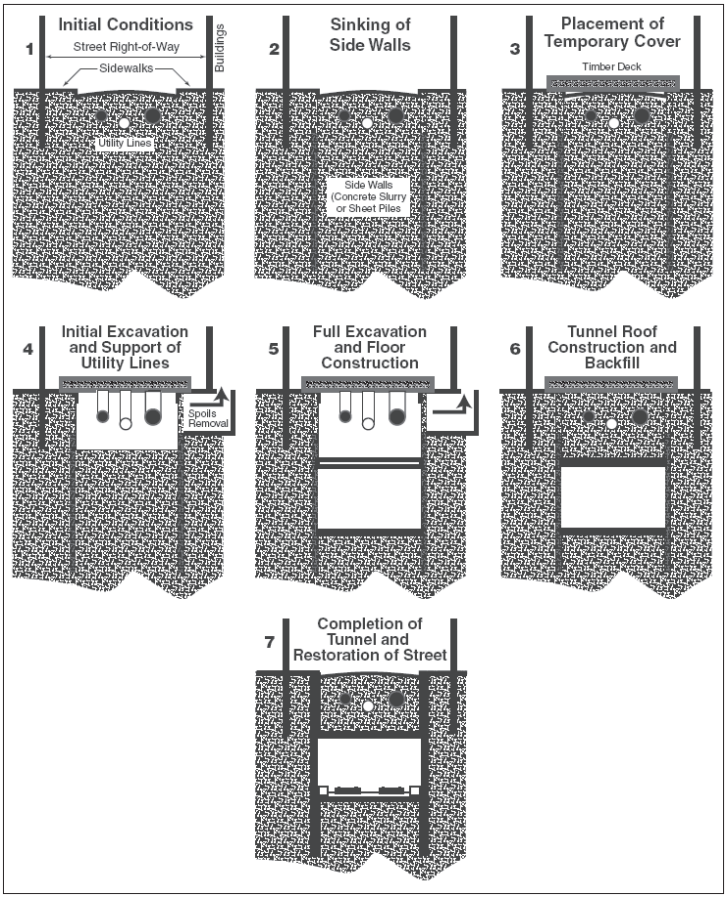
۵-۳-۱-۳. مسیر زیرسطحی[2]

اگر مسیر مترو تماماً از زیر خیابان‌ها عبور نماید، می توان از این نوع مسیر استفاده نمود. کل فرآیند احداث این نوع مسیر در شکل (۵-۴) نشان داده شده است. از جمله مزایای این مسیر، کم بودن هزینه‌های احداث و فاصله کم ایستگاه‌ها با سطح خیابان است.

۵-۳-۱-۴. مسیر تونل

برای احداث تونل روش‌های زیر وجود دارند که همگی در ساخت تونل‌های متروی شهر تهران نیز به کار گرفته شده‌اند[۳۰].

1. Elevated
2. Cut and Cover



شکل شماره ۵-۴:مراحل ساخت مسیر زیرسطحی

الف- روش ترانشه باز

در این روش ساخت، ابتدا بررسی و آزمایش‌های ژئوتکنیکی برای تشخیص لایه‌های زمین و مقاومت خاک در مسیر حفر تونل صورت گرفته و پس از خاکبرداری و گودکردن تونل، کف منطقه گودبرداری شده تسطیح، آرماتوربندی و سپس بتن‌ریزی می‌شود.

شکل شماره ۵-۵: تونل حفر شده با روش ترانشه باز

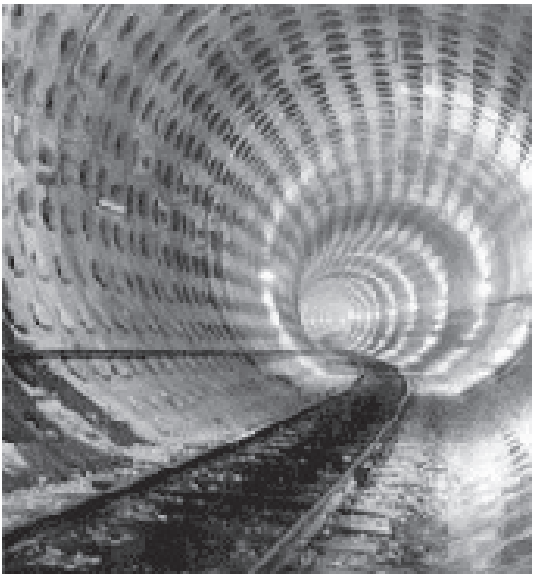
ب- روش اتریشی

در این روش، مانند همان روشی که در حفر قنوات استفاده می‌شود، با یک شفت یا رمپ به عمق مورد نظر رسیده، سپس اقدام به حفر تونل می‌نمایند. تونل خاک‌برداری شده در مقاطع فوقانی و تحتانی، ابتدا حفاظت موقت شده و در نهایت، قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی می‌شود.

شکل شماره ۵-۶: تونل حفر شده با روش اتریشی

پ- روش ماشین حفار

ساخت تونل با ماشین حفار در خیابان‌های پر ترافیک و در مناطقی که سطح سفره آب‌های زیرزمینی بالا است، کاربرد دارد. در این روش، یک رمپ برای ورود ماشین حفار به عمق زمین ایجاد شده و پس از آن ماشین حفار کار حفاری و ساخت تونل در زیر زمین را آغاز می‌کند. ماشین حفار به دستگاه خاک‌برداری دوار با مقاومت زیاد و تعدادی چک‌های هیدرولیکی که به طور افقی حرکت می‌کنند، مجهز است. با پیشروی در دل خاک، تونل حفاری شده و خاک ناشی از حفاری، توسط تسمه نقاله به قطارهای حمل خاک که در پشت ماشین قرار دارند، به سمت عقب هدایت می‌شود. پس از آن، قطعات پیش‌ساخته بتنی توسط ماشین نصب می‌گردد.



شکل شماره ۵-۷: تونل حفر شده با استفاده از ماشین حفار

۵-۳-۲. وسعت شبکه

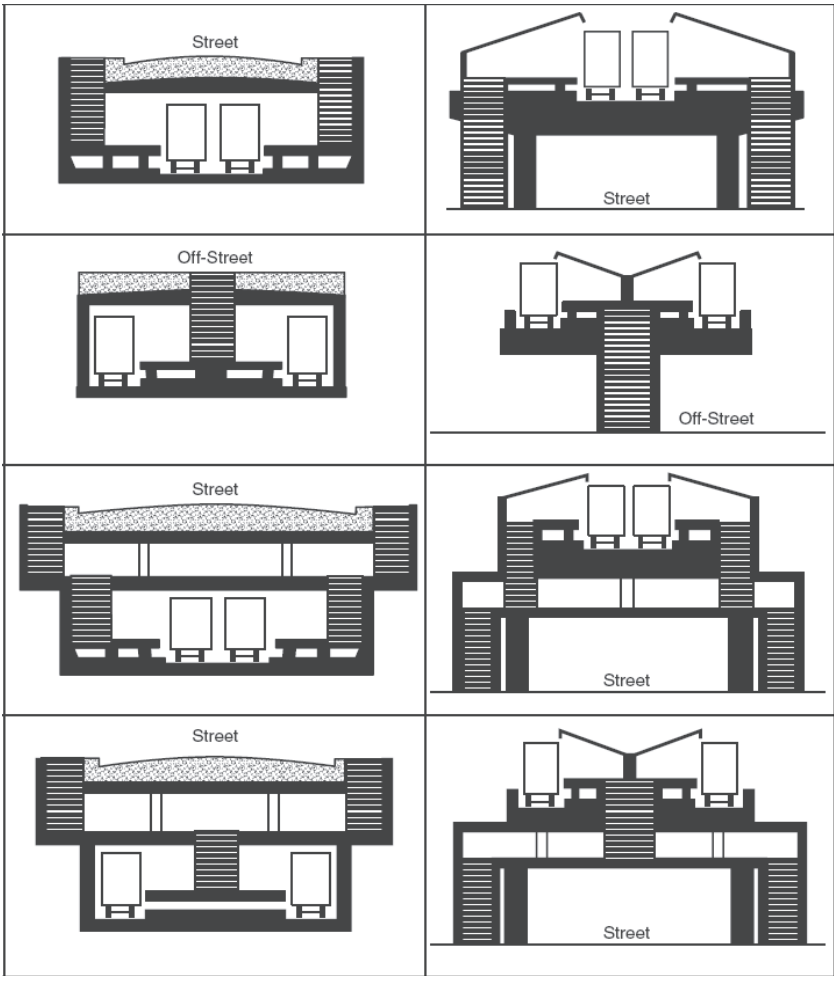
سیستم‌های مترو از نظر وسعت شبکه و فواصل بین ایستگاه‌ها می‌توانند از یک خط متـروی محلی در محدوده متراکم شهری با ایستگاه‌های نزدیک به هم (مانند برلین، مادرید، پاریس و فیلادلفیا) تا خطوط حومه‌ای که شبیه سیستم‌های ریلی حومه‌ای هستند و فقط در بعضی ایستگاه‌ها توقف می‌نمایند (مانند سانفرانسیسکو و واشنگتن) و سرعت بیشتری دارند، متغیر باشند.

شکل شماره ۵-۸: شبکه متروی شهر پاریس

شکل شماره ۵-۹: شبکه متروی شهر سانفرانسیسکو

۵-۳-۳. ایستگاه‌ها

مشتریان مترو راجع به کیفیت مترو با توجه به کیفیت ایستگاه‌های آن قضاوت می‌کنند. همچنین راجع به کیفیت عملیات ساختمانی ایستگاه‌ها با توجه به فاصله لبه سکو و لبه قطار می‌توان قضاوت نمود. به طور کلی دو نوع ایستگاه با توجه به خصوصیات سکوهای انتظار وجود دارند. در شکل (۵-۱۰) انواع ایستگاه‌ها نشان داده شده است[۸].



شکل شماره ۵-۱۰: انواع سکوهای انتظار

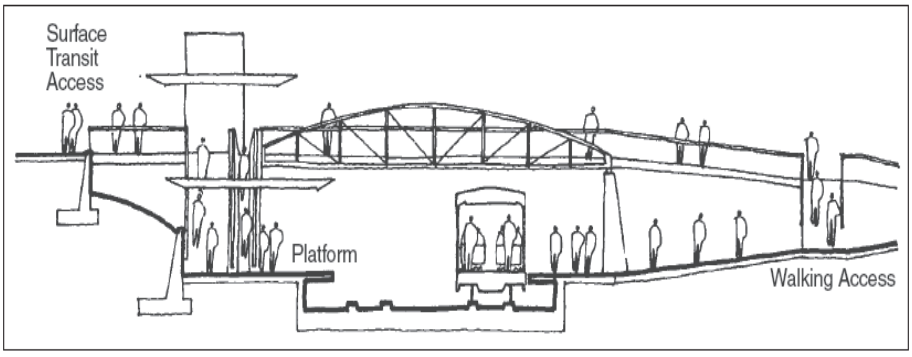
۵-۳-۳-۱. سکوهای مرکزی[1]

1. Central platforms

در این ایستگاه‌ها، قطارها در دو طرف سکوها توقف می‌نمایند. فضاها متراکم‌تر است و هزینه‌های احداث کمتر است. این نوع ایستگاه‌ها در مواردی که حجم مسافران مخصوصا در ساعات اوج زیاد است مناسب نیستند چون تفکیک جریان حرکتی مردم دشوار است. همچنین اگر ایستگاه نزدیک به سطح خیابان باشد، دسترسی مردم از سطح خیابان به سکوهای وسط بسیار دشوار است.

۵-۳-۳-۲. سکوهای کناره‌ای[1]

در ایستگاه‌های واقع در مراکز تجاری شهرها با حجم بالای مسافر، این نوع ایستگاه پاسخ بهتری به نیازهای حرکتی مردم می‌دهد. جریان مسافران از مسیرهای عریض با استفاده از پله یا راه پله‌های برقی عبور می‌نماید. در این نوع ایستگاه‌ها باید تابلوهای واضحی برای اطلاع‌رسانی مناسب به مردم راجع به جهت حرکت قطارها در هر یک از سکوها نصب شوند. در شکل (۵-۱۱) نمونه‌ای از این ایستگاه‌ها نشان داده شده است.



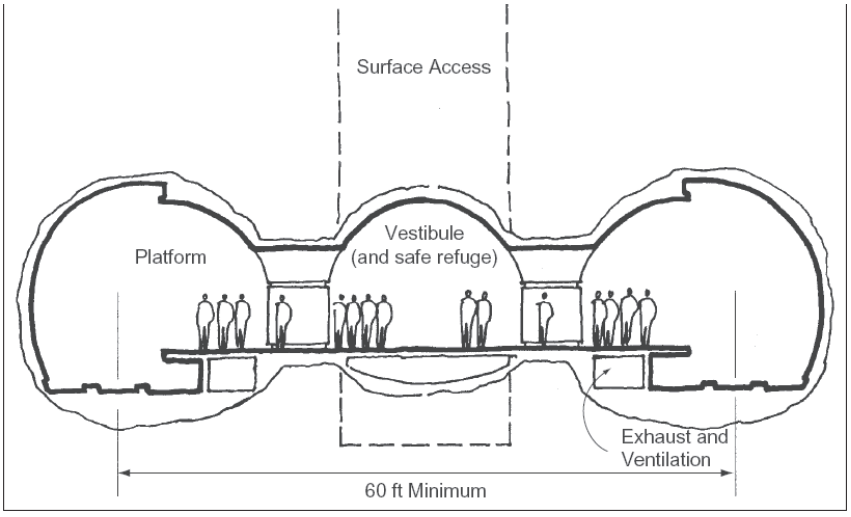
شکل شماره ۵-۱۱: نمونه‌ای از سکوهای کناره‌ای

1. Side platforms

۵-۳-۴. تسهیلات رفاهی

۵-۳-۴-۱. سیستم تهویه[1]

از انجاکه در فضای محبوس ایستگاه‌های زیرزمینی کیفیت هوا می‌تواند به سرعت نامناسب شود، تامین سیستم گردش هوای تازه در ایستگاه‌ها ضروری است. اگرچه در بسیاری از موارد عملکرد پیستونی قطار هنگام ورود و خروج از تونل به ایستگاه، هوای ایستگاه را تعویض می‌نماید، اما با این وجود سیستم تهویه هوا مخصوصاً در ایستگاه‌های با عمق زیاد مانند آنچه در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده است، ضروری است[۸].



شکل شماره ۵-۱۲: نمونه‌ای از محل قرارگیری تاسیسات تهویه هوا

1. Ventilation

در ایستگاه‌های هوایی مشکل برعکس است و باید ایستگاه‌ها را در برابر شرایط جوی و جریان شدید هوا محافظت نمود.

۵-۳-۴-۲.گرمایش و سیستم تهویه مطبوع[1]

در سیستم مترو باید درجه حرارت و کیفیت هوا در تمام فصول سال مناسب باشد. البته در طراحی سیستم گرمایشی باید به گرمای تولید شده به علت حرکت قطارها و مردم توجه نمود چراکه عدم توجه به آن می‌تواند مشکل‌ساز باشد چنان‌که در سیستم متروی مونترال این اتفاق افتاد و سیستم گرمایشی به صورت اضطراری تعویض شد. امروزه چگونگی تامین سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی برای قطارها، سکوها و فضاهای انتظار مورد بحث و اختلاف نظر است چراکه با توجه به وجود نقاط زیاد فرار هوا، طراحی سیستم مناسب کار راحتی نیست.

۵-۳-۴-۳. روشنایی[2]

تأمین سطح مناسبی از روشنایی برای ایجاد حس امنیت در مسافران ضروری است. همچنین آن‌ها باید بتوانند تابلوهای مختلف را به راحتی بخوانند. فضای تونل‌ها می‌توانند تاریک طراحی شوند. در تمام دنیا تنها شهری که استانداردهای فوق را رعایت نکرده است شهر واشنگتن است که در سکوهای انتظار نورپردازی تاریک روشن ارایه نموده است.

1. Heating and Air conditioning
2. Lighting

۵-۳-۴-۴. سرویس‌های بهداشتی

اگرچه برای رفع نیازهای طبیعی انسان، تمام فضاهای عمومی باید مجهز به سرویس بهداشتی باشند اما ارایه چنین تسهیلاتی در مترو، وظایف امنیتی و تعمیر و نگهداری خاص مربوط به خود را به همراه دارد. لذا ارایه دهندگان سیستم مترو اغلب مایل به ارایه چنین تسهیلاتی در مترو نیستند.

۵-۳-۵. کنترل آلودگی صوتی[1]

قطارهای چرخ لاستیکی آلودگی صوتی کمتری ایجاد می‌نمایند. چنین قطارهایی در ۴ خط متروی پاریس و همچنین در شهرهای لیون، مونترال، مکزیکوسیتی و سانتیاگو به بهره-برداری رسیده‌اند. اگرچه این نوع قطارها آلودگی صوتی کمتری دارند ولی خطر آتش‌سوزی را افزایش می‌دهند. قطارهای چرخ فلزی هم اگر به طور مناسبی ساخته شده باشند نباید آلودگی صوتی زیادی داشته باشند. ساخت مناسب به معنای اتصالات مکانیکی خوب پیچ شده، چرخ‌های کاملاً دایره‌ای شکل فلزی، موتورهای با کیفیت مناسب و یاطاقان‌های روغن‌کاری شده است.

۵-۳-۶. صندلی‌ها

1. Noise control

از آنجا که زمان انتظار در ایستگاه‌ها ممکن است زیاد باشد، نیمکت‌ها و صندلی‌های واقع در سکوهای انتظار باید از کیفیت مناسبی برخوردار باشند. البته در بعضی شهرها مانند مسکو به علت سرفاصله کم بین قطارها چون زمان نشستن در ایستگاه‌ها بسیار کوتاه است نیازی به ارایه صندلی‌های با کیفیت بالا حس نمی‌شود. در بعضی دیگر از شهرها مانند نیویورک و پاریس به علت وجود جمعیت زیاد افراد بی‌خانمان که در ایستگاه‌های مترو می‌خوابند، به قصد سعی می‌شود نیمکت‌ها کیفیت مناسبی نداشته باشند.

۵-۳-۷. سیستم‌های ارایه اطلاعات[1]

به جز مسافرانی که هر روز یک مسیر مشخص را با مترو سفر می‌کنند، بقیه مسافران از بعد از محل تهیه بلیط، در سکوها و در قطار نیاز به اطلاعات و راهنمایی دارند. چنین نیازی مخصوصاً در شبکه‌های پیچیده مترو واضح‌تر است. سیستم ارایه اطلاعات در مترو شامل موارد زیر می‌شود: نقشه‌هایی‌که کل شبکه را نشان می‌دهند، اعلام ایستگاه‌ها از بلندگوها و نقشه‌هایی که توالی ایستگاه‌ها را در طول مسیر، نقاط تعویض خط و جذابیت‌های اطراف هر ایستگاه را نشان می‌دهند.

۵-۳-۸. ایمنی[2]

اکثر مسافران مترو نگران تهدید امنیت شخصی خود از جانب مجرمان و همچنین تهدید ایمنی خود به علت آتش‌سوزی و تصادف هستند. تعمیر و نگهداری مناسب تجهیزات، در

1. Orientation and information system
2. Safety

دسترس بودن تجهیزات اضطراری، تمیزی و نظم سیستم، آموزش مناسب پرسنل و وجود ابزارهای ارتباطی مناسب با نیروهای امنیتی از جمله موارد تامیت ایمنی و امنیت در سیستم مترو هستند. یکی از موارد اساسی تامین ایمنی سیستم مترو، ساخت سالن‌های انتظاری است که به سرعت و با ایمنی مخصوصا هنگام وقوع آتش‌سوزی قابل تخلیه اضطراری باشند. تونل‌ها ممکن است پر از دود شوند که با توجه به وجود خطوط برق ولتاژ بالا در تونل، تهدیدی برای مردم محسوب می‌شوند. لذا پیاده‌روهای جانبی در کناره‌های تونل و همچنین سیستم تهویه در تونل باید وجود داشته باشند.

یکی دیگر از مشکلات ایمنی در ایستگاه‌ها، افرادی هستند که سهواً و یا عمداً خود را جلوی قطاری می‌اندازند که به ایستگاه وارد می‌شود. این مشکل می‌تواند توجیه مناسبی برای ساخت مانع و محافظ در لبه سکوها باشد. البته ساخت چنین محافظ‌هایی مشکلاتی مانند امکان حبس مردم در فضای بین سکو و قطار و همچنین نیاز به توقف دقیق قطار برای تطبیق محل درها را به همراه دارد.

از جمله دیگر مشکلات امنیتی، وجود مجرمان و خرابکاران در سیستم مترو است. برای مقابله با چنین افرادی مؤثرترین راه حضور پلیس با لباس رسمی در ایستگاه‌ها و در قطارهاست که البته هزینه زیادی در بردارد. امروزه رایج‌ترین روش تامین امنیت استفاده از تلویزیون‌های مدار بسته است. همچنین می‌توان از ابزارهای ارتباطی دوطرفه استفاده نمود که امکان حضور سریع پرسنل مسئول را در محل فراهم می‌نمایند. علی‌رغم تمام موارد فوق، باید گفت که سیستم مترو ایمن‌ترین و قابل اطمینان‌ترین سیستم ریلی است[۸].

۵-۳-۹. سیستم‌های کنترل[1]

بعضی از سیستم‌های قدیمی مترو (مانند متروی شهر نیویورک) هنوز به سیستم علامت-دهی[2] مشابه قرن نوزدهم وابسته هستند که نیاز به فردی همیشه هوشیار در واگن جلو دارد. علت حفظ چنین سیستمی در مترو، هزینه‌های میلیارد دلاری تامین سیستم‌های کنترل پیشرفته است. پیشرفت‌های عمده در سیستم‌های کنترل در زمان بهره‌برداری از سیستم متروی شهر سانفرانسیسکو حاصل شد. سیستم‌های کنترل متروی این شهر مجهز به روش‌های دقیقی برای مکان‌یابی قطارها هستند که اطلاعات لازم را برای مرکز کنترل قطارها فراهم می‌نمایند. وظیفه اصلی سیستم، تامین فاصله مناسب بین قطارها و کنترل سرعت آن‌ها است. یک سیستم کنترل دقیق و قابل اطمینان امکان کاهش سر فاصله بین قطارها و در نتیجه افزایش ظرفیت خط را فراهم می‌نماید.

تمام شبکه‌ها و مسیرهای جدید مترو (مانند توسعه خط جوبیلی[3] در شهر لندن) با استفاده از حسگرهایی که موقعیت دقیق قطار را مشخص می‌کنند از فناوری کنترل خودکار بهره می‌برند. مراکز فرمان تمام عملکردهای قطار (مانند سرعت، فاصله و برنامه زمان‌بندی) را تحت فرمان دارند و دستورالعمل‌های در لحظه، واگن پیشران هر قطار را هدایت می‌کنند. راننده قطار در واگن پیشران در واقع نقش نظارتی دارد و البته توان غلبه بر کنترل خودکار قطار را نیز دارد. به هر حال برای جلوگیری از یکنواختی، بعضی فرمان‌های قطار ممکن است توسط راننده اعمال شوند (مانند نظارت بر وضعیت خط، بعضی اعلام‌های صوتی فضای داخل قطار و اعمال فرمان بر درهای قطار).

1. Control systems
2. Signaling
3. Jubilee

اصطلاح کلی برای سیستم‌های کاملی که بر تمام وجوه قطار فرمان می‌رانند، عملیات خودکار قطار[1] است. به عنوان زیر مجموعه‌های عملیات خودکار قطار می‌توان به کنترل خودکار قطار[2] که ایمنی حرکت قطار را از ابتدا تا انتها تامین می‌نماید، محافظت خودکار قطار[3] که محافظ ایمنی قطار در برابر تصادفات، افزایش سرعت‌ها و سایر خطرات است و همچنین به نظارت خودکار قطار[4] که بر قطارها، برنامه‌های زمان‌بندی و انتخاب مسیر قطارها نظارت می‌کند، اشاره نمود[۸].

۵-۳-۱۰. نیروی محرکه[5]

بهره‌برداری از سیستم مترو به نیروی الکتریکی وابسته است که توسط ریل سوم تامین می‌شود. هر واگن متحرک یا واحد چندگانه‌ای، پایه‌های لغزنده‌ای روی این ریل سوم دارد که انرژی الکتریکی را برداشت می‌کند. ولتاژ برق سیستم مترو بین ۶۰۰ تا ۷۵۰ ولت مستقیم و حتی بیشتر (هنگ کنگ از برق ۱۵۰۰ ولت مستقیم استفاده می‌کند) است که برای انسان بسیار خطرناک است. بدیهی است که سیستم تامین انرژی متکی بر ریل سوم فقط وقتی می‌تواند اجرایی شود که هیچ فرد غیرمجازی نتواند به محدوده ریل‌ها دسترسی داشته باشد. در مواقعی که امکان اعمال چنین محدودیت ترددی وجود نداشته باشد، انرژی الکتریکی به جای ریل سوم توسط سیم‌های بالاسری واگن‌ها باید تامین شود. چنین

1. Automatic train operation (ATO)
2. Automatic train control (ATC)
3. Automatic train protection (ATP)
4. Automatic train supervision (ATS)
5. Power supply

سیستمی در تعیین ابعاد تونل مؤثر است چرا که وجود این سیستم‌ها روی واگن‌ها نیاز به تونلی با ارتفاع بیشتر دارد[۸].

۵-۳-۱۱. ناوگان[1]

اگر چه خصوصیات ناوگان همه متروها مشابه است ولی به علت این‌که این ناوگان‌ها به صورت سفارشی برای بهره‌برداری در کشورهای مختلف ساخته می‌شوند، بعضاً تفاوت‌هایی دارند. این تفاوت‌ها بیشتر در ابعاد کلی، تعداد و محل درها، وجود امکان گذر طولی بین واگن‌ها و تعداد چیدمان صندلی‌ها در واگن هاست. متروی شهر لیون قطارهایی با سه واگن ۱۸ متری دارد در حالی که سیستم متروی بارت شهر سانفرانسیسکو قطارهایی با ۱۰ واگن با طول ماکزیمم ۲۱ متر دارد. کوتاه‌ترین قطار مترو در خط پاتکو در شیفت شب در شهر فیلادلفیا خدمت می‌کند که دارای یک تک واگن ۲۱ متری است. در شکل (۱) نمونه‌هایی از انواع واگن‌های مترو در شهرهای مختلف نشان داده شده است.

ظرفیت واگن مجموع تعداد فضای ایستادن و نشستن موجود است. طول واگن ها بین ۱۵/۲ تا ۲۶ و عرض آن‌ها بین ۲/۹ تا ۳/۲ متر متغیر است. معمولاً در قطارهای سیستم-های مترو با تعداد مسافر زیاد بیشتر فضای واگن به ایستادن و فضای کمتری به صندلی‌ها تعلق می‌گیرد. معمولاً هر فضای نشستن حداقل ۰/۳ و هر فضای ایستادن حداقل ۰/۲ مترمربع مساحت نیاز دارد. اما به هر حال مساحت مورد نیاز فضای نشستن بین ۰/۲۷ تا۰/۵۳ و مساحت مورد نیاز فضای ایستادن بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۷ مترمربع متغیر است.

1. Rolling stock

بنابراین با فرض ابعاد معمول ۲۳ در ۳/۱ متر و تعداد ۷۴ صندلی، هر واگن ظرفیت ۲۲۵مسافر را خواهد داشت[۸].

۵-۳-۱۲. سرعت عملکردی

این سرعت در خطوط درون‌شهری با فواصل کم بین ایستگاه‌ها حدود ۳۰ کیلومتر بر ساعت و در خطوط حومه‌ای با فاصله زیاد ایستگاه‌ها حدود ۶۰ کیلومتر بر ساعت است. در بعضی مواقع در متروهای حومه‌ای، سرعت عملکردی ممکن است به ۸۰ کیلومتر برساعت هم برسد.

۵-۳-۱۳. ظرفیت و برنامه زمان‌بندی[1]

تجربه نشان می‌دهد سیستم مترو می‌تواند به سر فاصله‌های ۹۰ ثانیه‌ای هم برسد. ولی هیچ سیستم مترویی نمی‌تواند سرفاصله به این کوتاهی را برای مدتی طولانی حفظ نماید چرا که در چنین شرایطی تمام اجزای سیستم به سرعت فرسوده می‌شوند.

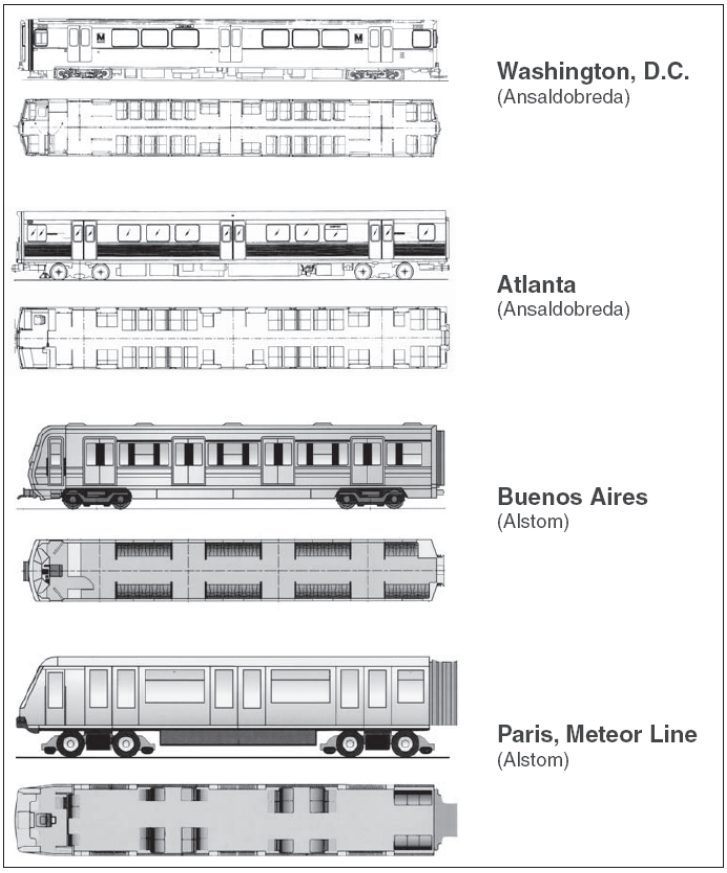
اگر در ساعت در خط ۴۰ قطار ۱۰ واگنه که هر واگن ظرفیت ۲۵۰ مسافر را دارد حرکت کنند، ظرفیت آن خط ۱۰۰۰۰۰ مسافر در ساعت در جهت خواهد بود. چنین تصویری فقط در حد تئوری است چرا که در شرایط واقعی فراهم ساختن ملزومات چنین خدمت‌دهی بسیار دشوار است.

1. Scheduling and Capacity

البته سیستم متروی هنگ کنگ حدود ۸۰۰۰۰ مسافر را در ساعت جابجا می‌نماید. در این سیستم هر قطار ظرفیت ۲۷۰۰ مسافر را دارد و قطارها با سر فاصله‌های ۲ دقیقه‌ای حرکت می‌کنند.

با فرض حرکت ۳۰ قطار ۱۰ واگنه در ساعت روی یک خط و همچنین با فرض منطقی حضور ۲۰۰ مسافر در هر واگن در ساعت اوج، خط مترو ظرفیت ۶۰۰۰۰ مسافر در ساعت در خط را خواهد داشت. چنین عملکردی کاملاً ممکن است چنان‌که سیستم متروی نیویورک چند سال گذشته که سرفاصله‌های کوتاه‌تری داشت، چنین ظرفیتی را ارایه می‌داد.

اما یک سناریوی معمولی، وجود سر فاصله‌های ۵ دقیقه‌ای و قطارهای ۸ واگنه و حضور ۱۸۰ مسافر در هر واگن است که ظرفیت ۱۷۲۸۰ مسافر در ساعت در خط را ارایه می‌دهد. هر سیستمی می‌تواند حتی با ظرفیت کمتر از عدد فوق هم خدمت‌دهی نماید اما در چنین شرایطی هیچ دلیل منطقی برای اولویت اول بودن گزینه احداث مترو وجود نخواهد داشت، بلکه احتمالاً سیستم قطار سبک شهری یا اتوبوس تندرو مد نظر قرار خواهند گرفت[۸].



شکل شماره ۵-۱۳: انواع واگن‌ها و چیدمان فضای داخلی قطارهای مترو

۵-۳-۱۴. هزینه‌های احداث

این هزینه‌ها عمدتاً بستگی به تراز عمودی مسیر و همچنین شرایط محلی دارد. به طور کلی کمترین هزینه‌ها مربوط به مسیرهای در سطح زمین است مخصوصاً اگر دالان عبوری از پیش وجود داشته باشد (مثلاً میانه عریض آزادراه‌ها). وقتی مترو بخواهد به صورت هوایی احداث شود هزینه‌های احداث ۲ تا ۴ برابر گران‌تر می‌شود. به همین ترتیب اگر مترو

بخواهد زیرزمینی احداث شود متوسط هزینه‌ها ۲ تا ۳ برابر گران‌تر از متروی هوایی خواهد شد.

بخش اعظم هزینه‌های متروهای زیرزمینی مربوط به احداث ایستگاه‌هاست. باید توجه داشت که هزینه‌های سرمایه‌گذاری انواع سیستم‌های مترو با توجه به وجوه عملکرد خطوط (تونل‌ها مزیت حفاظت آب و هوایی دارند) و همچنین با توجه به مطلوبیت مسیرهای جایگزین، سنجیده شوند. در خیلی از موارد، مستقیم‌ترین مسیری که به محدوده‌های متراکم کاربری‌های شهری خدمت‌رسانی می‌کند، گران‌ترین هزینه‌های احداث را در بردارد اما در عوض بیشترین منافع همیشگی را برای شهروندان و شهر به همراه دارد. به عبارت دیگر، مسیرهایی که کمترین هزینه‌های احداث را دارند ممکن است نامطلوبترین مسیرها برای مسافران باشند.

نمونه‌های خوبی برای شرح بهتر مطلوبیت مسیر، متروهای عبوری از میانه آزادراه‌ها هستند. با فرض طراحی صحیح، آزادراه‌ها از کنار و بین محدوده‌های عمده کاربری‌های شهری (مرکز تجاری شهر، شهرهای حومه‌ای و غیره) عبور می‌نمایند و طبق تعریف با خطوط تمایل سفر حمل‌ونقل همگانی هم مسیر نیستند. به عکس مترو باید در حالت بهینه در امتداد خیابان‌ها و بلوارهایی احداث شود که عمده فعالیت‌های شهری در آن‌ها مستقر هستند. این در واقع حیاتی‌ترین مشخصه مترو است که توان رقابت با توسعه پراکنده شهر خودرو محور را به این سیستم می‌دهد. لذا امتداد بهینه مترو و آزادراه‌ها بر هم منطبق نیستند. اما به هر حال مترو می‌تواند از فضای میانه آزادراه‌های شعاعی تا لب مرز محدوده‌های پرتراکم استفاده نماید و از آن به بعد با ترک میانه آزادراه وارد تونل شده و به قلب شهر وارد شود. نمونه‌هایی از این نوع مسیر مترو در خط خلیج کنکورد شهر سانفرانسیسکو و خط فرودگاه اوهاره شهر شیکاگو مشاهده می‌شود[۸].

۴-۵. سیستم متروی بانکوک (قطار هوایی بانکوک)

مترو در شهرهای درحال‌توسعه حدود ۱۱ میلیارد مسافر را در سال ۲۰۰۰ جابجا نمود. یعنی بیش از دو برابر تعداد مسافرانی که با قطارهای حومه‌ای و بیش از چهار برابر تعداد مسافرانی که با قطار سبک شهری جابجا شدند. هم مترو و هم قطارهای حومه‌ای به علت سرعت بالا نیاز به مسیرهای با حق عبور ویژه و ایمن دارند[۲۷].

برای تامین چنین مسیرهای ویژه‌ای، بسیاری از سیستم‌های مترو به صورت زیرزمینی یا هوایی ساخته می‌شوند که موجب افزایش شدید هزینه‌ها می‌شود. اگر چه سیستم مترو در شهرهای با تراکم جمعیتی زیاد مانند هنگ‌کنگ و سائوپولو، ممکن است بتواند هزینه-های عملیاتی خود را پوشش دهد ولی به طور طبیعی این سیستم ریلی نیاز به یارانه‌های دولتی دارد. یک سیستم موفق مترو همچنین نیاز به تجمیع با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل موجود در شهر و وجود تراکم کاربری‌های شهری اطراف ایستگاه‌ها دارد.

سیستم مترو در بسیاری از شهرهای درحال‌توسعه مانند بانکوک، سانتیاگو درشیلی، کوالالامپور، سائوپائولو، بوینس‌آیرس، مکزیکو سیتی، قاهره، مانیل، شانگهای و هنگ‌کنگ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در این قسمت برای نشان دادن نقاط قوت و ضعف سیستم مترو در شهرهای درحال‌توسعه، جزییات بیشتری از این سیستم در شهر بانکوک ارایه می‌شود.

۵-۴-۱. معرفی سیستم

در دهه ۱۹۹۰ سه طرح حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر در شهر بانکوک پایه‌ریزی شد[۲۷] :

۱. سیستم حمل‌ونقل همگانی بانکوک[1] (قطار هوایی بانکوک[2]) که توسط مدیریت شهر بانکوک آغاز شد.

۲. پروژه ناموفق ریلی هوایی هپ‌ول[3] که توسط وزارت حمل‌ونقل و ارتباطات آغاز شد.

۳. خط آبی که توسط اداره حمل ونقل همگانی سریع آغاز شد (۲۰ کیلومتر خط ریلی زیرزمینی که هنوز در مراحل طراحی و اتصال به سیستم قطار هوایی بانکوک و حومه شهر قرار دارد).

سیستم قطار هوایی بانکوک که در اواخر سال ۱۹۹۹ به بهره‌برداری رسید یک سیستم ریلی سنگین هوایی است که از بالای تعدادی از متراکم‌ترین مناطق تجاری شهر عبور می‌کند. این سیستم ظرفیت حدود ۴۵۰۰۰ مسافر در ساعت در جهت دارد. قطارهای این سیستم با سرفاصله‌های زمانی ۵ تا ۷ دقیقه و از ساعت ۶ صبح تا نیمه‌شب خدمت‌دهی می‌نمایند. البته در ایام خاصی مانند دهه اول سال سرفاصله‌های زمانی به حتی ۲ دقیقه هم می‌رسد و مدت زمان خدمت‌دهی هم افزایش می‌یابد. سیستم قطار هوایی بانکوک ۲ خط به مجموع طول ۲۳/۱ کیلومتر و ۲۳ عدد ایستگاه دارد. این دو خط در ایستگاه مرکز شهر از روی یکدیگر عبور می‌نمایند.

1. Bangkok Transit System (BTS)
2. Bangkok Skytrain
3. Hopewell

شکل شماره ۵-۱۴: سیستم قطار هوایی بانکوک

۵-۴-۲. کرایه، تعداد مسافر و هزینه‌های بهره‌برداری[1]

کرایه این سیستم بین ۰/۳۷ تا ۱ دلار آمریکا است. این قیمت حتی در مقایسه با کرایه اتوبوس‌های دارای سیستم تهویه مطبوع که بین ۰/۱۱ تا ۰/۵ دلار آمریکا است، به نسبت گران است.

تعداد مسافران این سیستم در سال اول فقط یک چهارم تعداد پیش‌بینی شده بود. حتی با وجود افزایش تعداد سفرهای روزانه به ۱۶۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ سفر در روز در دو سال اول بهره‌برداری (تعداد متوسط ۲۸۰۰۰۰ مسافر در یک روز از ماه اکتبر سال ۲۰۰۲) باز این رقم حدود یک‌سوم تعداد پیش‌بینی شده بود. چنین تعداد ناامیدکننده‌ای از مسافران در سیستم‌های جدید ریلی شهرهای کوالالامپورو مانیل هم ثبت شده است. انتقال ۱۰ درصدی استفاده‌کنندگان از خودروی شخصی به سیستم قطار هوایی بانکوک، آمار به نسبت خوبی

1. Fares, ridership and operating costs

است. نکته جالب در مورد سفرهای انجام شده با سیستم قطار هوایی بانکوک این است که حدود یک سوم کل سفرهای انجام شده با این سیستم سفرهای جدید است. یعنی تقاضای پنهانی که با ارایه یک سیستم حمل‌ونقل همگانی مناسب خود را بالفعل کرده است.

اما به هر حال همراه با افزایش تراکم کاربری‌های شهری اطراف ایستگاه‌های سیستم قطار هوایی، دشوارتر شدن حرکت ترافیک خیابانی در مرکز شهر، افزایش یکپارچگی سیستم قطار هوایی با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری و توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر تکمیلی، تعداد مسافران سیستم قطار هوایی بانکوک باید روزبه‌روز افزایش یابد.

علی‌رغم تعداد مسافران کم این سیستم در آغاز، یکی از سرمایه‌گذاران سیستم طی مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۱ دریافت که: «سیستم قطارهوایی بانکوک از طریق کرایه تمام هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری خود را پوشش می‌دهد. ضمن این‌که با ایجاد کاربری‌های تجاری در ایستگاه‌های خود، حجم قابل توجهی از بازگشت سرمایه را تجربه می‌کند»[۲۷].

۵-۴-۳. یکپارچگی با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل

یکپارچگی و هماهنگی سیستم قطار هوایی بانکوک با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل این شهر ضعیف است که این خود یکی از عوامل اصلی تعداد کم مسافران این سیستم است. موسسه حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بر بانکوک که تامین کننده اصلی سرویس‌های اتوبوس شهری است، بسیار آهسته خدمت‌رسانی می‌کند.

لذا مدیریت سیستم قطار هوایی بانکوک خود در تلاش است تا سرویس‌های اتوبوس تکمیلی مورد نیاز خود را ایجاد نماید اما چنین تلاشی با محدودیت‌های جدی مواجه است.

اما متأسفانه بعضی از فرصت‌های ایجاد یکپارچگی بین سیستم قطارهوایی بانکوک و سایر سیستم‌ها ازدست رفت. به عنوان مثال یکپارچگی با خط اتوبوس شمالی که به فاصله ۲ کیلومتری از ترمینال جدید الاحداث اتوبوس، به پایان می‌رسد. این دو خط می‌توانستند به راحتی با یک خط اتوبوس تکمیلی یا یک مسیر پیاده‌روی مناسب به هم متصل شوند.

ضمن آن‌که در ایستگاه های سیستم قطارهوایی، تسهیلات مناسب برای دوچرخه‌سواران یا ارایه نشده است یا اگر ارایه شده است نامناسب است (مانند تسهیلات دوچرخه سواری که در ایستگاه اکامای[1] ارایه شده است)[۲۷].

۵-۴-۴. ناوگان

۳۵ قطار سه واگنه با طول ۶۵/۱ متر در حال خدمت‌دهی در خطوط سیستم قطار هوایی بانکوک هستند. کیفیت، تمیزی و قابلیت اطمینان سیستم همگی در حد بسیار مناسب هستند. قطارهای سه واگنه در آینده در ساعات اوج می‌توانند تبدیل به قطارهای ۶ واگنه شوند[۲۷].

۵-۴-۵. نیاز به توسعه

تقریباً تمامی شهرهایی که از سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی ریلی سریع استفاده می‌نمایند، با نرخ رشد بالایی توسعه پیدا می‌کنند. بنابراین سیستم مترویی که به علت هزینه‌های سنگین احداث، فقط در یک یا دو خط کوتاه مورد بهره‌برداری قرارگرفته است، به زودی تحت فشار برای توسعه و سرویس‌دهی به سایر مناطق شهر قرار می‌گیرد. چنین اتفاقی در

1. Ekkamai Station

بانکوک نیز افتاده است. توسعه سیستم قطار هوایی بانکوک در سال ۱۹۹۹ کلید خورد و عملیات ساختمانی آن آغاز شد. اما سرعت پیشرفت پروژه به علت هزینه‌های بالا و پیچیدگی‌های موجود به آهستگی پیش می‌رود. طول چهار خط توسعه در مجموع ۳۳/۴ کیلومتر است[۲۷].

خلاصه

در این فصل مترو به عنوان سیستم حمل‌ونقل همگانی انبوه‌بری معرفی شدکه از قطارهای الکتریکی با ظرفیت بالای جابجایی مسافر بهره می‌برد. این سیستم دارای بالاترین عملکرد در بین سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی است که کمترین هزینه‌های عملیاتی را در هر کیلومتر دارد. اجرای این سیستم، سرمایه‌گذاری بسیار زیاد و عملیات ساخت طولانی مدت نیاز دارد. سپس مقایسه‌ای بین سیستم مترو و سیستم قطار سبک شهری انجام شد. از جمله برتری‌های مترو تصویر متمایز ایستگاه‌ها و عملکرد سیستم معرفی شد که بالاترین پتانسیل تأثیرگذاری مثبت بر توسعه شهر را دارد و از جمله نقاط ضعف مترو به نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بیشتر و عملیات ساخت و ساز بلندمدت‌تر اشاره شد.

در ادامه انواع مسیرهای مترو و انواع روش‌های احداث تونل مترو معرفی شد. سپس راجع به وسعت شبکه و انواع سکوهای انتظار ایستگاه‌های مترو مباحثی ارایه شد.

همچنین به معرفی تسهیلات رفاهی لازم برای سیستم مترو پرداخته شد که از جمله این تسهیلات می‌توان به سیستم تهویه، گرمایش و سیستم تهویه مطبوع، سیستم روشنایی و سرویس‌های بهداشتی اشاره نمود.

سپس با ارایه مطالبی راجع به آلودگی صوتی انواع سیستم‌های مترو و کیفیت صندلی‌های آن‌ها به معرفی سیستم‌های ارایه اطلاعات پرداخته شد.

بدیهی است که ایمنی و امنیت به عنوان دو شاخص مهم از سیستم مترو باید مورد توجه ویژه قرار گیرند. لذا سیستم‌های کنترل معرفی شدند و نکات لازم برای تأمین امنیت مسافران هنگام استفاده از سیستم مترو شرح داده شدند.

بعد از معرفی نیرو محرکه، ناوگان، سرعت عملکردی، ظرفیت و برنامه زمان‌بندی، به طور اختصار راجع به هزینه‌های مربوط به سیستم مترو توضیحاتی داده شد و در نهایت سیستم متروی شهر بانکوک به عنوان نمونه موردی توصیف شد.

خودآزمایی

۱. نقاط قوت و ضعف مترو و قطار سبک شهری را نسبت به هم مقایسه نمایید.
۲. انواع مسیرهای مترو را نام ببرید.
۳. انواع روش‌های حفر تونل را شرح دهید.
۴. خصوصیات انواع سکوهای انتظار در ایستگاه‌های مترو را شرح دهید.
۵. روش‌های تأمین ایمنی و امنیت در ایستگاه‌های مترو کدامند؟
۶. عملیات اتوماتیکی قطار چیست و زیرمجموعه‌های آن کدامند؟
۷. به چند مورد از خصوصیات اصلی سیستم متروی شهر بانکوک اشاره نمایید.

فصل ششم

اتوبوس تندرو

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. معرفی سیستم اتوبوس تندرو

۲. شناسایی اجزای اصلی سیستم اتوبوس تندرو

۳. آشنایی با کاربرد سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در سیستم اتوبوس تندرو

۴. آشنایی با عملکرد سیستم‌های اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان

۵. آشنایی با سیستم‌های اتوبوس تندروی موفق در آمریکای جنوبی

۶. اتوبوس تندرو

۶-۱. مقدمه

در بیشتر کشورها (خصوصاً کشورهای درحال‌توسعه) لزوم استفاده از تکنولوژی، هزینه زیاد و مدت زمان طولانی ساخت، به موانعی برای احداث سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی درون-شهری حتی در شهرهای پرجمعیت تبدیل شده است. به عنوان مثال کشور چین با این که دارای ۸۶ شهر با جمعیت بین ۱ تا ۵ میلیون نفر و ۵ شهر با جمعیت بالای ۵ میلیون نفر است و در حالی‌که از تکنولوژی ساخت سیستم‌های ریلی برخوردار است فقط در معدودی از شهرهای خود از این سیستم استفاده نموده است. بین کشورهای آسیایی و آفریقایی تنها ژاپن از سیستم‌های ریلی به صورت گسترده استفاده کرده که البته با توجه به بافت متراکم شهرها و ارزش بالای زمین، استفاده از مونوریل و مترو در این کشور از جایگاه متفاوتی نسبت به سایر کشورها برخوردار است. با توجه به این موارد به راحتی می‌توان دریافت که هیچ‌گاه در هیچ نقطه‌ای از دنیا برای رفع نیازهای حمل‌ونقلی، حتی در شهرهای بسیار پرجمعیت، استفاده از سیستم‌های ریلی نباید به عنوان تنها راه حل تلقی شود، بلکه سیستم‌های رقیب و ارزان قیمت دیگری نیز ممکن است مورد توجه قرار گیرند[۲۱].

۶-۲. معرفی سیستم اتوبوس تندروی همگانی

از آنجایی که طراحی و اجرای اجزای سیستم اتوبوس تندرو بسیار گسترده است تعاریف گوناگونی در مورد سیستم اتوبوس تندرو ارایه شده که برخی از آن‌ها در ادامه بیان شده‌اند:

الف) مفهوم سیستم اتوبوس تندرو از دیدگاه اداره حمل‌ونقل همگانی آمریکا[1]:

«سیستم اتوبوس تندرو شامل ترکیبی از تجهیزات، سیستم‌ها و خودروها است که تأثیر و کارآیی خدمات سیستم اتوبوس معمولی را تا حد زیادی برای کاربران افزایش می‌دهد».

ب) مفهوم سیستم اتوبوس تندرو از دیدگاه برنامه تحقیقات هماهنگ حمل‌ونقل[2]:

«سیستم اتوبوس تندرو یک روش سریع حمل‌ونقل همگانی است که با به کارگیری ایستگاه‌ها، خودروهای چرخ لاستیکی، برنامه سرویس‌دهی، مسیرهای حرکتی و سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در یک سیستم ترکیبی، یک مجموعه قدرتمند را برای جابجایی مناسب مسافران تشکیل می‌دهد. اجزای سیستم اتوبوس تندرو با نوع عملکرد و محیط به کارگیری این سیستم قابل تطبیق هستند و این سیستم می‌تواند در مناطق گوناگون به صورت مناسب اجرا شود».

اگرچه زیرساخت‌ها، خودروها و خدمات این سیستم بسیار متنوع هستند اما در مجموع این سیستم خدماتی مشابه حمل‌ونقل ریلی را با کیفیت بالا برای کاربران فراهم می‌نماید. برخی از مزایای این سیستم نسبت به اتوبوس‌های عادی عبارتند از:

۱. کاهش زمان سفر
۲. افزایش قابلیت اطمینان
۳. بهبود جابجایی کاربران و فراهم کردن سرویس‌های مستقیم

1. Federal Transit Aministration
2. Ttansportation Coperative Research Program (TCRP)

۴. کاهش زمان توقف در ایستگاه‌ها و زمان انتظار

۵. بهبود انطباق با محیط اطراف

۶. افزایش راحتی در سفر

۷. افزایش ایمنی و امنیت در سفر

مبدأ پیدایش سیستم اتوبوس تندرو را می‌توان در آمریکای لاتین جستجو کرد، جایی‌که طراحان حمل‌ونقل به دنبال راهکار مناسبی از نظر هزینه برای مقابله با وضع دشوار حمل‌ونقل شهری بودند. افزایش سریع مراکز شهری در آمریکای لاتین در اواسط دهه ۱۹۷۰ مشکلات زیادی را برای مسئولان حمل‌ونقل شهری ایجاد نمود. رشد زیاد مهاجرت به شهرها و افزایش جمعیت شهرها و همچنین وجود منابع محدود مالی باعث شد تا مسئولین و طراحان شهری در آمریکای لاتین با مشکلات عدیده‌ای مواجه شوند و به منظور ارایه راه‌حل برای مشکلات مربوط به حمل‌ونقل، به دنبال یک سیستم جدید حمل‌ونقل شهری باشند. راهکاری که در نهایت مورد تأیید مسئولین امر قرار گرفت ایجاد سیستم اتوبوس تندرو بود، سیستمی که به عنوان متروی زمینی شناخته شد و نسبت به اتوبوس-های معمولی مزایای زیادی را به همراه داشت[۸]. در شکل‌های (۶-۱) و (۶-۲) خط اتوبوس تندرو در شهر بوگوتای کلمبیا نشان داده شده است.

شکل شماره ۶-۱: خط اتوبوس تندرو در شهر بوگوتا

شکل شماره ۶-۲: نمونه‌ای از ایستگاه‌های خط اتوبوس تندرو در شهر بوگوتا

امروزه سیستم اتوبوس تندرو مورد توجه شهرهایی قرار گرفته است که به دنبال راهکارهای اقتصادی برای حل مشکلات ترافیکی خود هستند. در مجموع، سیستم اتوبوس تندرو یک سیستم حمل‌ونقل همگانی با کیفیت بالا است که مسافران را سریع، راحت، ایمن

و از نظر اقتصادی مناسب جابجا می‌کند. سیستم اتوبوس تندرو با اسامی دیگری نیز شناخته می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به سیستم اتوبوس با ظرفیت بالا[1]، سیستم اتوبوس با کیفیت بالا[2]، مترو- اتوبوس[3] و سیستم اتوبوس اکسپرس[4] اشاره نمود. سیستم اتوبوس تندرو بیشتر خصوصیات کیفی متروهای زیرزمینی را به غیر از هزینه بالا دارا است به گونه‌ای که گاهی مواقع از آن به عنوان متروی زمینی نام برده می‌شود.

خصوصیات اصلی سیستم اتوبوس تندرو را می‌توان به شرح زیر دانست:

۱. مسیرهای جداگانه
۲. امکان سوار و پیاده کردن سریع
۳. ایستگاه‌ها و پایانه‌های ایمن، تمیز و راحت
۴. نحوه جمع‌آوری کرایه مناسب
۵. تجربه مناسب و صلاحیت رانندگان
۶. نحوه اطلاع‌رسانی مطلوب
۷. اولویت‌بندی مناسب در تقاطع‌ها

ارایه توضیحات لازم و جزییات مربوط به هر یک از خصوصیات سیستم اتوبوس تندرو نیاز به مجال جداگانه‌ای دارد. در ادامه فقط کلیات مربوط به هر یک از خصوصیات سیستم اتوبوس تندرو آورده شده است.

1. High-Capacity Bus System
2. High-quality Bus System
3. Metro-Bus
4. Express Bus System

۶-۳. شناسایی اجزای اصلی سیستم اتوبوس تندروی همگانی

۶-۳-۱. تفکیک مسیر حرکت

چگونگی تفکیک مسیر حرکت از بقیه ترافیک خودروها اصلی‌ترین پارامتر در طراحی مسیر حرکت است. مسیرهای حرکتی می‌توانند بر اساس میزان دسترسی (نحوه تفکیک مسیر) و یا نوع تسهیلات طبقه‌بندی شوند. در جدول شماره (۶-۱)، یک طبقه‌بندی پیشنهاد شده مسیرهای حرکت از نظر میزان دسترسی ارایه شده است. در این طبقه‌بندی مسیرهای حرکت به ۵ گروه طبقه‌بندی شده‌اند که پیشرفته‌ترین حالت آن خطوط ویژه کاملاً مجزای غیرهم‌سطح (رده I) و ابتدایی‌ترین حالت آن خطوط حرکتی موجود در خیابان‌های شریانی با ترافیک مختلط (رده V) است. در حالت ترافیک مختلط، خودروها مورد استفاده در سیستم اتوبوس سریع می‌توانند بدون تفکیک از خودروها دیگر در هر خیابان شریانی یا بزرگراه‌ها حرکت نمایند. افزایش میزان تفکیک مسیر مانند مسیرهای ویژه در شریانی‌ها، مسیرهای ویژه غیرهم‌سطح و یا خطوط ویژه دارای اولویت عبور باعث افزایش صرفه‌جویی در زمان سفر و افزایش قابلیت اطمینان در خدمات سیستم اتوبوس تندرو می‌شود[۲۶].

در جدول شماره (۶-۲) نیز مسیرهای حرکتی بر اساس نوع تسهیلات طبقه‌بندی شده‌اند که به سه گروه مسیرهای ویژه اتوبوس[1]، آزادراه‌ها و خیابان‌های شریانی تقسیم‌بندی می‌شوند.

1. Bus Ways

جدول شماره ۶-۱: طبقه‌بندی مسیرهای حرکت بر اساس نحوه و میزان تفکیک

رده دسترسی	کنترل دسترسی	نوع تسهیلات
I	جریان غیرمنقطع- کنترل کامل دسترسی	تونل‌های ویژه اتوبوس مسیر ویژه غیرهم‌سطح خطوط ویژه در آزادراه‌ها
II	کنترل منقطع دسترسی	مسیر ویژه هم‌سطح
III	خطوط جداشده فیزیکی در حریم خیابان	مسیر ویژه میانی در شریانی‌ها
IV	خطوط انحصاری/ نیمه انحصاری	خطوط ویژه همسو یا خلاف جهت جریان ترافیک
V	ترافیک مختلط	

جدول شماره ۶-۲: تقسیم‌بندی مسیرهای حرکت بر اساس نوع تسهیلات

نوع تسهیلات	رده دسترسی	مثال
مسیر ویژه اتوبوس:		
تونل ویژه اتوبوس	I	بوستون - سیاتل
مسیر ویژه غیرهم‌سطح	I	اتاوا - پیتزبورگ
مسیر ویژه هم‌سطح	II	میامی - هارتفورد
خطوط آزادراهی:		
خطوط همسو با جریان	I	اتاوا
خطوط خلاف جهت جریان	I	نیوجرسی (رویکرد منتهی به تونل لینکلن)
شیبراهه‌های ویژه اتوبوس یا اولویت‌بندی شده	I	لس آنجلس
خیابان‌های شریانی:		
مسیر ویژه میانی شریانی	III	کوریتیبا - ونکوور
خطوط ویژه کنارگذر	IV	روئن - ونکوور
دو خط ویژه کنارگذر	IV	خیابان مدیسون شهر نیویورک*
خط ویژه داخلی	IV	بوستون
خط ویژه میانی	IV	کلیولند
خط ویژه خلاف جهت جریان	IV	لس آنجلس- پیتزبورگ
ترافیک مختلط	V	لس آنجلس
خطوط فرار از صف[1]	V	لیدز - ونکوور

* برای عبور اتوبوس معمولی

نکات کلی که برای مسیرهای حرکت باید در نظر گرفت به شرح زیر هستند[۷] و[۲۶]:

۱. مسیرهای حرکتی معمولاً به صورت شعاعی طراحی می شوند به طوری‌که مرکز شهر را به مناطق مسکونی یا تجاری حومه متصل می‌نمایند. در بعضی شهرهای بزرگ، مسیرهای حرکتی در صورتی که چند مرکز جذب سفر و مناطق مسکونی را به یکدیگر متصل سازند،

۱. Queue Bypass (Queue Jumper)

در حالتی که به صورت معمول این وظیفه به عهدهٔ چند خط جداگانه اتوبوس معمولی باشد، می‌توانند به صورت شبکه‌ای اجرا شوند. همچنین امتداد مسیرهای حرکتی باید به صورت مستقیم باشد و تعداد گردش‌ها به سمت چپ و راست باید حداقل باشند.

۲. در مسیرهای حرکتی که از مرکز شهر عبور می‌کنند و به مناطق اداری و تجاری شهر خدمات ارایه می‌دهند باید تسهیلاتی وجود داشته باشند تا خدمات مطلوبتری به مسافرانی که در این مناطق سفر خود را آغاز می‌کنند و یا به پایان می‌رسانند، ارایه شود. این تسهیلات باید به گونه‌ای باشند که میزان اطمینان مسافران از خدمات این سیستم را در سطح مطلوبی حفظ نمایند، زمان هدر رفته ناشی از تأخیرات جریان کلی ترافیک را به حداقل برسانند و دسترسی مناسبی را برای افراد پیاده فراهم نمایند.

۳. مسیرهای حرکتی در صورت امکان باید مطابق با خیابان‌هایی باشند که جریان ترافیکی کمی از آن‌ها عبور می‌نمایند. به صورت کلی، سرعت و قابلیت اطمینان حمل‌ونقل همگانی باید از طریق روش‌های مهندسی ترافیک حساس به حمل‌ونقل همگانی، ایجاد خطوط ویژه اتوبوس و یا در بعضی موارد اصلاح معابر افزایش یابد.

۴. مسیرهای حرکتی ویژه (مسیر ویژه اتوبوس، خطوط ویژه اتوبوس و خطوط فرار از صف) در صورت لزوم باید ایجاد شوند. این امر باید زمانی انجام شود که:

۵. تراکم ترافیکی بالایی در مسیر وجود داشته باشد

۶. تعداد اتوبوس‌ها به حد کافی باشند

۷. طرح هندسی مسیر مناسب باشد

۸. رضایت عمومی برای ایجاد چنین تسهیلاتی وجود داشته باشد.

۹. در گلوگاه‌ها و یا در طول مسیر باید اقدامات اولویت‌دهنده‌ای برای اتوبوس‌ها در نظر گرفته شود. در رویکردهایی که به پل‌های عبور از رودخانه، تقاطع‌های اصلی یا دیگر

گلوگاه‌هایی که تراکم ترافیکی بالایی دارند، منتهی می‌شوند مسیرهای فرار از صف می‌توانند نقش مهمی در کاهش تأخیر داشته باشند.

۱۰. مسیرهای حرکت باید جریان مسافران را در طول مسیر با حداقل تأخیر به حداکثر برسانند. در مکان‌هایی که فضایی برای مسیر حرکت سیستم اتوبوس در نظر گرفته می‌شود، زمان تلف شده مسافر در سیستم اتوبوس باید کمتر از زمان تلف شدهٔ مسافرانی باشد که با اتومبیل شخصی سفر می‌کنند. همچنین در طی ۳ تا ۵ سال بعد از احداث مسیر حرکت، تعداد مسافرانی که در یک ساعت با سیستم اتوبوس تندرو جابجا می‌شوند باید از تعداد مسافرانی که در خطوط مجاور با خودروها دیگر سفر می‌کنند، بیشتر باشد.

۱۱. مسیرهای حرکت باید پذیرش عمومی سیستم اتوبوس تندرو را در اجتماع ایجاد و افزایش دهند. این موضوع به ویژه زمانی که اتوبوس‌ها در خطوط ویژه یا در مسیرهای ویژه میانی شریانی‌ها حرکت می‌کنند، اهمیت می‌یابد. استفاده از رنگ‌های خاص در روسازی (به عنوان مثال سبز، زرد و یا قرمز) یا استفاده از مواد خاص که خطوط ویژه اتوبوس را از خطوط جریان کلی ترافیک متمایز می‌نمایند، می‌تواند به افزایش پذیرش عمومی کمک نماید.

۱۲. نصب علامت‌گذاری، نشانه‌گذاری و کنترل‌های چراغ‌دار به حد کافی یکی از موارد مهم در مسیرهای حرکت هستند. این امر به ویژه در مبادی ورود و خروج خطوط ویژه خلاف جهت در شریانی‌ها، مسیرهای میانی آن‌ها، مسیرها و خیابان‌های ویژه عبور اتوبوس و خطوط ویژه اتوبوس در آزادراه‌ها اهمیت دارد.

۱۳. خطوط ویژه اتوبوس و خطوط فرار از صف می‌توانند در طول خیابان‌های یک‌طرفه و دو طرفه تعبیه شوند. خطوط ویژه همسو با جریان را در مکان‌هایی می‌توان ایجاد نمود که علاوه بر خط ویژه حداقل دو خط برای جریان کلی ترافیک و همسو با آن وجود داشته

باشد. خطوط ویژه خلاف جهت را نیز در خیابان‌هایی می‌توان احداث کرد که حداقل دو خط برای جریان ترافیک مخالف تخصیص داده شده باشد. همچنین مسیرهای ویژه میانی شریانی‌ها در صورتی قابل اجرا هستند که حداقل یک خط برای عبور و یک خط برای پارکینگ در هر جهت وجود داشته باشد. در مواردی که شرایط کاملاً محدود کننده‌ای وجود دارد، برای احداث خط ویژه در خیابان‌های دوطرفه باید حداقل یک خط عبور و یک خط گردش به چپ علاوه بر خطوط ویژه برای جریان کلی ترافیک وجود داشته باشد.

۱۴. مسیرهای حرکت باید طوری طراحی شوند که تبدیل این مسیرها به مسیرهای حرکتی سیستم ریلی در توسعه‌های آینده بدون ایجاد وقفه‌ای در کارکرد سیستم اتوبوس تندرو امکان‌پذیر باشد.

۱۵. در صورتی که مقاطع عرضی، قوس‌ها و شیب‌های مسیرهای حرکتی برای عملکرد سیستم قطار سبک و اتوبوس تندرو به صورت مناسب طراحی شوند، مسیرها می‌توانند بصورت مشترک مورد استفاده قرار گیرند.

مسیرهای حرکت می‌توانند خدمات سیستم اتوبوس را در مناطق مرکزی شهر و همچنین مناطق مسکونی ارایه دهند. در مجموع، مسیرهای حرکت بر اساس فاکتورهایی از قبیل تسهیلات ویژه برای اتوبوس‌ها، نحوه قرارگیری خطوط ویژه (کناری یا میانی)، جهت حرکت جریان (همسو یا خلاف جهت)، نوع ترافیک (فقط اتوبوس، اتوبوس و تاکسی، و اتوبوس با خودروها حمل کالا) و کنترل ترافیک (پارکینگ، کنترل گردش و زمان‌بندی چراغ‌ها)، انواع گوناگونی دارند. بر این اساس مسیرهای حرکتی به گروه‌های ترافیک مختلط،

خطوط ویژه که خود در برگیرندهٔ خطوط ویژه همسو با جریان[1]، خطوط ویژه داخلی همسو با جریان[2]، خطوط ویژه خلاف جهت[3] و خطوط ویژه میانی[4] هستند، مسیرهای ویژه میانی در معابر شریانی، مسیرهای ویژه هم‌سطح و مسیرهای ویژه غیرهم‌سطح تقسیم‌بندی می‌شوند.

۶-۳-۲. مشخصات ایستگاه‌ها

توقفگاه‌ها، ایستگاه‌ها و پایانه‌های اتوبوس همانند تسهیلات دیگر مرتبط، مانند محوطه‌های پارک سوار، پل ارتباطی بین مسافران و سیستم اتوبوس تندرو هستند. این تسهیلات باید مناسب، راحت، ایمن و قابل دسترس برای عابران پیاده و افراد ناتوان جسمی باشند. همچنین باید جایگاه سیستم اتوبوس تندرو را در جامعه حفظ کنند و بهبود بخشند و در عین حال با محیط و کاربری‌های اطراف هماهنگ باشند.

طراحی تسهیلات سیستم اتوبوس تندرو بسیار شبیه به سیستم قطار سبک است به طوری که دو سیستم فوق می‌توانند به صورت گسترده از تسهیلات یکدیگر که اغلب در سطح هستند، استفاده نمایند. در شهرهایی که دارای هر دو سیستم اتوبوس تندرو و قطار سبک هستند (به عنوان مثال روئن و پاریس) طراحی ایستگاه‌های دو سیستم به یک شکل انجام می‌شود. با این حال، در مجموع انعطاف‌پذیری و گستردگی بالای سیستم

1. Concurrent Flow Curb Bus Lanes
2. Concurrent Flow-Interior Bus Lanes
3. Contra Flow Curb Bus Lanes
4. Median Bus Lanes

اتوبوس منجر به چالش‌های منحصر بفردی می‌شوند که در سیستم‌های مشابه موجود نیستند.

یکی از نقش‌های اصلی طراحی تسهیلات سیستم اتوبوس باید حمایت و بهبود مطلوبیت دیداری خدمات حمل‌ونقل همگانی و در عین حال حفظ یکپارچگی و هماهنگی با محل‌ها و مناطق تحت امر باشد. برخی از مهمترین جنبه‌های طراحی تسهیلات سیستم اتوبوس تندرو به شرح زیر هستند[۷]:

الف) طراحی امکاناتی با کیفیت بالا برای استفاده مسافران

طراحی با کیفیت بالای امکاناتی مانند سایه‌بان‌ها، صندلی‌ها و سیستم روشنایی می‌تواند رضایت عمومی را در خدمات سیستم حمل‌ونقل همگانی به دنبال داشته باشد. این امر به ویژه در سیستم اتوبوس تندرو حائز اهمیت است زیرا باید بر ذهنیت منفی مسافران از تسهیلات روزمره سیستم اتوبوس معمولی از قبیل سایه‌بان‌های کوچک پیش ساخته با روشنایی کم، علایم محدود و امکانات کم که باعث شده است سهم حمل‌ونقل همگانی کاهش یابد، غلبه نماید.

ب) نقش سیستم اتوبوس تندرو به عنوان سرمایه طراحی شهری

اگرچه اجرای تسهیلات و اجزای سیستم اتوبوس تندرو با چالش‌های بسیاری روبه‌رو است اما این فرصت را فراهم می‌نماید تا چهره خیابان‌ها از طریق اجرای امکانات پیشرفته، توسعه یابد و از لحاظ زیبایی پیشرفت نماید.

از آنجایی که ایجاد تسهیلات سیستم اتوبوس تندرو باعث تغییر و تحولاتی در جایگذاری سیستم روشنایی خیابان‌ها، شکل پیاده‌روها و مبلمان شهری و خیابانی می‌شود،

این اجزاء باید به گونه‌ای بازسازی شوند که در حالت جدید هماهنگی مناسبی با سیستم اتوبوس تندرو داشته باشند و البته چهره شهر و خیابان را بهبود بخشند.

پ) هماهنگی سیستم حمل‌ونقل همگانی با کاربری زمین

مسیرهای حرکت و ایستگاه‌های سیستم اتوبوس تندرو باید همانند تمامی مدهای حمل‌ونقل همگانی با کاربری زمین در زمان حال و آینده همخوانی و هماهنگی داشته باشند. در مجموع، توسعه چند منظوره مناطق به گونه‌ای که جذب مسافر را به منطقه مورد نظر افزایش دهد برای سیستم حمل‌ونقل همگانی بسیار مطلوب است زیرا مسافران بیشتری را جذب می‌نماید و مسیرهای حرکتی و ایستگاه‌های واقع در منطقه توسعه‌یافته، کارآیی بیشتری خواهند داشت. در مواقعی که گزینه‌های مختلفی از جمله مسیرهای متروکه راه-آهن برای مسیر حرکت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، باید این نکته را در نظر داشت که این-گونه مسیرها نمی‌توانند سرویس‌دهی خوبی مانند خیابان‌های موجود در مناطق پرتراکم شهرداشته باشند.

ت) مشارکت عمومی

مکان ایستگاه‌ها و نوع طراحی آن‌ها باید به صورت هماهنگ با محیط اطراف محل ایستگاه اجرا شوند. حمایت عمومی در شناسایی و ارزیابی مکان‌های مختلف برای اجرای تسهیلات حمل‌ونقل همگانی و توسعه طراحی ایستگاه‌ها، مسأله مهمی است.

۶-۳-۳. مشخصات خودروها

بر اساس نظر برخی کارشناسان، خودروها مهمترین جزء از نگاه کاربران و غیرکاربران در کیفیت سیستم اتوبوس تندرو هستند. همچنین خودروها نقش مهمی را در تعیین نحوه اجرای واقعی سیستم اتوبوس تندرو در موارد سرعت، قابلیت اطمینان و هزینه بر عهده دارند. موارد گفته شده از دیدگاه کاربران و در مجموع جامعه و همچنین در چگونگی بهره‌برداری از سیستم اهمیت بسیاری دارند. برخی از ویژگی‌های وسیله نقلیه که بر روی جامعه تأثیرگذار است به طور خلاصه عبارتند از[۷]:

۱. سیستم‌های پیشران که بر میزان درآمد و خدمات (منظور میزان درآمد به دست آمده و تعداد مسافران است)، میزان انتشار آلودگی (آلودگی هوا و صوت) و هزینه‌های تعمیر و نگهداری[1] تأثیرگذار است.

۲. تعداد صندلی‌ها، ارتفاع کف، چیدمان داخل وسیله نقلیه و ترتیب و آرایش درها که بر میزان زمان توقف و در نتیجه میزان درآمد خدمات و قابلیت اطمینان تأثیر می‌گذارند.

۳. ابعاد فیزیکی، عرض راهرو، تعداد درها و عرض و موقعیت آن‌ها و تعداد محل‌های نشیمن و آرایش آن‌ها در ظرفیت سیستم اتوبوس تندرو تعیین کننده است.

باید توجه داشت که کاربران بالقوه نیز امکان اضافه شدن به کاربران کنونی را دارند. لذا طراحی صحیح خودروها می‌تواند بر پذیرش کیفیت کل سیستم اتوبوس سریع در بین کاربران و در مجموع جامعه تأثیر بسزایی داشته باشد. این پذیرش اصولاً بر اساس وضعیت زیبا شناختی و چشم‌انداز بصری خودروها استوار است اما در عین حال آلودگی‌های هوا و صوتی نیز نقش تعیین کننده‌ای در استقبال عمومی از سیستم اتوبوس تندرو دارند. اگرچه هزینه و زمان دو پارامتر بسیار مهم در انتخاب نوع خودرو هستند، اما نمی‌توان از تأثیر

1. Operating and Maintenance

چشم‌انداز مناسب و زیبای خودروها سیستم اتوبوس تندرو که می‌تواند مسافران بیشتری را جذب نماید به راحتی چشم پوشید. این موضوع را می‌توان به صورت افزایش مسافر، درآمد و دیگر منافع مانند قابلیت اطمینان تعبیر نمود.

خصوصیات اصلی خودروها که توسط تصمیم‌گیران برای انتخاب نوع وسیله نقلیه مناسب در سیستم اتوبوس تندرو استفاده می شوند، عبارتند از:

۱- ظرفیت، ابعاد خارجی

۲- نمای داخلی

۳- درها

۴- ارتفاع کف

۵- سیستم پیشران

۶- سیستم هدایت

۷- نمای خارجی، مشخصات ظاهری

۶-۳-۴. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل در سیستم اتوبوس تندروی همگانی

از آنجایی که سیستم اتوبوس تندرو باید سریع، راحت و مطمئن باشد، اتوبوس‌ها می‌بایست به موقع حرکت کنند، کارآیی آن‌ها بررسی شود و جداول زمانی حرکت آن‌ها سریعاً تنظیم و منطبق با شرایط شود. همچنین مسافران بایستی از زمان رسیدن اتوبوس‌ها به ایستگاه اطلاع یابند و سوار شدن در ایستگاه باید سریع و راحت باشد. به منظور نیل به اهداف فوق سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و به طور وسیعی عملکرد سیستم اتوبوس تندرو را بهتر نمایند. سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل مکمل‌های

بنیادینی برای خیابان‌ها و مسیرهای موجود، ایستگاه‌ها، خودروها و بـه طـور کلـی عملکـرد اتوبوس‌ها هستند.

با به کارگیری سیستم‌های هوشمند می‌توان زود رسیدن، به موقع رسـیدن و یـا تـأخیر اتوبوس‌ها را تعیین، عملکرد اتوبـوس‌هـا را کنتـرل و تنظـیم و ایمنـی و امنیـت سیسـتم را بهسازی نمود. همچنین سیستم‌های هوشمند می‌توانند در تقاطعات چراغ‌دار، حـق تقـدم و اولویت را برای سیستم اتوبوس تندرو تعیین، دریافـت بلـیط را تسـریع و هـدایت وسـیله را کنترل و پهلوگیری دقیقی را فراهم کنند.

به صورت تئوری سیستم اتوبوس تندرو باید به گونه‌ای از فن‌آوری‌های سیستم هوشمند حمل‌ونقل استفاده نمایند تا کیفیـت خـدمات سیسـتم اتوبـوس تنـدرو بتوانـد بـا خـدمات سیستم‌های ریلی رقابت نمایند.

اجزاء اصلی سیستم حمل‌ونقل هوشمند در سیستم اتوبوس تندرو شامل موارد زیر است:

۱. مکان‌یابی و تنظیم خودکار وسیله نقلیه[1] که آماده‌سازی و تأمین ایمنی و امنیت سیستم را نیز شامل می‌شود.

۲. اطلاع‌رسانی به مسافران[2]

۳. حق تقدم و اولویت‌دهی چراغ راهنمایی[3]

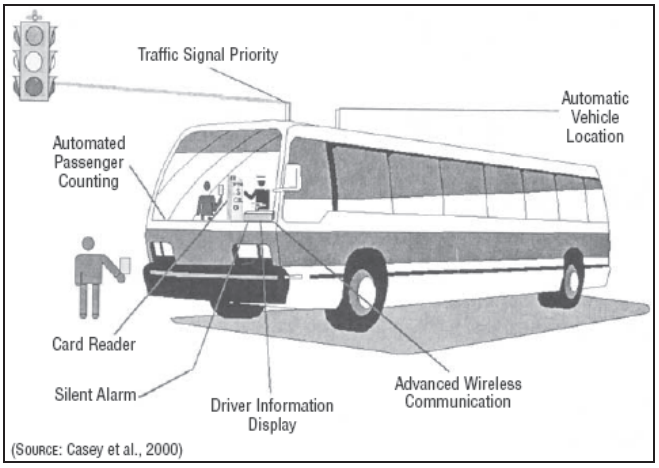
۴. شمارش خودکار مسافران[4]

۵. دریافت الکترونیکی بلیط

1. Automatic Vehicle Location and Control (AVLC)
2. Advanced Traveler Information System (ATIS)
3. Traffic Signal Priority
4. Automated Passenger Counting

۶. هدایت و کنترل وسیله نقلیه

شکل شماره (۶-۳) چگونگی اندرکنش اجزای سیستم هوشمند سیستم حمل‌ونقل را با اتوبوس‌ها نشان می‌دهد. در بیشتر سیستم‌های اتوبوس تندرو که در دنیا اجرا شده‌اند، سیستم‌های هوشمند متنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در شهرهایی که سیستم‌های هوشمند به بهترین وجه و موفق‌ترین حالت در سیستم اتوبوس تندرو استفاده شده است (مانند لس آنجلس)، اجزای سیستم هوشمند نقش وسیع‌تری از نظر جغرافیایی و همچنین عملکرد جامع‌تری داشته‌اند.



شکل شماره ۶-۳: چگونگی درهَم کُنش اجزای سیستم هوشمند سیستم حمل‌ونقل با اتوبوس‌ها

انواع اصلی فن‌آوری‌های سیستم هوشمند و استفاده آن در سیستم اتوبوس تندرو به شرح زیر است[۷]:

۱. سیستم‌های مکان‌یاب خودکار خودرو می‌توانند اطلاعاتی را برای بهبود برنامه‌ریزی جداول زمان‌بندی و کاهش فواصل زمانی فراهم کنند.

۲. سیستم‌های مکان‌یاب خودکار خودرو می‌توانند مرکز کنترلی را برای هماهنگی بین سرویس‌های اکسپرس و تغذیه کننده ایجاد نمایند.

۳. سیستم‌های اطلاع‌رسانی لحظه به لحظه مسافران می‌توانند اطلاعات به هنگام و دقیقی را در خانه، محل کار و یا ایستگاه‌ها از طریق باجه‌ها، تابلوهای خودکار و یا اینترنت ارایه دهند.

۴. سیستم‌های اطلاع‌رسانی خودکار در حین سفر (صوتی- تصویری) می‌توانند اطلاعات را به مسافران در ایستگاه‌ها، نقاط تبادل و مناطق جذب سفر محلی ارایه دهند. این اطلاعات می‌توانند شامل اخبار، پیش‌بینی وضع هوا و سایر اطلاعات مفید برای مسافران شوند.

۵. سیستم خودکار کنترل اولویت‌دهی چراغ راهنمایی می‌تواند باعث تسریع حرکت اتوبوس‌ها در تقاطع‌ها شود.

۶. سیستم‌های نظارت ویدیویی و دوربین‌های مخفی می‌توانند ایمنی مسافران را در خودرو و در نقاط سوار شدن مسافران و پارکینگ‌ها تضمین نمایند.

۷. سیستم‌های الکترونیکی شمارش مسافر می‌توانند به آسانی و بی‌وقفه اطلاعات قابل بازیافت در استفاده از ایستگاه‌ها بر اساس اتوبوس، زمان حرکت در روز و جهت سفر را فراهم کنند.

۸. حسگرها می‌توانند سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی را کنترل و تنظیم کنند تا در صورتی‌که وسیله نقلیه‌ای دچار مشکلی شده باشد، سیستم بتواند با کمترین تأخیر وسیله دیگری را برای خدمات‌دهی اعزام نماید.

۹. کارت‌های هوشمند می‌توانند امکان دریافت کرایه قبل از سوار شدن را فراهم کنند و در اتوبوس‌ها و تسهیلات پارکینگ مجاور مورد استفاده قرار گیرند.

۱۰. سیستم‌های خودکار پهلوگیری می‌توانند سرعت سوار و پیاده کردن مسافران را به منظور افزایش کارآیی سیستم و کاهش زمان توقف، افزایش دهند.

۱۱. سیستم‌های تطبیقی کنترل سرعت و هدایت وسیله نقلیه می‌توانند باعث کاهش سرفاصله‌های زمانی و تسریع خدمات‌دهی شود.

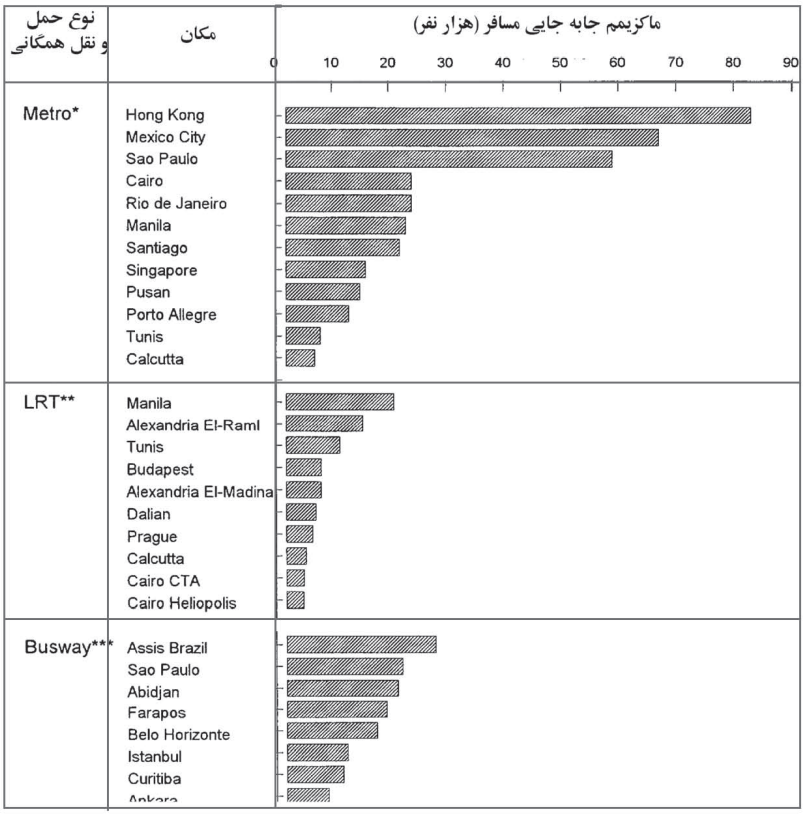
۱۲. سیستم‌های خودکار کنترل شیبراهه می‌توانند سبب تسریع حرکت اتوبوس‌ها در ورود به آزادراه‌ها و یا خطوط ویژه آزادراهی شوند.

۶-۴. عملکرد سیستم‌های اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان

سیستم اتوبوسرانی، متداول‌ترین سیستم حمل‌ونقل همگانی است که در سراسر دنیا وجود دارد. هزینه‌های نسبتا کم و شرایط کاربرد راحت و سریع آن بدون نیاز به صرف زمان زیاد برای ساخت زیرساخت‌ها و تملک اراضی و امکان پشتیبانی از دلایل عمده استفاده روز افزون از این سیستم است. البته علی‌رغم تمام مزایای سیستم اتوبوسرانی، مسئولان و مدیران شهری و متخصصان امر در زمان مواجهه با کریدورهای بسیار پرترافیک شهری با حجم جابجایی بیشتر از ۱۰.۰۰۰ مسافر در هر ساعت در هر جهت، نگاهی به سیستم‌های ریلی و به خصوص حمل‌ونقل ریلی سنگین (مترو) دارند. شکل (۶-۴) نیز نشان می‌دهد که از سیستم‌های اتوبوس تندرو برای جابجایی مسافران تا تعداد ۳۵.۰۰۰ نفر در هر ساعت در هر جهت در نیویورک استفاده شده است. البته باید توجه داشت که ممکن است در جائی از

سیستم اتوبوس تندرو استفاده شود ولی ظرفیت بهره‌برداری شده کمتر از توان سیستم استفاده شده باشد[۲۵]. در عوض سطح سرویس بالاتر، از نتایج آن خواهد بود. اما مسلم است که سیستم پتانسیل افزایش ظرفیت تا حدود بالا را (در صورت برآورده کردن شرایط آن) خواهد داشت. همان‌طور که در جدول (۶-۴) مشاهده می‌شود در کشورهای آمریکای جنوبی خطوط اتوبوس تندرو اکثراً با جابجایی‌های بالاتر از ۱۰.۰۰۰ نفر در هر ساعت در هر جهت عمل می‌نمایند به طوری‌که در شهر بوگوتا[1] جابجایی تا ۲۷.۰۰۰ نفر در هر ساعت در هر جهت افزایش یافته است.

1. Bogota



Fouracre, Allport & Thomson (1990)
***Gardner, Rutter & Kuhn (1994)*
****Gardner, Cornwell & Cracknell (1991)*

شکل شماره ۶-۴: بیشترین مسافر جابجا شده توسط سه نوع سیستم حمل‌ونقلی

جدول شماره ۶-۴: مشخصات تعدادی از خطوط پرظرفیت دنیا [۲۲]،[۲۳]و[۲۵]

ردیف	شهر	نام خط	تعداد جابجایی مسافر روزانه	ساعت اوج صبح		سرعت (km/h)	
				تعداد اتوبوس	تعداد مسافر	اکسپرس (سریع السیر)	توقف در تمام ایستگاه‌ها
	آمریکا - کانادا						
۱	Boston	Silver Line Bus Tunnel/Lanes	40.000 78.000[e]	75	4.500		
۲	Charlotte	Independence Blvd. Bus way	1.000				
۳	Cleveland	Euclid Ave. Median Bus way	29.500				12
۴	Hartford	New Britain – Hartford Bus way	20.000	20-24	1.000+	38	32
۵	Honolulu	Route A City Express! Route B City Express! Route C country Express!	11.000				
۶	Houston	HOV System KATY North۱-۴۵ Northwast Gulf Southwest Eastex	9.115 13.980 6.180 6.685 8.900 4.500	48 63 34 21 54 22	2.100 3.300 1.500 1.200 1.150	54 54 54 54 54 54	
۷	Los Angeles	Harbor Bus HOV way San Bernardino Bus HOV way Wilshire-Whittier Metro Bus Ventura Blvd. Metro Bus	9.600 18.000 40.000 9.000	40 70 30 15	1,800 2,750 1,5000 750	 14 19	35 43
۸	Miami	Miami-S Dade Busway	12.000	20	800	18	12-14
۹	New york city	Nj Contra-۱-۴۹۵ Flow LI Exp. ۱-۴۹۵ Contra –Flow Lane Gowanus ۱-۲۷۸ Contra –Flow lane Limited Stop		650-830 125 175	25.000-35.000 5.240 6.180	35 8-14	

					Service – Arterials		

جدول شماره ۶-۴: مشخصات تعدادی از خطوط پرظرفیت دنیا (ادامه)

ردیف	شهر	نام خط	تعداد جابجایی مسافر روزانه	ساعت اوج صبح		سرعت (km/h)	
				تعداد اتوبوس	تعداد مسافر	اکسپرس (سریع السیر)	توقف در تمام ایستگاه‌ها
۱۰	Ottawa	Transitway System	200.00	180-200	10.000	50	24
۱۱	Pittsburgh	South Bus way East Bus way West Bus way	13.000 28.000 7.000	50 110 40	2.000 5.400 1.700	40 40 40	30 30 30
۱۲	Seattle	Bus Tunnel	46.000	70	4.200		13
۱۳	Vancouver	Broadway B line Richmond B line	26.000 14.000	15 15	1.000 1.000		14 14
		استرالیا					
۱۴	Adelaide	South East Bus way	30.000		4.000		
۱۵	Brisbane	South East Bus way	60.000	150	9.500		
۱۶	Sydney	Liverpool-Paramatta Bus way /lane	18.000				
		آمریکای جنوبی					
۱۷	Belo Horizonte (Brazil)	Avenida Christiano Mechado Median Bus way	1.500.000 System wide		16.000		17
۱۸	Bogota (Colombia)	TransMilenio Arterial Median Bus way	800.000		27.000	19	13
۱۹	Curitiba (Brazil)	Median Bus way System	340.000	40	11.000	19	12
۲۰	Porto Alegre (Brazil)	Assis Brasil Median Busway Farrapos Median Bus way	290.000 235.000	326 304	26.100 17500		11-14 12-14
۲۱	Quito (Ecuador)	Trolebus	150-170.000	440	8000		11-12
۲۲	Sao Paulo (Brazil)	9 de Julio Median Bus way Jabaquaro Median Bus way	196.000 230.000	220+	18-20.000 21.600		12 14

به هرحال برای دستیابی به سیستم‌های اتوبوسرانی پرظرفیت باید شرایطی ایجاد شود تا بتوان پتانسیل جابجائی مسافران را افزایش داد. جدول (۶-۵) خصوصیات خطـوط اتوبـوس تندرو را در نقاط مختلف جهـان نشـان مـی‌دهـد. بایـد توجـه داشـت کـه تنهـا راه بهبـود سیستم‌های اتوبوسرانی را نباید به استفاده از خطوط اتوبوس تندرو خلاصـه کـرد، بلکـه بـا اجرای پاره‌ای از ویژگی‌های اتوبوس تندرو مثل ایجاد خطوط ویژه، بهبود و افزایش ناوگان و کم کردن سرفاصله‌ها می‌توان ظرفیت سیستم‌های معمولی را نیز افزایش داد.

جدول شماره ۶-۵: خصوصیات خطوط اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان[۲۲]،[۲۳]و[۲۵]

ردیف	شهر	جمعیت محیط شهری	طول خط (کیلومتر)	تعداد ایستگاه
	استرالیا			
۱	Adelaide	1/1	7/4	3
۲	Brisbane	1/5	10/5	10
۳	Sydney	1/7	19/0	35
	آمریکای جنوبی			
۴	Belo Horizonte (Brazil)	2/2	5/6	15
۵	Bogota (Colombia)	5/0	23/6	59
۶	Curitiba (Brazil)	1/6	37/2	139
۷	Porto Alegre (Brazil)	1/3	3/6 3/3	10 9
۸	Quito (Ecuador)	1/5	10/0	32
۹	Sao Paulo (Brazil)	8/5	7/0 13/0	18 34
	آمریکا - کانادا			
۱۰	Boston	3/0		10
۱۱	Charlotte	1/1	2/9	0
۱۲	Cleveland	2/0	7/0	30
۱۳	Eugene	0/2	4/0	N/A
۱۴	Hartford	0/8	9/6	12
۱۵	Honolulu	0/9	26/6	
۱۶	Houston	1/8	111/0	
۱۷	Los Angeles	9/6	11/8 12/0 26/0 16/0	9 3 30 15
۱۸	Miami	2/3	8/2	15
۱۹	New york city	16/0	2/5 2/2 5/0	0 0 0

۲۰	Ottawa	0/7	37/0	28

جدول شماره ۶-۵: خصوصیات خطوط اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان (ادامه)

ردیف	شهر	جمعیت محیط شهری	طول خط (کیلومتر)	تعداد ایستگاه
۲۱	Pittsburgh	1/7	4/3 6/8 5/0	9 6 6
۲۲	Seattle	1/8	2/1	3
۲۳	Vancouver	2/1	11/1 9/8	14 N/A

۶-۵. سیستم‌های اتوبوس تندروی موفق در آمریکای جنوبی

مشخصات عملکردی تعدادی از سیستم‌های اتوبوسرانی در برخی از شهرهای کشورهای آمریکای جنوبی در جدول (۶-۶) ارایه شده است. در ادامه به عنوان نمونه‌ای از این شهرهای موفق، وضعیت اتوبوسرانی در شهر کوریتیبای[1] برزیل توصیف شده است[۲۲].

شهر کوریتیبا بهترین نمونه از شهرهای برزیل است که در آن برنامه‌های حمل‌ونقل به خوبی طرح و اجرا شده‌اند. شهرکوریتیبا مرکز ایالت پارانا [2] و با جمعیتی در حدود ۱/۵ میلیون نفر است و در این شهر ۶۶۵.۰۰۰ خودرو وجود دارد. حمل‌ونقل همگانی در شهر کوریتیبا توسط شرکت دولتی یو.آر.بی.اس[3] مدیریت و توسط ۱۰ شرکت خصوصی که با عقد قراردادهایی امتیاز بهره‌برداری به عهده گرفته‌اند راه‌اندازی شده و عمل می‌نماید. سیستم اتوبوسرانی این شهر شامل ۱۶۷۷ اتوبوس است. برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل در این شهر در اوایل دهه ۷۰ میلادی آغاز شد. سیستم اتوبوسرانی در این شهر در حال حاضر

1. Curitiba
2. Parana
3. URBS

دارای ۲۵ ترمینال اتوبوس و ۶۵ کیلومتر خط اتوبوس میان معبر[1] (واقع در وسـط خیابـان) است که مربوط به ۶ کریدور اصلی اتوبوسرانی است. اولین کریدورهای اتوبوسرانی این شـهر در سال ۱۹۷۴ اجرا شده‌اند. طرح جامع شهر کوریتیبا به گونه‌ای تنظیم شده بود که مرکـز تجمع محور اقتصادی شهر در امتداد یک محور اصلی در شهر قرار گیرد. ایـن محـور دارای یک خط اصلی اتوبوس است.

جدول شماره ۶-۶: اطلاعات بعضی از خطوط اتوبوسرانی آمریکای جنوبی[۲۲]،[۲۳]

نام کشور	نام شهر	نام خط	طول خط (کیلومتر)	حجم مسافر جابجا شده (در روز)	تعداد مسافر جابجا شده در ساعت اوج	تعداد ایستگاه
برزیل	سائو پائولو	Santo Amaro/ 9de julho	۱۴/۶	۱۹۶.۲۰۲	۱۷.۶۵۸	۲۳
		Sao Mateus/ jabaquara	۳۳/۰	۲۰۶.۷۷۸	۲۱.۶۰۰	۱۱۰
	کوریتیبا	Boqueirao	۱۰/۶۳	۹۰.۶۶۳	۷.۵۵۲	۱۶
		Sul	۱۰/۰۸	۱۵۶.۲۳۱	۱۳.۰۱۴	۱۸
	پورتو آلگره	Perimetral	۶/۴	۱۴۷.۲۸۸	۱۱.۷۸۳	۱۴
		Joao pessoa / Bento Cancalves	۸/۸	۱۷۸.۸۶۳	۱۴.۳۰۹	۱۳
		Corr, Exclusivo Oswaldo Aranha/ Protasio Aleves 1	-	۱۳۱.۷۸۸	۱۰.۵۴۳	۲۹
		Independencia /24 de Outubro /Plinio	۵/۴	۱۹۳.۶۶۳	۱۵.۴۹۳	۱۸
		Corr.. Exclusivo Farrapos 1	-	۱۳۴.۷۰۰	۱۰.۷۷۶	۸
		Assis Brasil	۵/۸	۱۴۰.۳۸	۱۱.۲۶۷	۲۵
		Corr. Exclusivo Assis	-	۱۵۱.۸۶۳	۱۲.۱۴۹	۲۵

1. Median Busway

				Brasil		
اکوادور	کویتو	Trole	۱۱	۱۸۰.۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۹
کلمبیا	بوگوتا	Troncel Ave. Caracas	۱۶	۳۷۲.۶۵۸	۳۶.۵۰۰	۳۲
		Calle 80 6	۹/۹	۳۰۹.۵۷۳	۳۰.۴۰۵	۷
		Av. Amercias 6	۹/۸	۳۳۲.۴۵۴	۳۲.۶۴۷	۷
		Carrera 10 6	۳/۵	۲۹۵.۹۸۸	۲۹.۰۶۶	۷
		Calle 68 9	۱۲/۹	۱۹۱.۰۰۸	۱۸.۷۵۷	۷
		Carrera 7 6	۳/۲	۱۰۸.۵۲۳	۱۰.۶۵۷	۷

به طور کلی خطوط اتوبوسرانی در شهر کوریتیبا به عنوان مسیرهای اصلی حمل‌ونقل همگانی شهر مطرح هستند و این خطوط توسط ۳۴۰ کیلومتر خطوط تغذیه کننده که تقاضای سفر مسافران را به سمت ترمینال‌های اتوبوس هدایت می‌کنند، تغذیه می‌شوند. از طرفی این ترمینال‌های اتوبوس با ۱۸۵ کیلومتر خطوط درون ناحیه‌ای حلقوی ارتباط دارند. علاوه بر این برای پشتیبانی از روند عملکرد سیستم اتوبوسرانی مذکور، خطوطی با بهره‌گیری از اتوبوس‌های تندرو [1] احداث شده است که فقط در ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل [2] ویژه‌ای در فاصله متوسط ۳ کیلومتری از هم، توقف می‌نمایند. در شکل شماره (۶-۴) نمونه‌ای از ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل شهر کوریتیبا نشان داده شده است.

1. Speedy Bus
2. Tube stations

شکل شماره ۶-۴: ایستگاهی استوانه‌ای شکل در شهر کوریتیبا

سیستم اتوبوسرانی در شهر کوریتیبا ۹۰٪ سطح شهر را پوشش می‌دهد. ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل الگویی از عملکرد سریع و ساده انتقال مسافر از معابر به اتوبوس و بالعکس هستند. مزایای بسیار زیادی برای این جایگاه‌های سوار و پیاده شدن مسافران وجود دارد که عبارتند از:

الف) عدم ورود مسافران به داخل معبر اتوبوس‌رو

همان‌طور که دربسیاری از نقاط شهرهای ایران مشاهده می‌شود در مواقع ازدحام، مسافران با هجوم به سمت خیابان باعث برهم خوردن نظم ترافیکی معبر و نیز عدم قرارگیری اتوبوس‌ها در داخل پهلوگاه ایستگاه می‌شوند.

ب) رعایت حق تقدم در صف اتوبوس

از آنجا که تنها از نقطه انتهایی ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل می‌توان سوار اتوبوس‌ها شد، مسافران ملزم به ایستادن در صف‌های مربوطه هستند.

پ) سوار و پیاده کردن سریع مسافران

همان‌طور که اشاره شد با مشخص شدن نقطه انتقال مسافران از خیابان به اتوبوس و در نتیجه ایستادن مسافران در نقطه مذکور، سرعت انتقال بسیار افزایش می‌یابد و نیز با ایجاد پل‌هایی از سکو به اتوبوس روند انتقال مسافران سریع‌تر می‌شود.

ت) رعایت کلیه ضوابط و معیارهای یک ایستگاه مناسب

علاوه بر مسایل ترافیکی و حمل‌ونقلی، ایستگاه‌های اتوبوس بایستی یک محیط موقت و مناسب جهت انتظار و در نهایت انتقال مسافران باشند. ضمن آن‌که شرایط مناسبی را برای محافظت از مسافران در برابر شرایط جوی از قبیل باران، نور آفتاب و باد شدید فراهم نمایند.

ایستگاه‌های استوانه شکل از فولاد و شیشه ساخته شده‌اند و دارای طول ۱۰ متر (۳۳ فوت) و قطر ۲/۷ متر (۹ فوت) هستند. سوار و پیاده شدن مسافران به اتوبوس در این ایستگاه‌ها در ترازی برابر با تراز کف اتوبوس‌ها انجام می‌شود. در سیستم اتوبوسرانی شهر کوریتیبا کرایه‌ها در بعضی موارد قبل از ورود به اتوبوس پرداخته می‌شود و در مواردی نیز توسط فرد دیگری غیر از راننده جمع‌آوری می‌شود. از طرفی بالابرنده‌هایی نیز وجود دارند که افراد معلول توسط آن‌ها می‌توانند با ویلچر به داخل اتوبوس سوار شوند.

در سیستم اتوبوس تندروی این شهر، سرعت سوار شدن مسافران بسیار افزایش یافته و چیزی در حدود ۸ مسافر در هر ثانیه برای هر اتوبوس است که البته این میزان به طور متوسط بوده و به تعداد درهای اتوبوس‌ها نیز بستگی دارد. این سرعت سوار شدن برابر با سرعت سوار شدن مسافران به سیستم مترو است که در نوع خود یک رکورد محسوب

می‌شود. مدت زمان انتظار در ایستگاه نیز بسیار کم است وایستگاه‌ها ایمن از پدیده‌های جوی هستند.

به منظور کاهش آلودگی ناشی از اتوبوس‌های دیزلی و نیز کاهش تعداد اتوبوس‌های حاضر در مسیر به منظور افزایش نظم در بهره‌برداری سیستم، از اتوبوس‌های با ابعاد بزرگ‌تر استفاده شد. اولین نوع از این اتوبوس‌ها با بهینه کردن اتوبوس‌های کارکرده مفصلی در سال ۱۹۹۲ پدید آمدند. در این اتوبوس‌ها با اضافه کردن یک مفصل و یک واگن اضافه‌تر اتوبوس‌های دو مفصلی پدید آمدند که ظرفیت حمل ۲۷۰ مسافر را داشتند.

در خطوط مذکور علاوه بر استفاده از ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل که منجر به کاهش زمان سوار شدن به اتوبوس می‌شد، از چراغ‌های راهنمایی هوشمند[1] در طول مسیر به گونه‌ای استفاده شد که شرایط حق تقدم برای ساعات اوج ناوگان فراهم شود. در واقع در این سیستم برای جلوگیری از تداخل سیستم‌ها در تقاطع‌ها به جای استفاده از زیرگذرها و روگذرها با صرف هزینه‌های به مراتب کمتر، رعایت حق تقدم با استفاده از چراغ‌های هوشمند به سیستم اتوبوسرانی داده شده است.

اگر چه نسبت به سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه‌بر سریع ریلی، سیستم اتوبوس تندرو کمبودهایی دارد ولی زمانی که بحث هزینه و مدت زمان ساخت به میان می‌آید این موارد رنگ می‌بازند. سیستم‌های اتوبوسرانی به ویژه با مشخصات مطرح شده، هزینه‌ای در حدود ۱/۳ میلیون دلار در هر کیلومتر را به خود اختصاص می‌دهند این در حالی است که در سیستم‌های مترو این هزینه‌ها ممکن است بر حسب مورد تا ۸۰ میلیون دلار در هر کیلومتر

1. Intelligent traffic Signals

نیز افزایش یابد. از طرفی هزینه ساخت خطوط ویژه حرکت اتوبوس تندرو چیزی در حدود ۰/۲ میلیون دلار در هر کیلومتر به دست آمده است که ۴۰۰ بار کمتر از مترو است.

در نهایت می‌توان دلایل عمده موفقیت سیستم اتوبوس شهر کوریتیبا به عنوان یکی از ممتازترین سیستم‌های اتوبوس تندرو را به شرح زیر ارایه نمود:

۱. مدیریت دولتی و بهره‌برداری خصوصی توسط چند شرکت و ایجاد رقابت

۲. انطباق سیستم اتوبوسرانی با طرح جامع شهر

۳. توجه به سیستم حمل‌ونقل همگانی به عنوان بارزترین سیستم جابجا کننده مسافر

۴. حمایت خطوط اتوبوسرانی اصلی با خطوط فرعی

۵. پوشش کامل سطح شهر توسط شبکه اتوبوسرانی

۶. ایستگاه‌های خارج از مسیر و استوانه شکل با تسهیلات سوار و پیاده شدن مسافر در تراز ارتفاعی کف اتوبوس

۷. بالابرها برای کمک به افراد معلول

۸. استفاده از اتوبوس‌های سه مفصلی با ظرفیت و ابعاد بزرگ‌تر

۹. به کار بردن چراغ‌های راهنمایی هوشمند در طول مسیر، در محل تقاطع‌ها و ایجاد موج سبز در هنگام عبور اتوبوس

۱۰. هزینه‌های ساخت کم و سرعت اجرای بسیار سریع نسبت به سایر سیستم‌های سریع حمل‌ونقل انبوه

نتیجه‌گیری

علی‌رغم آن‌که از اتوبوس به عنوان حمل‌ونقل سبک عمومی یاد می‌شود، در موارد مختلفی در جهان شاهد ظرفیت‌های به مراتب بیشتر هستیم. جدول (۶-۷) برنامه‌هایی جهت بهبود وضع اتوبوسرانی و رسیدن به ظرفیت مذکور ارایه می‌نماید.

جدول شماره ۶-۷: ملاحظات کلی برای رسیدن به ظرفیت‌های زیاد در سیستم اتوبوسرانی

ظرفیت در حدود ۱۰ هزارمسافر در ساعت در هر جهت	ظرفیت ۱۰ تا ۲۰ هزار مسافر در ساعت در هر جهت
۱. استفاده از خطوط ویژه یا خطوط ویژه خودروها اشتراکی ۲. به کارگیری اتوبوس‌های مفصلی[1] و سه محوره[2] و یا اتوبوس دو محوره طویل[3] ۳. کنترل سرفاصله در هر ایستگاه ۴. بهینه سازی جانمایی و سایر خصوصیات ایستگاه‌ها و رعایت استانداردهای ایستگاه‌های اتوبوس تندرو ۵. اجتناب از توقف اتوبوس‌ها در پشت چراغ قرمز برای فواصل زمانی زیادتر از سرفاصله آن‌ها و در صورت امکان عدم برخورد با چراغ راهنمایی	کلیه موارد ۱ تا ۵ به اضافه: ۶. ایجاد توقف‌گاه‌های خارج از مسیر ۷. عدم برخورد اتوبوس با سایر جریان‌های ترافیکی به خصوص در تقاطع‌ها ۸. استفاده از اتوبوس‌های دو مفصلی ۹. وجود توقفگاه‌های کنار هم برای سوار شدن مسافران

خلاصه

در مقدمه این فصل اشاره شد که در بیشتر کشورها (خصوصاً کشورهای درحال‌توسعه) لزوم استفاده از فن‌آوری، هزینه بالا و نیز مدت زمان طولانی ساخت، به موانعی برای احداث سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری حتی در شهرهای پرجمعیت تبدیل شده است. لذا در چنین شرایطی اهمیت سیستمی با کارآیی مشابه سیستم‌های ریلی که هزینه‌های بسیار کمتری داشته باشد بیش از پیش مشخص می‌شود.

1. Articulatel Bus
2. Motorcoach
3. Long Bus

در ادامه به معرفی سیستم اتوبوس تندروی همگانی پرداخته شد و برخی از مزایای سیستم اتوبوس تندرو نسبت به اتوبوس‌های عادی ارایه شد. سپس نکات کلی که برای مسیرهای حرکت باید در نظر گرفت شرح داده شدند و انواع مسیرهای مربوطه فهرست وار معرفی شدند. بعد از آن به برخی از مهمترین جنبه‌های طراحی تسهیلات اتوبوس تندرو اشاره شد. همچنین خصوصیات اصلی خودروها که توسط تصمیم‌گیران برای انتخاب نوع وسیله نقلیه مناسب در سیستم اتوبوس تندرو استفاده می‌شوند، معرفی شدند.

در نهایت انواع اصلی فن‌آوری‌های سیستم هوشمند و چگونگی استفاده از آن‌ها در سیستم اتوبوس تندرو به اختصار آورده شدند و به خصوصیات خطوط اتوبوس تندرو در نقاط مختلف جهان اشاره شد.

خودآزمایی

۱. مفهوم سیستم اتوبوس تندروی همگانی از دیدگاه اداره حمل‌ونقل همگانی ملی آمریکا چیست؟

۲. مزایای سیستم اتوبوس تندرو نسبت به سیستم اتوبوس معمولی را برشمارید.

۳. خصوصیات اصلی سیستم اتوبوس تندرو چیست؟

۴. انواع مسیرهای حرکت سیستم اتوبوس تندرو کدامند؟

۵. در انتخاب ناوگان سیستم اتوبوس تندرو به چه نکاتی باید توجه نمود؟

۶. انواع اصلی فناوری‌های سیستم هوشمند در سیستم اتوبوس تندرو را برشمارید.

۷. مزایای کاربرد ایستگاه‌های استوانه‌ای شکل را شرح دهید.

فهرست منابع و مراجع

۱- سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، *مطالعات امکان‌سنجی سیستم حمل‌ونقل ریلی در کریدور منتخب*، مهندسین مشاور طرح هفتم، گزارش اول، تهران، آبان ماه ۱۳۸۳.

۲- نصر، اصغر، *ملاحظات کلی در رابطه با انواع سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل ریلی شهری*، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، اسفند ۱۳۸۰.

۳- عظیمی دهاقانی، علی، *بررسی حمل‌ونقل انبوه (Mass Transit) در کشورهای جهان سوم*، سمینار کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران، بی تا.

۴- شرکت کنترل ترافیک تهران، *طرح تحقیقاتی بررسی سیستم‌های مختلف قطار سبک شهری(LRT)*، گزارش اول ، تهران، تیرماه ۱۳۸۰.

۵- سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، *بررسی سیستم‌های قطار سبک شهری*،گزارش سوم، تهران، شهریور ۱۳۸۰.

۶- برنامه جامع تحقیقات حمل‌ونقل شهری آمریکا با پشتیبانی سازمان حمل‌ونقل فدرال، گزارش شماره ۱۷ (توسعه قطار سبک شهری در خیابانهای شهر)، سال۱۹۹۹.

۷- شرکت مهندسی آتیه ساز، *شناسایی ضوابط و معیارهای استفاده از BRT در حمل‌ونقل همگانی*، بی تا.

8. Grava, Sigurd, *Urban Transportation System: choices for communities*, 2003.

9. www.monorails.org

10. The World Bank, *Cities on the Move*, *World Bank Urban Transport Strategy Review*, Washington D.C., 2002.

11. Railway Gazette Magazine, April 2004.
12. Nehashi, Akira, "New Urban Transit Systems Reconsidered, a Better Transport Environment for the Next Century", Japan Railway & Transport Review 16, June 1998.
13. www.lrta.org
14. Kennedy, Ryan R, *Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities*, 2003.
15. Harris, Frederic R, Monorail Technology Assessment, Montgomery County Department of Public Works and Transportation (DPW&T), November 2001.
16. Nehashi, Akira, *New Types of Guided Transport*, Railway Technology Today 13.
17. Transit Capacity & Quality of Service Manual, 2nd Edition, TCRP100, Part 5(Rail Transit Capacity), 2003.
18. Transit Cooperative Research Program Sponsored By the Federal Transit Administration, Report 17, 1999.
19. American Railway Engineering and Maintenance Association Manual, Report 57.
20. Safety standards of the Federal Railroad Administration (FRA).
21. Gardner, *Technology options for median sized cities*, Transport Research Laboratory (TRL), 1995.
22. Meirelles, Alexander, "A Review of Bus Priority Systems in Brazil: from Bus Lanes to Bus way Transit", Smart Urban Conference, 2000.
23. Transit cooperative Research program (TCRP), Report 90: Bus Rapid Transit, Volume1: Case Studies in Bus Rapid Transit.
24. Transit cooperative Research program (TCRP), Report 90: Bus Rapid Transit, Volume2: Implementation Guidelines.
25. Wright, Lioyd, *Bus Rapid Transit*, Institute for Transportation and Development policy, 2002.

26. Meakin, Richard, *Bus Regulation and planning*, Bus Sector Reform, 2004.

27. Wright, Lioyd, *Mass Transit Options, Sustainable Transport: A Source book for policy-makers in developing cities*, Module 3a, German Federal Ministry for economic cooperation and development, revised July 2005.

28. Transportation Research Board, Urban Public Transportation glossary, 1989.

29. Vuchik, Vukan R, *Urban Transit: Operations, Planning, And Economics*, 2004.

۳۰- تارنمای شرکت متروی تهران به آدرس: www.tehranmetro.com

وزارت کشور

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی

استانداری مازندران

معاونت امور عمرانی

دفتر امور شهری و شوراها

پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
تهران ـ بلوار کشاورز
ابتدای خیابان نادری
پلاک ۱۷
تلفن : ۸۸۹۸۶۳۹۸
نمابر: ۸۸۹۷۷۹۱۸
www.imo.org.ir

ISBN:978-964-8466-76-8

قیمت : ۴۲۰۰۰ ریال