جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

ضوابط طراحی خطوط قطار شهری و حومه

(جلد اول– ضوابط طرح هندسی)

ضابطه شماره ۱–۸۰۵

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی ، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir
۱۴۰۱

باسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۱۴۰۱/۴۷۷۱۹۸**
	تاریخ:	**۱۴۰۱/۰۹/۰۷**

موضوع: ضوابط طراحی خطوط قطار شهری و حومه

در چهارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و به استناد تبصره (۲) ماده (۴) «نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور» موضوع مصوبه شماره ۲۵۲۵۴/ت۵۷۶۹۷هـ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست دستورالعمل شماره ۸۰۵، با عنوان «ضوابط طراحی خطوط قطار شهری و حومه» در قالب سه جلد زیر ابلاغ می‌شود:

جلد اول : ضوابط طرح هندسی

جلد دوم : ضوابط سازه مسیر

جلد سوم: ضوابط طراحی سیستم تهویه

رعایت مفاد این ضابطه از تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ برای همه قراردادهایی که از محل وجوه عمومی ویا به صورت مشارکت عمومی و خصوصی منعقد می‌شوند، الزامی است.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

سید مسعود میرکاظمی

ش‌ش: ۶۰۸۳۸۲۶

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این‌رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

web: nezamfanni.ir Email:nezamfanni@mporg.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

پس از ابلاغ ضوابط لازم‌الاجرای ۸۰۴ به منظور ایجاد اولویت‌های بالادستی در طراحی و ساخت ایستگاه‌های قطار شهری، مجموعه حاضر جهت تعیین ضوابط طراحی و ساخت مسیر قطار شهری تدوین شده است. مجموعه حاضر در هماهنگی با ضوابط ۸۰۴ تدوین شده است و انتظار می‌رود یکپارچگی و انسجام در نظر گرفته شده در فصول مختلف منجر به راهنمایی طراحان و تصمیم‌گیران در پیشبرد صحیح طرح ایستگاه‌ها و مسیر قطار شهری گردد. رعایت ضوابط حاضر در هماهنگی با مجموعه ۸۰۴ الزامی است.

ضوابط حاضر در ۳ بخش تدوین شده است:

جلد اول: طرح هندسی در خطوط قطار شهری و حومه

جلد دوم: طراحی سازه مسیر در خطوط قطار شهری و حومه

جلد سوم: طراحی سیستم تهویه در خطوط قطار شهری و حومه

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

در پایان از شرکت قطارشهری مشهد که در تهیه این ضابطه همکاری صمیمانه‌ای داشته‌اند قدردانی می‌نماید.

حمید امانی همدانی
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
پاییز ۱۴۰۱

تهیه و کنترل «ضوابط طراحی خطوط قطار شهری و حومه

(جلد اول- ضوابط طرح هندسی)» [ضابطه شماره ۱-۸۰۵]

اعضای گروه تهیه‌کننده:

بنیامین قریشی	شرکت مهندسین مشاور پژوهش	فوق لیسانس مهندسی عمران
عبدالوهاب تاتار	شرکت مهندسین مشاور پژوهش	لیسانس خط و سازه‌های ریلی
پیمان یوسفی مجیر	شرکت مهندسین مشاور پژوهش	لیسانس خط و سازه‌های ریلی
ماهان یلداشخان	شرکت مهندسین مشاور پژوهش	فوق لیسانس مهندسی عمران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
وحید سعیدیان	معاون امور راه و ترابری و مدیریت عمران شهری و روستایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
زینب سقائی نوش آبادی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل ۱: کلیات ۳

۱-۱- مقدمه ۵

۱-۲- تعریف واژه‌های فنی ۵

۱-۳- علائم اختصاری ۷

فصل ۲: طراحی پلان مسیر ۹

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- عرض خط ۱۱

۲-۳- بربلندی (دِوِر) ۱۲

۲-۳-۱- مقدمه ۱۲

۲-۳-۲- بربلندی (دِوِر) تعادلی ۱۲

۲-۳-۳- کمبود بربلندی (دِوِر) ۱۵

۲-۳-۴- اضافه بربلندی (دِوِر) ۱۶

۲-۳-۵- تغییرات بربلندی (دِوِر) ۱۶

۲-۴- قوس‌ها ۱۹

۲-۴-۱- قوس دایره‌ای ۱۹

۲-۴-۲- قوس پیوندی ۲۱

فصل ۳: طراحی پروفیل طولی مسیر ۲۷

۳-۱- مقدمه ۲۹

۳-۲- شیب طولی ۲۹

۳-۳- قوس‌های قائم ۳۰

۳-۳-۱- قوس‌های قائم دایره‌ای ۳۱

۳-۳-۲- قوس‌های قائم سهموی ۳۱

۳-۳-۳- حداقل فاصله بین قوس‌های قائم ۳۳

فصل ۴: طراحی انشعابات و تقاطعات ۳۵

۴-۱- مقدمه ۳۷

۴-۲- انواع دستگاه خطوط ۳۷

۴-۳- انتخاب دستگاه خطوط ۳۸

۴-۴- الزامات جانمایی افقی و قائم دستگاه خطوط ۳۹
۴-۵- الزامات جانمایی دستگاه خطوط با توجه به جهت قرارگیری نسبت به یکدیگر ۴۰
۴-۶- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای افقی ۴۱
۴-۷- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای قائم ۴۲
۴-۸- الزامات و محدودیت‌های اعمال بربلندی (دِوِر) در دستگاه‌های خطوط ۴۲
۴-۹- سایر الزامات و محدودیت‌های جانمایی دستگاه خطوط ۴۲
۴-۱۰- ملاحظات ایمنی در جانمایی انشعابات ۴۳

فصل ۵: طراحی ایستگاه‌ها ۴۵

۵-۱- مقدمه ۴۷
۵-۲- طرح هندسی ایستگاه‌ها ۴۷
۵-۳- انواع ایستگاه ۴۷
۵-۴- قوس افقی در محل ایستگاه ۴۹
۵-۵- شیب طولی در محل ایستگاه ۵۰
۵-۶- قوس قائم در محل ایستگاه ۵۰

فصل ۶: گاباری (قواره) دینامیکی ۵۱

۶-۱- مقدمه ۵۳
۶-۲- گاباری خط ۵۳
۶-۳- گاباری دینامیک قطار ۵۴
۶-۴- رواداری‌های اجرایی و نگهداری ۵۵
۶-۵- اثرات قوس و بربلندی (دِوِر) ۵۶
۶-۵-۱- اثر قوس ۵۷
۶-۵-۲- اثرات بربلندی (دِوِر) ۵۹
۶-۶- فضای عبور قطار ۶۰
۶-۷- گاباری سازه ۶۱
۶-۸- گاباری عمودی ۶۴
۶-۹- فاصله بین دو خط ۶۴
۶-۱۰- گاباری (قواره در ایستگاه‌ها) ۶۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: نیروهای وارده بر واگن در قوس افقی ۱۳

شکل ۲-۲: پارامترهای هندسی در قوس دایره‌ای و قوس پیوندی ۱۹

شکل ۲-۳: تغییرات انحنا در طول قوس پیوندی، قوس دایره‌ای و مسیر مستقیم ۲۳

شکل ۲-۴: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) ۲۵

شکل ۲-۵: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی سهمی درجه سوم ۲۶

شکل ۳-۱: پارامترهای هندسی در قوس‌های قائم ۳۳

شکل ۴-۱: نقطه امان ۴۳

شکل ۵-۱: : ایستگاه‌های سه خطه و نحوه چیدمان خطوط در آن‌ها ۴۸

شکل ۶-۱: گاباری قطار ۵۵

شکل ۶-۲: محاسبه بیرون‌زدگی واگن‌ها در قوس‌های افقی ۵۸

شکل ۶-۳: ناوگان با اتصال مفصلی و میزان کاهش بیرون‌زدگی ۵۸

شکل ۶-۴: چرخش گاباری دینامیکی ۶۰

شکل ۶-۵: الزامات فضای کمکی برای اجرای وتری ۶۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: خلاصه علائم اختصاری مرتبط با طرح هندسی خطوط ریلی ۸

جدول ۲-۱: تعریض عرض خط برحسب شعاع‌های مختلف ۱۱

جدول ۲-۲: مقادیر بربلندی (دِوِر) تعادلی برحسب شعاع قوس و سرعت (میلیمتر) ۱۴

جدول ۲-۳: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی برای پارامتر بربلندی (دِوِر) ۱۵

جدول ۲-۴: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی کسری بربلندی (دِوِر) و شتاب جانبی ۱۶

جدول ۲-۵: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی اضافه بربلندی (دِوِر) ۱۶

جدول ۲-۶: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول ۱۷

جدول ۲-۷: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان ۱۸

جدول ۲-۸: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور ۱۸

جدول ۳-۱: مقادیر مجاز شیب طولی مسیر خطوط قطار شهری در موقعیت‌های مختلف ۳۰

جدول ۳-۲: شعاع‌های پیشنهادی قوس‌های قائم ۳۱

جدول ۴-۱: فواصل بین سوزن‌ها با توجه نحوه قرارگیری نسبت به یکدیگر ۴۱

مقدمه

در کشور ما تا به امروز استاندارد مورد توافقی در مورد بخش‌ها و حوزه‌های مختلف صنعت حمل و نقل ریلی در حیطه خطوط قطار شهری وجود ندارد. حضور مداوم مشاوران خارجی با عملکرد صرفاً توصیه‌کننده، شتاب گرفتن اجرای پروژه های ریلی شهری، برخی مناسبات اقتصادی و اداری حاکم بر این پروژه‌ها از جمله دلایلی است که باعث گردیده هنوز به ویژه در مورد انواع حمل و نقل شهری متون فنی قابل استنادی در ایران موجود نباشد. ضوابط طرح هندسی از جایگاه ویژه‌ای در طراحی پلان و پروفیل طولی خطوط قطار شهری برخوردار است و ارتباط مستقیم با پارامترهای ایمنی و راحتی مسافران و تعمیر و نگهداری دارد. لذا این موضوع نیاز به توجه ویژه دارد و تمامی ضوابط و حتی توصیه‌ها باید بر طبق مراجع معتبر ارائه گردد. با توجه به این مطلب، در تهیه این ضابطه سعی شده است از تمامی منابع تئوریک، استانداردها و دستورالعمل‌های معتبر موجود از قبیل GB، EN، UIC، AREMA، TCRP و نشریه شماره ۲۸۸ معاونت برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی ریاست جمهوری و منابع پروژه‌های اجرا شده‌ای از جمله خطوط قطار شهری تهران، مشهد، اصفهان، تبریز و شیراز، همانند اسناد فنی ارائه شده توسط شرکت‌های Systra و Citic که در دسترس بوده است، استفاده شود.

بنابراین با این رویکرد و نیز تثبیت ناوگان قطار شهری، می‌توان برای خطوط شهری کشور با مشخصاتی که در این ضابطه ذکر شده است در مقوله طرح هندسی به یک قضاوت مهندسی قابل اتکا دست یافت. علاوه بر این، سعی شده است که در این آیین‌نامه شناخت و آشنایی نسبت به طراحی هندسی مسیر خطوط ریلی به لحاظ کلیات حاصل شود و به عنوان معیار قابل استنادی در امر طراحی هندسی خطوط قطار شهری و حومه، مورد استفاده جامعه مهندسین خطوط ریلی کشور قرار گیرد.

لازم به ذکر است که در تهیه این ضابطه، ناوگان قطار شهری در خط ویژه[1] با توجه به نوع ناوگان‌های مورد استفاده در سازمان‌های قطار شهری کشور مدنظر می‌باشد.

[1] Dedicated-Route

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

از جمله مهم‌ترین کاربردهای خطوط ریلی که امروزه گسترش رو به رشدی را نشان می‌دهد حمل و نقل درون شهری با رویکرد جابجایی مسافرین در کلان شهرها بوده که با توجه به شرایط بهره‌برداری حاکم از تنوع ویژه‌ای برخوردار است.

محدوده شرایط بهره‌برداری سیستم‌های درون شهری به لحاظ سرعت بین ۳۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت و به لحاظ بار محوری بین ۱۰ تا ۱۸ تُن می‌باشد.

نکته کلیدی در حمل و نقل درون شهری، پاسخگویی برای رفع نیازهای حمل و نقل مربوطه، توانایی سیستم‌های اصلی خطوط ریلی شهری شامل زیرساخت (خطوط، ایستگاه‌ها، دپو و پارکینگ) و ناوگان در جابجایی تعداد مسافران است. در این راستا یکی از اهداف مهم ساختن خطوط ریلی شهری، جابجایی مسافر به صورت اقتصادی و با حداکثر ایمنی می‌باشد. لازمه این امر داشتن مسیری است که بتواند وظیفه خود را به نحوه مناسب انجام دهد. جهت حصول به این مهم، هر جزء سیستم باید وظیفه خاص خود را در برابر بارهای ترافیک و عوامل محیطی به نحو رضایت‌بخشی انجام دهند.

اجزای یک طرح هندسی مسیر راه‌آهن درون شهری عبارتند از مشخصات هندسی خطوط اصلی، تقاطعات و انشعابات، ایستگاه‌ها و قواره ناوگان که ضوابط مربوط به هریک در این ضابطه به تفصیل آمده است.

۱-۲- تعریف واژه‌های فنی

آشنایی با پارامترهای هندسی مسیر، یکی از پیش‌نیازهای اساسی است که یک طراح باید بدان واقف باشد. از این رو، در بخش حاضر به موضوع مذکور پرداخته شده است.

بربلندی (دِوِر): به اختلاف تراز ارتفاعی ریل خارجی نسبت به ریل داخلی در قوس‌ها که به منظور غلبه بر نیروی گریز از مرکز و تأمین ایمنی و آسایش مسافرین مورد استفاده قرار می‌گیرد، بربلندی (دِوِر) اطلاق می‌شود.

بربلندی (دِوِر) تعادلی: هرگاه متناسب با سرعت عبور وسایل نقلیه ریلی و شعاع قوس، میزان بربلندی (دِوِر) به اندازه‌ای باشد که تعادل نیروها در راستای صفحه موازی با پلان مسیر برقرار باشد و نیروی گریز از مرکز به طور کامل خنثی شود، اصطلاحاً در اینجا بربلندی (دِوِر) تعادلی وجود دارد. به سرعت متناظر با بربلندی (دِوِر) تعادلی، سرعت تعادلی گفته می‌شود.

کسری بربلندی (دِوِر): چنانچه در یک قوس با شعاع مشخص، سرعت سیر وسیله نقلیه ریلی از سرعت تعادلی بیشتر باشد، بربلندی (دِوِر) موجود قادر به خنثی نمودن نیروی گریز از مرکز نخواهد بود. در این مواقع، بربلندی (دِوِر) موجود از بربلندی (دِوِر) تعادلی کمتر است و به اختلاف میان این دو کمیت، کسری بربلندی (دِوِر) گفته می‌شود.

اضافه بربلندی (دِوِر): اضافه بربلندی (دِوِر) عبارتست از اختلاف بین بربلندی (دِوِر) موجود و بربلندی (دِوِر) تعادلی زمانی که در یک قوس با شعاع مشخص، سرعت سیر وسیله نقلیه ریلی نسبت به سرعت تعادلی کمتر باشد و در نتیجه نیروی گریز از مرکز به اندازه‌ای نباشد که بتواند مؤلفه مرکزگرای وزن وسیله نقلیه ریلی را خنثی نماید.

قوس: هرگاه در طرح هندسی، نیاز به تغییر راستای مسیر به صورت افقی یا قائم باشد، لازم است تا این تغییرات به‌طور تدریجی در مسیر لحاظ گردد، بدین منظور از قوس‌ها (کمانی از یک دایره، سهمی و یا ...) استفاده می‌شود. بر حسب شرایط مختلف، انواع گوناگونی از قوس‌ها وجود دارد که به آن‌ها اشاره خواهد شد.

قوس دایره‌ای: قوس دایره‌ای، قوسی است که شعاع ثابتی داشته باشد. عموماً قوس‌های دایره‌ای را با شعاع آن‌ها شناسایی می‌کنند. علاوه بر شعاع قوس، پارامتر دیگری به نام درجه انحنای قوس به منظور شناسایی قوس‌ها و طراحی هندسی مسیر به کار می‌رود که معمولاً، این دو کمیت با استفاده از روابط ساده هندسی به هم مرتبط می‌شوند.

قوس پیوندی: قوس پیوندی قوسی است که امکان اتصال مسیر مستقیم را به یک قوس دایره‌ای با شعاع مشخص فراهم می‌کند. این اتصال به گونه‌ای باید فراهم شود که بتوان تغییرات تدریجی شعاع قوس و بربلندی (دِوِر) مسیر را با توجه به محدودیت‌هایی همچون ایمنی سفر و راحتی مسافرین تأمین نمود. از انواع مرسوم قوس‌های پیوندی می‌توان به قوس حلزونی (کلوتوئید) و سهمی درجه سوم اشاره نمود. از مزایای مهم قوس پیوندی می‌توان به تأمین محل مناسب جهت اعمال بربلندی (دِوِر) و تعریض در قوس اشاره نمود.

قوس مرکب: قوسی است که از اتصال بی‌واسطه دو یا چند قوس هم جهت با شعاع‌های متفاوت تشکیل شده باشد. ترتیب قرارگیری قوس‌ها به گونه‌ای است که شعاع آن‌ها پیوسته کاهش و یا افزایش می‌یابد. بهتر است در قوس‌های مرکب جهت اعمال تغییرات بربلندی (دِوِر) از اتصال کلوتوئیدی استفاده شود.

قوس پیوندی مرکب: قوس پیوندی است که شروع آن بجای شعاع بی نهایت (مسیر مستقیم) شعاع یک قوس بوده و انتهای آن به قوس دیگری می‌رسد. این نوع قوس پیوندی در قوس‌های مرکب استفاده می‌شود.

قوس معکوس: قوسی است که از اتصال بی‌واسطه دو قوس دایره‌ای با جهت‌های مختلف و شعاع‌های یکسان یا متفاوت تشکیل شده باشد. بهتر است در قوس معکوس از اتصال کلوتوئیدی و یا یک طول مستقیم بین دو قوس جهت اعمال تغییرات بربلندی (دِوِر) استفاده شود.

تغییرات طول بربلندی (دِوِر): به نرخ افزایش یا کاهش بربلندی (دِوِر) در طول قوس پیوندی، اصطلاحاً تغییرات طول بربلندی (دِوِر) گفته می‌شود.

شیب طولی مسیر: به مقدار افزایش یا کاهش تراز ارتفاعی مسیر در راستای طولی، اصطلاحاً شیب طولی مسیر اطلاق می‌گردد و معمولاً بر حسب درصد یا در هزار بیان می‌شود.

سرعت طرح: به حداکثر سرعتی اطلاق می‌شود که پارامترهای هندسی مسیر براساس آن تعیین می‌گردد و انتظار می‌رود که وسیله نقلیه ریلی در طول دوره بهره‌برداری قادر به سیر در آن سرعت باشد، اما این سرعت در زمان بهره‌بردای لزوماً قابل حصول نیست و بعضا کمتر از آن است.

سرعت مجاز یا حداکثر سرعت: به حداکثر سرعتی گفته می‌شود که وسایل نقلیه ریلی با لحاظ نمودن مسائل ایمنی، نوع ناوگان، میزان سرفاصله زمانی، راحتی مسافرین و... مجاز به سیر در آن سرعت می‌باشند.

سرعت بهره‌برداری: سرعتی است که ناوگان ریلی در شرایط عادی بهره‌برداری، با آن مسیر را طی می‌کنند. مقدار این سرعت، تابع عواملی همچون حجم مسافرین، حجم ترافیک، سر فاصله حرکت قطارها و... است.

شتاب جانبی: نیروی گریز از مرکزی که هنگام عبور از قوس به ناوگان ریلی وارد می‌شود، متناسب با مجذور سرعت سیر و عکس شعاع قوس است. این نیرو، موجب پیدایش شتاب مشخصی در وسیله نقلیه ریلی می‌گردد که راستای آن شعاعی و جهت آن رو به خارج قوس می‌باشد. برای غلبه بر این شتاب و خنثی نمودن آن از بربلندی (دِوِر) استفاده می‌شود.

شتاب قائم: همانند آنچه که در مورد شتاب جانبی بیان شد، به هنگام عبور ناوگان ریلی، از روی قوس‌های قائم نیز شتابی رو به بالا یا پائین، متناسب با شعاع قوس و سرعت سیر، به واگن‌ها وارد می‌شود.

در مورد شتاب‌های جانبی و قائم این نکته حائز اهمیت است که اگر مقدار آن‌ها در عبور وسیله نقلیه از قوس‌های افقی و قائم، از استاندارد راحتی مسافر تبعیت نکند، می‌باید با استفاده از اعمال تغییرات طراحی، این شتاب‌ها را به حدود استاندارد تقلیل داد.

۱-۳- علائم اختصاری

هر یک از مفاهیم و پارامترهای دخیل در طراحی هندسی مسیر خطوط ریلی که در روابط محاسباتی به کار می‌روند، از علامت اختصاری برخوردارند. ممکن است این علامت‌ها در متون فنی دارای تفاوت‌های جزئی باشند که برای این آیین‌نامه به صورت جدول (۱-۱) تعریف می‌شوند.

جدول ۱-۱: خلاصه علائم اختصاری مرتبط با طرح هندسی خطوط ریلی

ردیف	نماد	تعریف	واحد سنجش
۱	$\frac{d}{dl}(D)$	تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول	mm/m
۲	$\frac{d}{dt}(D)$	تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور	mm/S
۳	$\frac{d}{dt}(I)$	تغییرات کسری بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور	mm/S
۴	D یا d	بربلندی (دِوِر) موجود یا اجرایی: این نماد در مورد بربلندی (دِوِر) تعادلی نیز به کار می‌رود.	mm
۵	D_{EQ}	بربلندی (دِوِر) تعادلی	mm
۶	E	اضافه بربلندی (دِوِر)	mm
۷	g	شتاب گرانش	m/s^2
۸	I	کسری بربلندی (دِوِر)	mm
۹	L_c	طول بین تغییرات ناگهانی دو قوس افقی	m
۱۰	L_D	طول اعمال بربلندی (دِوِر)	m
۱۱	L_g	طول شیب ثابت	m
۱۲	L_s	طول قوس پیوندی	m
۱۳	L_i	طول اجزای هندسی مسیر (قوس‌های دایره‌ای و خطوط مستقیم)	m
۱۵	L_v	طول قوس قائم	m
۱۶	p	شیب طولی	-
۱۷	R	شعاع قوس‌های افقی	m
۱۸	R_v	شعاع قوس‌های قائم	m
۱۹	s	فاصله طولی	m
۲۰	t	زمان	s
۲۱	V_d	سرعت طرح	km/hr
۲۲	V_a	سرعت مجاز یا حداکثر سرعت	km/hr
۲۳	V_r	سرعت بهره‌برداری	km/hr
۲۴	I_{all}	کسری بربلندی (دِوِر) مجاز	mm
۲۵	E_{all}	اضافه بربلندی (دِوِر) مجاز	mm
۲۶	H_g	ارتفاع مرکز گرانش وسایل نقلیه ریلی از سطح فوقانی ریل‌ها	mm
۲۷	a_g	شتاب جانبی خنثی نشده	m/s^2
۲۸	a_{gr}	شتاب جانبی خنثی نشده مجاز	m/s^2
۲۹	a_v	شتاب قائم (در قوس‌های قائم)	m/s^2

فصل ۲

طراحی پلان مسیر

۲-۱- مقدمه

هندسه پلان مسیر خطوط ریلی، متشکل از اجزای مستقیم است که توسط قوس‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند. معمولاً در خطوط فرعی، با توجه به سرعت سیر پایین، استفاده از بربلندی (دِوِر) و قوس پیوندی مرسوم نمی‌باشد. همچنین به منظور افزایش سرعت بهره‌برداری و رساندن آن به حداکثر مقدار ممکن در قوس‌ها، از بربلندی (دِوِر) استفاده می‌گردد. به طور کلی می‌توان عوامل محدودکننده در طرح هندسی پلان مسیر خطوط ریلی را در دو گروه محدودیت‌های فیزیکی و محدودیت‌های سرعت دسته‌بندی نمود. لذا تأثیر عوامل مذکور را در طراحی هندسی پلان مسیر خطوط ریلی، می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- تعیین حداقل شعاع قوس‌های افقی براساس محدودیت‌های فیزیکی و نوع ناوگان عبوری،
- تعیین محدودیت تغییرات بربلندی (دِوِر)، براساس میزان راحتی مسافرین و نوع ناوگان عبوری و
- تعیین طول قوس‌های پیوندی که برای خطوط داخل شهری عموماً کوتاه‌تر از مقادیر مورد استفاده در خطوط راه‌آهن بین شهری (راه‌آهن سنگین) است.

۲-۲- عرض خط

عرض خط استاندارد برابر با ۱۴۳۵ میلیمتر است که در قوس‌های افقی با شعاع بین ۱۷۵ تا ۱۰۰ متر (در خطوط فرعی) جهت سیر بهتر ناوگان و کاهش سایش ریل، عرض خط نباید کمتر از جدول (۲-۱) باشد. در این جدول پارامتر W عرض به عرض استاندارد است.

جدول ۲-۱: تعریض عرض خط برحسب شعاع‌های مختلف

R (m)	W (mm)
۱۷۵>R≥۱۵۰ m	۱۴۳۵
۱۵۰>R≥۱۲۵ m	۱۴۴۰
۱۲۵>R≥۱۰۰ m	۱۴۴۵

شایان ذکر است که این موارد با توجه به ناوگان انعطاف‌پذیر بوده و در این خصوص می‌بایست مقادیر مجاز از سازنده ناوگان استعلام گردد. همچنین سوابق بهره‌برداری در خطوط مشابه و آمارهای ثبت شده از نرخ سایش در قوس‌ها می‌تواند در تعیین میزان اضافه عرض مد نظر قرار گیرد.

۲-۳- بربلندی (دِوِر)

۲-۳-۱- مقدمه

با حرکت وسیله نقلیه درون قوس، در نقطه تماس چرخ و ریل، نیروی گریز از مرکز به ریل وارد می‌شود. این نیرو تابعی از تندی قوس، سرعت و وزن وسیله نقلیه است و به مرکز گرانش وسیله نقلیه وارد می‌شود. در صورت عبور وسیله نقلیه با سرعت زیاد، امکان خروج از خط وسیله نقلیه به دلیل غلتش ریل و یا بالارفتن چرخ از ریل به دلیل افزایش نیروی جانبی وجود دارد. جبران نیروی گریز از مرکز با اعمال بربلندی (دِوِر) امکان‌پذیر می‌گردد. در این حالت ریل خارجی خط واقع در قوس نسبت به ریل داخلی بالاتر قرار می‌گیرد. به اختلاف تراز ارتفاعی دو ریل (ریل خارجی نسبت به ریل داخلی) در قوس‌ها که به‌منظور غلبه بر نیروی گریز از مرکز و تامین ایمنی و آسایش مسافرین لحاظ می‌گردد، بربلندی (دِوِر) اطلاق می‌شود.

۲-۳-۲- بربلندی (دِوِر) تعادلی

در شکل (۲-۱) نیروهای وارد به یک ناوگان به جرم m در حین عبور از یک قوس با بربلندی (دِوِر) d نشان داده شده است که در آن F_c نیروی جانب مرکز و N نیروی عکس‌العمل سطح می‌باشد.

مقدار بربلندی (دِوِر) باید به گونه‌ای باشد که در یک سرعت و شعاع قوس مشخص، برآیند نیروهای مرکزگرا (ناشی از وزن وسیله نقلیه) و مؤلفه نیروی گریز از مرکز در صفحه شیب عرضی خط را خنثی سازد. میزان بربلندی (دِوِر) که بطور کامل نیروی گریز از مرکز را در یک سرعت مفروض خنثی می‌سازد، "بربلندی (دِوِر) تعادلی" نامیده می‌شود.

بربلندی (دِوِر) تعادلی با استفاده از رابطه (۲-۱) قابل محاسبه است:

رابطه ۲-۱

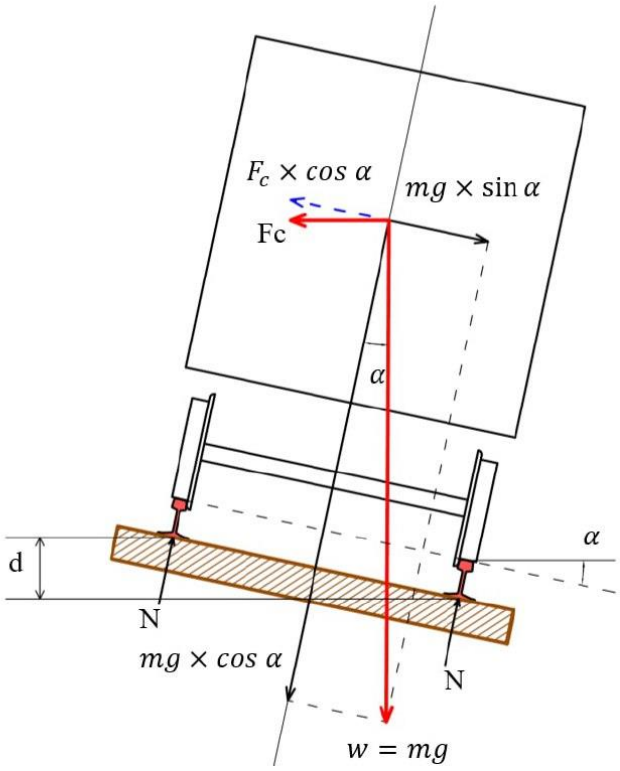
$$D_{EQ} = 11.8\frac{V^2}{R}$$

که در آن:

D_{EQ}: بربلندی (دِوِر) تعادلی بر حسب میلیمتر (m)،

V: سرعت برحسب کیلومتر بر ساعت ($^{km}/_{hr}$) و

R: شعاع قوس بر حسب متر (m) است.



شکل ۲-۱: نیروهای وارده بر واگن در قوس افقی

در جدول (۲-۲) مقادیر بربلندی (دِوِر) تعادلی D_{EQ} برای سرعت‌ها و شعاع‌های مختلف براساس رابطه (۲-۱) ارائه شده است.

جدول ۲-۲: مقادیر بربلندی (دِوِر) تعادلی برحسب شعاع قوس و سرعت (میلیمتر)

سرعت (km/hr) / شعاع قوس (متر)	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰
۵،۰۰۰	۱	۲	۴	۶	۸	۱۲	۱۵	۱۹	۲۴	۲۹	۳۴	۴۰	۴۶
۴،۵۰۰	۱	۲	۴	۷	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۲۶	۳۲	۳۸	۴۴	۵۱
۴۰۰۰	۱	۳	۵	۷	۱۱	۱۴	۱۹	۲۴	۳۰	۳۶	۴۲	۵۰	۵۸
۳۵۰۰	۱	۳	۵	۸	۱۲	۱۷	۲۲	۲۷	۳۴	۴۱	۴۹	۵۷	۶۶
۳۰۰۰	۲	۴	۶	۱۰	۱۴	۱۹	۲۵	۳۲	۳۹	۴۸	۵۷	۶۶	۷۷
۲۵۰۰	۲	۴	۸	۱۲	۱۷	۲۳	۳۰	۳۸	۴۷	۵۷	۶۸	۸۰	۹۳
۲۰۰۰	۲	۵	۹	۱۵	۲۱	۲۹	۳۸	۴۸	۵۹	۷۱	۸۵	۱۰۰	۱۱۶
۱۵۰۰	۳	۷	۱۳	۲۰	۲۸	۳۹	۵۰	۶۴	۷۹	۹۵	۱۱۳	۱۳۳	۱۵۴
۱۰۰۰	۵	۱۱	۱۹	۳۰	۴۲	۵۸	۷۶	۹۶	۱۱۸	۱۴۳	۱۷۰	۱۹۹	۲۳۱
۹۰۰	۵	۱۲	۲۱	۳۳	۴۷	۶۴	۸۴	۱۰۶	۱۳۱	۱۵۹	۱۸۹	۲۲۲	۲۵۷
۸۰۰	۶	۱۳	۲۴	۳۷	۵۳	۷۲	۹۴	۱۱۹	۱۴۸	۱۷۸	۲۱۲	۲۴۹	۲۸۹
۷۵۰	۶	۱۴	۲۵	۳۹	۵۷	۷۷	۱۰۱	۱۲۷	۱۵۷	۱۹۰	۲۲۷	۲۶۶	۳۰۸
۷۰۰	۷	۱۵	۲۷	۴۲	۶۱	۸۳	۱۰۸	۱۳۷	۱۶۹	۲۰۴	۲۴۳	۲۸۵	۳۳۰
۶۵۰	۷	۱۶	۲۹	۴۵	۶۵	۸۹	۱۱۶	۱۴۷	۱۸۲	۲۲۰	۲۶۱	۳۰۷	۳۵۶
۶۰۰	۸	۱۸	۳۱	۴۹	۷۱	۹۶	۱۲۶	۱۵۹	۱۹۷	۲۳۸	۲۸۳	۳۳۲	۳۸۵
۵۵۰	۹	۱۹	۳۴	۵۴	۷۷	۱۰۵	۱۳۷	۱۷۴	۲۱۵	۲۶۰	۳۰۹	۳۶۳	۴۲۱
۵۰۰	۹	۲۱	۳۸	۵۹	۸۵	۱۱۶	۱۵۱	۱۹۱	۲۳۶	۲۸۶	۳۴۰	۳۹۹	۴۶۳
۴۵۰	۱۰	۲۴	۴۲	۶۶	۹۴	۱۲۸	۱۶۸	۲۱۲	۲۶۲	۳۱۷	۳۷۸	۴۴۳	۵۱۴
۴۰۰	۱۲	۲۷	۴۷	۷۴	۱۰۶	۱۴۵	۱۸۹	۲۳۹	۲۹۵	۳۵۷	۴۲۵	۴۹۹	۵۷۸
۳۵۰	۱۳	۳۰	۵۴	۸۴	۱۲۱	۱۶۵	۲۱۶	۲۷۳	۳۳۷	۴۰۸	۴۸۵	۵۷۰	۶۶۱
۳۰۰	۱۶	۳۵	۶۳	۹۸	۱۴۲	۱۹۳	۲۵۲	۳۱۹	۳۹۳	۴۷۶	۵۶۶	۶۶۵	۷۷۱

بربلندی (دِوِر) زیاد در قوس‌های افقی با شعاع کوچک، خطر خروج واگن‌های کندرو از خط را افزایش داده و باعث ناراحتی مسافران در صورت توقف قطار در این نقاط می‌شود. اعمال بربلندی (دِوِر) زیاد در نقاط ویژه مانند پل‌ها و سوزن‌ها باعث افزایش هزینه تعمیر و نگهداری و کاهش کیفیت خط می‌شود. بنابراین محدودسازی بربلندی (دِوِر) برای آن‌ها توصیه می‌شود.

مقادیر حدی بربلندی (دِوِر) مجاز در خطوط اصلی در جدول (۲-۳) ارائه شده است. شایان ذکر است که میزان مجاز بربلندی (دِوِر) متأثر از مشخصات ناوگان و نیز اثر قواره ناوگان بر سازه‌های اطراف نیز هست که این مهم باید هنگام طراحی مسیر مد نظر قرار گیرد.

جدول ۲-۳: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی برای پارامتر بربلندی (دِوِر)

سرعت طراحی(km/h) / پارامترهای هندسی مجاز	$V_r \leq 80$		$80 < V_r \leq 120$	
	استاندارد	حداکثر	استاندارد	حداکثر
D_{max} (mm)	۱۲۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۶۰

۲-۳-۳- کمبود بربلندی (دِوِر)

همان‌گونه که پیش از این نیز بیان گردید، بربلندی (دِوِر) تعادلی، متناسب با شعاع قوس و سرعت سیر مشخصی تعیین می‌گردد. در نتیجه با تغییر هر یک از پارامترهای مذکور به خصوص سرعت سیر وسایل نقلیه ریلی، کسری یا اضافی بربلندی (دِوِر) به وجود خواهد آمد.

در سرعت‌های بالاتر از سرعت تعادلی، کسری بربلندی (دِوِر) وجود خواهد داشت. برای شعاع قوس افقی (R) و بربلندی (دِوِر) موجود و اجرایی (D)، کسری بربلندی (دِوِر) که با I (mm) نشان داده می‌شود، از رابطه (۲-۲) به دست می‌آید:

رابطه ۲-۲

$$I = 11.8\frac{V_{max}^2}{R} - D \leq I_{all}$$

که در آن:

V_{max}^2: حداکثر سرعت بهره‌برداری ($^{km}/_{hr}$)،

I_{all}: کسری بربلندی (دِوِر) مجاز (mm) مطابق با مقادیر جدول (۲-۴) می‌باشد.

شتاب جانبی خنثی نشده a_g ناشی از کسری بربلندی (دِوِر) از رابطه (۲-۳) به دست می‌آید:

رابطه ۲-۳

$$a_g = \frac{V_{max}^2}{12.96\,R} - \frac{g \times D}{1500} \approx \frac{\mathrm{I}}{153} \leq a_{qr}$$

که در آن:

a_{qr}: شتاب جانبی خنثی نشده مجاز ($^{m}/_{s^2}$) و مطابق با مقادیر جدول (۲-۴) و

g: شتاب گرانش بر حسب $^{m}/_{s^2}$ می‌باشد.

مقادیر حدی مجاز کسری بربلندی (دِوِر)، با عنایت به اطلاعات ناوگان موجود در کشور مطابق جدول (۲-۴) می‌باشد. البته استفاده از کسری بربلندی (دِوِر) حداکثر به جهت افزایش نیروی جبران نشده وارد بر ریل خارجی، افزایش میزان سایش و کاهش ایمنی و راحتی مسافرین توصیه نمی‌گردد.

جدول ۲-۴: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی کسری بربلندی (دِوِر) و شتاب جانبی

سرعت طراحی(km/h) / پارامترهای هندسی مجاز	$V_r \leq 80$		$80 < V_r \leq 120$	
	استاندارد	حداکثر	استاندارد	حداکثر
I_{all} (mm)	۶۰	۸۰	۸۰	۱۰۰
a_{qr} (m/s2)	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۶۷

البته کسری بربلندی (دِوِر) مجاز به نوع سیستم تعلیق ناوگان و نیز انعطاف‌پذیری سیستم بوژی نیز بستگی دارد لذا پیشنهاد می‌گردد که این پارامتر بایستی مستقیما از ضوابط ناوگان پروژه استخراج گردد.

۲-۳-۴- اضافه بربلندی (دِوِر)

در سرعت‌های کمتر از سرعت تعادلی، اضافه بربلندی (دِوِر) وجود خواهد داشت. مقدار اضافه بربلندی (دِوِر) که با E نشان‌داده می‌شود، از رابطه (۲-۴) به‌دست می‌آید:

رابطه ۲-۴

$$E = D - 11.8\frac{V_{min}^2}{R} \leq E_{all}$$

که در آن:

V_{min}: سرعت حداقل (km/h) و

E_{all}: اضافه بربلندی (دِوِر) مجاز (mm) می‌باشد.

جدول ۲-۵: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی اضافه بربلندی (دِوِر)

سرعت طراحی(km/h) / پارامترهای هندسی مجاز	$V_r \leq 80$		$80 < V_r \leq 120$	
	استاندارد	حداکثر	استاندارد	حداکثر
E_{all} (mm)	۳۰	۵۰	۵۰	۷۰

۲-۳-۵- تغییرات بربلندی (دِوِر)

تغییرات بربلندی (دِوِر) که در قوس پیوندی انجام می‌گیرد، معمولاً به دو صورت تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول و تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور مطرح می‌گردد. علاوه بر این موارد، تغیرات کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

۲-۳-۵-۱- تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول

تغییرات بربلندی (دِوِر) باید به شکلی یکنواخت و در سراسر طول قوس پیوندی، از مقدار صفر در انتهای خط مستقیم تا مقدار حداکثر خود در ابتدای قوس دایره‌ای صورت گیرد. این تغییرات باید به گونه‌ای باشد که از یک سو، الزامات ایمنی و از سوی دیگر راحتی مسافرین تأمین گردد. تغییرات بربلندی (دِوِر) مطابق رابطه (۲-۵) در همه قوس‌های افقی بایستی رعایت گردد:

رابطه ۲-۵ $$\left(\frac{dD}{dl}\right)_{max} \leq \left(\frac{dD}{dl}\right)_{all}$$

که در آن:

V_{max}: حداکثر سرعت بهره‌برداری بر حسب $^{km}/_{hr}$ ،

$\left(\frac{dD}{dl}\right)_{max}$: حداکثر تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول بر حسب $^{mm}/_{l}$ (مطابق رابطه $\frac{D}{L_s}$ که در آن D برابر بربلندی (دِوِر) موجود و L_s برابر با طول کلوتوئید می‌باشد)

$\left(\frac{dD}{dl}\right)_{all}$: مقدار مجاز تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول بر حسب $^{mm}/_{l}$ مطابق با جدول (۲-۶).

شدت تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول قوس پیوندی باید به گونه‌ای باشد که شتاب جانبی وارد بر وسایل نقلیه ریلی از حد مجاز آن که پیش از این در بالا بیان گردید، تجاوز نکند. همچنین تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول برحسب استاندارد به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

جدول ۲-۶: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به طول

سرعت طراحی (km/h) / پارامترهای هندسی مجاز	$V_r \leq 80$			$80 < V_r \leq 120$	
	مطلوب	قابل قبول	حداکثر مطلق	مطلوب	قابل قبول
$(\frac{mm}{l})$ $\left(\frac{dD}{dl}\right)_{all}$	۱/۳۳	۲	۲/۶۳	۱/۳۳	۲

مقدار حداکثر مطلق در شرایط خاص قابل استفاده خواهد بود که در این موارد باید سرعت سیر ناوگان بر روی قوس‌های مذکور محدود گردد.

۲-۳-۵-۲- تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور

دو حالت وجود دارد که در آن می‌توان تغییرات بربلندی (دِوِر) را به صورت تابعی از زمان عبور از طول تأمین بربلندی (دِوِر) تعیین نمود:

الف) تغییرات بربلندی (دِوِر) با شیب یکنواخت،

ب) تغییرات بربلندی (دِوِر) با شیب غیر یکنواخت (متناسب با افزایش نیروی گریز از مرکز).

در حالت الف، معادله محاسبه میزان تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان با لحاظ نمودن ΔD (کل تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول یک قوس پیوندی (mm)) به صورت رابطه (۲-۶) است:

رابطه ۲-۶ $$\frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D \times V_{max}}{3.6\ L_s} \leq \left(\frac{dD}{dt}\right)_{all}$$

که در آن:

dD: تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول یک قوس پیوندی (mm)،

V_{max}: حداکثر سرعت بهره‌برداری ($^{km}/_{hr}$)،

L_s: طول قوس پیوندی (m) و

$\left(\frac{dD}{dt}\right)_{all}$: مقدار مجاز تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان بر حسب $^{mm}/_{S}$ مطابق با جدول (۲-۷) می‌باشد.

در حالت دوم و در صورتی که شیب بربلندی (دِوِر) به طور غیریکنواخت تغییر نماید، مقدار $\left(\frac{dD}{dt}\right)_{all}$ نیز ثابت نخواهد بود. به دلیل پیچیدگی محاسبات مربوط به این حالت و عدم کاربرد آن در خطوط قطارشهری از وارد شدن به بحث مذکور خودداری می‌شود.

از آنجایی که عبور از قوس موجب می‌گردد تا وسیله نقلیه ریلی، حرکت دورانی سریعی حول محور طولی خود داشته باشد، لازم است تا $\frac{dD}{dt}$ براساس ملاحظات مربوط به راحتی سفر و امکان وجود شرایط نامطلوب در بستر خط، تعیین گردد. همچنین، مقادیر حدی مجاز تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان مطابق جدول (۲-۷) توصیه می‌گردد.

جدول ۲-۷: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان

$80 < V_r \leq 120$		$V_r \leq 80$		سرعت طراحی(km/h) / پارامترهای هندسی مجاز
حداکثر	استاندارد	حداکثر	استاندارد	
۳۵	۲۸	۳۵	۲۸	$(\frac{mm}{sec})$ $\left(\frac{dD}{dt}\right)_{all}$

۲-۳-۵-۳- تغیرات کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور:

در مورد قوس پیوندی با شیب بربلندی (دِوِر) ثابت، تغییرات کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان $\frac{dI}{dt}$ از رابطه (۲-۷) بدست می‌آید:

رابطه ۲-۷

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6\ L_s} \leq \left(\frac{dI}{dt}\right)_{all}$$

که در آن:

I: برابر با کمبود بربلندی (دِوِر) (mm)،

$\left(\frac{dI}{dt}\right)_{all}$: تغییرات مجاز کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور می‌باشد (مطابق با جدول (۲-۸)).

جدول ۲-۸: مقادیر حدی مجاز پیشنهادی تغییرات کمبود بربلندی (دِوِر) نسبت به زمان عبور

$80 < V_r \leq 120$		$V_r \leq 80$		سرعت طراحی(km/h) / پارامترهای هندسی مجاز
حداکثر	استاندارد	حداکثر	استاندارد	
۷۰	۲۵	۷۰	۲۵	$(\frac{mm}{sec})$ $\left(\frac{dI}{dt}\right)_{all}$

۲-۴- قوس‌ها

هرگاه در طرح هندسی، نیاز به تغییر راستای مسیر به صورت افقی باشد، لازم است تا این تغییرات به طور تدریجی در مسیر لحاظ گردد. بدین منظور از قوس‌ها که معمولاً دایره‌ای هستند، استفاده می‌شود.

۲-۴-۱- قوس دایره‌ای

به‌طورکلی قوس‌های دایره‌ای را می‌توان ساده‌ترین نوع قوس به لحاظ طراحی و اجرای هندسه مسیر خطوط ریلی به شمار آورد. عموماً قوس‌های دایره‌ای با شعاع آن‌ها مشخص می‌گردد. همچنین در خطوط اصلی ریلی برای اتصال خط مستقیم به قوس‌های دایره‌ای ساده باید از قوس‌های پیوندی استفاده گردد. به صورت کلی، مشخصات و پارامترهای هندسی قوس‌های دایره‌ای و پیوندی، در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. در این شکل:

cc: مرکز قوس دایره‌ای،

D_c: انحنای قوس بر حسب درجه روبروی کمان ۱۰۰ فوتی،

Δ_c: زاویه مرکزی قوس دایره‌ای،

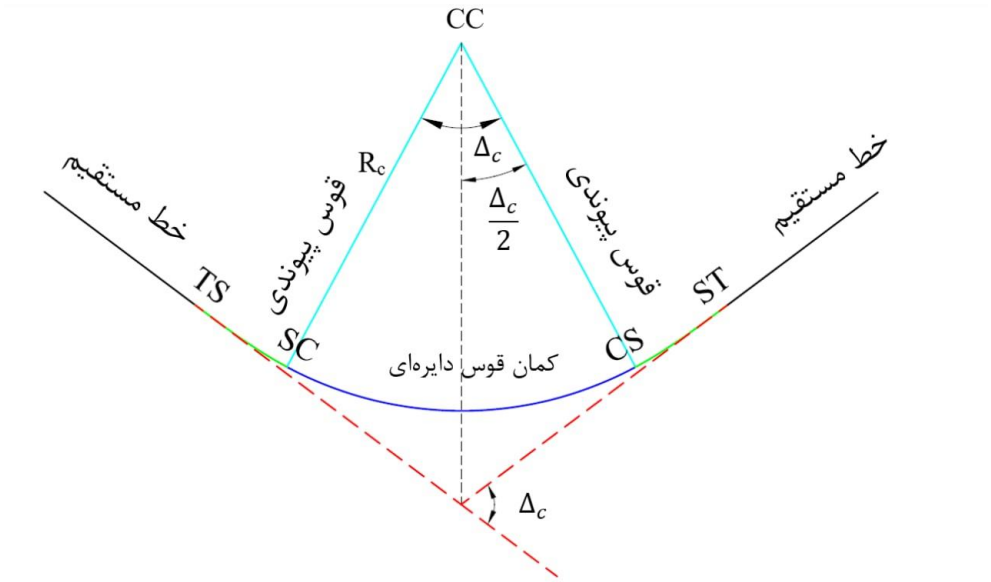
R_c: شعاع قوس دایره‌ای،

TS: نقطه شروع قوس پیوندی و اتمام خط مستقیم،

SC: نقطه شروع قوس دایره‌ای و اتمام قوس پیوندی،

CS: نقطه اتمام قوس دایره‌ای و شروع قوس پیوندی،

ST: نقطه اتمام قوس پیوندی و شروع خط مستقیم،



شکل ۲-۲: پارامترهای هندسی در قوس دایره‌ای و قوس پیوندی

روابط هندسی مرتبط با محاسبه پارامترهای قوس دایره‌ای عبارتند از:

درجه انحنای قوس دایره‌ای (D_c):

رابطه ۲-۸

$$D_c = \frac{5729.58}{R_c}$$

که در آن R_c شعاع قوس افقی بر حسب فوت می‌باشد.

طول کل کمان قوس دایره‌ای (L_c به متر):

رابطه ۲-۹

$$L_c = \Delta_c \times R_c$$

که در آن:

Δ_c: زاویه مرکزی قوس دایره‌ای،

R_c: شعاع قوس دایره‌ای

برای محاسبه درجه انحنای قوس دایره‌ای و طول کل کمان قوس دایره‌ای، مقدار شعاع قوس دایره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عوامل زیادی در مقدار حداقل شعاع قوس‌های دایره‌ای تاثیر دارند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به ایمنی سیر و حرکت، راحتی مسافرین، حداقل و حداکثر سرعت بهره‌برداری، شرایط فیزیکی وسایل نقلیه ریلی، آرایش محوری واگن‌ها (فاصله مرکز به مرکز محورها در بوژی)، ابعاد ماشین‌آلات تعمیر و نگهداری و ابعاد سازه‌های مسیر همچون تونل‌ها اشاره نمود.

در صورت مشخص بودن حداکثر سرعت بهره‌برداری و همچنین مقدار کسری بربلندی (دِوِر)، حداقل شعاع قوس افقی مجاز بر حسب متر (R) برابر خواهد بود با:

رابطه ۲-۱۰

$$\mathrm{R} = \frac{11.8}{d + I}\, V_{max}^2$$

در این رابطه:

V_{max}: حداکثر سرعت بهره‌برداری (km/hr)،

d: بربلندی (دِوِر) موجود (mm) و

I: کسری بربلندی (دِوِر) (mm) است.

حداقل طول قوس دایره‌ای:

حداقل طول قوس دایره‌ای براساس راحتی مسافر تعیین می‌شود و به مشخصات فیزیکی وسیله نقلیه مربوط نمی‌شود. بنابراین حداقل مطلوب طول قوس دایره‌ای معمولا با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۲-۱۱

$$\mathrm{L} = 0.57 \times V$$

که در آن:

L: حداقل طول قوس دایره‌ای برحسب متر و V: سرعت بهره‌برداری برحسب کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

در صورتیکه در محل قوس افقی از قوس‌های پیوندی نیز استفاده شده باشد، طول قوس افقی دایره‌ای در نظر گرفته شده می‌تواند ترکیبی از طول قوس دایره‌ای ساده و نیمی از طول دو قوس پیوندی باشد. همچنین، حداقل طول مطلق قوس افقی با بربلندی (دِوِر)، می‌بایست ۳ الی ۵ متر طولانی‌تر از فاصله محور به محور یک واگن باشد.

حداقل طول مستقیم بین دو قوس دایره‌ای هم‌جهت:

برای تعیین حداقل طول خط مستقیم بین دو قوس دایره‌ای نیز می‌توان از رابطه $L = 0.57 \times V$ متر استفاده نمود. به بیان کلی‌تر حداقل باید ۲ ثانیه طول بکشد تا قطار از یک قوس افقی به قوس افقی دیگر برسد، یا اینکه بین دو قوس افقی حداقل به اندازه فاصله بین دو محور یک واگن به اضافه فاصله محور تا محور دو واگن مجاور فاصله باشد.

حداقل طول مستقیم بین دو قوس دایره‌ای معکوس:

در حالتیکه دو قوس معکوس داشته باشیم فاصله افقی مطلوب بین دو قوس برابر با بیشترین مقدار ۶۰ متر یا عدد بدست آمده از رابطه ۲-۱۰ می‌باشد.

برای حالت حداقل قابل قبول، بیشترین مقدار بین اندازه طول یک واگن به همراه کوپلرها و یا عدد بدست آمده از رابطه (۲-۱۰) می‌باشد.

همچنین حداقل مقدار مطلق نیز، بیشترین مقدار ۹/۵ متر و یا فاصله بین دو محور یک واگن به اضافه فاصله محور تا محور دو واگن مجاور می‌باشد.

در تمام موارد فوق، سرعت عبور قطار از قوس باید به سرعت بدست آمده از رابطه (۲-۱۰) محدود گردد.

با توجه به ناوگان موجود در ایران، توصیه می‌گردد که در خطوط اصلی حداقل شعاع قوس افقی برابر با ۳۰۰ متر و در خطوط فرعی (لینک‌های اتصالی بین خطوط) برابر با ۱۴۰ متر در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که در خطوط اصلی تونل‌های مکانیزه، علاوه بر تاثیرگذاری ناوگان در انتخاب حداقل شعاع قوس افقی، محدودیت‌های دستگاه حفار مکانیزه TBM نیز تعیین‌کننده می‌باشد.

۲-۴-۲- قوس پیوندی

در خطوط اصلی معمولا انتقال از خط مستقیم به قوس افقی با استفاده از قوس پیوندی صورت می‌گیرد. قوس پیوندی دو عملکرد اصلی شامل اجرای تدریجی بربلندی (دِوِر) و هدایت وسیله نقلیه ریلی از خط مستقیم به قوس را عهده‌دار می‌باشد. در صورت عدم پیش‌بینی قوس پیوندی، نیروی دینامیکی عظیمی بصورت ضربه در بخش اول ورود به قوس دایره‌ای و خط مستقیم ایجاد می‌گردد. انواع مختلفی از توابع قوس پیوندی به لحاظ ریاضی وجود دارد که از آن‌جمله می‌توان به قوس کلوتوئید (حلزونی)، لمینسکات، سهمی درجه سوم و سهمی درجه چهارم اشاره نمود. دو معیار اصلی جهت تعیین طول قوس‌های پیوندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین معیار شتاب دورانی آلات ناقله ریلی حول محور طولی آن‌ها و معیار دوم نیز مقدار محدودکننده پیچش بدنه واگن می‌باشد.

یکی از مشخصه‌های مهم قوس‌های پیوندی، طول آن‌ها می‌باشد. سرعت عبور وسایل نقلیه ریلی از محل قوس پیوندی و میزان تغییرات بربلندی (دِوِر) را در طول این قوس، می‌توان از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب طول مناسبی برای قوس پیوندی دانست. دو عامل مذکور در تقابل مستقیم با یکدیگر قرار دارند. بدین صورت که با مشخص بودن مقدار سرعت، طراح قادر خواهد بود که براساس ملاحظات مربوط به راحتی مسافران، نرخ تغییرات بربلندی (دِوِر) را در طول قوس پیوندی تعیین نماید. نرخ تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول قوس پیوندی باید به گونه‌ای باشد که اختلاف آن در فاصله مرکز به مرکز دو بوژی متوالی واگن، به مقدار مشخصی محدود گردد. با توجه به موارد مذکور می‌توان دریافت که طول قوس پیوندی همواره ثابت بوده و در دوره بهره‌برداری از خط ریلی نمی‌توان آن را تغییر داد. بدین لحاظ باید مقدار آن را همواره براساس سرعت طرح محاسبه نمود.

طول قوس پیوندی باید براساس محدودیت‌هایی که با لحاظ نمودن پارامترهای زیر در طراحی هندسی خطوط ریلی وارد می‌شوند، محاسبه گردد:

- نرخ تغییرات بربلندی (دِوِر) به صورت تابعی از طول ($\frac{dD}{dl}$).
- نرخ تغییرات بربلندی (دِوِر) به صورت تابعی از زمان ($\frac{dD}{dt}$).
- نرخ تغییرات کسری بربلندی (دِوِر) به صورت تابعی از زمان ($\frac{dI}{dt}$) و

بنابراین بیشترین مقداری که از رابطه (۲-۱۲)، رابطه (۲-۱۳) و رابطه (۲-۱۴) به دست می‌آید، مبنای تصمیم‌گیری در مورد طول قوس پیوندی (L_s) خواهد بود:

رابطه ۲-۱۲
$$L_s \geq \Delta D \times \left(\frac{dD}{dl}\right)^{-1} \quad (m)$$

رابطه ۲-۱۳
$$L_s = \frac{V_{max}}{3.6} \times \Delta D \times \left(\frac{dD}{dt}\right)^{-1} \quad (m)$$

رابطه ۲-۱۴
$$L_s = \frac{V_{max}}{3.6} \times \Delta I \times \left(\frac{dI}{dt}\right)^{-1} \quad (m)$$

در روابط فوق:

ΔD: کل تغییرات بربلندی (دِوِر) در طول قوس پیوندی (mm)،

V_{max}: حداکثر سرعت عبور وسیله نقلیه ریلی از قوس (km\h)،

ΔI: کل تغییرات کسری بربلندی (دِوِر) در طول قوس پیوندی (mm) می‌باشد.

حداقل مطلق طول قوس پیوندی ۲۰ متر توصیه می‌شود. در خطوط فرعی و ایستگاه‌هایی که سرعت سیر کمتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت می‌باشد، تعبیه قوس پیوندی ضروری نمی‌باشد. حداقل طول قوس پیوندی باید به حدی باشد که بربلندی (دِوِر) نیز در طول آن تأمین گردد.

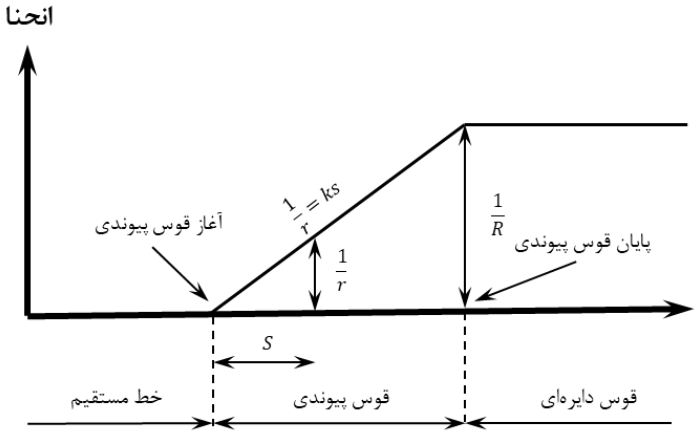
جهت اتصال قسمت مستقیم خط به یک قوس دایره‌ای افقی، در صورتی که شعاع قوس دایره‌ای از ۳۰۰۰ متر کوچک‌تر باشد، ضرورتاً باید از قوس پیوندی استفاده نمود. همواره باید بین دو قوس متوالی از یک قطعه خط مستقیم استفاده کرد

و تا جایی که ممکن است از طراحی و کاربرد قوس‌های معکوس و بدون تعبیه قطعه خط مستقیم در بین دو قوس متوالی، خودداری شود. در محل اتصال قوس دایره‌ای به یک انشعاب در خطوط فرعی، نیازی به تعبیه قوس پیوندی نمی‌باشد و می‌تواند این اتصال به طور بی‌واسطه صورت گیرد.

انواع گوناگونی از قوس‌های پیوندی وجود دارد که در طرح هندسی مسیر خطوط ریلی استفاده می‌شود. از این میان دو نوع قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)[۲] و قوس پیوندی سهمی درجه سوم از کاربرد بسیار وسیعی برخوردارند که در ادامه به تشریح روابط محاسبه پارامترهای هندسی مربوطه پرداخته خواهد شد.

۲-۴-۲-۱- قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)

قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) بر مبنای معادله اولر محاسبه می‌شود. در قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)، انحنای قوس پیوندی در یک نقطه مشخص، با طول این قوس در آن نقطه، نسبت معکوس دارد و یا به عبارت دیگر، حاصلضرب این دو پارامتر در یکدیگر برابر با مقدار ثابتی است. شکل (۲-۳) تغییرات انحنا در سه قسمت مستقیم، قوس حلزونی (کلوتوئید) و قوس دایره‌ای را در حالت تعبیه قوس حلزونی (کلوتوئید) نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۳: تغییرات انحنا در طول قوس پیوندی، قوس دایره‌ای و مسیر مستقیم

با فرض این که مقدار ثابت برابر با A^2 باشد. معادله عمومی قوس پیوندی حلزونی به صورت رابطه (۲-۱۵) بیان می‌گردد:

$$s \times r = A^2$$

رابطه ۲-۱۵

در رابطه فوق:

s: طول قوس پیوندی بر حسب متر است که بسته به موقعیت نقطه مورد بررسی تعیین می‌گردد و

r: شعاع انحنای قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) در هر نقطه است.

[۲] Clothoid

انحنای قوس پیوندی با رشد تدریجی بین مسیر مستقیم و قوس دایره، از مقدار انحنای صفر (r=∞) آغاز شده و در قوس دایره به مقدار انحنای و در قوس دایره به مقدار انحنای R (شعاع قوس دایره‌ای) می‌رسد.

شکل (۲-۴) پارامترهای هندسی مرتبط با قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) را نشان می‌دهد. پارامترهای مذکور به ترتیب عبارتند از:

L_s: طول کل قوس پیوندی که بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ای تعیین می‌شود،

θ: زاویه خط مماس نظیر طول L (طول متغیر قوس پیوندی)،

θ_s: زوایه قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) نظیر طول Ls،

$\emptyset$: زاویه قطبی یک نقطه از قوس پیوندی حلزونی،

Δ: زاویه انحراف مماس‌های اصلی،

Δ_c: زاویه مرکزی قوس دایره‌ای،

δ: مقدار جابجایی قوس دایره‌ای جهت اتصال به قوس پیوندی،

K: فاصله نقطه TS از خط عمود بر محور xها (گذرنده از نقطه O)،

R_c: شعاع قوس دایره‌ای،

T_s: طول کل خط مماس،

E_s: فاصله خارجی قوس از نقطه انحراف مسیر تا قوس در امتداد نیم‌ساز،

x_s, y_s: مختصات آخرین نقطه قوس پیوندی حلزونی و

X, y: مختصات هر نقطه بر روی قوس پیوندی حلزونی می‌باشد.

روابط محاسبه پارامترهای هندسی مهم در قوس پیوندی حلزونی به شرح زیر است (زاویه θ بر حسب رادیان سنجیده می‌شود):

رابطه ۲-۱۶
$$\theta_s = \frac{L_s}{2R_c}$$

رابطه ۲-۱۷
$$\theta = \theta_s \left(\frac{L}{L_s}\right)^2$$

رابطه ۲-۱۸
$$x = \frac{L}{100}(100 - 0.304\theta^2 \times 10 - 2)$$

رابطه ۲-۱۹
$$y = \frac{L}{100}(0.5818\,\theta - 0.304\,\theta^2 \times 10 - 4)$$

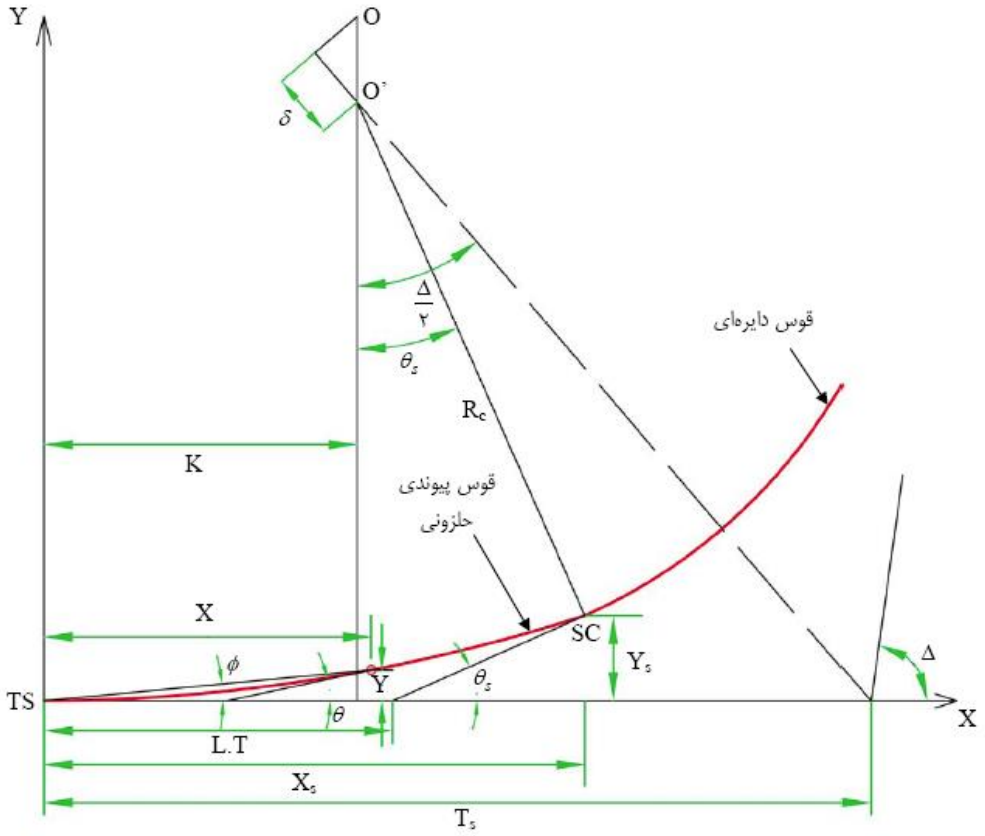
رابطه ۲-۲۰
$$K = X_s - R_c\, sin\theta_s$$

رابطه ۲-۲۱
$$\delta = Y_s - R_c\,(1 - cos\,\theta_s)$$

رابطه ۲-۲۲
$$E_s = (R_c + \delta)sec\frac{\Delta}{2} - R_c$$

رابطه ۲-۲۳

$$T_s = K + (R + \delta)\tan\frac{\Delta}{2}$$



شکل ۲-۴: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)

۲-۴-۲-۲- قوس پیوندی سهمی درجه سوم

این نوع قوس پیوندی را می‌توان با تقریب مناسبی به جای قوس پیوندی حلزونی به کار برد. زیرا از روابط محاسباتی ساده‌تری برخوردار بوده و اجرای آن‌ها نیز ساده‌تر است. شکل (۲-۵) پارامترهای هندسی مربوط به این نوع از قوس پیوندی را نشان می‌دهد. در ادامه نیز روابط محاسباتی پارامترهای مذکور بیان می‌شود. در این روابط، L طول کل قوس پیوندی و l تصویر آن بر روی امتداد مستقیم باشد.

نخستین رابطه مربوط به محاسبه مختصات قوس پیوندی است. رابطه (۲-۲۴) بدین منظور به کار می‌رود:

رابطه ۲-۲۴

$$y = \frac{x^3}{6RL}\left[1 + \left(\frac{l}{2R}\right)^2\right]^{3/2}$$

در رابطه بالا در صورتی که مقدار $\left(\frac{l}{2R}\right)^2$ خیلی کوچک‌تر از یک باشد، می‌توان آن را از معادله بالا حذف نمود. در این صورت یک سهمی درجه سوم با طول کم خواهیم داشت. تا زمانی که $l < \frac{R}{3/5}$ باشد، معادله به دست آمده قابل استفاده است:

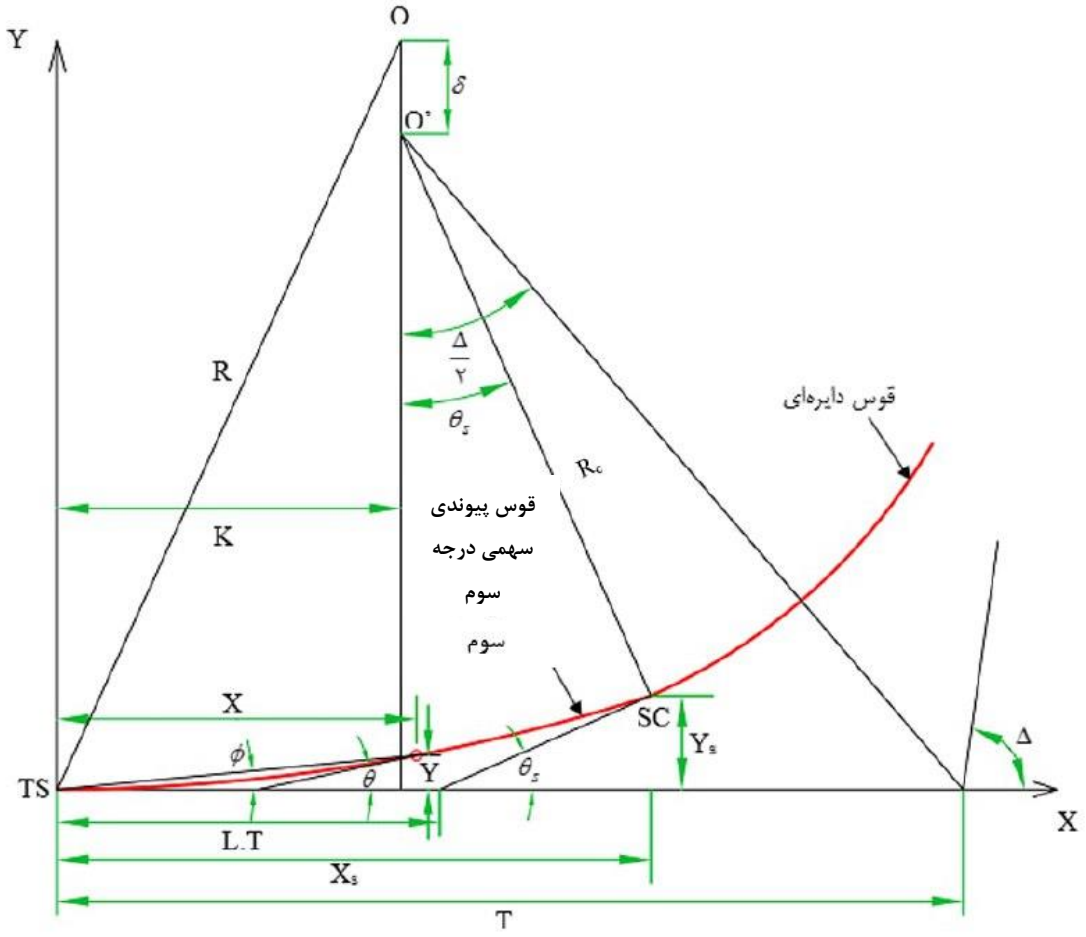
رابطه ۲-۲۵

$$y = \frac{x^3}{6RL}$$

امتداد سهمی درجه سوم به ازای هر ۱۰ متر و یا در صورت نیاز هر ۵ متر محاسبه می‌گردد. رابطه تناسب طول L و تصویر آن بر روی خط مستقیم یعنی l ، به شکل زیر است:

رابطه ۲-۲۶

$$L = l + \frac{1}{10}\left(\frac{l}{2R}\right)^2$$



شکل ۲-۵: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی سهمی درجه سوم

فصل ۳

طراحی پروفیل طولی مسیر

۳-۱- مقدمه

در خطوط ریلی، تراز هندسی قائم معمولاً از پیچیدگی کمتری نسبت به تراز افقی برخوردار است. با این وجود در صورت عدم توجه به مشخصات آن در مراحل اولیه طراحی، تغییرات زیادی را در هندسه افقی خط در فازهای آتی طراحی و یا عدم حصول به یک طرح بهینه هندسه قائم را باعث می‌شوند. به‌طور معمول شیب و فراز خطوط ریلی به دو دلیل اصلی، بسیار محدودتر از سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای می‌باشد. دو دلیل اصلی در این رابطه اصطکاک محدود در دسترس در سطح تماس چرخ و ریل و میزان بسیار کوچکتر نسبت توان به وزن آلات ناقله ریلی نسبت به خودرو می‌باشد. تراز هندسی قائم نیز از دو مولفه اصلی مشابه هندسه افقی تشکیل می‌شود (خطوط مستقیم و قوس‌ها). در این رابطه تفاوت‌هایی در ترکیب بین دو هندسه نام برده وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ترسیم پروفیل طولی مسیر خطوط ریلی، تراز ارتفاعی محور خط، مبنا قرار می‌گیرد و رقوم ارتفاعی از سطح روی ریل سنجیده می‌شود.

۳-۲- شیب طولی

شیب طولی مسیر خطوط ریلی به صورت نسبت افزایش یا کاهش تراز ارتفاعی به طول افقی مشخصی از مسیر اطلاق می‌گردد و معمولاً به درصد یا در هزار بیان می‌شود. نیروی کشش و ترمز وسایل نقلیه ریلی و الزامات مربوط به مسایل بهره‌برداری، بر حداکثر شیب طولی مؤثرند و مسایل مربوط به زهکشی و دفع آب‌های سطحی از بستر و حریم خط ریلی، تعیین‌کننده حداقل شیب طولی می‌باشند.

حداکثر مطلق شیب طولی در خطوط ریلی شهری (به غیر از ایستگاه‌ها) را برابر با ۵ درصد (در طول محدود) و در ایستگاه‌ها برابر با ۲ در هزار به لحاظ الزامات زهکشی، پیشنهاد می‌شود و در نهایت این پارامتر رابطه مستقیم با ناوگان مورد استفاده در قطار شهری دارد.

شیب طولی مطلوب در خطوط پارکینگ و دپو باید برابر با صفر درصد در نظر گرفته شود و حداکثر مقدار مجاز آن را می‌توان ٪۰/۲ اختیار نمود. در خطوط شانت و خطوط پارکینگ انتهای ایستگاه‌ها، شیب خط باید به صورت ۲ در هزار معکوس نسبت به خط باشد تا در صورت نقص عملکرد سیستم ترمز قطار یا موارد دیگر قطار به داخل مسیر اصلی وارد نشود. حداقل طولی از خط پروژه که دارای شیبی ثابت می‌باشد، باید برابر با طول یک قطار در نظرگرفته شود. موارد ذکر شده فوق به صورت خلاصه در جدول (۳-۱) نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱: مقادیر مجاز شیب طولی مسیر خطوط قطار شهری در موقعیت‌های مختلف

ردیف	موقعیت قرارگیری خط در مسیر	تعریف پارامتر هندسی	مقدار مجاز پارامتر هندسی (٪)
۱	خط اصلی	حداکثر شیب طولی مطلق مسیر	۵
		حداقل شیب طولی جهت زهکشی خطوط با دال بتنی	۰/۲
۲	ایستگاه	شیب طولی مطلوب	۰
		حداکثر شیب طولی مطلق	۰/۲
۳	خطوط دپو و پارکینگ	شیب طولی مطلوب	۰
		حداکثر شیب طولی مطلق	۰/۲

عدد شیب طولی حداکثر ۵ درصد براساس ناوگانی پیشنهاد شده است که قادر به پیمودن مسیر با شیب طولی مذکور می‌باشد. لذا علاوه بر موارد ذکر شده فوق، بایستی طراح الزامات دستگاه حفار و ناوگان را نیز برای تعیین شیب طولی حداکثر در نظر بگیرد. حداکثر شیب طولی مسیر در لینک‌های ارتباطی بین خطوط، بایستی مشابه با خط اصلی در نظر گرفته شود و به بیان دیگر تمام موارد اشاره شده برای خطوط اصلی (شیب طولی) برای خطوط ارتباطی نیز رعایت گردد. لازم به ذکر است در صورت استفاده از شیب‌های طولی صفر و همچنین وجود خط‌القعر در طول مسیر، بایستی راه‌حل و تمهیدات لازم در خصوص نحوه زهکشی و هدایت آب‌های سطحی مسیر درنظر گرفته شود.

۳-۳- قوس‌های قائم

مشابه خطوط مستقیم افقی، خطوط قائم نیز معمولا توسط دو قوس به یکدیگر اتصال می‌یابند و هرگونه تغییر در شیب طولی مسیر باید با تعبیه یک قوس به‌طور تدریجی صورت پذیرد. قوس‌های قائم را می‌توان هم به صورت سهمی و هم به صورت دایره‌ای اجرا نمود. قوس‌های قائم سهمی شکل دارای کاربرد بیش‌تری در راه‌آهن بین شهری می‌باشند و باید به گونه‌ای طراحی گردند که نرخ تغییرات شیب در آن‌ها ثابت باشد. علت چنین امری فرآیند طراحی ساده‌تر، تأمین بهتر پایداری وسایل نقلیه ریلی و کاهش شتاب رو به بالای وارده است. همچنین در صورت استفاده از قوس‌های دایره‌ای، باید شعاع این قوس‌ها به قدری بزرگ اختیار گردد که الزامات فوق فراهم شود. قوس‌های قائم بر حسب طول مشخص شده و به صورت نرخ تغییر شیب و فراز در طول قوس قائم تعیین می‌شوند.

هنگام طراحی قوس‌های قائم باید به چند مورد توجه داشت. به عنوان مثال، حداکثر اختلاف جبری شیب خط پروژه قبل و پس از قوس‌های قائم و همچنین تداخل قوس‌های قائم و افقی، از مواردی است که حایز اهمیت فراوانی می‌باشد. حداکثر اختلاف جبری شیب خط پروژه قبل و پس از قوس‌های قائم به ۷٪ محدود شود. علت اتخاذ چنین محدودیتی، کاهش نیروی وارد به قلاب‌های اتصال دهنده واگن‌ها به یکدیگر در محل تغییر شیب می‌باشد. همچنین تا آنجایی که ممکن باشد، در طراحی هندسی مسیر خطوط ریلی، از تداخل قوس‌های افقی و قائم جلوگیری گردد. به دلیل محدودیت

فضایی در شهرها و حریم خطوط ریلی درون شهری، چنین اتفاقی در طراحی هندسی این دسته از خطوط ریلی غالباً روی می‌دهد.

۳-۳-۱- قوس‌های قائم دایره‌ای

قوس‌های قائم باید تاحد امکان در مسیرهای مستقیم (تانژانت) قرار داده شوند و در شرایط خاص، می‌تواند با قوس‌های دایره‌ای ساده تداخل داشته باشند. در چنین شرایطی باید شعاع قوس‌های قائم نسبت به قوس‌های قائمی که در حالت تداخل با مسیر مستقیم هستند، بزرگتر در نظر گرفته شوند. همچنین، باید از تداخل قوس‌های قائم با قوس‌های پیوندی پرهیز گردد.

شعاع قوس قائم مطابق رابطه (۳-۱) است:

رابطه ۳-۱

$$\mathrm{R_V} = q_R \times V^2$$

که در آن:

V: سرعت طراحی بر حسب کیلومتر بر ساعت و

حداقل مقدار مطلق برای ضریب q_R مقدار پیشنهادی برابر با ۰/۴ می‌باشد و حداقل مقدار مطلق برای شعاع قوس قائم دایره‌ای برابر با ۲۰۰۰ متر می‌باشد. برای خطوطی که در آن بیشتر مسافران به صورت ایستاده قرار دارند، توصیه می‌شود که برای تامین راحتی بیشتر مسافران، حداقل مقدار ضریب q_R برابر ۰/۷۷ درنظر گرفته شود.

مقادیر جدول (۳-۲) برای شعاع قوس‌های قائم در خطوط اصلی و فرعی به عنوان توصیه کلی، پیشنهاد شده است. همانطور که در جدول مشخص است، برای حالت‌هایی که قوس قائم با قوس افقی در تداخل می‌باشد، مقدار بیشتری برای حداقل مقدار شعاع قوس قائم توصیه شده است.

جدول ۳-۲: شعاع‌های پیشنهادی قوس‌های قائم

نوع مسیر	شعاع قوس (بدون تداخل با قوس افقی)		شعاع قوس (تداخل با قوس افقی)	
	مقدار مطلوب	حداقل مطلق	مقدار مطلوب	حداقل مطلق
مسیر اصلی	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۳۰۰۰
مسیر فرعی	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰

در صورتیکه اختلاف دو شیب دنبال هم کمتر از ۲ در هزار باشد، می‌توان از پیش‌بینی قوس قائم صرف‌نظر نمود.

۳-۳-۲- قوس‌های قائم سهموی

شکل (۳-۱) پارامترهای هندسی مرتبط با قوس‌های قائم سهمی شکل را نشان می‌دهد. روابط محاسباتی پارامترهای هندسی مهم در این زمینه در ادامه ذکر می‌شوند.

رابطه ۳-۲ $$r = \left(\frac{G_2 - G_1}{L_{vc}} \right)$$

که در آن:

r: نرخ تغییرات شیب،

G1 و G2: شیب ورودی و خروجی از قوس و

L_{vc}: طول قوس افقی به متر می‌باشد.

رابطه ۳-۳ $$e = \left(\frac{G_2 - G_1}{8} \right) \times L_{vc}$$

که در آن:

e: فاصله بین قوس‌دایره‌ای تا PVI (نقطه برخورد امتداد دو شیب طولی) می‌باشد.

رابطه ۳-۴ $$y = \frac{1}{2}\left(\frac{G_2 - G_1}{L_{vc}} \right) \times x^2 = \frac{1}{2} r \times x^2$$

قوس‌های قائم سهمی شکل معمولاً با تعیین طول افقی آن‌ها نمایش داده می‌شوند.

طول مطلوب:

رابطه ۳-۵ $$\mathrm{L_{VC}} = 60 \times A$$

حداقل طول قابل قبول:

رابطه ۳-۶ $$\mathrm{L_{VC}} = 30 \times A$$

حداقل طول مطلق:

رابطه ۳-۷ قوس‌های محدب[۳] $$\mathrm{L_{VC}} = \frac{\mathrm{AV_d}^2}{215}$$

رابطه ۳-۸ قوس‌های مقعر[۴] $$\mathrm{L_{VC}} = \frac{\mathrm{AV_d}^2}{387}$$

که در آن:

L_{VC}: طول قوس قائم (m)،

A: تفاضل جبری دو شیب (G2-G1) بر حسب درصد و

V_d: سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت) می‌باشد.

طراح بایستی تا جایی که امکان دارد از قوس‌های قائم با طول بیشتر از حداقل استفاده نماید و علی‌الخصوص در مواردی که طول خط مستقیم قبل و یا بعد از قوس قائم طولانی باشد استفاده از قوس‌های قائم با طول مطلوب توصیه می‌گردد. همچنین تا حد امکان از تداخل قوس‌های قائم با قوس‌های افقی با طول کم پرهیز گردد.

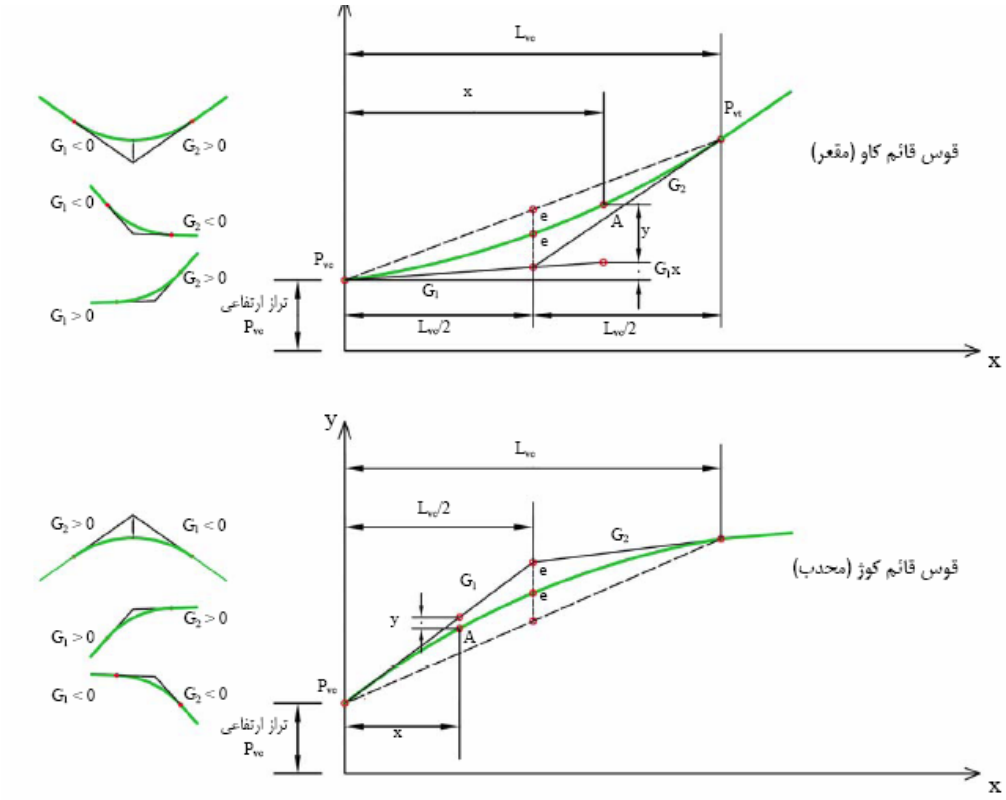
---

[۳] Crest Curves

[۴] Sag Curves

در صورت استفاده از قوس‌های قائم دایره‌ای، بایستی طول‌های ذکر شده در بخش ۳-۳-۱ برای قوس‌های قائم دایره‌ای نیز رعایت گردد. همچنین حداقل طول قوس قائم برابر ۲۰ متر می‌باشد.

لازم به ذکر است که پروفیل طولی برق بالاسری نمی‌تواند به صورت دقیق از پروفیل طولی مسیر پیروی کند. درخطوط بالاسری (OCS)[۵]، طول قوس قائم یا سرعت طراحی تحت تأثیر اختلاف مقادیر شیب مسیر و سیم‌های سیستم OCS قرار می‌گیرند، لذا جهت حصول اطمینان از طراحی، قویاً توصیه می‌گردد که هماهنگی لازم مابین طراح OCS و مسیر ریلی برقرار گردد.



شکل ۳-۱: پارامترهای هندسی در قوس‌های قائم

۳-۳-۳- حداقل فاصله بین قوس‌های قائم

یکی از مهمترین پارامترهای مر بوط به طراحی مسیر قطارهای شهری در راستای قائم، نحوه جانمایی قوس‌های قائم معکوس در نزدیکی یکدیگر است. وجود قوس‌های قائم معکوس در نزدیکی یکدیگر باعث ایجاد فشار مضاعف بر ادوات اتصال واگن‌ها به یکدیگر خواهد شد که در طول زمان ممکن است خطراتی را به همراه داشته باشد. حداقل طول مسیر با شیب ثابت بین قوس‌های قائم در خطوط اصلی 0.57V یا ۳۰ متر (هر کدام که بیشتر باشد) باید در نظر گرفته شود، که در آن V سرعت حرکت ناوگان به کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

[۵] Overhead Catenary System

فصل ۴

طراحی انشعابات و تقاطعات

۴-۱- مقدمه

دستیابی به اهداف بهره‌برداری در یک مسیر ریلی بدون جابجایی قطارها بین خطوط امکان‌پذیر نخواهد بود. اجزاء تامین‌کننده این نیاز ضروری در مسیر دستگاه خطوط یا همان انشعاب‌ها هستند. لذا انتخاب نوع مناسبی از دستگاه خطوط و جانمایی آنها به شیوه مطلوب تضمین کننده گردش مطلوب قطارها و دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده برای نظام بهره‌برداری خواهد بود.

۴-۲- انواع دستگاه خطوط

با توجه به نیاز شبکه خطوط ریلی برای دسترسی به خطوط مختلف، دستگاه خطوط مختلفی ابداع شده که متداول ترین آنها سوزن یا انشعاب و کراس‌اور می‌باشد. به طور کلی دو شاخصه مهم دستگاه خطوط شعاع قوس و زاویه انحراف بوده که باعث تنوع می‌شود.

سوزن ها به منظور انتقال قطار از یک خط به خط دیگر استفاده می گردد. زاویه انحراف یک سوزن تاثیر بسیار زیادی بر محدوده مورد نیاز جهت جانمایی سوزن خواهد داشت. هر چقدر زاویه انحراف بزرگتر باشد، از یک طرف مساحت کوچکتری برای جانمایی خطوط مورد نیاز خواهد بود و از طرف دیگر به علت کوچک‌تر بودن شعاع قوس، سرعت حرکت ناوگان کمتر خواهد بود. و هر چقدر زاویه انحراف کوچکتر باشد به علت بزرگتر بودن شعاع قوس، سرعت حرکت بیشتر شده و در عین حال مساحت مورد نیاز جهت جانمایی خطوط بیشتر خواهد بود. به همین دلیل بهتر است بر روی خطوط اصلی که سرعت حرکت از اهمیت بالایی برخوردار است از سوزن‌های با شعاع قوس بیشتر استفاده گردد.

کراس‌اورها ترکیبی از دو سوزن مقابل یکدیگر هستند که برای انتقال قطار بین دو خط موازی با فاصله کم مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از دستگاه خطوط در خطوط اصلی و برای شانت قطارها از اهمیت بالایی برخوردار است. در جایی که ممکن است طراح باید از کراس‌اورهای با زاویه انحراف کوچک و شعاع قوس بزرگ بر روی خط اصلی استفاده نماید که تردد روان و سریع قطارها بر روی مسیر اصلی تضمین شود.

در مجموعه خطوط دپوهای قطارهای شهری به علت تردد زیاد قطارها بر روی دستگاه خطوط معمولا از جانمایی این دستگاه‌ها بر روی قوس خودداری می‌گردد و طراح موظف است که در صورت نیاز به استفاده از نوع خاصی از دستگاه خطوط با بررسی تمام موارد فنی، اقتصادی و تعمیر و نگهداری، نسبت به عدم تاثیر نامطلوب این ادوات بر روی بهره‌برداری مجموعه دپو اطمینان حاصل نماید.

۴-۳- انتخاب دستگاه خطوط

طراحان هندسه مسیر خطوط ریلی، همواره در امر انتخاب نوع و ابعاد انشعاب‌ها با گستره وسیعی مواجه می‌شوند. از آنجایی که در طراحی هندسی خطوط ریلی، الزامی مبنی بر استفاده از یک نوع خاص از انشعابات و تقاطعات وجود ندارد، معمولاً طراح می‌تواند به راحتی یکی از انواع انشعاب‌ها و تقاطعات را برای طرح خود برگزیند. اما در این انتخاب باید توجه نمود که ادوات انتخاب شده از مصالح استاندارد و مطمئن بوده و در آینده نیز به حداقل عملیات نگهداری و تعمیر نیازمند باشد.

استفاده از انشعابات و تقاطعاتی که به لحاظ ابعادی یا جنس مصالح، استاندارد نمی‌باشند نیز تنها در صورت وجود توجیه فنی و اقتصادی امکان‌پذیر است. گزارشات توجیهی مذکور باید مشتمل بر موارد زیر باشند:

- دلایل نیاز به انشعاب غیر استاندارد
- بیان و معرفی انواع دستگاه خطوط استانداردی که بررسی شده است و جوابگوی نیازها نبوده‌اند.
- دلایل عدم کارآیی نمونه‌های استاندارد
- بیان تأثیرات استفاده از یک انشعاب با ابعاد کوچک‌تر بر بهره‌برداری از وسایل نقلیه، سیستم علائم و ارتباطات و سیستم برق بالاسری

طراح قادر است تا از بین انواع مختلف دستگاه خطوط با زاویه انشعاب و شعاع انشعاب متنوع انتخاب نماید. انتخاب هر یک از این دستگاه خطوط مزایا و معایب خود را خواهد داشت. هر چه زاویه انحراف کوچکتر بوده و شعاع انشعاب بزرگتر باشد، سرعت حرکت قطار بر روی انشعاب بیشتر بوده و حرکت روانتری قابل حصول خواهد بود و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها پایین‌تر خواهد بود. ولی در همین حال استفاده از این دستگاه خطوط باعث افزایش ابعاد مورد نیاز خواهد شد. لذا این نوع از انشعاب‌ها معمولا در خطوط اصلی که سرعت حرکت از اهمیت بالاتر برخوردار است مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقابل انشعاب‌های با زاویه بزرگتر و شعاع کوچکتر سرعت حرکت پایینتری را فراهم می‌کنند و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها بالاتر می‌باشد اما در عوض امکان جانمایی بین خطوط را در فضای محدودتر امکان‌پذیر می‌نماید. این نوع دستگاه خطوط بهتر است برای خطوط فرعی (خطوط غیر از خطوط اصلی ورود و خروج به دپو) که نیازمند سرعت حرکت پایینی هستند مورد استفاده قرار گیرند.

لذا طراح موظف است تا با بررسی تمام موارد فوق‌الذکر و الزامات بهره‌برداری مطلوب و محدودیت‌های موجود در زمینه تامین فضای مورد نیاز جهت احداث دپو، انتخاب بهینه انجام دهد.

شایان ذکر است که به لحاظ هزینه‌های تعمیر و نگهداری، توصیه می‌شود که سوزن و کراس‌اورهای یک خط از یک نوع انتخاب شوند تا باعث افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول عمر پروژه نگردد.

۴-۴- الزامات جانمایی افقی و قائم دستگاه خطوط

یکی از الزامات اساسی در مورد عملکرد انشعاب‌ها، هدایت تدریجی چرخ‌ها از مسیر اصلی به مسیر انشعابی است. بهترین روش برای آن که از هدایت صحیح و تدریجی چرخ‌ها به مسیر انشعابی اطمینان حاصل گردد، آن است که حد فاصل قبل و بعد از انشعاب، مسیر ریلی کاملاً مستقیم و بدون هرگونه قوس و انحنای افقی یا قائم باشد. در مواقعی که طراح مسیر با محدودیت فضا رو به رو باشد، می‌توان انشعاب‌ها را در قوس نصب نمود. نظر کارشناسان بهره‌برداری آن است که نصب این ادوات در قوس موجب کاهش کیفیت سیر و حرکت می‌گردد. همچنین کارشناسان نگهداری و تعمیر خطوط ریلی نیز بر این عقیده‌اند که چنین وضعیتی، موجب تحمیل هزینه‌های اضافی می شود. طراحی انشعاب ها در قوس باید ساده بوده و انتقال تدریجی وسیله نقلیه ریلی را به مسیر انشعابی در نهایت سهولت امکان‌پذیر سازد. در خطوط اصلی، تقاطعات را نیز می‌توان همانند انشعاب‌ها در قوس نصب نمود. در یک تقاطع، دو مسیر متفاوت با یکدیگر تلاقی می‌کنند. هر یک از این دو مسیر می‌تواند مستقیم و یا قوس‌دار باشد. همچون مواردی که پیش از این در مورد انشعاب‌های نصب شده در قوس بیان گردید، چنانچه تقاطعات نیز در محل قوس نصب شوند، هزینه خرید، نگهداری و تعمیر و در نهایت تعویض بالایی خواهند داشت. لذا در مجموع طراح موظف است تمام تلاش خود را انجام دهد تا دستگاه خطوط در مسیر کاملا مستقیم جانمایی نماید و از جانمایی انشعابات در قوس مگر در موارد خیلی خاص و با در نظر گرفتن تمام تمهیدات ایمنی خودداری نماید.

همچنین در خصوص راستای قائم دستگاه خطوط، مطلوبست تا حد امکان انشعابات و تقاطعات در مقاطعی از مسیر خط ریلی قرار داده شوند، که هیچ گونه تغییر شیب طولی در خط وجود نداشته باشد. علت این امر آن است که مهم‌ترین اجزای یک انشعاب (سوزن و تکه مرکزی) بسیار صلب می‌باشند و نمی‌توان به راحتی آن‌ها را با اختلاف شیب طولی مسیر، تطبیق داد. شاید به لحاظ تئوریکی بتوان قسمت میانی (فاصله بین ریل‌های سوزن و تکه مرکزی) انشعاب را در محلی قرار داد که در آن اختلاف شیب طولی روی می‌دهد. اما در عمل به دلیل وجود رواداری‌های مورد نیاز در مرحله ساخت، برقرار نمودن چنین سازگاری بین ریل‌های میانی و تغییرات شیب طولی مسیر بسیار دشوار است. چنانچه طراح ناگزیر از تعبیه انشعاب در محل تغییر شیب طولی مسیر باشد، باید نهایت دقت را در مورد اجزای مورد استفاده (ریل‌های سوزن و تکه مرکزی) به کار برد تا از استاندارد بودن آن و سازگاری با انحنای قوس قائم، اطمینان یابد.

حتی اگر مسیر اصلی در محدوده انشعابات و تقاطعات در محل قوس افقی قرار گرفته باشد، نباید بربلندی (دِوِر) در این مکان تعبیه گردد. علت این امر آن است که هر گونه بربلندی (دِوِر) برای یکی از خطوط موجود در محدوده انشعابات و تقاطعات، برای خط دیگر نامناسب خواهد بود. بدترین شرایط ناپایداری، زمانی به وجود می‌آید که یک انشعاب بر روی قوس قرار گرفته و انحنای مسیر انشعابی بر خلاف جهت انحنای قوس در مسیر اصلی باشد. در چنین حالتی، نه تنها بربلندی (دِوِر) مورد نیاز برای حرکت وسیله نقلیه در مسیر انشعابی تأمین نمی‌گردد، بلکه در صورت وجود بربلندی (دِوِر) در مسیر اصلی به ناپایداری و احتمالاً واژگونی وسیله نقلیه ریلی منجر می‌گردد. در مواقعی که تعبیه بربلندی (دِوِر) بلافاصله پس از یک انشعاب یا تقاطع ضرورت داشته باشد، باید نقطه شروع آن در خطوط بالاستی بعد از بلندترین تراورس انشعاب در نظر گرفته

شود. همچنین در خطوط بدون بالاست (بتنی) می‌توان در فاصله کم‌تری از انتهای انشعاب، بربلندی (دِوِر) را تعبیه نمود، اما این فاصله باید به گونه‌ای باشد که حداقل ۵۰۰ میلیمتر از درز اتصال پاشنه تکه مرکزی جلوتر قرار گیرد.

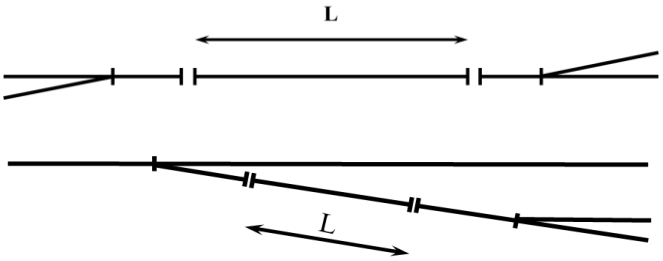
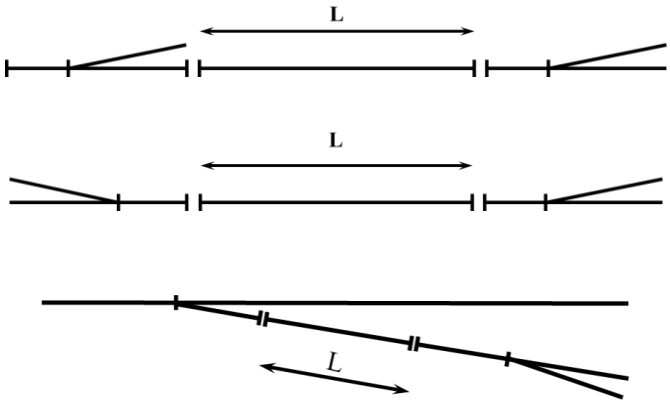
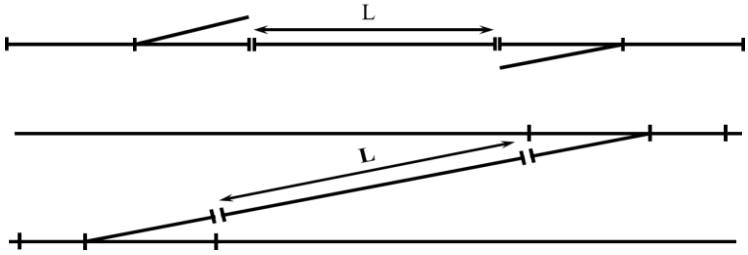
۴-۵- الزامات جانمایی دستگاه خطوط با توجه به جهت قرارگیری نسبت به یکدیگر

موقعیت قرارگیری انشعابات و تقاطعات نسبت به یکدیگراز چند منظر باید مورد توجه خاص واقع شود:

- محدودیت‌های ساخت، بدین معنی‌که هیچ گونه تداخلی میان یک انشعاب با سایر انشعاب‌ها، تقاطع‌ها و یا قوس‌هایی که به منظور هدایت بهتر چرخ‌ها مجهز به ریل‌های محافظ می‌باشند، وجود نداشته باشد.
- محدودیت گاباری (قواره) خط ریلی، بدین معنی که باید همواره فاصله کافی و مشخصی بین انشعاب و معارض جانبی خط ریلی وجود داشته باشد.
- در مکان‌هایی که بیش از یک انشعاب یا تقاطع وجود دارد، حداقل فاصله بین دو انشعاب متوالی (فاصله بین ریل‌های سوزن تا سوزن دو انشعاب) در خطوط مربوطه به طوری منظور گردد که تضمین کننده تعبیه درز مناسب برای اهداف سیستم علائم باشد.

فاصله بین دستگاه‌های خطوط در خطوط اصلی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده نحوه چیدمان آن‌های بخصوص در انتهای دو مسیر و چیدمان سیستم شانت قطار می‌باشد و از این رو باید به بررسی حالت‌های مختلف قرارگیری انشعابات نسبت به یکدیگر پرداخته شود. در جدول (۴-۱) حالات مختلف قرارگیری انشعابات نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته و حداقل فاصله مورد نیاز برای هر یک حالات در شرایط مطلوب و شرایط حداقلی بیان گردیده است.

جدول ۴-۱: فواصل بین سوزن‌ها با توجه نحوه قرارگیری نسبت به یکدیگر

وضعیت سوزن ها	شکل کلی	نوع خط	فاصله بین سوزن‌ها	
			شرایط معمولی	شرایط سخت
جهت مخالف		خط اصلی	۱۲/۵	۶/۲۵
		خط فرعی	۴/۵	۰
هم جهت		خط اصلی	۶/۲۵	۴/۵
		خط فرعی	۴/۵	۰
معکوس سوزن ساده		خط اصلی	۶/۲۵	۰.
		خط فرعی	۴/۵	۰

به طور کلی می‌توان گفت که حداقل فاصله مطلوب بین سوزن‌ها دارای انحراف هم جهت برابر ۶/۲۵ متر و بین سوزن‌های دارای انحراف غیر هم جهت ۱۲/۵ متر باید لحاظ گردد. طراح موظف است که با توجه به شرایط حاکم بر پروژه بیشترین فاصله ممکن را بین دستگاه خطوط لحاظ نماید و در شرایط خاص و با در نظر گرفتن ایمنی سیر قطارها از حداقل‌های مطلق استفاده نماید.

۴-۶- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای افقی

همانطور که پیشتر اشاره گردید، قبل و بعد از دستگاه خطوط، طول مشخصی از مسیر باید بدون انحنا باشد تا کارکرد مناسب و ایمن دستگاه خطوط تضمین گردد. به طور کلی فاصله مطلوب بین دستگاه خطوط و قوس‌های افقی برابر با ۱۵ متر می‌باشد. در خصوص حداقل فاصله بین ابتدا یا انتهای دستگاه خطوط با قوس‌های افقی، مجددا جهت انحنای قوس

افقی و دستگاه خطوط نسبت به یکدیگر تعیین‌کننده خواهد بود و باید حداقل فواصل ذکر شده در آن قسمت، در این مورد نیز رعایت گردد. در مورد قوس‌های افقی که جهتی مخالف با جهت انحنای دستگاه خطوط دارند حداقل فاصله مطلق در شرایط وجود محدویت‌های هندسی شدید برابر با ۶ متر و در مورد قوس‌های افقی که جهتی مشابه با جهت انحنای دستگاه خطوط دارند می‌توان حداقل مطلق فاصله مستقیم را برابر ۳ متر در نظر گرفت. توصیه می‌گردد که از حداقل‌های مطلق در خطوط فرعی استفاده گردد و در مسیرهای اصلی به دلیل وجود سرعت سیر بالای قطار و همچنین وجود مسافر در قطار، از حداقل‌های مطلق استفاده نگردد. در صورت استفاده از حداقل‌های مطلق در هنگام جانمایی دستگاه خطوط در مسیر اصلی به دلیل وجود محدودیت‌های شدید، طراح بایستی تمهیدات لازم در خصوص تامین ایمنی سیر قطار را فراهم نماید.

۴-۷- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای قائم

در خصوص حداقل فاصله مستقیم مسیر در راستای قائم در مجاورت دستگاه خطوط نیز الزاماتی وجود دارد. در این بخش بحث هم جهت بودن با نبودن قوس قائم با دستگاه خطوط مطرح نمی‌باشد. توصیه می‌گردد که فاصله بین شروع سوزن تا ابتدای قوس قائم برابر با نصف سرعت حرکت وسیله نقلیه ریلی در نظر گرفته شود. در صورت عدم وجود فضای کافی، حداقل فضای بین ابتدای سوزن و ابتدای قوس قائم برابر با طول یک بوژی در نظر گرفته خواهد شد. به عنوان یک توصیه کلی، پیشنهاد می‌گردد که حداقل ۵ متر در طرفین سوزن دارای شیب ثابت باشد.

۴-۸- الزامات و محدودیت‌های اعمال بربلندی (دِوِر) در دستگاه‌های خطوط

طراح موظف است بر اساس سرعت سیر قطار در داخل دپو و شعاع قوس‌های افقی جانمایی شده در آن محاسبات مربوط به بربلندی (دِوِر) مورد نیاز هر یک از قوس‌ها را انجام دهد و در صورتی‌که بربلندی (دِوِر) مورد نیاز در محدوده کسری بربلندی (دِوِر) قابل تحمل ناوگان مورد استفاده بود، از اعمال بربلندی (دِوِر) در دستگاه خطوط صرف نظر نماید. در صورتی که اعمال بربلندی (دِوِر) در انشعابات ضروری باشد، طراح باید تمام موارد مربوط به ایمنی که به طور خلاصه در بخش مرتبط با قوس‌های پیوندی ذکر شد را در نظر بگیرد.

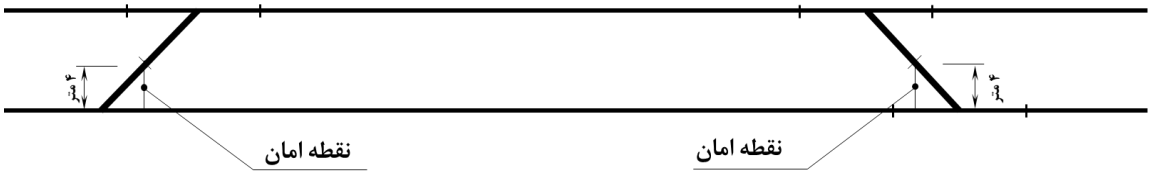
۴-۹- سایر الزامات و محدودیت‌های جانمایی دستگاه خطوط

از دیگر مواردی که طراح باید مد نظر قرار دهد این است که شعاع قوس افقی پس از سوزن در مسیر انشعاب بهتر است که دارای شعاعی برابر یا بزرگتر از شعاع انحنای خود سوزن بوده و اگر استفاده از قوس با شعاع کوچکتر از شعاع سوزن اجتناب‌ناپذیر باشد، طراح موظف است که فاصله بین قوس و سوزن را بیشتر از در حد حداقل مطلوب ذکر شده در بخش مربوطه در نظر بگیرد و از حداقل‌های مطلق استفاده ننماید.

۴-۱۰- ملاحظات ایمنی در جانمایی انشعابات

مسئله ایمنی در خطوط اصلی و عملکرد روان انشعابات و مسیرها همزمان با ایمن بودن عملیات جابجایی قطار بین خطوط از موارد بسیار مهم و حیاتی در جانمایی دستگاه خطوط می‌باشد. در خصوص تامین ایمنی در محدوده انشعابات پارامترهای مختلفی تاثیر گذارند. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- **نقطه امان:** مطابق آیین‌نامه طرح هندسی راه‌آهن ایران (بند ۶-۲-۱۳) در هر دوراهی، اولین نقطه در مرکز دو خط مجاور که فاصله محور به محور آن به ۴ متر می‌رسد (مطابق شکل (۴-۱))، نقطه امان (دگاژ) نام دارد. این نقطه ایمنی تردد قطار از خط مجاور را تضمین می‌کند.



شکل ۴-۱: نقطه امان

با توجه به اینکه این آیین‌نامه بر اساس قواره ناوگان موجود راه‌آهن فاصله خطوط در نقطه امان را ۴ متر مشخص کرده است و از آنجا که قواره قطارهای راه‌آهن بزرگتر از قطارهای مترو می‌باشد، برای محدوده دپو متروها نقطه امان را باید بر اساس قواره قطارهای شهری محاسبه نمود. این نقطه جایی است که قطاری که از مسیر انشعاب عبور نموده است، مانعی برای عبور قطار دیگر از روی مسیر مستقیم ایجاد ننماید. طراح موظف است با در نظر گرفتن قواره قطارهای مورد بهره‌برداری نسبت به محاسبه‌فاصله ای بین خطوط که در صورت توقف قطار بر روی مسیر انشعاب مسیر مستقیم به صورت ایمن قابل استفاده باشد.

- **فاصله بین خطوط:** از دیگر موارد موثر در ایمنی سیر قطار حداقل فاصله بین خطوط بعد از جدایش خطوط می‌باشد. در این مورد مطلوبست که پس از جدایش خطوط و رسیدن فاصله بین آنها به نقطه امان، این حداقل فاصله تا انتهای خطوط رعایت گردد و در هیچ قسمتی از آن کمتر نشود. این مهم برای خطوط مستقیم صادق خواهد بود. با توجه به قوس‌های با شعاع کم در دپو، در مناطقی که خطوط در قوس به موازات هم قرار می گیرند فواصل بین خطوط باید بیشتر افزایش یابد و این مورد نیز باید با در نظر گرفتن قواره قطار وقتی بر روی قوس‌های محوطه دپو قرار می‌گیرد محاسبه شود.

فصل ۵

طراحی ایستگاه‌ها

۵-۱- مقدمه

در این بخش، به بررسی هندسه ایستگاه پرداخته شده است.

۵-۲- طرح هندسی ایستگاه‌ها

به منظور طرح هندسی یک ایستگاه در خطوط ریلی درون شهری باید ابتدا اطلاعات و داده‌های خاصی برای طراح مشخص باشد. نوع ایستگاه، وضعیت پروفیل‌های عرضی و طولی مسیر مشتمل بر اطلاعات مربوط به تعداد و مشخصات قوس‌های افقی و قائم و همچنین میزان شیب طولی مسیر قبل و پس از ایستگاه، از مهم‌ترین مواردی هستند که در این زمینه می‌توان به آن‌ها اشاره نمود.

۵-۳- انواع ایستگاه

به طور کلی، انواع ایستگاه‌های قابل احداث در خطوط ریلی درون شهری را می‌توان از چند منظر دسته‌بندی نمود:

- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر مبنای موقعیت قرارگیری در خط
- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر مبنای تعداد خطوط و شکل ظاهری
- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها بر مبنای تراز ارتفاعی

از دیدگاه نخست، می‌توان ایستگاه‌ها را به ۳ گروه دسته‌بندی نمود:

- ایستگاه‌های پایانه‌ای، که در دو انتهای مسیر واقع شده و رابط میان خط اصلی و محوطه دپو و پارکینگ (در صورت وجود) در این ناحیه می‌باشند.
- ایستگاه‌های میان مسیر، هر ایستگاه دیگر به غیر از ایستگاه‌های پایانه‌ای در حکم ایستگاه میانی برای یک مسیر مشخص به حساب می‌آید.
- ایستگاه های تغییر سرفاصله زمانی: محل ابتدا و انتهای Short Loop و Long Loop در مسیر اصلی محسوب شده و طرح هندسی آنها به گونه‌ای است که امکان تغییر سرفاصله زمانی بین قطارها وجود دارد.

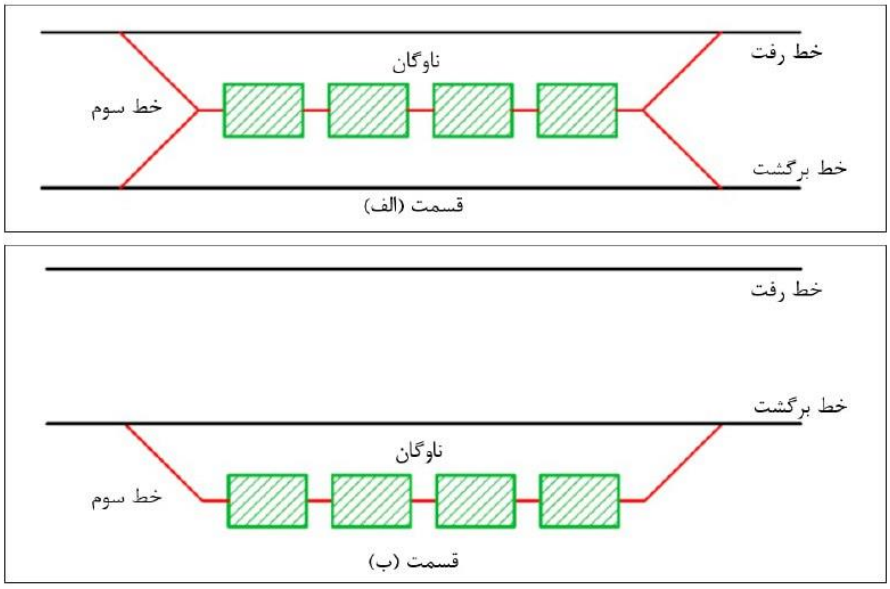
آنچه که تعیین‌کننده تعداد خطوط درون ایستگاه و شکل ظاهری آن می‌باشد، الزامات ناوگان و بهره‌برداری همچون حداقل سرفاصله زمانی (هِدوِی) است. توضیحات بیش‌تر در مورد این نوع دسته‌بندی ایستگاه‌ها در ادامه خواهد آمد.

از دیدگاه دوم نیز می‌توان ایستگاه‌ها را به سه گروه دسته‌بندی نمود:

- ایستگاه‌های دو خطه، که متداول‌ترین نوع از این دسته‌بندی می‌باشد، معمولاً در تونل‌های دو خطه بدین شکل طراحی می‌گردد که با حفظ فاصله مشخصی بین دو خط، یکی به عنوان مسیر رفت و دیگری به عنوان مسیر

برگشت عمل می‌کند. باید در نظر داشت که احداث چنین ایستگاه‌هایی به حجم مسافرین و لزوم تعبیه دسترسی‌های جداگانه به سکوی ایستگاه وابستگی بسیار زیادی دارد.

- ایستگاه‌های سه خطه، این ایستگاه‌ها وظیفه تغییر رژیم بهره‌برداری در یک خط قطار شهری را بر عهده دارند. به دلیل تغییر خط قطارها و نیاز به توقف موقت قطار در این ایستگاه‌ها معمولاً حداقل یک خط (که در برخی موارد نیاز به تعداد خطوط بیشتری نیز می‌باشد) پیش‌بینی می‌شود. به همین دلیل به این ایستگاه‌ها اغلب ایستگاه‌های سه‌خطه اطلاق می‌گردد. تعریف ایستگاه‌هایی با وظایف ذکر شده فوق، کاملاً جدید می‌باشد. بهره‌برداری از این ایستگاه‌ها در ساعت خاصی از شبانه‌روز، روزهای خاصی از هفته یا ماه‌های خاصی از سال (بسته به طبیعت تقاضا در خط قطار شهری) انجام می‌پذیرد. نمایی از ایستگاه‌های سه خطه و نحوه چیدمان خطوط در آن‌ها توسط شکل (۵-۱) به تصویر کشیده شده است.
- ایستگاه‌های جزیره‌ای، در مواقعی که خطوط رفت و برگشت در تونل‌های تک خطه جدا از هم احداث می‌گردد، این امکان وجود دارد که با تعبیه یک دسترسی و در نتیجه سکوی مشترک برای ایستگاه، خطوط از طرفین ایستگاه عبور کرده و سکو به صورت جزیره‌ای در بین آن‌ها احداث شود.



شکل ۵-۱: : ایستگاه‌های سه خطه و نحوه چیدمان خطوط در آن‌ها

از دیدگاه سوم، می‌توان ایستگاه‌ها را به دو گروه دسته‌بندی نمود:

- ایستگاه‌های روزمینی، همان طور که از نام این گروه مشهود است، تراز ارتفاعی این دسته و سطح زمین یکسان است. از این ایستگاه‌ها معمولاً در خطوط ریلی سبک شهری (LRT) و یا خطوط ریلی (LRV) استفاده می‌گردد. کاربرد این گونه ایستگاه‌ها در خطوط مترو، محدود به قسمت‌های انتهایی مسیر (جهت ارتباط با محوطه دپو و پارکینگ) و مکان‌هایی است که به لحاظ فنی و اقتصادی امکان احداث ایستگاه در زیر زمین

وجود نداشته باشد. یکی از معایب ایستگاه‌های روزمینی، ایمنی کم‌تر نسبت به نوع زیرزمینی آن می‌باشد که می توان با تمهیدات نصب نرده‌های ثابت تفکیک‌کننده و زیرگذر یا روگذرهای دسترسی مسافر به ایستگاه، ایمنی ترافیکی را تامین نمود.

- ایستگاه‌های زیرزمینی، نوع متداول ایستگاه‌های خطوط ریلی درون شهری و یکی از دلایل توجیه احداث خطوط مترو در شهرها، همین عبور خط و احداث ایستگاه‌های آن در زیر زمین می‌باشد. از معایب این ایستگاه‌ها می‌توان به خطرات ناشی از وقوع حوادث غیر مترقبه همچون زلزله، آتش‌سوزی و... اشاره کرد.

۵-۴- قوس افقی در محل ایستگاه

راستای هندسی مسیر خطوط ریلی در محل ایستگاه باید به گونه‌ای باشد که در تمامی طول قطار، فاصله یکسانی میان لبه سکو و لبه واگن وجود داشته باشد. این امر تنها در صورتی ممکن است که مسیر خط در محل ایستگاه بدون قوس افقی بوده و یا این که شعاع قوس به اندازه‌ای زیاد باشد که تغییرات فاصله بین لبه سکو و بدنه واگن قابل چشم‌پوشی باشد. از دیگر علل لزوم احداث ایستگاه‌ها در قسمت‌های بدون قوس مسیر، می‌توان به ایمنی بیش‌تر در مقابل خطراتی همچون خروج از خط قطارها اشاره نمود. همچنین منجر به تغییر فاصله کف سکو با کف قطار می‌گردد.

توصیه می‌گردد که چنانچه قبل و پس از ایستگاه قوس‌های افقی با شعاع کم داشته باشیم، طول آن‌ها کوتاه و با فاصله نزدیک به ایستگاه باشد تا حداقل تأثیر نامطلوب را بر سرعت سیر ناوگان و ایمنی و راحتی مسافرین به همراه داشته باشد.

چنانچه در شرایط خاص اجرای خط به طور مستقیم در محل سکوی ایستگاه‌ها ممکن نباشد حداقل شعاع مطلوب برابر با ۱۲۵۰ متر و حداقل مطلق شعاع قوس افقی برابر با ۸۰۰ متر می‌باشد. در صورت اجرای ایستگاه در قوس افقی توصیه می‌گردد که قوس مذکور به نحوی طراحی گردد که در صورت نیاز امکان نصب کراس اور در قبل و یا بعد از ایستگاه فراهم گردد.

فاصله مطلوب خط مستقیم لازم قبل از لبه سکو ایستگاه برابر با ۱۵ الی ۲۵ متر توصیه می‌گردد. شایان ذکر است، در صورت عدم رعایت فاصله مذکور در شرایط خاص، بایستی تمهیدات لازم جهت عبور ناوگان ریلی بدون برخورد با لبه سکوی ایستگاه در هنگام طراحی ایستگاه در نظر گرفته شود.

در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهایی مسیر با توجه به نوع ایستگاه و شرایط بهره‌برداری مختص آن، طول خط مستقیم قبل و یا بعد از ایستگاه باید متناسب با تعداد و نوع سوزن‌های مورد نیاز (عملیات تغییر جهت قطار) در نظر گرفته شود. همچنین به هنگام طراحی پلان مسیر، طراح بایستی درخصوص جانمایی کراس‌اورهای مورد نیاز از منظر بهره‌برداری، هماهنگی‌های لازم را با پلان بهره‌برداری خط داشته باشد و فاصله مستقیم مورد نیاز برای جانمایی کراس‌اورها را در قبل و یا بعد از ایستگاه‌های مشخص شده در پلان بهره‌برداری در نظر بگیرد.

۵-۵- شیب طولی در محل ایستگاه

شیب طولی در محدوده ایستگاه باید شرایطی را فراهم نماید که ضمن به حداقل رسیدن احتمال فرار قطارها، الزامات مربوط به زهکشی مسیر نیز تأمین گردد. معمولاً این شیب مقداری بین ۲ تا ۳ در هزار دارد. البته تعبیه شیب صفر نیز در محل ایستگاه مطلوب است. در چنین مواردی، جهت زهکشی آب‌های زاید، شیب طولی را تنها در کانال‌های زهکشی اعمال می‌نمایند و در مسیر هیچ گونه شیب طولی وجود نخواهد داشت. همچنین ضابطه دیگری که از سوی برخی مراجع پیشنهاد شده است، امتداد یافتن خط پروژه با شیبی که در ایستگاه وجود دارد را تا یک طول مشخص قبل و بعد از ایستگاه ضروری می‌داند.

حداکثر شیب خط در ایستگاه‌ها باید برابر با ۲ در هزار باشد. با توجه به اینکه در مسیرهای زیرزمینی حداقل شیب طولی برابر با ۲ درهزار به جهت زهکشی در نظرگرفته شده است، لذا شیب طولی ایستگاه‌های زیرزمینی ۲ در هزار ثابت می‌باشد.

۵-۶- قوس قائم در محل ایستگاه

به هیچ وجه نباید در محل ایستگاه از قوس قائم استفاده نمود. بدیهی است که تعبیه قوس قائم در ایستگاه‌ها به شدت بر احتمال فرار قطارها می‌افزاید و ایمنی را کاهش می‌دهد. همچنین قوس قائم بلافاصله بعد از لبه‌ی سکو می‌تواند شروع شود.

مقدار شعاع قوس قائم در قبل و یا بعد از ایستگاه‌ها از موارد بیان شده در بخش ۳-۳-۱ و ۳-۳-۲ پیروی نماید. ولی به صورت کلی توصیه می‌گردد که قبل و بعد از ایستگاه‌ها حداقل شعاع قوس قائم ۲۰۰۰ متر (به دلیل کم بودن سرعت بهره‌برداری در نزدیکی ایستگاه‌ها) در نظر گرفته شود. همچنین چنانچه قوس قائم در آن محل با قوس افقی تداخل داشته باشد این مقدار باید حداقل برابر با ۳۰۰۰ متر باشد.

فصل ۶

گاباری (قواره) دینامیکی

۶-۱- مقدمه

فراهم نمودن فضای کافی برای عبور ایمن قطارها یک اصل در طراحی وسایل حمل و نقل می‌باشد. محاسبه دقیق فضای عبور یا گاباری و پیاده‌سازی آن در طی مراحل طراحی و ساخت، یک اصل کلی برای بهره‌برداری مناسب و ایمن می‌باشد. بخش‌های ذیل بر روی پیاده‌سازی یک گاباری جدید برای یک مسیر ریلی شهری متمرکز خواهد بود.

۶-۲- گاباری خط

گاباری خط به عنوان فضایی که توسط حداکثر گاباری دینامیکی خط علاوه بر اثرات ناشی از قوس‌ها، بربلندی‌ها (دِورها)، رواداری‌های اجرایی و نگهداری سازه خط، رواداری‌های اجرایی سازه‌های مجاور و فضای عبور قطار اشغال می‌شود، تعریف می‌گردد. رابطه بین این فضاها به شرح ذیل می‌باشد:

رابطه ۶-۱ $$TCE = VDE + TT + C\&S + RC$$

که در آن:

TCE: گاباری خط[۱]

VDE: گاباری دینامیک قطار[۲]

TT: رواداری های اجرا و نگهداری خط[۳]

C&S: اثرات ناشی از قوس و بربلندی (دِور)[۴]

RC: فضای عبور قطار[۵]

فضای گاباری نشان‌دهنده این است که در این فضا هیچ یک از اجزای سیستم حمل و نقل، به غیر از خود ناوگان نباید جانمایی، ساخته و یا اجازه داده شود که به این فضا وارد شود.

قسمت دوم معادله گاباری چیزی است که گاباری سازه‌ای[۶] نامیده می‌شود. این گاباری به طور کلی حداقل فاصله بین مرکز خط و یک نقطه مشخص روی سازه می‌باشد.

اگر چه به طور معمول گاباری سازه و گاباری خط با یکدیگر ترکیب می‌شوند، ولیکن توصیه نمی‌شود که گاباری یک خط همراه با سازه‌های جنب مسیر و رواداری‌های آنها ساخته شود. زیرا فضای مورد نیاز افقی و عمودی برای سازه‌های مختلف ممکن است به طور قابل‌توجهی متفاوت باشد.

---

۱ Track Clearance Envelope

۲ Vehicle Dynamic Envelope

۳ Trackwork Construction and Maintenance Tolerances

۴ Vehicle Curve and Superelevation Effects

۵ Vehicle Running Clearance

۶ Structure Gauge

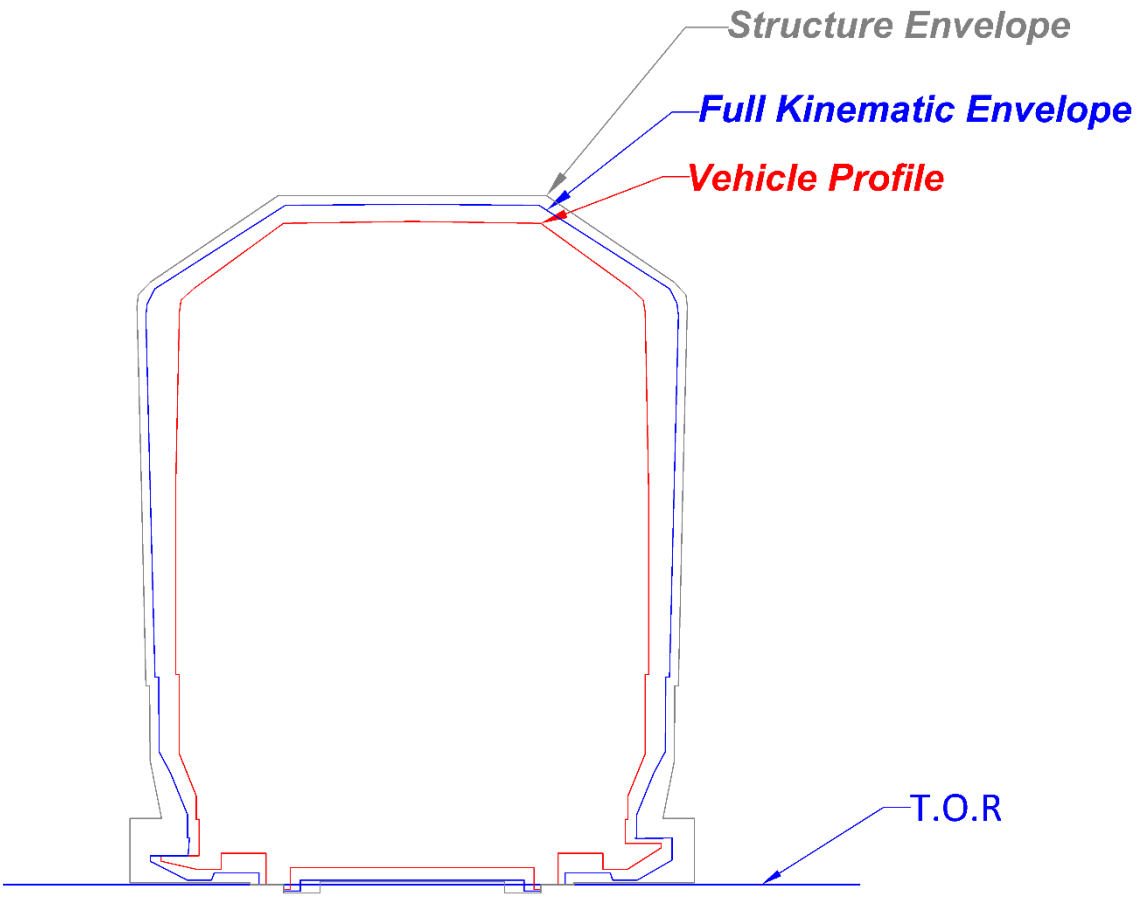
فاکتورهایی که برای ایجاد گاباری مورد استفاده قرار می‌گیرد در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار خواهد گرفت. شایان ذکر است که در طراحی بعضی از قطارهای شهری، بعضی از آیتم‌های فوق‌الذکر با یکدیگر ترکیب می‌شوند. به عنوان مثال، رواداری‌های اجرایی و نگهداری معمولاً در محاسبه گاباری دینامیک خط ترکیب خواهند شد. بدون توجه به اینکه چگونه عوامل تأثیرگذار تعریف می‌گردند، اعمال تمامی این آیتم‌ها در تعیین گاباری کلی امری ضروری است.

۶-۳- گاباری دینامیک قطار

تعیین گاباری قطار معمولاً در مسئولیت سازنده می‌باشد و گاباری دینامیک ارائه شده در این ضابطه به عنوان مبنای اولیه برای کار در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که گاباری دینامیک در مراحل مطالعات توسط سازنده ارائه شده و دیگر گاباری‌های مقطع نسبت به آن تغییر خواهند نمود. اصولاً در گاباری دینامیک موارد ذیل در نظر گرفته می‌شود:

- محدوده بدنه واگن
- حرکت دینامیکی بدنه به دلیل سیستم تعلیق و حرکت بوژی‌ها
- بازی جانبی سیستم تعلیق و سایش چرخ
- حرکت بدنه واگن حول محور عمود بر مسیر
- حداکثر بار مسافر
- نقص سیستم تعلیق
- تفاوت اسمی گیج خط و چرخ
- رواداری‌های تعمیر و نگهداری

بدترین حالت موجود در برآورد گاباری و فاصله بین دو خط حالتی است که دو قطار با نقص در سیستم تعلیق در کنار هم حرکت کنند. در شکل (۶-۱) نمونه‌ای از گاباری وسیله نقلیه‌ریلی نمایش داده است.



شکل ۶-۱: گاباری قطار

۶-۴- رواداری‌های اجرایی و نگهداری

رواداری‌های اجرایی نگهداری باید در تعیین گاباری خط، ترجیحاً به عنوان یک آیتم جداگانه در گاباری دینامیک، مد نظر قرار گیرد. این محاسبه مجزا بخاطر این است که شرایط خط با توجه به نوع خط متغیر خواهد بود. رواداری‌های نگهداری خط معمولاً بسیار بزرگتر از رواداری‌های اجرایی بوده و بنابراین این مهم مقدم بر رواداری‌های اجرایی در تعریف گاباری‌ها در نظر گرفته می‌شود.

همچنین این مهم باید مد نظر قرار گیرد که روسازی‌های بتنی، مدفون و نیز بالاستی رواداری‌های نگهداری متفاوتی دارند. این امکان وجود دارد که گاباری‌های مجزایی برای خطوط بالاستی و یا بتنی در نظر گرفت و یا اینکه یک گاباری محافظه کارانه بر مبنای خطوط بالاستی در نظر گرفت. هر دوی این انتخاب‌ها در عمل استفاده شده‌اند، اگرچه استفاده از یک گاباری خط بالاستی برای خطوط مترو می‌تواند باعث افزایش ابعاد داخلی و از این رو افزایش هزینه‌های سازه تونل گردد.

مقادیر وابسته به خط که برای تهیه گاباری می‌توانند به صورت زیر پیشنهاد گردند:

- سایش جانبی ریل: ۱۳ میلیمتر
- رواداری نگهداری امتداد جانبی خط:
  - برای خطوط بتنی و مدفون: ۱۳ میلیمتر
  - برای خطوط بالاستی: ۲۵ میلمتر (برای قوس‌های بسیار تند که ریل تحت تأثیر تغییرات دمایی تغییر شکل می‌دهد مقادیر بزرگتری در نظر گرفته می‌شود).
- رواداری‌های عمودی نگهداری:
  - سایش ریل: ۱۳ میلیمتر
  - نشست خط بالاستی: ۲۵- و ۵۰+ میلیمتر
  - نشست خط بتنی و یا مدفون: با توجه به ملاحظات ژئوتکنیکی که در اینجا با توجه به آیین‌نامه AREMA برابر با ۶ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود.
  - تغییرات سطح عبور در خطوط بتنی و مدفون: ۱۳ میلیمتر (بیشتر به دلیل تغییرات آینده به دلیل تعویض مقطع ریل، بطوریکه ممکن است یک ریل سایش دار بوده و ریل دیگر سالم باشد. همچنین به دلیل نشست‌ها و یا آماس مقطعی محتمل در مقطع خط).
  - تغییرات سطح عبور در خطوط بالاستی: ۲۵ میلیمتر

اثر تغییرات سطح عبور بیشتر شامل دوران تا جابجایی جانبی می‌باشد و این تأثیرات بیشتر مشابه با اثرات بربلندی (دِوِر) می‌باشد.

این موضوع قابل ذکر است که مقادیر نهایی پیشنهاد شده در بالا تنها به منظور مشخص نمودن گاباری خط می‌باشد. این مقادیر تئوری برای بدترین حالت بوده و نباید نشان‌دهنده حد مجاز تعمیر و نگهداری باشند. به طور مشابه این مقادیر هیچ ارتباطی با رواداری‌های اجرایی برای اجرای خط جدید ندارند. تمامی این موارد باید توسط طراح از سازنده ناوگان و بهره‌برداری استعلام گردد.

۶-۵- اثرات قوس و بربلندی (دِوِر)

علاوه بر گاباری دینامیکی قطار و نیز فاکتورهای تعمیر و نگهداری، انحنای خط و بربلندی (دِوِر) اثر قابل‌توجهی بر تعیین گاباری خواهند داشت که با این اثرات می‌توان به طور جداگانه مقابله نمود. بعضی از سازمان‌های قطار شهری اثر قوس و بربلندی (دِوِر) را به عنوان بخشی از گاباری دینامیک قطار در نظر می‌گیرند و گاباری دینامیک قطار را برای هر انحناء به طور جداگانه محاسبه می‌کنند. به عنوان یک دستورالعمل کلی، این ضابطه گاباری دینامیک را به صورت مجزا در نظر خواهد گرفت و گاباری ناشی از آیتم‌های مختلف را به صورت جداگانه محاسبه خواهد نمود.

۶-۵-۱- اثر قوس

علاوه بر حرکات دینامیکی حرکت قطار، بیرون‌زدگی بدنه قطار در قوس‌های افقی نیز جابجایی جانبی گابارى دینامیکی قطار را نسبت به محور خط افزایش می‌دهد. برای مقاصد طراحی، هم بیرون‌زدگی وسط واگن و هم بیرون‌زدگی دو انتهای واگن باید مد نظر قرار گیرد.

میزان بیرون‌زدگی به داخل در میانه واگن و بیرون‌زدگی به خارج در انتهای واگن در ابتدا به فاصله بین بوژی‌ها، فاصله انتهای واگن تا بوژی و شعاع خط بستگی دارد. فاصله بین محورها همچنین بر روی خود گابارى نیز تأثیر گذار است، اگرچه این مقدار ناچیز بوده و اغلب نادیده گرفته می‌شود. برای تعیین میزان بیرون‌زدگی به داخل و خارج برای یک شعاع معین عموماً یکی از دو رابطه (۶-۲) و (۶-۳)، بسته به اینکه فاصله بین محورها موجود هست یا خیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر دوی فرمول‌ها به میزان کافی برای تعیین کلی گابارى برای خطوط راه‌آهن سبک شهری دقیق هستند.

شکل (۶-۲) نشان‌دهنده مبانی تئوری یک واگن صلب با دو بوژی می‌باشد. اگر فاصله بین محورها بوژی مد نظر نباشد، اثر بیرون‌زدگی به داخل و خارج از این فرض استخراج می‌شود که مرکز بوژی‌های واگن در مرکز خط واقع شده‌اند. در این حالت بیرون‌زدگی به داخل و خارج را می‌توان از فرمول ذیل محاسبه نمود.

رابطه ۶-۲ بیرون‌زدگی به سمت داخل:

$$M_o = R(1-\cos a)$$

که در آن a برابر است با:

$$a = sin^{-1}\left(\frac{L_2}{2R}\right)$$

رابطه ۶-۳ بیرون‌زدگی به سمت خارج:

$$R_o - R$$

که در آن R_o و b برابر است با:

$$R_o = \frac{L}{sin\, b}$$

$$b = tan^{-1}\left(\frac{L}{R - M_o}\right)$$

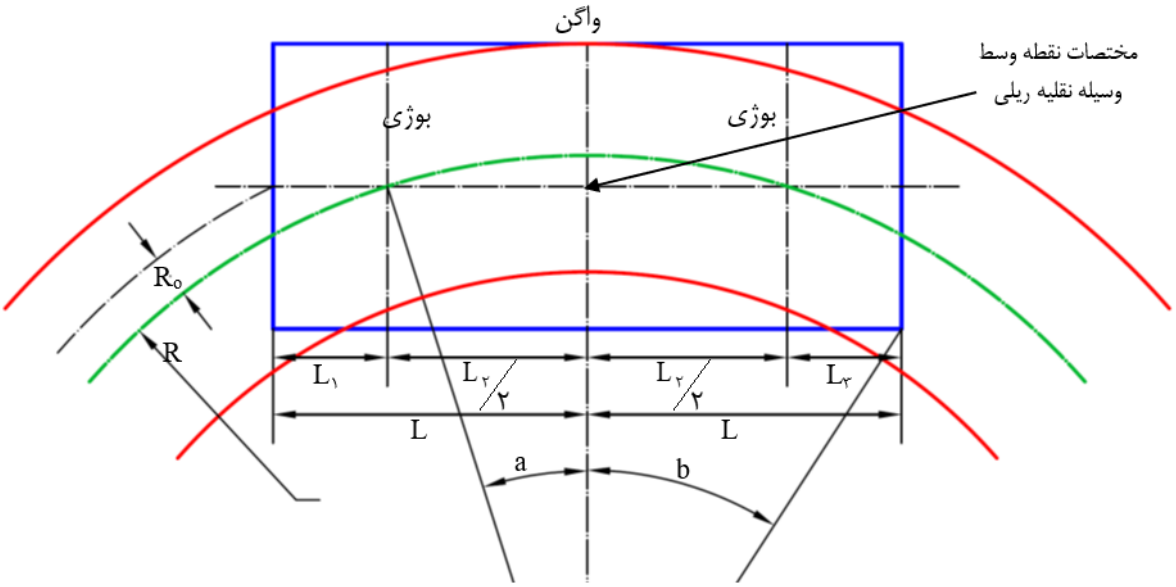
که در آن:

M_o: فاصله قائم از وتر واگن تا قوس،

R: شعاع قوس،

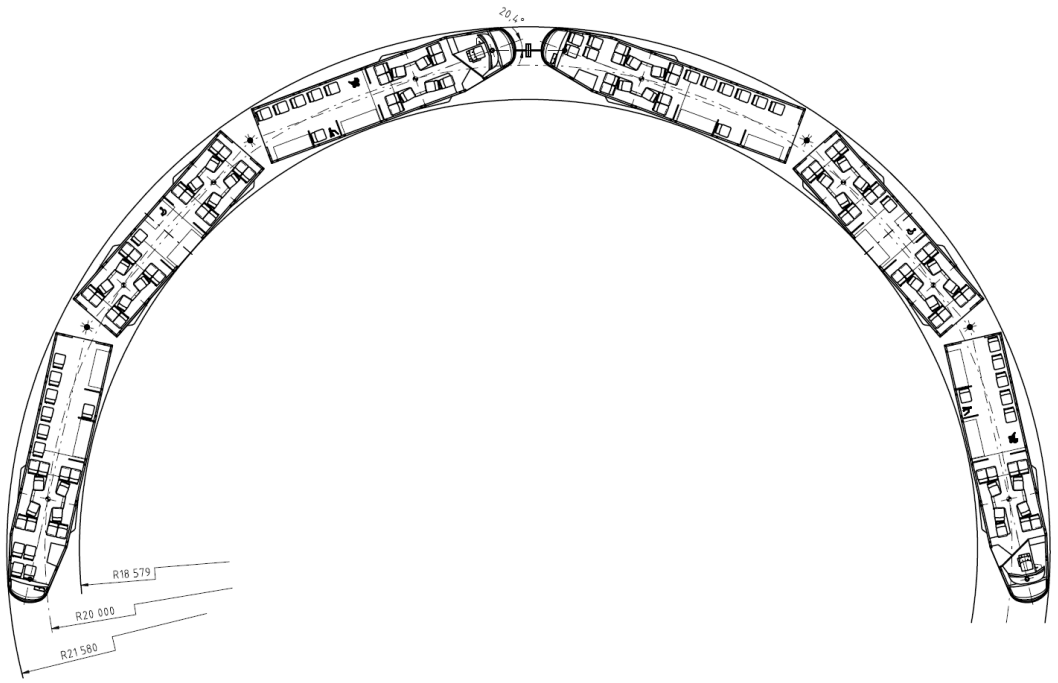
L_2: فاصله بین بوژی‌های یک واگن و

L: نصف طول واگن می‌باشد.



شکل ۶-۲: محاسبه بیرون‌زدگی واگن‌ها در قوس‌های افقی

با توجه به موارد فوق و با فرض طول ۱۲ متر برای فاصله بوژی به بوژی در قوس با شعاع ۲۰ متر می‌تواند به میزان ۱/۵ متر هم افزایش (بیرون‌زدگی[۱]) پیدا یابد. اما در صورت استفاده از ناوگان با سیستم مفصلی (Articulated) این مقدار می‌تواند به میزان چشمگیری کاهش پیدا کند.



شکل ۶-۳: ناوگان با اتصال مفصلی و میزان کاهش بیرون‌زدگی

[۱] Outswing

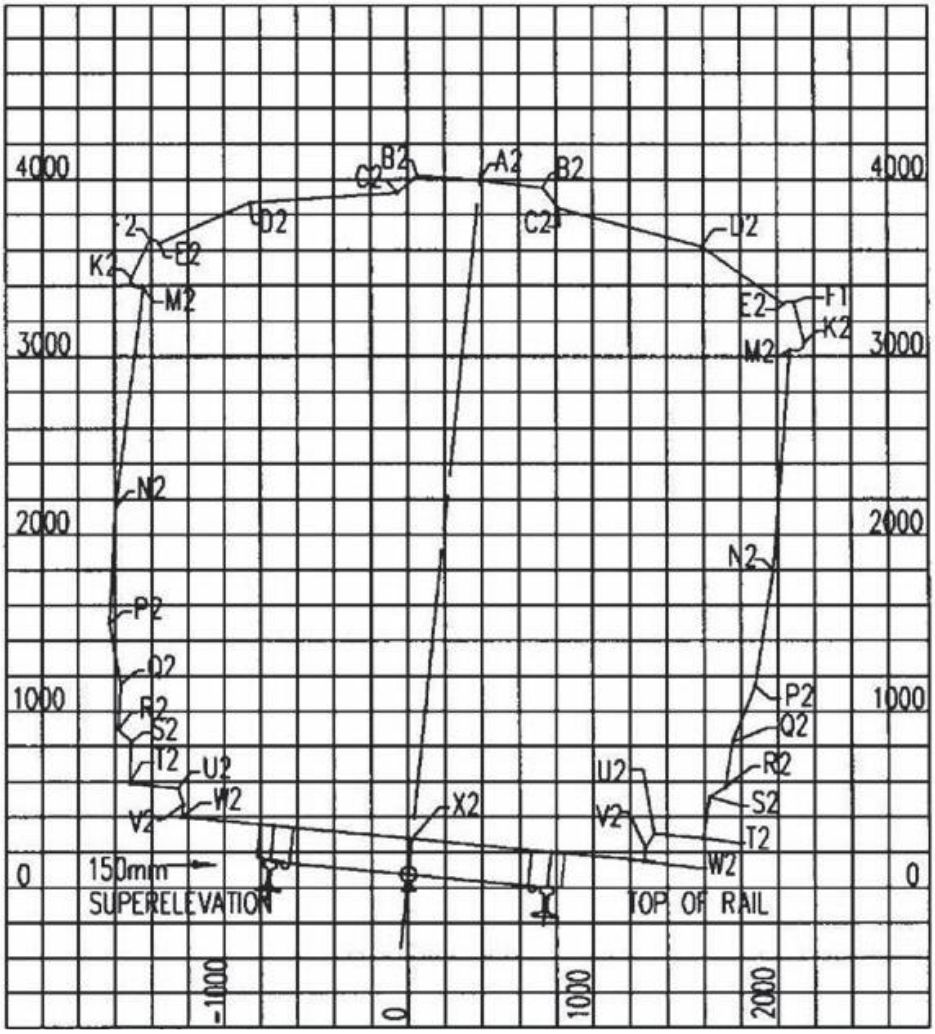
هنگام محاسبه مسیر گابارى در قوس‌هاى افقى با قوس‌هاى پیوندى، گابارى خط مستقیم در فاصله‌اى بین جلوى نقطه شروع قوس پیوندى (T.S) به اتمام خواهد رسید. گابارى کامل قوس به طور مشابه در فاصله‌اى جلوتر از نقطه اتمام قوس پیوندى و شروع قوس افقى دایره‌اى (S.C) آغاز خواهد شد. براى یک قطار سبک شهرى با واگن‌هاى متصل به هم با دو مقطع اصلى، این نقطه مى‌تواند در یک سوم طول وسیله نقلیه در جلوى T.S یا S.C واقع شود. همین روش را مى‌توان براى قوس‌هاى افقى ساده به کار برد. در جایى که اطلاعات دقیق‌تر مورد نیاز است مى‌توان از نرم‌افزارهاى شبیه‌سازى که بصورت گرافیکى لبه‌هاى گابارى را نشان مى‌دهند استفاده نمود.

گابارى در سوزن‌ها و کراس‌اورها بر مبناى شعاع محور مرکزى سوزن محاسبه خواهد شد. لازم به ذکر است که طراح ناوگان معمولاً محاسبات لازم براى گابارى در قوس‌ها را انجام نمى‌دهد. این کار اغلب توسط طراح مسیر پروژه انجام مى‌گردد.

۶-۵-۲- اثرات بربلندى (دِوِر)

اثرات بربلندى (دِوِر) روى مسیر طى شده توسط گابارى محدود به کج شدن قطار به دلیل اختلاف ارتفاع بین دو ریل روسازى شده و این موضوع باید بصورت مستقل از بقیه عوامل بررسى گردد. در تعیین آثار بربلندى (دِوِر)، شکل گابارى دینامیک قطار تغییر نخواهد نمود، اما حول محور ریل پایین روسازى به میزان مساوى با بربلندى (دِوِر) واقعى خط چرخش داده مى‌شود.

به عنوان نمونه این چرخش در شکل (۶-۴) نشان داده شده است.



شکل ۶-۴: چرخش گاباری دینامیکی

۶-۶- فضای عبور قطار

فضای گاباری باید شامل یک حداقل برای فضای عبور بین قطار و سازه‌ها یا وسایل نقلیه ریلی باشد. فضای عبور معمولاً بصورت افقی نسبت به موانع اندازه گیری می‌شود، اگرچه بعضی فضاها در داخل فضای عبور در نظر گرفته شده و به محیط کلی ناوگان اضافه می‌گردند.

- معمول‌ترین مقادیر حداقل نسبت به فضای عبور برابر با ۵۰ میلیمتر می‌باشد که سکوهای ایستگاه‌ها در این خصوص استثناء هستند.
- به بعضی از آیتم‌ها گاهی مقادیر بالاتری اختصاص می‌یابد. یک سری از مقادیر معمول برای این موضوع به شرح ذیل می‌باشد:

- حداقل فضای بین فضای عبور بین سیگنال‌ها و علائم، درهای سکو و دیگر اعضای غیر سازه‌ای برابر با ۵۰ میلیمتر.

- حداقل فضای بین فضای عبور و پیاده رو اضطراری برابر با ۵۰ میلیمتر
- حداقل فضای عبور در طول جانپناه‌ها، دیوارها، فنس‌ها و تمام اعضای سازه‌ای شامل ستون‌های OCS برابر با ۱۵۰ میلیمتر. شایان ذکر است که اگر یک فضای نزدیک به جانپناه، دیوار یا فنس در نظر گرفته شود، لازم است که در سمت دیگر به منظور فرار افراد و نیز پرسنل فضای کافی در نظر گرفته شود.
- فاصله بین وسیله نقلیه مجاور برابر با ۱۵۰ میلیمتر

حداقل ابعاد فضای لازم برای تردد افراد در تونل[۱] به عنوان مسیر خرج اضطراری[۲] مطابق ذیل می‌باشد:

- تامین عرض ۶۱۰ میلیمتر در سطح Walkway،
- ۷۶۰ میلیمتر در ارتفاع ۱۵۷۵ میلیمتر و
- ۴۳۰ میلیمتر در ارتفاع ۲۰۲۵ میلیمتر.

۶-۷- گاباری سازه

قسمت دوم فرمول گاباری چیزی است که به آن گاباری سازه گفته می‌شود، که اصولاً حداقل فاصله بین مرکز خط و یک نقطه مشخص روی سازه است. این گاباری از گاباری خط به علاوه رواداری‌های سازه‌ای و حداقل گاباری‌های سازه مشخص می‌شود:

رابطه ۶-۴ $$SG = CE + SC + ST + AA$$

SG: گاباری سازه‌ای[۳]

CE: محدوده گاباری[۴]

SC: فضای لازم برای سازه‌های جنبی[۵]

ST: تلورانس‌های اجرایی سازه‌های جنبی[۶]

AA: میزان مجاز برای اجرای ادوات جاذب صدا[۷]

---

[۱] Walkway

[۲] Means of Egress

[۳] Structure Gauge

[۴] Clearance Envelope

[۵] Required Clearance to Wayside Structure

[۶] Wayside Structure Construction Tolerance

[۷] Acoustic Allowance

میزان فضای لازم برای سازه‌های جنبی ممکن است بطور جداگانه از فضای لازم برای عبور قطار مشخص گردد. به بیان دیگر فضای لازم برای عبور قطار به عنوان یک مقدار ثابت مشخص می‌شود به عنوان مثال ۱۵۰ میلیمتر و یک فضای جداگانه و اضافه بحرانی برای هر نوع سازه جانبی انتخاب می‌گردد.

رواداری‌های اجرایی برای سازه‌های جنبی شامل رواداری‌های ساخت مرتبط با اجزای سازه‌های جنبی، تیرک‌های برق بالاسری و اجزای سیگنالینگ می‌باشد. حداقل رواداری اجرایی برای اجزای بزرگ سازه‌های جنبی در حدود ۵۰ میلیمتر است. یک رواداری اجرایی بزرگتر نیز ممکن است برای بعضی از انواع دیوارهای حائل، شمع‌های حائل[۱]، شمع‌های فلزی[۲] و دیوارهای ضامن[۳] در نظر گرفته شود. عموماً برای سازه‌های جنبی نیازی به در نظر گرفتن رواداری‌های نگهداری همانند روسازی خط نیست. زیرا این سازه‌ها تحت تأثیر مواردی نظیر سایش و یا تغییر شکل پس از اجرا قرار نمی‌گیرد. طراح باید تمامی این موارد را متناسب با پروژه استعلام نماید.

مورد دیگری که باید در نظر گرفته شود یک حد مجاز برای دیواره وتری تونل‌ها، مقاطع بزرگ سازه‌های هوایی و پیاده راه‌ها می‌باشد. بجای اطلاعات دقیق اجرایی، می‌توان از یک راهنمای کلی به عنوان یک مبنا برای طراحی از وترهای ۱۵ متری برای قوس‌های با شعاع بیش از ۷۵۰ متر و وترهای ۷/۵ متری برای شعاع‌های کوچکتر استفاده نمود. شکل (۶-۵) نشان‌دهنده یک جدول تیپ برای الزامات فضای کمکی برای اجرای وتری می‌باشد.

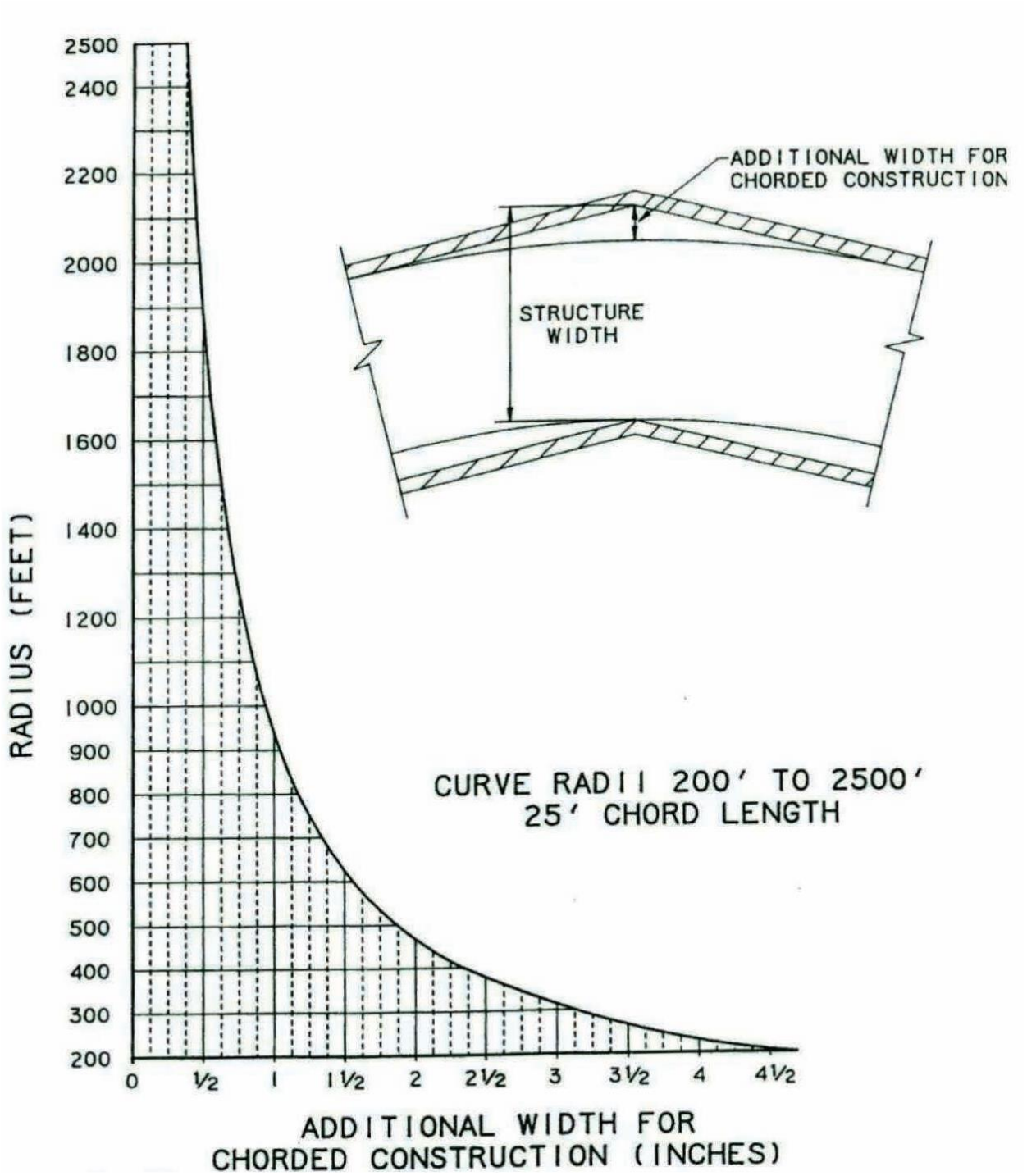
در انتها نیز فراهم نمودن ادوات کاهش صدا در آینده معمولاً برای دیوارها و سازه‌ها مورد نیاز است. میزان معمول برای این کار بین ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر است.

---

[۱] Secant Pile

[۲] Soldier Pile

[۳] Lagging Wall



شکل ۶-۵: الزامات فضای کمکی برای اجرای وتری

۶-۸- گاباری عمودی

گاباری عمودی معمولاً توسط الزامات بهم پیوسته حداقل ارتفاع پانتوگراف وسیله نقلیه و عمق سیستم بالاسری تعیین می‌شود. عمق سیستم بالاسری برابر با فاصله زیر سیم اتصال تا بالای تکیه‌گاه سیستم به علاوه فضای الکتریکی مورد نیاز بین تکیه‌گاه‌ها و سازه‌های اتصال می‌باشد.

در خطوط بالاستی، تمایل بر این است که گاباری عمودی نسبت به بالاآمدگی خط در نظر گرفته شود. مقادیر مجاز بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر معمول هستند. اگرچه، طراح سیستم بالاسری معمولاً تمایل دارد عمق سیستم بالاسری را حداکثر در نظر بگیرد و از سوی دیگر مهندس ناوگان تمایل به افزایش ارتفاع ارتفاع پانتوگراف دارد. بنابراین، مهندس خط ممکن است به منظور عدم تداخل این مقدار در دیگر زمینه‌ها مجبور به حفظ بالاآمدگی خط شود.

حالات گاباری بسیار دقیق و محدود ممکن است نیازمند یک سیستم روسازی صلب مثل روسازی بتنی یا روسازی مدفون باشد و یا اینکه اجازه سازمان متولی تعمیر و نگهداری خط را به منظور کم کردن ارتفاع خط هنگام بالازدگی داشته باشد. گزارش طراحی برای پروژه باید به طور خاص این موارد را ذکر کند تا متولیان پروژه گزینه‌های مختلف را هنگام تحویل‌گیری پروژه را مد نظر داشته باشند.

۶-۹- فاصله بین دو خط

حداقل فاصله مجاز بین دو خط بوسیله همان اصولی که برای تعیین گاباری نسبت به سازه استفاده می‌شود، تعیین می‌گردد. با عنایت به بخش‌های پیشین در خصوص گاباری، حداقل فاصله بین دو محور خط را می‌توان از رابطه (۶-۵) در صورتیکه تیرک‌های شبکه بالاسری وجود نداشته باشند بدست آورد:

$$TC = T_t + T_a + 2(OWF) + RC$$

رابطه ۶-۵

TC: حداقل فاصله بین خطوط[۱]

Tt: نصف محدوده گاباری به سمت مرکز قوس[۲]

Ta: نصف محدوده گاباری به سمت خارج قوس[۳]

RC: فضای عبور قطار[۴]

OWF: دیگر فاکتورهای جانبی (به گاباری سازه رجوع شود)[۵]

---

۱ Minimum Track Centers

۲ Half of Vehicle CE Toward Curve Center

۳ Half of Vehicle CE Away From Curve Center

۴ Running Clearance

۵ Other Wayside Factors

هنگامی که تیرک‌های شبکه بالاسری بین خطوط مستقر شده‌اند، حداقل فاصله بین خطوط به شرح ذیل تعیین می‌شود:

رابطه ۶-۶ $$TC = T_t + T_a + 2(OWF + RC) + P$$

TC: حداقل فاصله بین خطوط

Tt: نصف محدوده گاباری به سمت مرکز قوس

Ta: نصف محدوده گاباری به سمت خارج قوس

RC: فضای عبور قطار

OWF: دیگر فاکتورهای جانبی (به گاباری سازه رجوع شود)

P: حداقل قطر مجاز تیرک[۱]

با توجه به موارد فوق و نیز مشخصات اولیه ناوگان، حداقل مطلق فاصله تقریبی بین خطوط مستقیم برابر با ۳۲۰۰ میلی‌متر توصیه می‌گردد. شایان ذکر است که طراح باید نسبت به تدقیق این مقادیر با توجه به نوع ناوگان، شعاع قوس‌های افقی و دیگر پارامترهای تأثیرگذار اقدام نماید.

۶-۱۰- گاباری (قواره در ایستگاه‌ها)

- گاباری (قواره) آزاد در ایستگاه‌ها باید از دو منظر مورد توجه قرار گیرد:
- فاصله افقی بین لبه سکو تا محور خط ریلی
- ارتفاع قائم از سطح سکو تا سطح روی ریل
- گاباری (قواره) آزاد در ایستگاه‌ها باید با گاباری (قواره) دینامیکی وسایل نقلیه ریلی سازگاری داشته باشد.
- فاصله افقی بین لبه سکو تا بدنه واگن‌ها باید ۸۰ میلی‌متر باشد.

حداکثر فاصله بین سکو و بدنه وسیله نقلیه در وضعیت توقف ۷۵ میلیمتر منظور می‌گردد و در حالت قوسی تا $70_0^{+5}mm$ می‌تواند در نظر گرفته شود. همچنین سطح روی سکو باید پایین‌تر از کف واگن باشد چون مسافر هنگام خروج از واگن انتظار سطح پایین‌تری را دارد، همچنین این اختلاف ارتفاع نباید زیاد در نظر گرفته شود.

[۱] Maximum Allowable Catenary Pole Diameter

خواننده گرامی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Specifications for Design of Urban and Suburban Railways

Vol. I:
Geometric Design

No.805-1

Deputy of Technical and Infrastructure
Development Affairs

Department of Technical and Executive
Affairs, consultants and contractors

nezamfanni.ir

2022

این ضابطه

با عنوان جلد اول «ضـــوابط طراحی خطوط قطار شــهری و حومه» ملاک طرح هندســی در خطوط قطار شهری و حومه‌ای کشور است.