

ضوابط طرح هندسی راه آهن درون شهری

مهندسین مشاور پژوهش

تیر ۱۴۰۰

چیس نویس غیر قابل استناد

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۹
۲-۱- تعریف واژه‌های فنی.....	۹
۳-۱- علائم اختصاری.....	۱۱
فصل ۲: طراحی پلان مسیر.....	۱۳
۱-۲- مقدمه.....	۱۵
۲-۲- عرض خط.....	۱۵
۳-۲- برابندی (دور).....	۱۶
۴-۲- قوس‌ها.....	۲۲
فصل ۳: طراحی پروفیل طولی مسیر.....	۳۱
۱-۳- مقدمه.....	۳۳
۲-۳- شیب طولی.....	۳۳
۳-۳- قوس‌های قائم.....	۳۴
فصل ۴: طراحی انشعابات و تقاطعات.....	۳۹
۱-۴- مقدمه.....	۴۱
۲-۴- انواع دستگاه خطوط.....	۴۱
۳-۴- انتخاب دستگاه خطوط.....	۴۲
۴-۴- الزامات جانمایی افقی و قائم دستگاه خطوط.....	۴۳
۵-۴- الزامات جانمایی دستگاه خطوط با توجه به جهت قرارگیری نسبت به یکدیگر.....	۴۴
۶-۴- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای افقی.....	۴۵
۷-۴- الزامات و محدودیت‌های هندسی در مجاورت دستگاه خطوط در راستای قائم.....	۴۶
۸-۴- سایر الزامات و محدودیت‌های جانمایی دستگاه خطوط.....	۴۶
۹-۴- ملاحظات ایمنی در جانمایی انشعابات.....	۴۶
فصل ۵: طراحی ایستگاه‌ها.....	۴۹
۱-۵- مقدمه.....	۵۱
۲-۵- طرح هندسی ایستگاه‌ها.....	۵۱
۳-۵- انواع ایستگاه.....	۵۱
۴-۵- قوس افقی در محل ایستگاه.....	۵۳

۵-۵- شیب طولی در محل ایستگاه ۵۳

۵-۶- قوس قائم در محل ایستگاه ۵۴

فصل ۶: گاباری (قواره) دینامیکی ۵۵

۶-۱- مقدمه ۵۷

۶-۲- گاباری خط ۵۷

۶-۳- گاباری دینامیک قطار ۵۸

۶-۴- رواداری‌های اجرایی و نگهداری ۵۹

۶-۵- اثرات قوس و بریلندی ۶۰

۶-۶- فضای عبور قطار ۶۴

۶-۷- گاباری سازه ۶۵

۶-۸- گاباری عمودی ۶۷

۶-۹- فاصله بین دو خط ۶۷

پیش نویس غیر قابل استناد

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: نیروهای وارده بر واگن در قوس افقی ۱۷
- شکل ۲-۲: پارامترهای هندسی در قوس دایره‌ای ۲۳
- شکل ۳-۲: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی حلزونی ۲۸
- شکل ۴-۲: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی سهمی درجه سوم ۲۹
- شکل ۱-۳: پارامترهای هندسی در قوس‌های قائم ۳۶
- شکل ۱-۴: نقطه امان ۴۶
- شکل ۱-۵: ایستگاه‌های سه خطه و نحوه چیدمان خطوط در آن‌ها ۵۲
- شکل ۱-۶: گاباری قطار ۵۹
- شکل ۲-۶: محاسبه بیرون زدگی واگن‌ها در قوس‌های افقی ۶۲
- شکل ۳-۶: ناوگان با اتصال مفصلی و میزان کاهش بیرون زدگی ۶۲
- شکل ۴-۶: چرخش گاباری دینامیکی ۶۴
- شکل ۵-۶: الزامات فضای کمکی برای اجرای وت‌ری ۶۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: خلاصه علائم اختصاری مرتبط با طرح هندسی خطوط ریلی ۱۲
- جدول ۱-۲: تعریض عرض خط بر حسب شعاعهای مختلف ۱۵
- جدول ۲-۲: مقادیر برابندی تعادلی بر حسب شعاع قوس و سرعت (میلیمتر) ۱۸
- جدول ۳-۲: مقدار حدی پیشنهادی برای پارامتر حداکثر دور ۱۹
- جدول ۴-۲: مقادیر مجاز کسری برابندی و شتاب جانبی ۱۹
- جدول ۵-۲: مقادیر مجاز اضافه برابندی ۲۰
- جدول ۶-۲: مقادیر مجاز تغییرات برابندی نسبت به زمان ۲۱
- جدول ۷-۲: مقدار مجاز تغییرات برابندی نسبت به طول بر حسب $\frac{mm}{l}$ ۲۲
- جدول ۸-۲: پارامترهای تاثیرگذار بر طول قوس پیوندی ۲۵
- جدول ۱-۳: مقادیر مجاز شیب طولی مسیر خطوط قطار سبک شهری در موقعیت‌های مختلف ۳۴
- جدول ۲-۳: شعاع‌های قوس قائم دایره‌ای ۳۵
- جدول ۳-۳: شعاع‌های پیشنهادی قوس‌های قائم ۳۷
- جدول ۱-۴: فواصل بین سوزن‌ها با توجه نحوه قرارگیری نسبت به یکدیگر ۴۵

پیش نویس غیر قابل استناد

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 پروژه‌های 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 آیین‌نامه 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 ایران با مشخصاتی که در این آیین‌نامه 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 ریلی شهری، مورد استفاده جامعه مهندسين خطوط ریلی کشور قرار گیرد.

چیس نویس غیر قابل استناد

چیس نویس غیر قابل استناد

فصل ۱

کلیات

پیش نویس غیر قابل استناد

چیس نویس غیر قابل استناد

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 تن 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 رضایت بخشی انجام دهند. اجزای یک طرح هندسی مسیر راه آهن درون شهری عبارتند از مشخصات هندسی خطوط اصلی، تقاطعات و انشعابات، ایستگاه‌ها، دپو و پارکینگ در پلان و پروفیل طولی و قواره ناوگان که ضوابط مربوط به هریک در این آیین‌نامه به تفصیل آمده است.

۲-۱- 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 (دور): 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 (دور) اطلاق می‌شود.

بربلندی تعادلی: هرگاه متناسب با سرعت عبور وسایل نقلیه ریلی و شعاع قوس، میزان بربلندی 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 تعادلی وجود دارد. به سرعت متناظر با بربلندی تعادلی، سرعت تعادلی گفته می‌شود.

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

افزافه بر بلندی: افزافه بر بلندی عبارتست از اختلاف بين بر بلندی موجود و بر بلندی 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 مرکز‌گرایی 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 بر بلندی مسیر را با توجه به محدودیت‌هایی همچون ایمنی سفر و راحتی مسافران 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 بر بلندی 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 دور 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 دور استفاده شود.

تغییرات طول بر بلندی: به نرخ افزایش یا کاهش بر بلندی در طول قوس پیوندی، اصطلاحاً تغییرات طول بر بلندی 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 می شود که پارامترهای هندسی مسیر براساس آن تعیین می گردد و انتظار می رود که وسیله نقلیه ریلی در طول دوره بهره برداری قادر به سیر در آن سرعت باشد؛ اما این سرعت در زمان بهره بردای لزوماً قابل حصول نیست و بعضاً کمتر از آن است.

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

سرعت بهره برداری: سرعتی است که ناوگان ریلی در شرایط عادی بهره برداری، با آن مسیر را طی می کنند. مقدار این سرعت، تابع عواملی همچون حجم مسافری، حجم ترافیک، سرفاصله حرکت قطارها و... است.

شتاب جانبی: نیروی گریز از مرکزی که هنگام عبور از قوس به ناوگان ریلی وارد می شود، متناسب با مجذور سرعت سیر و عکس شعاع قوس است. این نیرو، موجب پیدایش شتاب مشخصی در وسیله نقلیه ریلی می گردد که راستای آن شعاعی و جهت آن رو به خارج قوس می باشد. برای غلبه بر این شتاب و خنثی نمودن آن از برابندی استفاده می شود.

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

در مورد شتاب های جانبی و قائم این نکته حائز اهمیت است که اگر مقدار آن ها در عبور وسیله نقلیه از قوس های افقی و قائم، از استاندارد راحتی مسافر تبعیت نکند، می باید با استفاده از اعمال تغییرات طراحی، این شتاب ها را به حدود استاندارد تقلیل داد.

۳-۱ - علائم اختصاری

هر یک از مفاهیم و پارامترهای دخیل در طراحی هندسی مسیر خطوط ریلی که در روابط محاسباتی به کار می روند، از علامت اختصاری برخوردارند. ممکن است این علامت ها در متون فنی دارای تفاوت های جزئی باشند که برای این آیین نامه به صورت جدول ۱-۱ تعریف می شوند.

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

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

فصل ۲

طراحی پلان مسیر

چیسق نویس غیر قابل استناد

چیس نویس غیر قابل استناد

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 برابندی و قوس پیوندی مرسوم نیست. همچنین به منظور افزایش سرعت بهره‌برداری و رسانیدن آن به حداکثر مقدار ممکن در قوس‌ها، از برابندی 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 کرد. 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 برابندی، براساس میزان راحتی مسافری 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 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: تعریف عرض خط برحسب شعاع‌های مختلف

$R \text{ (m)}$	$W \text{ (mm)}$
$175 > R \geq 150 \text{ m}$	1435
$150 > R \geq 125 \text{ m}$	1440
$125 > R \geq 100 \text{ m}$	1445

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- برابندی (دور)

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 بالا رفتن چرخ از ریل به دلیل افزایش نیروی جانبی وجود دارد. جبران نیروی گریز از مرکز با اعمال دور (برابندی) امکان پذیر 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 به منظور غلبه بر نیروی گریز از مرکز و تامین ایمنی و آسایش مسافری لحاظ می‌گردد، برابندی اطلاق می‌شود.

۲-۳-۲- برابندی تعادلی

در ۰ نیروهای وارد به یک ناوگان به جرم m در حین عبور از یک قوس با برابندی d نشان داده شده است که در آن F_c نیروی جانب مرکز و N نیروی عکس‌العمل سطح می‌باشد.

مقدار برابندی 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 برابندی که بطور کامل نیروی گریز از مرکز را در یک سرعت مفروض خنثی می‌سازد، "برابندی تعادلی" نامیده می‌شود.

برابندی تعادلی با استفاده از رابطه ۱-۲ قابل محاسبه است:

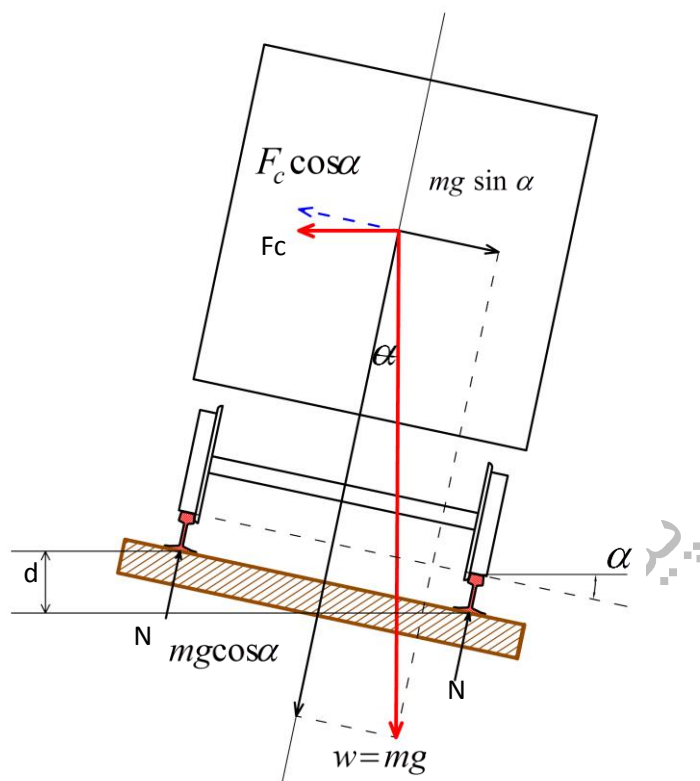
$$D_{EQ} = 11.8 \frac{V^2}{R} \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

که در آن:

DEQ : برابندی تعادلی بر حسب میلی‌متر (m) ؛

V : سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت (km/h) و

R : شعاع قوس بر حسب متر (m) است.



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

در جدول ۲-۲ مقادیر برابندی تعادلی DEQ برای سرعت‌ها و شعاع‌های مختلف براساس رابطه ۱-۲ ارائه شده است.

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

													سرعت (km/hr)
۱۴۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۱۰	۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	شعاع قوس (متر)
۴۶	۴۰	۳۴	۲۹	۲۴	۱۹	۱۵	۱۲	۸	۶				۵۰۰۰
۵۱	۴۴	۳۸	۳۲	۲۶	۲۱	۱۷	۱۳	۹	۷				۴,۵۰۰
۵۸	۵۰	۴۲	۳۶	۳۰	۲۴	۱۹	۱۴	۱۱	۷				۴۰۰۰
۶۶	۵۷	۴۹	۴۱	۳۴	۲۷	۲۲	۱۷	۱۲	۸	۵			۳۵۰۰
۷۷	۶۶	۵۷	۴۸	۳۹	۳۲	۲۵	۱۹	۱۴	۱۰	۶			۳۰۰۰
۹۳	۸۰	۶۸	۵۷	۴۷	۳۸	۳۰	۲۳	۱۷	۱۲	۸			۲۵۰۰
۱۱۶	۱۰۰	۸۵	۷۱	۵۹	۴۸	۳۸	۲۹	۲۱	۱۵	۹	۵		۲۰۰۰
		۱۱۳	۹۵	۷۹	۶۴	۵۰	۳۹	۲۸	۲۰	۱۳	۷		۱۵۰۰
				۱۱۸	۹۶	۷۶	۵۸	۴۲	۳۰	۱۹	۱۱		۱۰۰۰
					۱۰۶	۸۴	۶۴	۴۷	۳۳	۲۱	۱۲	۵	۹۰۰
					۱۱۹	۹۴	۷۲	۵۳	۳۷	۲۴	۱۳	۶	۸۰۰
					۱۲۷	۱۰۱	۷۷	۵۷	۳۹	۲۵	۱۴	۶	۷۵۰
						۱۰۸	۸۳	۶۱	۴۲	۲۷	۱۵	۷	۷۰۰
						۱۱۶	۸۹	۶۵	۴۵	۲۹	۱۶	۷	۶۵۰
						۱۲۶	۹۶	۷۱	۴۹	۳۱	۱۸	۸	۶۰۰
							۱۰۵	۷۷	۵۴	۳۴	۱۹	۹	۵۵۰
							۱۱۶	۸۵	۵۹	۳۸	۲۱	۹	۵۰۰
							۱۲۸	۹۴	۶۶	۴۲	۲۴	۱۰	۴۵۰
								۱۰۶	۷۴	۴۷	۲۷	۱۲	۴۰۰
								۱۲۱	۸۴	۵۴	۳۰	۱۳	۳۵۰
								۱۴۲	۹۸	۶۳	۳۵	۱۶	۳۰۰

بریلندی زیاد در قوس های با شعاع کوچک، خطر خروج واگن های کندرو از خط را افزایش داده و باعث ناراحتی مسافران در صورت توقف قطار در این نقاط می شود. اعمال بریلندی زیاد در نقاط ویژه مانند پل ها و سوزن ها باعث افزایش هزینه تعمیر و نگهداری و کاهش کیفیت خط می شود. بنابراین محدودسازی بریلندی برای آن ها توصیه می شود.

مقادیر بریلندی مجاز در خطوط اصلی در جدول ۲-۲ ارائه شده است. شایان ذکر است که میزان مجاز بریلندی متأثر از مشخصات ناوگان و نیز اثر قواره ناوگان بر سازه های اطراف نیز هست که این مهم باید هنگام طراحی مسیر مد نظر قرار گیرد.

جدول ۲-۳: مقدار حدی پیشنهادی برای پارامتر حداکثر دور

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

۲-۳-۳- کمبود برابندی

همان گونه که پیش از این نیز بیان گردید، برابندی تعادلی، متناسب با شعاع قوس و سرعت سیر مشخصی تعیین می گردد. در نتیجه با تغییر هر یک از پارامترهای مذکور به خصوص سرعت سیر و سایل نقلیه ریلی، کسری یا اضافی برابندی به وجود خواهد آمد.

در سرعت های بالاتر از سرعت تعادلی، کسری برابندی وجود خواهد داشت. برای شعاع قوس افقی R و برابندی موجود D، کسری برابندی که با I نشان داده می شود، از رابطه ۲-۲ به دست می آید:

$$I = 11.8 \frac{V_{max}^2}{R_{all}} \quad \text{رابطه ۲-۲}$$

که در آن:

V_{max} : حداکثر سرعت بهره برداری (km/h) و

I_{all} : کسری برابندی مجاز (mm) مطابق با مقادیر جدول (۲-۴)

شتاب جانبی خنثی نشده a_g ناشی از کسری برابندی از رابطه ۲-۳ به دست می آید:

$$a_g = \frac{V_{max}^2}{12.96 R} - \frac{g.D}{1500} \approx \frac{I}{153} \leq a_{qr} \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

در این رابطه:

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 است.

جدول ۲-۴: مقادیر مجاز کسری برابندی و شتاب جانبی

$80 < V_r \leq 120$		$V_r \leq 80$		سرعت طراحی (km/h)
حداکثر	استاندارد	حداکثر	استاندارد	پارامترهای هندسی مجاز
۱۰۰	۸۰	۸۰	۶۰	(mm) I_{all}
۰/۶۷	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۴۰	(m/s ²) a_{qr}

البته کسری برابندی مجاز به نوع سیستم تعلیق ناوگان و نیز انعطاف پذیری سیستم بوژی نیز بستگی دارد لذا پیشنهاد می گردد که این پارامتر بایستی مستقیماً از ضوابط ناوگان پروژه استخراج گردد.

حداکثر کسری دور مناسب با عنایت به اطلاعات ناوگان موجود در ایران برابر با ۶۱ میلیمتر توصیه می‌شود. البته استفاده از کسری دور حداکثر به جهت افزایش نیروی جبران نشده وارد بر ریل خارجی، افزایش میزان سایش و کاهش ایمنی و راحتی مسافری توصیه نمی‌گردد.

۲-۳-۴- اضافه بر بلندی

در سرعت‌های کمتر از سرعت تعادلی، اضافه بر بلندی وجود خواهد داشت. مقدار اضافه بر بلندی که با E نشان داده می‌شود، از رابطه ۲-۴ به دست می‌آید:

$$E = D - 11.8 \frac{V_{min}^2}{R_{all}} \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

که در آن:

V_{min} : سرعت حداقل (km/h) و
 E_{all} : اضافه بر بلندی مجاز (mm).

جدول ۲-۵: مقادیر مجاز اضافه بر بلندی

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

۲-۳-۵- تغییرات بر بلندی (دور)

تغییرات بر بلندی (دور) که در قوس پیوندی انجام می‌گیرد، معمولاً به دو صورت تغییرات بر بلندی نسبت به زمان عبور و تغییرات بر بلندی در طول بر بلندی به شرح ذیل بیان می‌شود:

۲-۳-۵-۱- تغییرات بر بلندی (دور) نسبت به زمان عبور

دو حالت وجود دارد که در آن می‌توان تغییرات بر بلندی را به صورت تابعی از زمان عبور از طول تأمین دور تعیین نمود، الف) تغییرات دور با شیب یکنواخت ب) تغییرات دور با شیب غیر یکنواخت (متناسب با افزایش نیروی گریز از مرکز).

در حالت اول، رابطه محاسبه میزان تغییرات بر بلندی نسبت به زمان با لحاظ نمودن D (کل تغییرات بر بلندی در طول یک قوس پیوندی) به صورت زیر است:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{D \cdot V_{max}}{r/6L} \leq \left(\frac{dD}{dt} \right)_r \quad \text{رابطه ۲-۵}$$

dD : کل تغییرات بر بلندی در طول یک قوس پیوندی (mm)؛

$V_{\max}$: حداکثر سرعت بهره‌برداری (km/h)؛

L : طول قوس پیوندی (m) و

$\left(\frac{dD}{dt}\right)_r$: مقدار مجاز تغییرات برابندی نسبت به زمان بر حسب mm/s مطابق با جدول ۶-۲.

در حالت دوم و در صورتی که شیب برابندی به طور غیریکنواخت تغییر نماید، مقدار $\left(\frac{dD}{dt}\right)_r$ نیز ثابت نخواهد بود. به دلیل پیچیدگی محاسبات مربوط به این حالت و عدم کاربرد آن در خطوط قطار شهری 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 $\frac{dD}{dt}$ بر اساس ملاحظات مربوط به راحتی سفر و امکان وجود شرایط نامطلوب در بستر خط، تعیین گردد.

جدول ۶-۲: مقادیر مجاز تغییرات برابندی نسبت به زمان

$80 < V_r \leq 120$		$V_r \leq 80$		سرعت طراحی (km/h)
حداکثر	استاندارد	حداکثر	استاندارد	پارامترهای هندسی مجاز
۵۵	۴۵	۵۵	۴۵	$\left(\frac{dD}{dt}\right)_r \left(\frac{mm}{sec}\right)$

۶-۳-۲ تغییرات برابندی (دور) در طول

تغییرات برابندی باید به شکلی یکنواخت و در سرا سر 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. از دیدگاه راحتی مسافرین، مقدار پارامتر هندسی مذکور را می‌توان با رابطه ۶-۲ محاسبه نمود:

$$\frac{dD}{dl} = \frac{3/6}{V_{\max}} \frac{dD}{dt} \quad \text{رابطه ۶-۲}$$

که:

$V_{\max}$: حداکثر سرعت بهره‌برداری بر حسب km/h و

$\frac{dD}{dl}$: مقدار مجاز تغییرات برابندی نسبت به طول بر حسب mm/l مطابق با جدول ۷-۲.

شدت تغییرات برابندی 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 برابندی در طول برحسب استاندارد به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

جدول ۲-۷: مقدار مجاز تغییرات برابندی نسبت به طول بر حسب $\frac{mm}{l}$

$80 \leq V_r \leq 120$		$V_r < 80$			سرعت طراحی (km/h)
حداکثر	استاندارد	حداکثر مطلق	حداکثر	استاندارد	پارامترهای هندسی مجاز
۲/۵	۱/۵	۳	۲/۵	۱/۵	$\left(\frac{dD}{dl}\right) \left(\frac{mm}{l}\right)$

مقدار حداکثر مطلق در شرایط خاص قابل استفاده خواهد بود.

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

به‌طور کلی قوس‌های دایره‌ای را می‌توان ساده‌ترین نوع قوس به لحاظ طراحی و اجرای هندسه مسیر خطوط ریلی دانست. عموماً قوس‌های دایره‌ای با شعاع آن‌ها مشخص می‌گردد.

مشخصات و پارامترهای هندسی قوس‌های دایره‌ای، در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. در این شکل:

CC : مرکز قوس دایره‌ای؛

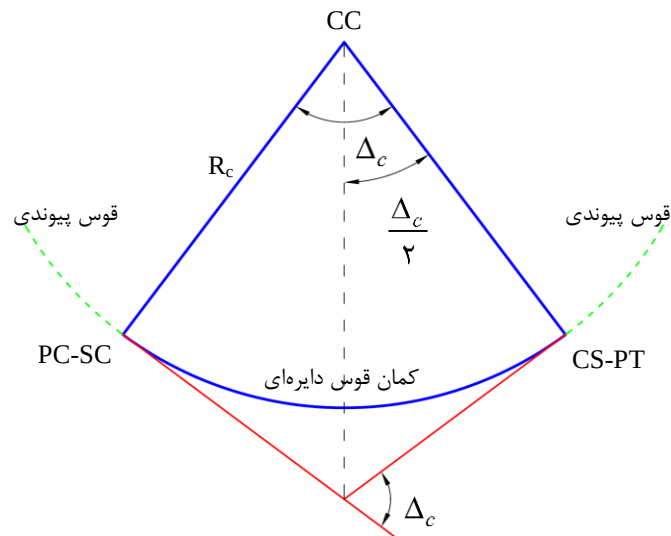
D_c : انحنا قوس بر حسب درجه روبروی کمان ۱۰۰ متری؛

Δ_c : زاویه مرکزی قوس دایره‌ای؛

R_c : شعاع قوس دایره‌ای؛

PC یا SC: نقطه شروع هندسی قوس دایره‌ای و

CS یا PT: نقطه اتمام هندسی.



شکل ۲-۲: پارامترهای هندسی در قوس دایره‌ای

روابط هندسی مرتبط با محاسبه پارامترهای قوس دایره‌ای عبارتند از:

درجه انحنای قوس دایره‌ای:

$$D_c = \frac{5729.6}{R_c} \quad \text{رابطه ۲-۷}$$

طول کل کمان قوس دایره‌ای:

$$L_c = \Delta_c \times R_c \quad \text{رابطه ۲-۸}$$

مقدار شعاع قوس‌های دایره‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است. عوامل زیادی در مقدار حداقل شعاع قوس‌های دایره‌ای تاثیر دارند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به ایمنی سیر و حرکت، راحتی مسافری، 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 کرد.

در صورت مشخص بودن حداکثر سرعت بهره‌برداری و همچنین مقدار کسری بریلندی، حداقل شعاع قوس مجاز بر حسب متر برابر خواهد بود با:

$$R = \frac{11.8}{d + I} V_{\max}^2 \quad \text{رابطه ۲-۹}$$

در این رابطه:

$V_{\max}$: حداکثر سرعت بهره‌برداری (km/h)؛

d : بریلندی موجود (mm) و

I : کسری بریلندی (mm) است.

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

$$L=0.57V \quad \text{رابطه ۲-۱۰}$$

که در آن L ، حداقل طول قوس برحسب متر و V ، سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت می‌باشد. همچنین حداقل مطلق طول قوس دایره‌ای کلوتوئید دار ۱۵ متر می‌باشد.

برای تعیین حداقل طول خط مستقیم بین دو قوس دایره‌ای می‌توان از رابطه $L=0.57V$ یا ۳۰ متر استفاده کرد. به بیان کلی‌تر حداقل باید ۲ ثانیه طول بکشد تا قطار از یک قوس به قوس دیگر برسد، یا اینکه بین دو قوس حداقل به اندازه طول یک واگن فاصله باشد.

در خطوط اصلی تونل‌های مکانیزه، محدودیت‌های دستگاه حفار مکانیزه TBM در انتخاب حداقل شعاع قوس افقی تعیین کننده می‌باشد.

۲-۴-۲- قوس پیوندی

در خطوط اصلی معمولاً انتقال از خط مستقیم به قوس با استفاده از قوس پیوندی صورت می‌گیرد. قوس پیوندی دو عملکرد اصلی شامل اجرای تدریجی برابندی و هدایت وسیله نقلیه ریلی از خط مستقیم به قوس را عهده‌دار می‌باشد. در صورت عدم پیش‌بینی قوس پیوندی، نیروی دینامیکی عظیمی به صورت 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 آن جمله 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 برابندی 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 برابندی را در طول قوس پیوندی تعیین نماید. نرخ تغییرات برابندی 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. در طرح هندسی خطوط ریلی سبک^۱ این مقدار ۲۵ میلیمتر پیشنهاد می‌شود. به عنوان مثال در صورتی که فاصله مرکز به مرکز دو بوژی متوالی از یک واگن ۱۵ متر و تغییرات کل برابندی برابر ۱۰۰ میلی‌متر باشد، حداقل به یک قوس پیوندی به طول ۶۰ متر نیاز خواهد بود تا الزامات برآورده گردد. با توجه به

^۱ LRT

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 کسری برابندی به صورت تابعی از زمان $(\frac{dI}{dt})$ و

- نرخ تغییرات برابندی به صورت تابعی از طول $(\frac{dD}{dl})$.

بر این اساس می‌توان طول قوس پیوندی را محاسبه نمود. بیشترین مقداری که از رابطه ۱۱-۲ و رابطه ۱۲-۲ به دست می‌آید، مبنای تصمیم‌گیری در مورد طول قوس پیوندی خواهد بود:

$$L \geq \frac{V_{\max}}{3/6} \times \Delta I \times \left(\frac{dI}{dt}\right)^{-1} \quad \text{رابطه ۱۱-۲}$$

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

در روابط فوق:

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

ΔI : کل تغییرات کسری برابندی در طول قوس پیوندی، (mm) و

ΔD : کل تغییرات برابندی در طول قوس پیوندی (mm).

به طور کلی، باتوجه به ضوابط بیان شده در مطالب ذکر شده، طول قوس پیوندی براساس پنج پارامتر زیر تعیین می‌شود. طوری که هیچ یک از مقادیر زیر از مقدار مجاز بیشتر نشود. این پنج پارامتر عبارتند از:

جدول ۸-۲: پارامترهای تاثیرگذار بر طول قوس پیوندی

پارامتر	حداکثر مطلوب	حداکثر مطلق
نرخ اعمال برابندی در واحد طول (mm/m)	۱/۵	۳
نرخ اعمال برابندی در واحد زمان (mm/s)	۴۵	۵۵
نرخ اعمال کسری برابندی در واحد زمان (mm/s)	۴۵	۵۵
شتاب جانبی خنثی نشده (m/s ²)	۰/۵۳	۰/۶۷
جرک (تغییرات شتاب جانبی در واحد زمان) (m/s ³)	۰/۴	۰/۶

حداقل طول کلوتوئید ۲۰ متر توصیه می‌شود. در خطوط فرعی و ایستگاه‌ها که سرعت سیر کمتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت می‌باشد، تعبیه قوس پیوندی ضروری نمی‌باشد. حداقل طول قوس پیوندی باید به حدی باشد که دور 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^۱ 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 و سیهی برخوردارند که در ادامه به تشریح روابط محاسبه پارامترهای هندسی مربوطه پرداخته خواهد شد.

۲-۴-۱- قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)

قوس پیوندی حلزونی بر مبنای معالده اولر محاسبه می‌شود. در قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید)، انحناى 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. با فرض این که مقدار ثابت برابر با A^2 باشد، معادله عمومی قوس پیوندی حلزونی به صورت رابطه ۲-۱۳ بیان می‌گردد:

$$L \cdot r = A^2 \quad \text{رابطه ۲-۱۳}$$

در رابطه فوق:

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

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

• شکل ۲-۳ 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 : زاویه قوس پیوندی حلزونی (کلوتوئید) نظیر طول L_s ؛

ϕ : 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؛

^۲ Clothoid

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

RC: شعاع قوس دایره‌ای؛

Ts: طول کل خط مماس؛

Es: فاصله خارجی قوس از نقطه انحراف مسیر تا قوس در امتداد نیمساز؛

xs, ys: مختصات آخرین نقطه قوس پیوندی حلزونی و

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

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

می‌شود):

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R_c} \quad \text{رابطه ۱۴-۲}$$

$$\theta = \theta_s \left(\frac{L}{L_s} \right)^2 \quad \text{رابطه ۱۵-۲}$$

$$x = \frac{L}{100} (100 - 0/304 \theta^2 \times 10 - 2) \quad \text{رابطه ۱۶-۲}$$

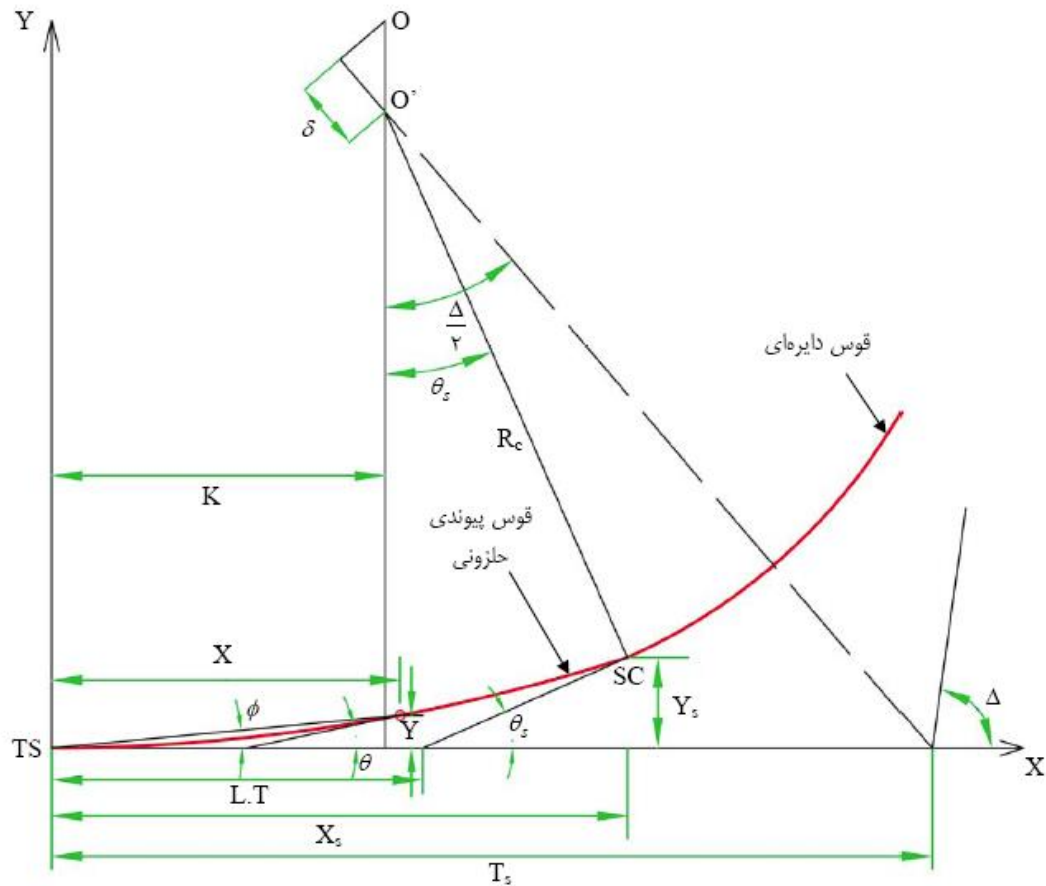
$$y = \frac{L}{100} (0/5818 \theta - 0/1266 \theta^2 \times 10 - 4) \quad \text{رابطه ۱۷-۲}$$

$$K = X_s - R_c \sin \theta_s \quad \text{رابطه ۱۸-۲}$$

$$\delta = Y_s - R_c (1 - \cos \theta_s) \quad \text{رابطه ۱۹-۲}$$

$$E_s = (R_c + \delta) \sec \frac{\Delta}{2} - R_c \quad \text{رابطه ۲۰-۲}$$

$$T_s = K + (R + \delta) \tan \frac{\Delta}{2} \quad \text{رابطه ۲۱-۲}$$



شکل ۲-۳: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی حلزونی

۲-۲-۴-۲- 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 ۲-۴ 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 ۲-۲۲ بدین منظور به کار می‌رود:

$$y = \frac{x^3}{6RL} \left[1 + \left(\frac{l}{2R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad \text{رابطه ۲-۲۲}$$

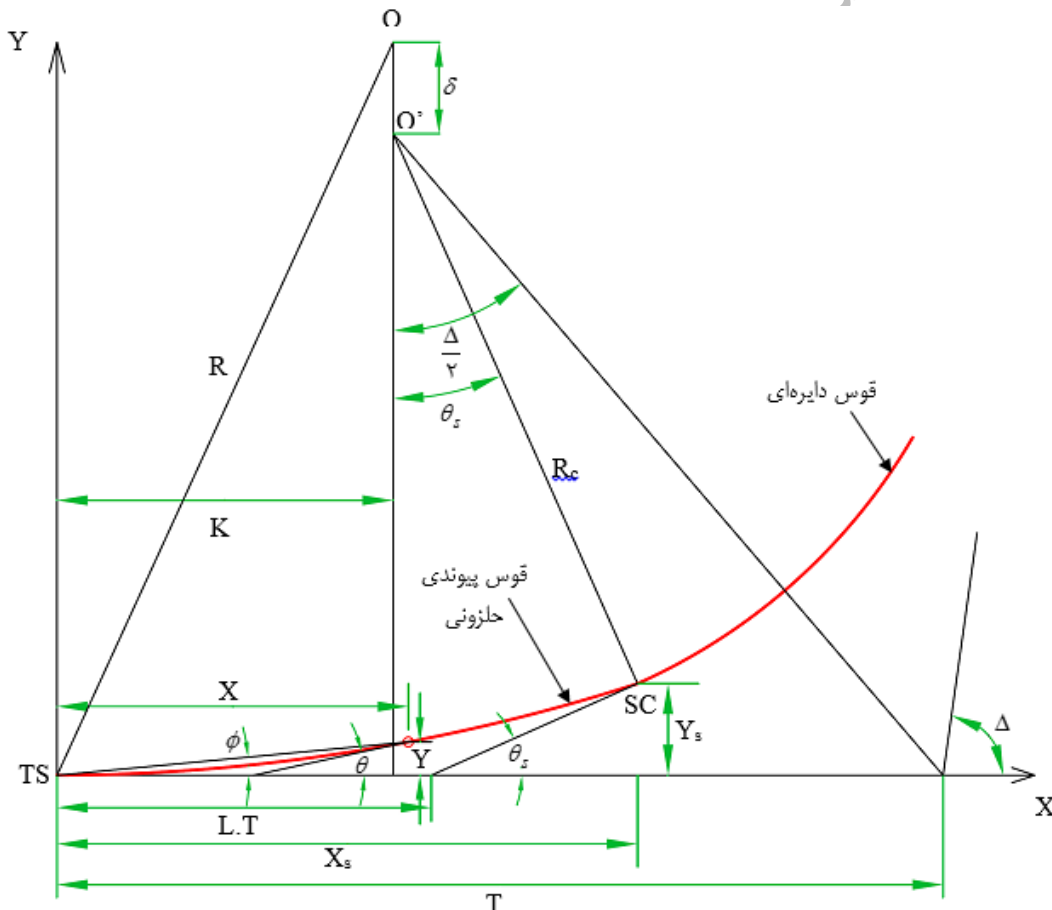
در رابطه بالا در صورتی که مقدار $\left(\frac{l}{2R}\right)^2$ خیلی کوچکتر از یک باشد، می توان آن را از معادله بالا حذف نمود. در این

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:

$$y = \frac{x^3}{6RL} \quad \text{رابطه ۲-۲۳}$$

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

$$L = l + \frac{1}{10} \left(\frac{l}{2R} \right)^2 \quad \text{رابطه ۲-۲۴}$$



شکل ۲-۴: پارامترهای هندسی در قوس پیوندی سهمی درجه سوم

چیس نویس غیر قابل استناد

فصل ۳

طراحی پروفیل طولی مسیر

چیس نویس غیر قابل استناد

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 می شوند. به طور معمول شیب و فراز خطوط ریلی به دو دلیل اصلی، بسیار محدودتر از سیستم حمل و نقل جاده‌ای می باشد. 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 می باشد. تراز هندسی قائم نیز از دو مولفه اصلی مشابه هندسه افقی تشکیل می شود (خطوط مستقیم و قوس‌ها). در این رابطه تفاوت‌هایی در ترکیب بین دو هندسه نام برده وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد. در ترسیم پروفیل طولی مسیر خطوط ریلی، تراز ارتفاعی محور خط، مبنا قرار می گیرد و رقوم ارتفاعی از سطح روی ریل سنجیده می شود.

۳-۲- شیب طولی

شیب طولی مسیر خطوط ریلی به صورت نسبت افزایش یا کاهش تراز ارتفاعی به طول افقی مشخصی از مسیر اطلاق می گردد و معمولاً به درصد یا در هزار بیان می شود. 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، تعیین کننده حداقل شیب طولی می باشند.

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 می شود. در نهایت این پارامتر رابطه مستقیم با ناوگان پروژه دارد.

شیب طولی مطلوب در خطوط پارکینگ و دپو باید برابر با صفر درصد در نظر گرفته شود و حداکثر مقدار مجاز آن را می توان ۵/۰٪ اختیار نمود. در خطوط شانت و خطوط پارکینگ انتهایی 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 می باشد، باید برابر با طول یک قطار در نظر گرفته شود.

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

ردیف	موقعیت قرارگیری خط در مسیر	تعریف پارامتر هندسی	مقدار مجاز پارامتر هندسی (%)
۱	خط اصلی	حداکثر شیب ممتد با طول بی‌نهایت	۴
		حداکثر شیب ممتد با طول کم‌تر از ۷۵۰ متر بین دو قوس قائم	۶
		حداکثر شیب ممتد با طول کم‌تر از ۱۵۰ متر بین دو قوس قائم	۷
		حداقل شیب طولی جهت زهکشی خطوط با دال بتنی	۰/۲
۲	ایستگاه	مطلوب	۰
		حداکثر	۰/۲
۳	خطوط دیو و پارکینگ	مطلوب	۰
		حداکثر	۰/۲

۳-۳- قوس‌های قائم

مشابه خطوط مستقیم افقی، خطوط قائم نیز معمولاً 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 راه آهن 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 و سایل 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.

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

$$r = \left(\frac{G_r - G_l}{L_{vc}} \right) \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

که پارامتر r نرخ تغییرات شیب می‌باشد.

$$e = \left(\frac{G_r - G_l}{\lambda} \right) L_{vc} \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{G_r - G_l}{L_{vc}} \right) \cdot x^2 = \frac{1}{2} r \cdot x^2 \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

حداقل شعاع قوس قائم دایره‌ای باید ۲۰۰۰ متر در خطوط اصلی باشد. 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 ۰.۷٪ 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 باید در طراحی هندسی مسیر خطوط ریلی، از تداخل قوس‌های افقی و قائم جلوگیری نمود. 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 تا حد امکان در مسیرهای مسقیم (تائزانت) قرار داده شوند شعاع محدوده قوس‌های قائم مطابق جدول ۳-۲ است:

جدول ۳-۲: شعاع‌های قوس قائم دایره‌ای

$80 \leq v \leq 120$	سرعت (km/h)
$0.4 \cdot V_{max}^2$	مقدار پیشنهادی
$0.3 \cdot V_{max}^2$	مقدار حداقل

۳-۳-۲- قوس‌های قائم سهموی

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

$$L_{VC} = \frac{AV^2}{215}$$

$$L_{VC} = \frac{AV^2}{387}$$

رابطه ۳-۴ طول حداقل قوس محدب

رابطه ۳-۵ طول حداقل قوس مقعر

که:

LVC: طول قوس قائم (m)؛

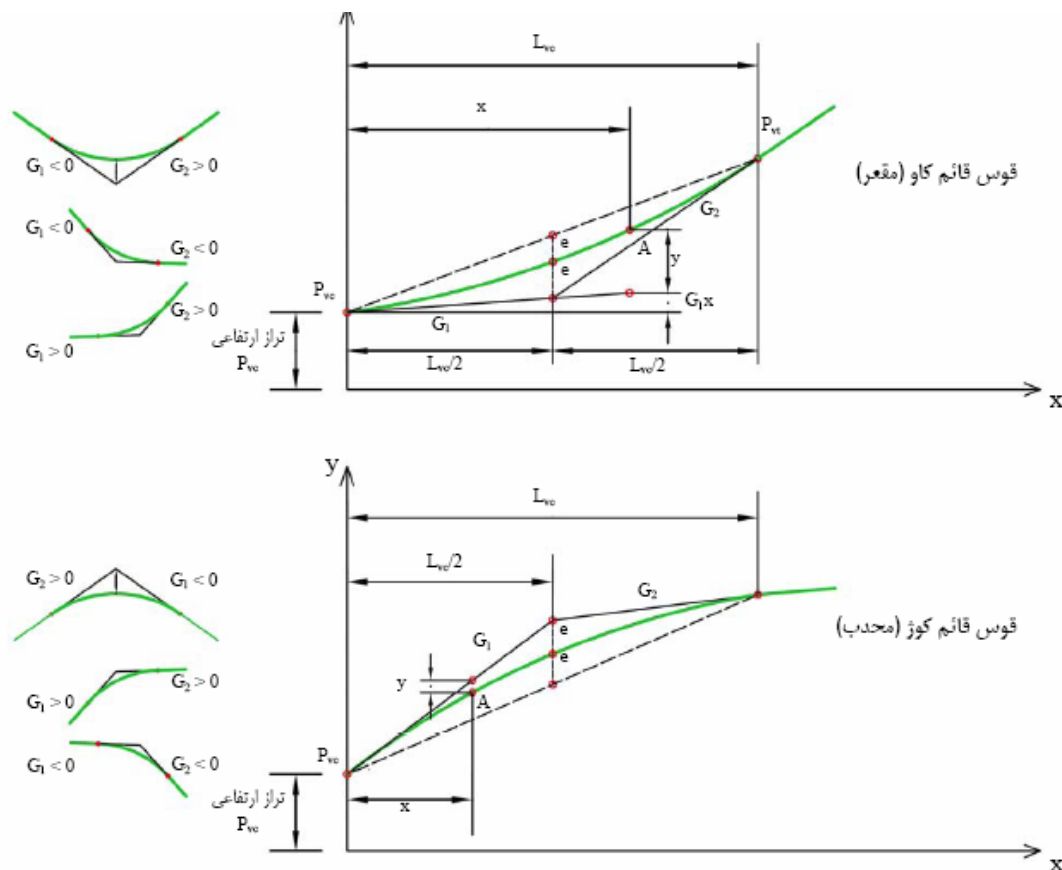
A: تفاضل جبری دو شیب (G2-G1) بر حسب درصد و

V: سرعت طرح (kph).

شایان ذکر است که در خطوط بالاسری (OCS)^۳، طول قوس قائم یا سرعت طراحی تحت تأثیر اختلاف مقادیر شیب مسیر

و سیم‌های سیستم OSC قرار می‌گیرند.

^۳Overhead Catenary System



شکل ۱-۳: پارامترهای هندسی در قوس های قائم

حداقل طول خط مستقیم بین دو قوس قائم در خطوط اصلی ۰.۵۷V یا ۳۰ متر (هر کدام که بیشتر باشد) است. این مقدار در شرایط خاص می تواند تا ۱۲ متر کاهش یابد.

همچنین طول قوس قائم با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

طول مطلوب:

$$L=60A$$

رابطه ۳-۶

حداقل طول مطلوب:

$$L=30A$$

رابطه ۳-۷

حداقل طول مطلق:

$$L=AV^2/215 \text{ (محدب)}$$

رابطه ۳-۸

$$L=AV^2/387 \text{ (مقعر)}$$

رابطه ۳-۹

که L حداقل طول قوس برحسب متر، A اختلاف جبری دو شیب (درصد) و V سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت می باشد.

به عنوان یک توصیه کلی مقادیر جدول ۳-۳ برای شعاع قوس های قائم در خطوط اصلی و فرعی توصیه می شود:

جدول ۳-۳: شعاع‌های پیشنهادی قوس‌های قائم

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

پیش نویس غیر قابل استناد

چیس نویس غیر قابل استناد

فصل ۴

طراحی انشعابات و تقاطعات

چیس نویس غیر قابل استناد

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 تضمین‌کننده 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 متداول‌ترین آنها سوزن یا انشعاب و کراس اور می‌باشد. به طور کلی دو شاخصه مهم دستگاه خطوط شعاع قوس و زاویه انحراف بوده که باعث تنوع می‌شود.

سوزن‌ها به منظور انتقال قطار از یک خط به خط دیگر استفاده می‌گردد. 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.

کراس اورها 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 کراس اورهای 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 معمولاً 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 استاندارد که بررسی شده است و جوابگوی نیازها نبوده‌اند.
- دلایل عدم کارایی 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 معمولاً 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 می‌شود. طراحی انشعاب‌ها در قوس باید ساده بوده و انتقال تدریجی وسیله نقلیه ریلی را به مسیر انشعابی در نهایت سهولت امکان‌پذیر سازد. 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 کاملاً 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، مطلوب‌بست تا حد امکان انشعابات و تقاطعات در مقاطعی از مسیر خط ریلی قرار داده شوند، که هیچ‌گونه 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 تئوریک 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 برابندی در این مکان تعبیه گردد. علت این امر آن است که هرگونه برابندی 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 برابندی مورد نیاز برای حرکت و سیله نقلیه در مسیر انشعابی تأمین نمی‌گردد، بلکه در صورت وجود برابندی در مسیر اصلی به ناپایداری و احتمالاً واژگونی و سیله نقلیه ریلی منجر می‌گردد. در مواقعی که تعبیه برابندی 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، برپلندی 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 یکدیگر از چند منظر باید مورد توجه خاص واقع شود:

- محدودیت‌های ساخت؛ بدین معنی که 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 تعیین کننده 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 سوزن‌ها	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
		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 انحنای باشد تا کارکرد مناسب و ایمن دستگاه خطوط تضمین گردد. به طور کلی در خطوط قطارهای شهری حداقل 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، مجدداً جهت انحنای قوس افقی و دستگاه خطوط نسبت به یکدیگر تعیین کننده خواهد بود و باید حداقل فواصل ذکر شده در آن قسمت، در این مورد نیز رعایت گردد. تنها 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.

۷-۴ 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 $V/2$ 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.

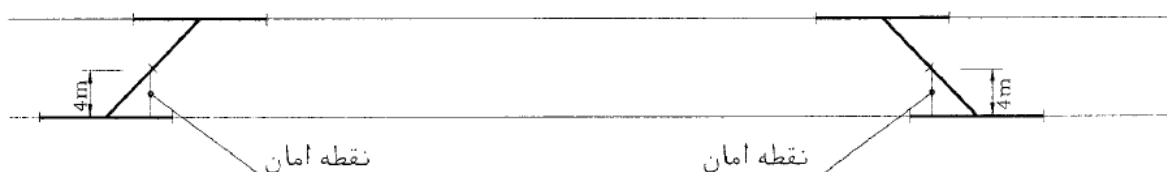
۸-۴ سایر الزامات و محدودیت‌های جانمایی دستگاه خطوط

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.

۹-۴ 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 می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نقطه امان: مطابق آیین‌نامه طرح هندسی راه آهن 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 راه آهن فاصله خطوط در نقطه امان را ۴ متر مشخص کرده است و از آنجا که قواره قطارهای راه آهن بزرگتر از قطارهای مترو می‌باشد، برای محدوده دیو 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 محاسبه فاصله 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.

پیش نویس غیر قابل استناد

چیس نویس غیر قابل استناد

فصل ۵

طراحی ایستگاه‌ها

چیس نویس غیر قابل استناد

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 طرح 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.

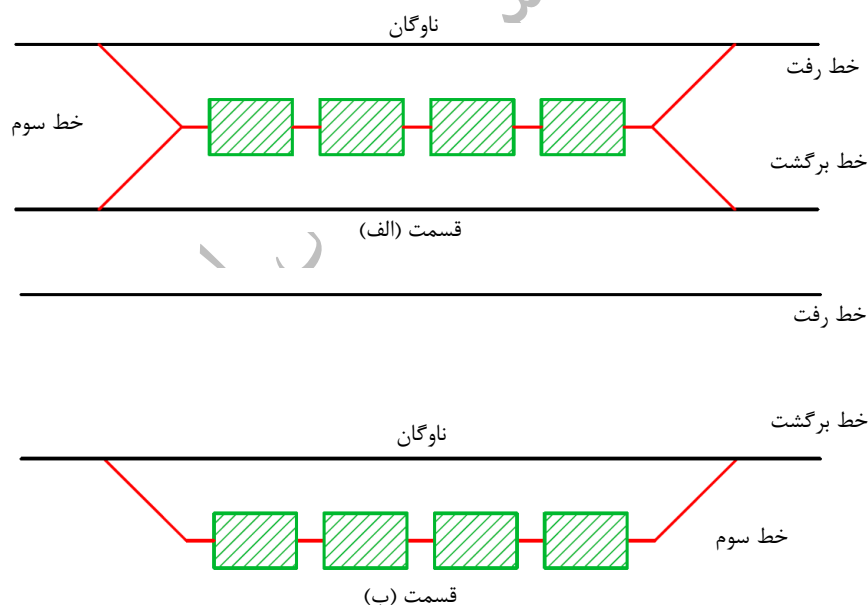
۵-۳- انواع ایستگاه

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.
 - ایستگاه‌های 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 تعیین کننده تعداد خطوط درون ایستگاه و شکل ظاهری آن می‌باشد، الزامات ناوگان و بهره‌برداری همچون حداقل سرفاصله زمانی (هدوی) 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 مسافری 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 سه خطه 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 دیو 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.

- 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 مسافری به همراه داشته باشد.

چنانچه در شرایط خاص اجرای خط به طور مستقیم در محل سکوی ایستگاه‌ها باید ممکن نباشد حداقل شعاع مطلوب برابر با ۱۲۵۰ متر و حداقل مطلق شعاع قوس افقی برابر با ۸۰۰ متر می‌باشد. لیکن توصیه می‌گردد از اجرای قوس در محل سکو پرهیز شود.

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 در هزار به جهت زهکشی در نظر گرفته 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.

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 مسافری به همراه داشته باشد.

قبل و بعد از ایستگاه‌ها حداقل شعاع قوس قائم ۲۰۰۰ متر توصیه می‌گردد. چنانچه قوس قائم در آن محل با قوس افقی تداخل داشته باشد این مقدار باید حداقل برابر با ۳۰۰۰ متر باشد.

مسیر غیر قابل استناد

فصل ۶

گاباری (قواره) دینامیکی

چیس نویس غیر قابل استناد

۶-۱- مقدمه

فراهم کردن فضای کافی برای عبور ایمن قطارها یک اصل در طراحی و سایل حمل و نقل می باشد. محاسبه دقیق فضای عبور یا گاباری و پیاده سازی آن در طی مراحل طراحی و ساخت، یک اصل کلی برای بهره‌برداری مناسب و ایمن می باشد. 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، دورها، 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:

$$TCE = VDE + TT + C\&S + RC$$

رابطه ۶-۱

که در آن:

TCE: گاباری خط^۴

VDE: گاباری دینامیک قطار^۵

TT: رواداری‌های اجرا و نگهداری خط^۶

C&S: اثرات ناشی از قوس و دور^۷

RC: فضای عبور قطار^۸

فضای گاباری نشان دهنده 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^۹ 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 قابل توجهی متفاوت باشد.

^۴ track clearance envelope

^۵ vehicle dynamic envelope

^۶ trackwork construction and maintenance tolerances

^۷ vehicle curve and superelevation effects

^۸ vehicle running clearance

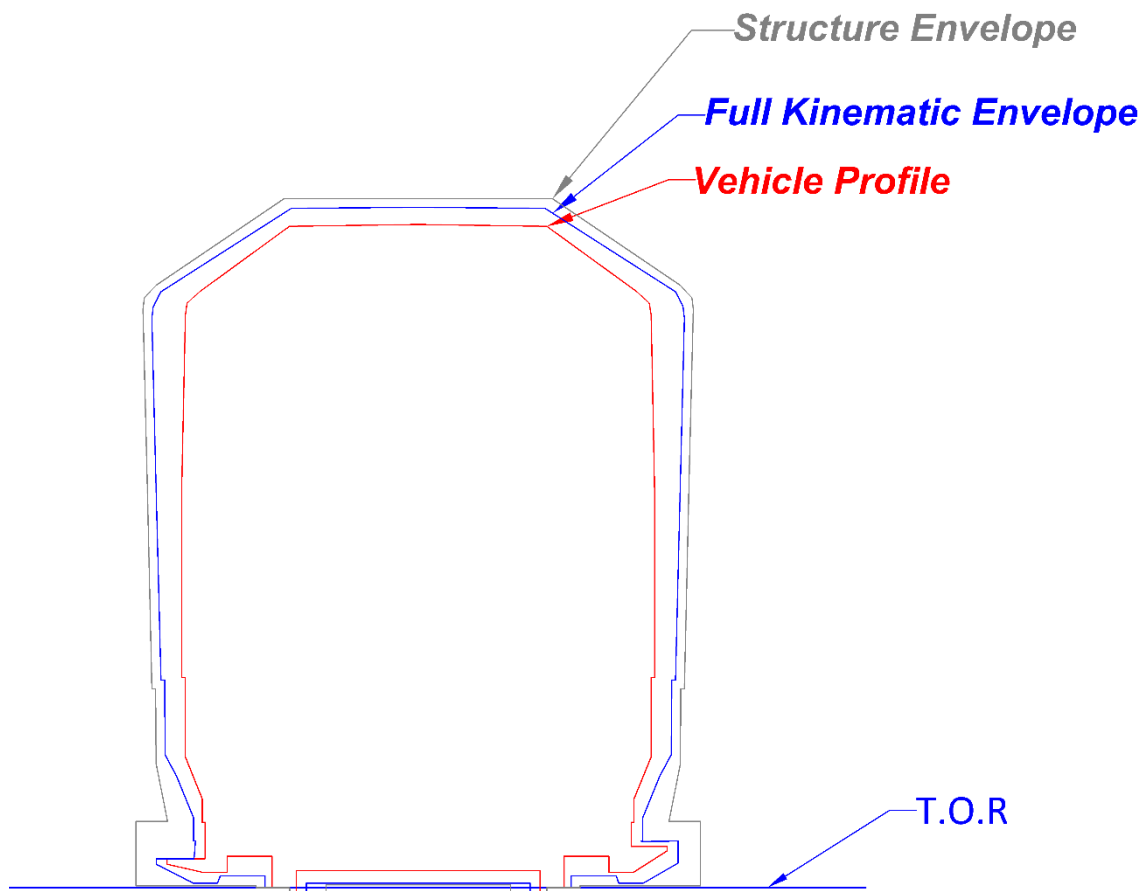
^۹ Structure Gauge

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.

۳-۶- گاباری دینامیک قطار

تعیین گاباری قطار معمولاً در مسئولیت سازنده می‌باشد و گاباری دینامیک ارائه شده در این مدرک به عنوان مبنای اولیه برای کار در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که گاباری دینامیک در مراحل بعدی مطالعات توسط سازنده ارائه شده و دیگر گاباری‌های مقطع نسبت به آن تغییر خواهند کرد. 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 گنج 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.



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 رو سازی‌های بتنی، مدفون و نیز بالا سستی رواداری‌های نگهداری متفاوتی دارند. این امکان وجود دارد که گاباری‌های مجزایی برای خطوط بالاسستی و یا بتنی در نظر گرفت و یا اینکه یک گاباری محافظه کارانه بر مبنای خطوط بالاسستی در نظر گرفت. هر دوی این انتخاب‌ها در عمل استفاده شده‌اند، اگرچه استفاده از یک گاباری خط بالاسستی 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 میلیمتر (برای قوس های بسیار تند که ریل تحت تأثیر تغییرات دمایی تغییر شکل می دهد مقادیر بزرگتری در نظر گرفته می شود).

- رواداری های 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 آیین نامه AREMA برابر با ۶ میلیمتر در نظر گرفته می شود.
 - 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 نشست ها و یا آماس مقطعی محتمل در مقطع خط).
 - تغییرات سطح عبور در خطوط بالاستی: ۲۵ میلیمتر
- اثر تغییرات سطح عبور بیشتر شامل دوران هست تا جابجایی جانبی. این تأثیرات بیشتر مشابه با اثرات بر بلندی هست که ادامه به آن اشاره شده است.
- این موضوع قابل ذکر است که مقادیر نهایی پیشنهاد شده در بالا تنها به منظور مشخص نمودن گاباری خط می باشد. این مقادیر تئوری برای بدترین حالت بوده و نباید نشان دهنده حد مجاز تعمیر و نگهداری باشند. به طور مشابه این مقادیر هیچ ارتباطی با رواداری های اجرایی برای اجرای خط جدید ندارند. تمامی این موارد باید توسط طراح از سازنده ناوگان و بهره برداری استعلام گردد.

۵-۶- اثرات قوس و بر بلندی

علاوه بر گاباری دینامیکی قطار و نیز فاکتورهای تعمیر و نگهداری، انحنای خط و دور اثر قابل توجهی بر تعیین گاباری خواهند داشت. با این اثرات را می توان به طور جداگانه مقابله نمود. بعضی از سازمان های قطار شهری اثر قوس و دور را به عنوان بخشی از گاباری دینامیک قطار در نظر می گیرند و گاباری دینامیک قطار را برای هر انحناء به طور جداگانه محاسبه می کنند. به عنوان یک دستورالعمل کلی، این مدرک گاباری دینامیک را به صورت مجزا در نظر خواهد گرفت و گاباری ناشی از آیتم های مختلف را به صورت جداگانه محاسبه خواهد نمود.

۶-۵-۱- اثر قوس

علاوه بر حرکات دینامیکی حرکت قطار، بیرون زدگی بدنه قطار در قوس های افقی نیز جابجایی جانبی گاباری دینامیکی قطار را نسبت به محور خط افزایش می دهد. برای مقاصد طراحی، هم بیرون زدگی وسط واگن و هم بیرون زدگی دو انتهای واگن باید مد نظر قرار گیرد.

میزان بیرون زدگی به داخل در میانه واگن و بیرون زدگی به خارج در انتهای واگن در ابتدا به فاصله بین بوژی ها، فاصله انتهای واگن تا بوژی و شعاع خط بستگی دارد. فاصله بین محورها همچنین بر روی خود گاباری نیز تأثیر گذار است، اگرچه این مقدار ناچیز بوده و اغلب نادیده گرفته می شود. برای تعیین میزان بیرون زدگی به داخل و خارج برای یک شعاع معین عموماً یکی از دو فرمول ذیل بسته به اینکه فاصله بین محورها موجود هست یا خیر، مورد استفاده قرار می گیرد. هر دوی فرمول ها به میزان کافی برای تعیین کلی گاباری برای خطوط راه آهن سبک شهری دقیق هستند.

شکل (۴-۲) شان دهنده مبانی تئوری یک واگن صلب با دو بوژی می باشد. اگر فاصله بین محورها بوژی مد نظر نباشد، اثر بیرون زدگی به داخل و خارج از این فرض استخراج می شود که مرکز بوژی های واگن در مرکز خط واقع شده اند. در این حالت بیرون زدگی به داخل و خارج را می توان از فرمول ذیل محاسبه نمود.

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

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

$$R_o - R$$

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

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

رابطه ۶-۲ بیرون زدگی به سمت داخل:

رابطه ۶-۳ بیرون زدگی به سمت خارج:

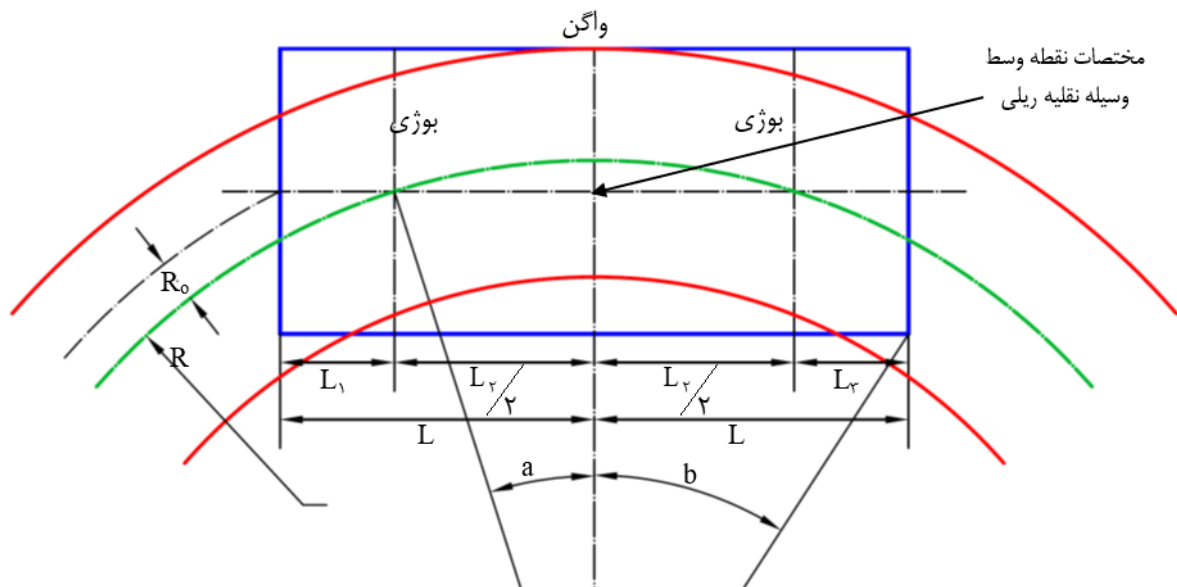
که در آن:

M_o : فاصله قائم از وتر واگن تا قوس

R : شعاع قوس

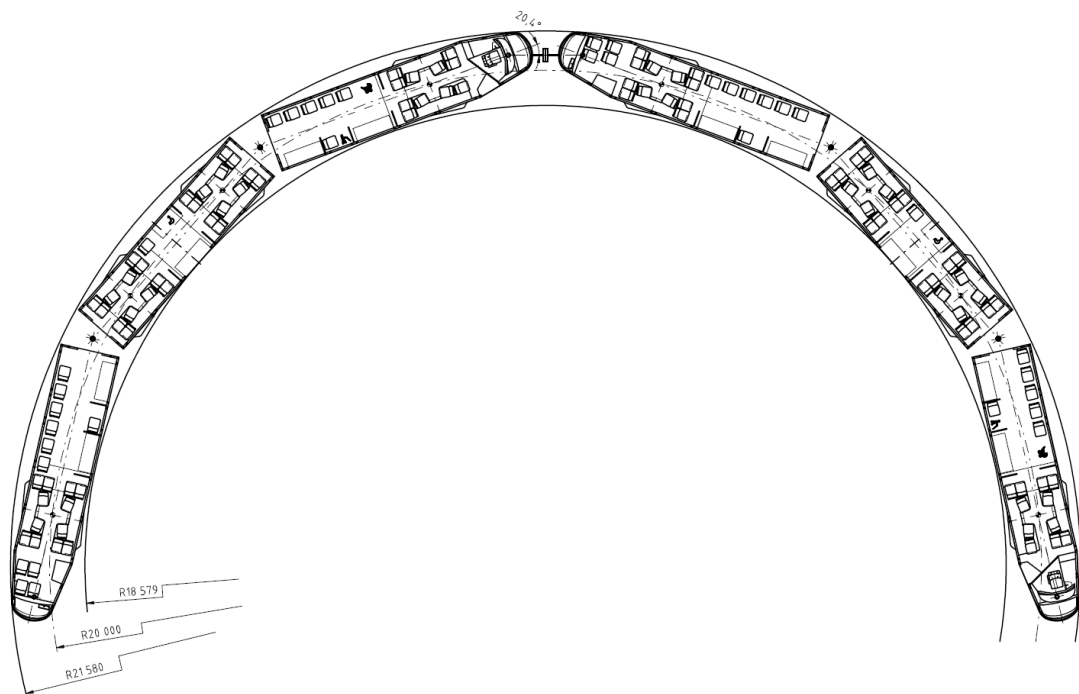
L_2 : فاصله بین بوژی ها

L : نصف طول واگن



شکل ۶-۲: محاسبه بیرون زدگی 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 (بیرون زدگی^{۱۰}) 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 بیرون زدگی

^{۱۰} Outswing

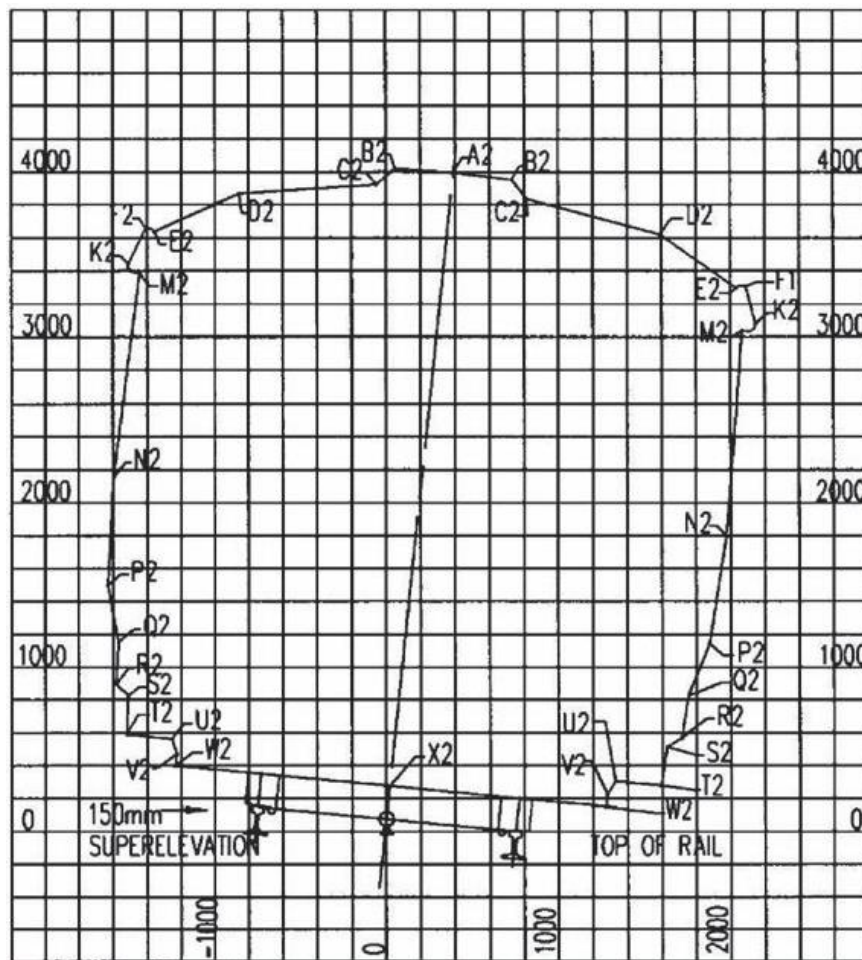
هنگام محاسبه مسیر گاباری در قوس‌های افقی با قوس‌های پیوندی، گاباری خط مستقیم در فاصله‌ای بین جلوی نقطه شروع قوس پیوندی (T.S) به اتمام خواهد رسید. گاباری کامل قوس به طور مشابه در فاصله‌ای جلوتر از نقطه اتمام قوس پیوندی و شروع قوس قائم (S.C) آغاز خواهد شد. برای یک قطار سبک شهری با واگن‌های متصل به هم با دو مقطع اصلی، این نقطه می‌تواند در یک سوم طول و سیله نقلیه در جلوی T.S یا S.C واقع شود. همین روش را می‌توان برای قوس‌های افقی ساده به کار برد. در جایی که اطلاعات دقیق‌تر مورد نیاز است می‌توان از نرم افزارهای شبیه سازی که بصورت گرافیکی لبه‌های گاباری را نشان می‌دهند استفاده نمود.

گاباری در سوزن‌ها و کراس اورها بر مبنای شعاع محور مرکزی سوزن محاسبه خواهد شد. لازم به ذکر است که طراح ناوگان معمولاً محاسبات لازم برای گاباری در قوس‌ها را انجام نمی‌دهد. این کار اغلب توسط طراح مسیر پروژه انجام خواهد شد.

۶-۵-۲- اثرات بریلندی (دور)

اثرات بریلندی روی مسیر طی شده توسط گاباری محدود به کج شدن قطار به دلیل اختلاف ارتفاع بین دو ریل روسازی شده و این موضوع باید بصورت مستقل از بقیه عوامل بررسی گردد. در تعیین آثار بریلندی، شکل گاباری دینامیک قطار تغییر نخواهد کرد، اما حول محور ریل پایین روسازی به میزان مساوی با دور واقعی خط چرخش داده می‌شود.

این چرخش به عنوان مثال در شکل ۶-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶: چرخش گاباری دینامیکی

۶-۶- فضای عبور قطار

فضای گاباری باید شامل یک حداقل برای فضای عبور بین قطار و سازه‌ها یا و سایل 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 سکوها 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

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:

$$SG = CE + SC + ST + AA$$

رابطه ۴-۶

SG: گاباری سازه‌ای

CE: محدوده گاباری

SC: فضای لازم برای سازه‌های جنبی

ST: تلورانس‌های اجرایی سازه‌های جنبی

AA: میزان مجاز برای اجرای ادوات جاذب صدا

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 جنبی 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^{۱۱}، شمع‌های فلزی^{۱۲} و دیوارهای ضامن^{۱۳} 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.

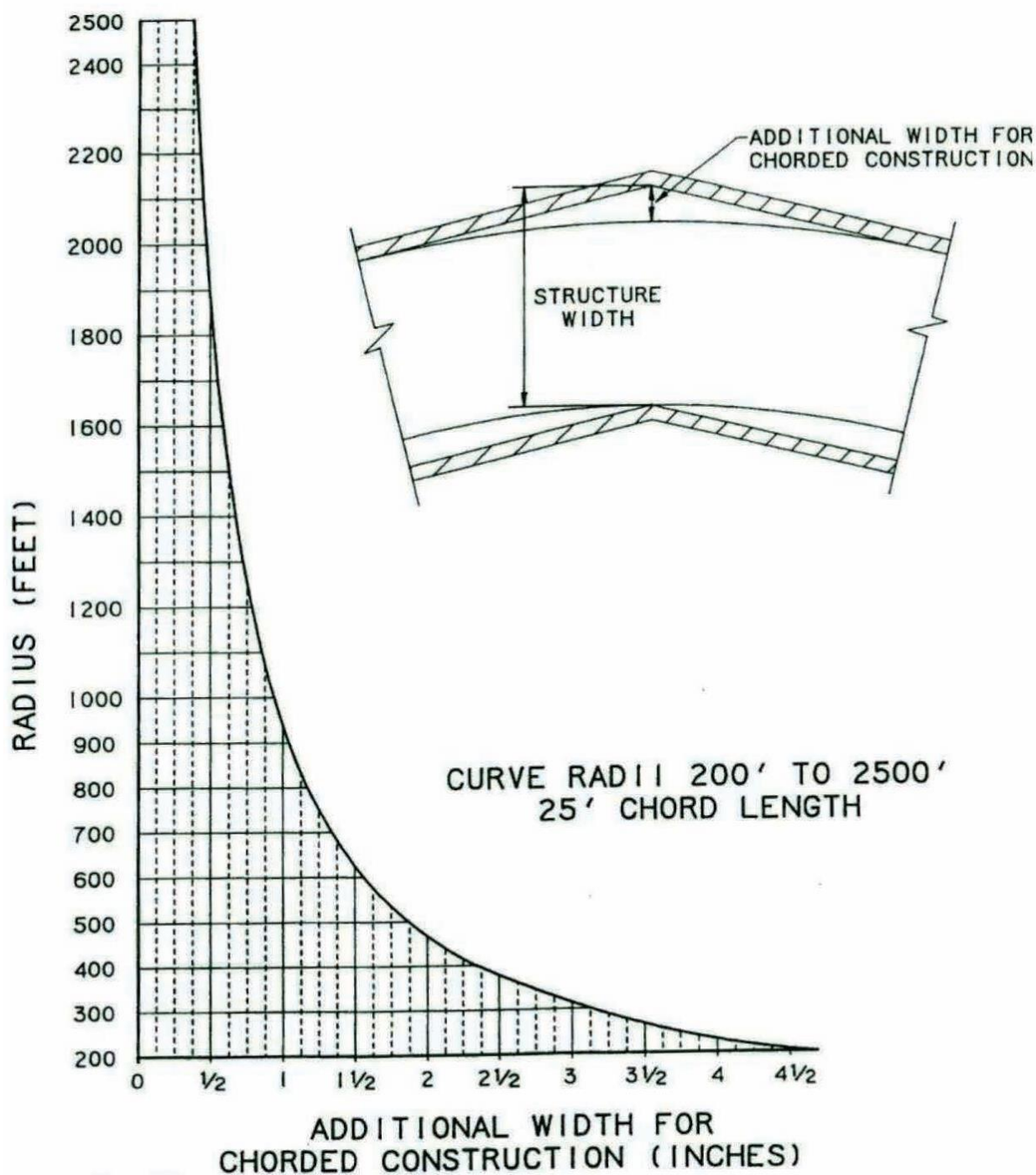
مورد دیگری که باید در نظر گرفته شود یک حد مجاز برای دیواره وتری تونل‌ها، مقاطع بزرگ سازه‌های هوایی و پیاده راه‌ها می‌باشد. بجای اطلاعات دقیق اجرایی، می‌توان از یک راهنمای کلی به عنوان یک مبنا برای طراحی از وترهای ۱۵

^{۱۱} Secant pile

^{۱۲} Soldier pile

^{۱۳} Lagging wall

متری برای قوس‌های با شعاع بیش از ۷۵۰ متر و وترهای ۷/۵ متری برای شعاع‌های کوچکتر استفاده نمود. شکل ۵-۶ نشان دهنده 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.



شکل ۵-۶: الزامات فضای کمکی برای اجرای وتری

۸-۶- گاباری عمودی

گاباری عمودی معمولاً توسط الزامات بهم پیوسته حداقل ارتفاع پانتوگراف وسیله نقلیه و عمق سیستم بالاسری تعیین می شود. عمق سیستم بالاسری برابر است با فاصله از زیر سیم اتصال تا بالای تکیه گاه سیستم به علاوه فضای الکتریکی مورد نیاز بین تکیه گاه ها و سازه های اتصال.

در خطوط بالاسری، تمایل بر این است که گاباری عمودی نسبت به بالآمدگی خط در نظر گرفته شود. مقادیر مجاز بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر معمول هستند. اگرچه، طراح سیستم بالاسری معمولاً می واهد 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 زمینه ها مجبور به حفظ بالآمدگی 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 گزینه های مختلف را هنگام تحویل گیری پروژه را مد نظر داشته باشند.

۹-۶- فاصله بین دو خط

حداقل فاصله مجاز بین دو خط بوسیله همان اصولی که برای تعیین گاباری نسبت به سازه استفاده می شود، تعیین می گردد. با عنایت به بخش های پیشین در خصوص گاباری، حداقل فاصله بین دو محور خط را می توان از معادله زیر در صورتیکه تیرک های شبکه بالاسری وجود نداشته باشند بدست آورد:

$$TC = T_t + T_a + 2(OWF) + RC \quad \text{رابطه ۵-۶}$$

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)

هنگامی که تیرک های شبکه بالاسری بین خطوط مستقر شده اند، حداقل فاصله بین خطوط به شرح ذیل تعیین می شود:

$$TC = T_t + T_a + 2(OWF + RC) + P \quad \text{رابطه ۶-۶}$$

TC: حداقل فاصله بین خطوط

Tt: نصب 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

- فاصله بین دو خط:

با توجه به موارد فوق و نیز مشخصات اولیه ناوگان، حداقل مطلق فاصله تقریبی بین خطوط مستقیم برابر با mm ۳۲۰۰ 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.

پیش نویس غیر قابل استناد