مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

آشنایی با
راه‌آهن پر سرعت

تالیف :
حسین - امین‌صدرآبادی

گروه آموزش ارتباطات و علائم الکتریکی
مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن
پاییز ۱۳۹۱

آشنایی با راه‌آهن پر سرعت

An Introduction to High Speed Railway

The Iranian Railways
Research and Training Center

An Introduction to
HIGH SPEED RAILWAY

Hossein - Amin Sadrabadi

THE IRANIAN RAILWAYS RESEARCH AND TRAINING CENTER
2013

مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

آشنایی با

راه‌آهن پرسرعت

تالیف:

حسین- امین‌صدرآبادی

گروه آموزش ارتباطات و علائم الکتریکی

مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

پاییز ۱۳۹۱

سرشناسه	امین، صدر آبادی، ۱۳۴۹ –
عنوان و نام پدیدآور	آشنایی با راه‌آهن پر سرعت/ تألیف حسین صدر آبادی ؛ [به سفارش] گروه آموزش ارتباطات و علائم الکتریکی مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن جمهوری اسلامی ایران، مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران.
مشخصات نشر	تهران : ، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	۱۶۰ص.
شابک	978-964-8247-51-0
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
موضوع	قطارهای سریع‌السیر – راه‌آهن – قطارها
شناسه افزوده	راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز تحقیقات و آموزش
رده بندی کنگره	TF۱۴۵۰/الف۸آ۵ ۱۳۹۱الف
رده بندی دیویی	۳۸۵ / ۲۲
شماره کتابشناسی ملی	۳۰۱۹۳۵۴

مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن :

میدان راه‌آهن، خیابان دشت آزادگان، درب غربی راه‌آهن، حوزه ۶،

ساختمان مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

- سایت مرکز آموزش : http://www.raitc.rai.ir
- پست الکترونیکی : Rwamaouzesh@rai.ir

انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

عنوان: آشنایی با راه‌آهن پر سرعت

تألیف : حسین امین‌صدرآبادی

امور گرافیکی: انتشارات جهان‌تاب

پرداخت نهایی: ناصر مجیدی‌فرد

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۴۸۰۰ ریال

«کلیه‌ی حقوق این اثر برای مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن محفوظ می‌باشد»

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمات و معرفی ۷
۱-۱- مقدمه ۷
۱-۲- راه‌آهن کلاسیک ۹
۱-۳- راه‌آهن پرسرعت ۱۵
فصل ۲: راه‌آهن پرسرعت در دنیا ۲۳
۲-۱- مقدمه ۲۳
۲-۲- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در اروپا ۲۴
۲-۳- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در آسیا ۳۵
۲-۴- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در سایر نقاط دنیا ۴۲
۲-۵- آمار کلی طول خطوط راه‌آهن پرسرعت در دنیا ۴۳
فصل ۳: زیرساخت راه‌آهن پرسرعت ۴۵
۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- زیرسازی ۵۱
۳-۳- ابنیه فنی مسیر ۵۴
۳-۴- روسازی ۵۷
۳-۵- سایر اجزای زیرساخت ۶۸
۳-۶- نگهداری زیرساخت ۹۴
فصل ۴: قطارهای پرسرعت ۱۰۴
۴-۱- مقدمه ۱۰۴
۴-۲- مشخصه‌های اصلی ۱۰۴
۴-۳- نیازمندیهای عمومی ۱۰۶
۴-۴- انواع قطارهای پرسرعت ۱۱۱
۴-۵- قطارهای پرسرعت مطرح در دنیا ۱۱۹
۴-۶- نگهداری و تعمیرات قطارهای پرسرعت ۱۲۱
فصل ۵: بهره‌برداری در راه‌آهن پرسرعت ۱۲۸
۵-۱- مقدمه ۱۲۸
۵-۲- مقایسه راه‌آهن پرسرعت با سایر شیوه‌های حمل و نقل ۱۲۹
۵-۳- طراحی، پیاده‌سازی و مدیریت سیر و حرکت ۱۳۴
۵-۴- سناریوهای مختلف ترکیب بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت و راه‌آهن کلاسیک ۱۵۲
۵-۵- ایمنی بهره‌برداری ۱۵۵
۵-۶- مزایای زیست محیطی و استراتژی مصرف انرژی ۱۵۶
۵-۷- حمل و نقل پرسرعت باری ۱۵۹
۵-۸- ترافیک راه‌آهن پرسرعت در دنیا ۱۶۱

فصل ۱

مقدمات و معرفی

۱-۱- مقدمه

راه‌آهن قدیمی‌ترین و اولین شیوه حمل و نقل عمومی است و تا قبل از توسعه همه جانبه حمل و نقل جاده‌ای در اوایل قرن بیستم میلادی در زمینه حمل و نقل زمینی بار و مسافر بی‌رقیب بود. بعد از جنگ جهانی دوم با بهبود زیادی که در وضعیت تولید اتومبیلها، احداث اتوبان‌ها و ارائه سرویس‌های هوایی صورت گرفت، شیوه‌های دیگر در دسترس تعداد بسیار بیشتری از مردم قرار گرفت و به این ترتیب سهم راه‌آهن در جابجایی مسافر کاهش زیادی یافت. پس از جنگ جهانی دوم در ژاپن و اروپا توجه زیادی به توسعه و بهبود راه‌آهن داده شد، در حالی که در ایالات متحده آمریکا در حمل و نقل مسافری سیاست بر توسعه حمل و نقل هوایی و جاده‌ای و گسترش و تکمیل روزافزون شبکه اتوبان‌های بین ایالتی قرار گرفت. راه‌آهن مسافری در ایالات متحده آمریکا کمتر رقابتی بوده است، چون در درجه اول دولت به توسعه حمل و نقل هوایی و جاده‌ای توجه داشته است و در درجه دوم این کشور بسیار پهناور و با چگالی جمعیتی کم است و در چنین کشورهایی توسعه راه‌آهن مسافری آنهم از نوع

پرسرعت مقرون به صرفه نیست. اصولاً راه‌آهن مسافری در جاهایی می‌تواند رقابتی عمل نماید که چگالی جمعیتی بالا بوده و یا قیمت سوخت گران باشد. در حال حاضر تعداد کمی از قطارهای مسافری در دنیا گازوئیل یا سایر ساختهای فسیلی مصرف می‌کنند و اکثراً برقی هستند، اما نیروگاههایی که برق قطارها را تأمین می‌کنند از گاز و یا ذغال سنگ استفاده می‌کنند. اما در کشورهایی مانند فرانسه قسمت عمده‌ای از برق مصرفی توسط نیروگاههای هسته‌ای تأمین می‌شود. حتی اگر قطارها مستقیماً نیز از سوخت فسیلی استفاده نمایند و برق آنها توسط نیروگاههای با مصرف گاز، ذغال سنگ و یا مازوت تأمین شود، به ازای واحد حمل طی شده سوخت کمتری نسبت به سایر شیوه‌های حمل و نقل مصرف می‌نمایند. با این حال با توجه به هزینه بسیار بالای سرمایه‌گذاری برای احداث راه‌آهن استفاده از راه‌آهن زمانی توجیه اقتصادی دارد که چگالی جمعیتی بالا باشد. در این بحث باید به این نکته توجه داشت که تضعیف نقش راه‌آهن پس از جنگ جهانی دوم بیشتر در زمینه حمل مسافر مطرح است گرچه بخش حمل و نقل بار نیز از آن متأثر گردیده است. راه‌آهن به واسطه مشخصه ذاتی خود قابلیت بالایی در حمل و نقل بار دارد و در جایی که شرایط منصفانه‌ای برقرار باشد، وجه غالب را خواهد یافت.

در چند دهۀ اخیر به موازات پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف صنعت صورت گرفت، حمل و نقل ریلی نیز شاهد تحولات عمده‌ای بود که از آن جمله می‌توان به کاهش فاصله اعزام قطارها، افزایش ظرفیت و مهم‌تر از همه، افزایش سرعت قطارها اشاره نمود. شروع به کار اولین قطار پرسرعت در سال ۱۹۶۴ در ژاپن نقطه عطفی در حمل و نقل ریلی مسافری در دنیا به شمار می‌رود که در پی خود گسترش خطوط پرسرعت در ژاپن و سایر کشورهای پیشرفته از جمله فرانسه و آلمان را در پی داشت. توسعه حمل و نقل ریلی پرسرعت تحول مهمی برای بازیابی نقش مهم راه‌آهن در حمل و نقل مسافر به شمار می‌رود به طوری که در بسیاری از موارد که بعداً به جزئیات آن در این کتاب اشاره خواهد شد گوی سبقت را از حمل و نقل هوایی و جاده‌ای ربوده و بعضی از خطوط هوایی را با بحران مواجه ساخته است. راه‌آهن پرسرعت در دنیا

در حال گسترش است و به عنوان یک سیستم حمل و نقل سالم، ایمن و پایدار نقش خـود را در توسعه اجتماعی و اقتصادی ملل استفاده‌کننده به اثبات رسانده است.

در این فصل قبل از معرفی راه‌آهن پرسرعت، راه‌آهن کلاسیک که سالهای سـال اسـت در دنیا استفاده می‌شود، معرفی می‌گردد و در دنباله ضمن معرفی راه‌آهن پرسرعت، تفاوتهـای آن با راه‌آهن کلاسیک ذکر می‌شود. سایر مطالب این فصل نیز پیش‌نیـاز مطالعـه سـایر فـصول و خلاصه و یا اشارتی به مطالبی است که در بخش‌های بعدی به صورت تکمیلی خواهد آمد.

۱-۲- راه‌آهن کلاسیک

راه‌آهن یا به عبارت کامل‌تر حمل و نقل ریلی، شیوه‌ای از حمل و نقل زمینی بار و مـسافر است که در آن ناوگانی با چرخ‌های فلزی روی مسیری با ریل‌های فلـزی حرکـت مـی‌کننـد. منظور از راه‌آهن کلاسیک که در این قسمت معرفی و کلیات آن بیـان خواهـد شـد، راه‌آهـن متداولی است که در اکثر کشورها وجود دارد. عبارت کلاسیک به منظـور تمـایز از راه‌آهـن پرسرعت به کار رفته است که با وجود گسترش زیاد، در مقیـاس بـسیار محـدودتر و توسـط کشورهای معدودی مورد استفاده قرار گرفته است. بیان کلیاتی از راه‌آهـن کلاسـیک قبـل از پرداختن به مبحث راه‌آهن پرسرعت که موضوع اصلی این کتاب است، از این جهـت اهمیـت دارد که اساس و اصول راه‌آهن پرسرعت از راه‌آهن کلاسیک نتیجه شده است.

فناوری راه‌آهن پرسرعت عمدتاً کاربرد ارتقاء یافتـه فنـاوری راه‌آهـن کلاسـیک اسـت. راه‌آهن پرسرعت با استفاده از مهندسی قرن بیستم و در نظر گرفتن تمهیـداتی از جملـه حـذف تقاطعهای هم‌سطح، عدم توقفهای متوالی، نداشتن قوس‌های متوالی و معکوس، عدم اشتراک مسیر با خطوط راه‌آهن باری و یا مسافری کم‌سرعت، به حـد سـرعت‌هـایی در حـدود ۲۵۰ تـا ۳۵۰ کیلومتر در ساعت رسیده است. رکورد سرعت قطار با چرخ‌های فلزی روی ریل فلزی در تاریخ ۳ آوریل ۲۰۰۷ توسط یک قطار TGV با تعداد واگن‌های کمتر از یک قطار عادی، با حـداکثر سرعت ۵۷۴/۸ کیلومتر در ساعت شکسته شده است.

آنچه اکنون تحت عنوان راه‌آهن کلاسیک در اختیار ماست حاصل تقریباً دو قرن تلاش بشری در این زمینه بوده است. راه‌آهن در یک تقسیم‌بندی کلی به دو بخش ثابت و متحرک و از نقطه نظر نیروی کشش به دو دسته دیزلی و برقی تقسیم‌بندی می‌شود. کشش برقی مزیتهای بیشتری نسبت به کشش دیزلی دارد، لیکن هزینه ساخت اولیه آن بالاتر است، ولی در عوض هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن کمتر است. راه‌آهن برقی در بخش متحرک تفاوتهای عمده‌ای با راه‌آهن دیزلی دارد، ولی در بخش ثابت، مسیر و ابنیه یکسان بوده، با این تفاوت که شبکه بالاسری و پستهای برق به قسمت ثابت اضافه می‌شود.

بخش ثابت یا زیرساخت راه‌آهن از خط، ابنیه فنی شامل تونل‌ها و پل‌ها، علائم الکتریکی و ارتباطات، سیستم تغذیه و برق‌رسانی و ایستگاه‌ها تشکیل می‌شود. هریک از این اجزای دارای بحثهای فنی مفصلی می‌باشد به طوری که برای راه‌آهن، انواع مختلفی از تخصصها مورد نیاز است. بخش متحرک راه‌آهن نیز شامل انواع ناوگان ریلی می‌شود که در مسیر راه‌آهن حرکت می‌کنند. راه‌آهن پرسرعت نیز همانند راه‌آهن کلاسیک از اجزائی که در بالا برشمرده شد، تشکیل می‌گردد، اما سطح استانداردها در مورد هریک از اجزای آن بالاتر و فناوری مربوطه پیشرفته‌تر است. در مورد جزئیات بیشتر هریک از بخش‌های فوق در فصل مربوط به زیرساخت راه‌آهن پرسرعت توضیح داده خواهد شد.

۱-۲-۱- عوامل محدودیت سرعت

تا قبل از توسعه صنعت خودروسازی و گسترش اتوبان‌ها و نیز فراگیر شدن مسافرتهای هوایی، قطارهایی که روی خطوط راه‌آهن کلاسیک حرکت می‌کردند، بالاترین سرعت را در بین شیوه‌های حمل و نقل موجود داشتند. اما اکنون حتی با وجود بهبود سرعت قطارها، در مسافت‌های طولانی جذابیت استفاده از آنها کاهش یافته است. سؤال مهم مطرح این است که چه عامل و یا عواملی سرعت قطارهای کلاسیک را محدود می‌کنند. مسلماً پاسخ به این سئوال به درک تفاوتهای راه‌آهن پرسرعت با راه‌آهن کلاسیک کمک خواهد نمود. البته لازم به ذکر

است این عوامل با وزنهای متفاوت، عامل محدودیت سرعت قطارهای پرسرعت نیز می‌باشند. محدودیت سرعت در راه‌آهن کلاسیک به پنج عامل مربوط می‌شود:

- دلائل فنی
- محدودیت حرکت در قوس‌ها
- ایمنی
- عوامل زیست‌محیطی
- عامل اقتصادی

دلائل فنی شامل کیفیت خط، قدرت کشش و آثار دینامیکی می‌باشد. خط راه‌آهن دارای پارامترها و مشخصاتی است که کیفیت خط را تعیین می‌نمایند. کیفیت بالاتر خط، سرعت بیشتر قطار را ممکن می‌سازد. عدم کشش کافی عامل فنی دیگری است که سرعت قطارهای کلاسیک را محدود می‌سازد. قطار در مسیر حرکت خود با مجموع نیروهای مقاوم روبرو است که لازم است با نیروی محرک و یا همان نیروی کشش خود بر آنها غلبه نماید. نیروهای مقاوم در برابر حرکت قطار به دو دسته نیروهای مقاوم اصلی و نیروهای مقاوم مربوط به ساختمان خط تقسیم می‌شوند. نیروهای مقاوم اصلی شامل نیروی اصطکاک بین چرخ و ریل، نیروی اصطکاک در یاتاقان‌ها و سرمحورها و نیروی اصطکاک هوا و نیروهای مقاوم فرعی می‌باشند. نیروهای مقاوم فرعی مربوط به ساختمان خط هستند و شامل نیروی مقاوم در فرازها، نیروی مقاوم در سوزن‌ها و نیروی مقاوم در تونل‌ها می‌شوند. سرعت پایدار حرکت قطار در تعادل بین نیروهای مقاوم و محرک حاصل می‌شود. نیروی کشش متمرکز به این صورت که کل قطار توسط یک لکوموتیو کشیده شود، نسبت به نیروی کشش توزیع شده همانند ترن‌ست‌ها، محدودیت بیشتری را در سرعت حداکثر ایجاد می نماید. به همین دلیل قطارهای پرسرعت بیشتر به صورت ترن‌ست هستند و نیروی کشش روی محورهای بیشتری از کل محورهای قطار توزیع می‌شود. از طرفی کشنده‌های دیزلی نسبت به کشنده‌های برقی دارای محدودیت سرعت بیشتری هستند، به طوری که ساخت لکوموتیو دیزلی با سرعت بالای ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بسیار دشوار است

و به فناوری پیچیده‌ای نیاز دارد (رکورد سرعت قطار با لکوموتیو دیزلی مربوط به Talgo XXL با سرعت ۲۵۶/۵۶ کیلومتر در ساعت است که در سال ۲۰۰۲ به دست آمد).

از عوامل مهم دیگر در محدودیت سرعت وجود قوس در مسیر راه‌آهن است. تغییر مسیر راه‌آهن توسط قوس‌هایی با شعاعهای مختلف صورت می‌گیرد. وجود قوس در مسیر راه‌آهن همانند آنچه در جاده نیز وجود دارد، باعث محدودیت سرعت می‌شود. شعاع قوس‌ها با توجه به عوارض پستی و بلندی منطقه عبور خط و سرعت طرح انتخاب می‌شوند. تأثیر عوارض و سرعت طرح بر شعاع قوس معکوس یکدیگر است، به طوری که در طراحی مسیر باید به یک انتخاب بهینه برای آنها رسید. در نواحی پر عوارض، نظیر مناطق کوهستانی، قوس‌های با شعاع کمتر، انعطاف بیشتری در طراحی مسیر به وجود می‌آورد و در نتیجه باعث هزینه کمتر خواهد شد، ولی در مقابل سرعت طرح را کاهش می‌دهد. حرکت قطار در سر قوس باعث ایجاد نیروی گریز از مرکز به سمت خارج از مرکز قوس شده و در نتیجه باعث ناراحتی مسافرین گردیده و از طرفی خطرات خروج از خط و واژگون شدن واگن‌ها را در بردارد.

از دیگر عوامل محدود کننده سرعت، ایمنی سیر و حرکت قطارها است به طوری که با افزایش سرعت، مسافت ترمز قطار (مسافت طی شده از زمان اعمال ترمز تا متوقف شدن کامل قطار) زیادتر خواهد شد. بنابر این در صورت مشاهده مانعی در مسیر مقابل و یا بروز مشکل، احتمال بروز سانحه بیشتر می‌شود. از این رو در راه‌آهن پرسرعت از مسیر، حفاظت بیشتری به عمل می‌آید. به عنوان مثال تقاطعهای هم‌سطح مسیر حذف می‌شود و یا در مناطق مسکونی، مسیر در ارتفاع ساخته می‌شود. همین عامل باعث شده است یکی از موضوعات تحقیقاتی در زمینه راه‌آهن پرسرعت ابداع ترمزهایی با مسافت ترمز کمتر باشد. همچنین به علت وزن بسیار بالای قطار، در سرعت بالاتر در صورت بروز سانحه شدت خسارتها بسیار بالا خواهد بود.

آثار زیست‌محیطی حرکت قطارها نظیر نویز و ارتعاش به ویژه در نزدیک مناطق مسکونی از عوامل دیگر محدود کننده سرعت به شمار می‌رود. مقاومت هوا نیز در سرعت‌های بالاتر به یک نیروی مقاوم مهم در برابر حرکت قطار تبدیل می‌شود (متناسب با توان ۲ سرعت). نویز

ناشی از مقاومت هوا در سرعت‌های بالاتر یک عامل مزاحم محسوب می‌شود. به همین دلیل کاهش نویز ناشی از حرکت قطارهای پرسرعت از موضوعات اصلی تحقیقاتی در زمینه افزایش بیشتر سرعت قطارهای پرسرعت به شمار می‌رود.

آخرین عامل محدود کننده سرعت حرکت قطارهای پرسرعت، عامل اقتصادی است به گونه‌ای که با افزایش سرعت به علت رشد نمایی نیروی مقاوم، نیروی محرک زیادی برای پایداری سرعت لازم است و در نتیجه مصرف انرژی نیز رشد نمایی پیدا کرده و مزیت مهم راه‌آهن در مصرف کمتر انرژی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. به عنوان مثال با افزایش سرعت از ۱۶۰ کیلومتر در ساعت به ۴۵۰ کیلومتر در ساعت (سرعت ۲/۸ برابر) مصرف انرژی ۵ برابر و توان مورد نیاز ۱۱/۴ برابر می‌شود (با فرض ثابت ماندن شرایط آیرودینامیکی و سطح مقطع قطار).

نمونه‌هایی از محدودیت‌های سرعتی

عوامل محدود کننده سرعت که قبلاً توضیح داده شد در صورتی که به صورت کمّی بررسی شوند، به اعداد مشخصی در سرعت حداکثر مجاز منجر خواهند شد. این محدودیتهای سرعتی در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱: نمونه‌هایی از محدودیتهای سرعتی

مشخصه	حداکثر سرعت مجاز(km/h)
واگن‌های محوردار (بدون بوژی)	۱۰۰
قطارهای بدون سیستم علائم الکتریکی داخل قطار	۱۴۰
عبور از سکوهای با مسافر	۱۶۰ (۲۰۰)
مسیر دارای تقاطع هم سطح	۱۶۰ (۲۰۰)
قطار دارای لکوموتیو	۲۰۰
خطوط کلاسیک (ارتقاء یافته)	۲۰۰ (۲۲۰)

اعداد داخل پرانتز نشاندهنده شرایط ویژه می‌باشد.

۱-۲-۲- عوامل مؤثر در زمان سیر قطارها

مسلماً مدت زمان سیر حرکت قطارها که حداقل نمودن آنها مد نظر بهره‌برداران و مطلوب مشتریان راه‌آهن می‌باشد، به عوامل متعددی وابسته است که در این قسمت به آن پرداخته می‌شود.

رسیدن به حداکثر سرعت و همچنین توقف قطارها به خاطر وزن بالایی که دارند پس از طی مسافت نسبتاً طولانی صورت می‌گیرد. بنابر این زمان زیادی برای توقف و حرکت مجدد قطار صرف می‌شود و در صورتی که تعداد توقفهای برنامه‌ریزی شده یک قطار زیاد باشد، سرعت متوسط و در نتیجه زمان کل سیر حرکت قطار را تحت تأثیر زیادی قرار می‌دهد. از این رو معمولاً در برنامه‌ریزی حرکت قطارهای یک مسیر علاوه بر سرویس‌های معمولی که در ایستگاه‌های طول مسیر برای سرویس دادن به مسافرین بین راه توقف دارند، سرویس‌های ویژه‌ی مبدا-مقصد که زمان سیر کمتری دارند در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که تعداد قطارها در طول مسیر نیز زیاد باشد، چگالی ترافیک و نیاز استفاده از خط ممکن است باعث معطل شدن برخی از قطارها شود و زمان سیر را افزایش دهد. در این حالت نحوه توزیع ترافیک بسیار مهم است. همچنین، در صورتی که اختلاف سرعت قطارها زیاد باشد، به این معنی که هم قطارهای تندرو و هم قطارهای کندرو از یک مسیر استفاده نمایند، قطارهای تندرو تحت تأثیر قرار گرفته و امکان استفاده کامل از قابلیت آنها در طی سریع مسیر وجود نخواهد داشت. از عوامل مهم دیگر که در کاهش زمان سیر و افزایش سرعت قطارها تأثیرگذار است سیستم علائم الکتریکی و ارتباطات است. برای افزایش سرعت قطارها، استفاده از سطوح علائم الکتریکی و ارتباطات مناسب در راستای حفظ ایمنی اجتناب‌ناپذیر است. به عنوان مثال در سرعت‌های بالای ۱۶۰ کیلومتر در ساعت برای تشخیص قابل اطمینان سیگنال‌های کنار خط لازم است از سیستم علائم الکتریکی داخل کابین استفاده شود. از طرفی سطوح بالاتر سیستم علائم الکتریکی در سطح کنترل ترافیک می‌تواند بهره‌برداری قطار را بهینه و در نتیجه باعث کاهش زمان سیر کلی گردد. بنابر این نوع سیستم علائم الکتریکی مسیر از دو جهت در زمان

سیر قطارها تأثیر گذار است. علاوه بر عوامل فوق، وضعیت پارامترهای هندسی و کیفیت خط و همچنین پروفیل کلی مسیر به نحوی که در منطقه کوهستانی و یا دشت قرار گرفته باشد، تأثیر زیادی در زمان سیر قطارها دارد.

با توجه به مطالب فوق مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در زمان سیر قطارها عبارتند از:

- کارایی نیروی محرکه (شامل شتاب‌گیری و ترمزگیری)
- سیاست توقفهای برنامه‌ای در طول مسیر
- چگالی ترافیکی و یکسان بودن آن
- حداکثر سرعت تندروترین قطارها
- سیستم کنترل و علائم الکتریکی
- پارامترهای هندسی و ساختار خط

۱-۳- راه‌آهن پرسرعت

۱-۳-۱- تعاریف

عنوان تعاریف برای این قسمت به کار رفته است، چون تعریف واحدی برای عبارت راه‌آهن پرسرعت وجود ندارد. حتی کاربرد واحدی برای خود عبارت نیز وجود ندارد. در مواردی عبارت راه‌آهن فوق پرسرعت[۱] نیز برای مفهوم مورد نظر این کتاب به کار می‌رود. در هر صورت نباید انتظار تعریف واحد و استانداردی داشت چون مفهوم مورد نظر، پیچیده است و تعاریف، بسته به شاخص به کار رفته متفاوت است.

اتحادیه اروپایی طی دستورالعمل ۹۶/۴۸ تعریفی نسبتاً وسیع را ارائه داده است که سیستم‌های زیادی را تحت عنوان راه‌آهن پرسرعت قرار می‌دهد. اما باید تلاشهای قابل ستایش برخی از راه‌آهن‌ها در ارائه راه‌آهن پرسرعت با وجود پایه زیرساختی قدیمی مورد توجه قرار گیرد.

---

[۱] very high speed

در هر صورت، راه‌آهن پرسرعت ترکیبی از اجزای زیر است که کل سیستم آن را تشکیل می‌دهد:

- زیرساخت (خطوط جدیدی که برای سرعت‌های بالای ۲۵۰ کیلومتر در ساعت طراحی شده‌اند و خطوطی موجودی که برخی از آنها با قطارهای کج‌شونده و برخی بدون آن برای سرعت‌های ۲۰۰ یا ۲۲۰ کیلومتر در ساعت ارتقاء یافته‌اند.)
- ناوگان
- شرایط بهره‌برداری

با در نظر گرفتن اینکه بسیاری از قطارهای پرسرعت با شبکه راه‌آهن کلاسیک نیز سازگار هستند و می‌توانند در آن ادامه مسیر دهند، عبارت « ترافیک پرسرعت» معمولاً حرکت قطارهای شبکه پرسرعت در شبکه راه‌آهن کلاسیک، اما با سرعت پائین‌تر از شبکه پرسرعت را نیز در برمی‌گیرد. در نتیجه برای برخی از خطوط که ادعا می‌شود پرسرعت هستند، در نظر گرفتن یک آستانه سرعت بسیار دشوار است چون به عنوان مثال در نواحی با چگالی بالای جمعیت، برای جلوگیری از انتشار نویز، سرعت به ۱۱۰ کیلومتر در ساعت محدود می‌شود یا در بخش‌های مشخصی از تونل‌ها یا روی پل‌های طویل، سرعت به دلائل مشخص ظرفیتی و یا ایمنی به ۱۶۰ یا ۱۸۰ کیلومتر در ساعت تقلیل داده می‌شود.

کشورهایی که کارایی راه‌آهن کلاسیک آنها خیلی بالا نیست، سرویس‌هایی با سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت و بالاتر که به عنوان اولین قدم به سمت سرویس‌های پرسرعت اصلی است، ممکن است قبلاً به عنوان راه‌آهن پرسرعت معرفی گردند.

اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها کاملترین تعاریف را برای راه‌آهن پرسرعت از دیدگاههای مختلف تأسیسات زیرساخت، ناوگان و بهره‌برداری را ارائه نموده است که در ادامه می‌آید.

تعریف از دیدگاه زیرساخت

از دیدگاه زیرساختی، ترافیک پرسرعت به کلیه ترافیکی گفته می‌شود که فارغ از نوع ناوگان، روی خطوط پرسرعت تردد می‌نماید.

طبق تعریف، خط پرسرعت خطی است که:

- اختصاصاً برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت به بالا ساخته و تجهیز شده باشد.
- خط موجودی که برای سرعت حدود سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت ارتقاء یافته باشد.
- خط ارتقاء یافته‌ای که در آن با اینکه ممکن است سرعت حداکثر از مقادیر فوق کمتر باشد، ولی با اتخاذ تمهیداتی، کارایی بالایی داشته و زمان سیر روی آن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده شده باشد، به طوری که بعضاً حتی با خطوط پرسرعت قابل مقایسه باشد. به این خطوط اصطلاحاً خطوط ارتقاء یافته پرسرعت گفته می‌شود.

تعریف از دیدگاه ناوگان

ناوگان راه‌آهن پرسرعت معمولاً از مجموعه‌ای از واگن‌های موتوردار (ترن‌ست) با ترکیب ثابت تشکیل شده است که گاهی دو مجموعه از آن برای تشکیل قطارهای بزرگتر به یکدیگر کوپل می‌شوند. قطارهای پرسرعت با فناوری پیشرفته به گونه‌ای طراحی می شوند که حرکت بی‌وقفه‌ای را با شرایط زیر فراهم کنند:

- سرعت حداقل ۲۵۰ کیلومتر در ساعت روی خطوط ویژه پرسرعت و قابلیت رسیدن به سرعت‌های بالای ۳۰۰ کیلومتر در ساعت در شرایط مناسب
- سرعت حدود ۲۰۰ کیلومتر در ساعت روی خطوط موجود ارتقاء یافته، که این کار بیشتر با استفاده از فناوری قطارهای کج‌شونده میسر می‌گردد (گرچه در شرایط مشخصی با استفاده از سیستم لکوموتیو و واگن نیز رسیدن به این سرعت میسر می‌گردد).
- با بیشترین سرعت ممکن روی سایر خطوط

پیش فرض مهم در این زمینه، سازگاری عالی بین مشخصه‌های زیرساخت و ناوگان است. سطوح کارایی، ایمنی، کیفیت سرویس و هزینه مستقیماً به این عامل برمی‌گردد.

تا زمانی که تعریف از دیدگاه ناوگان مد نظر باشد، به ترافیکی که توسط ناوگان پرسرعت حمل می‌شود، فارغ از نوع خطی که روی آن حرکت می‌کنند، ترافیک پرسرعت گفته می‌شود.

۱-۳-۲- مزایای قطارهای پرسرعت

آنچه در این بخش تحت عنوان مزایا بیان می‌شود جنبه کیفی دارد. معرفی مشخصه‌های راه‌آهن پرسرعت نسبت به راه‌آهن کلاسیک نشان می‌دهد راه‌آهن پرسرعت علاوه بر سرعت که به عنوان شاخص اصلی آن شناخته می‌شود، امتیازات دیگری نیز دارد که در جای خود اهمیت زیادی دارند. مثلاً ویژگی مهم دیگر راه‌آهن پرسرعت ظرفیت بالای آن است که همپای ویژگی سرعت بالای آن مطرح است.

لازمه تصمیم‌گیری دقیق در مورد داشتن راه‌آهن پرسرعت آن است که این مزایا کمّی شده و در کنار هزینه‌ها قرار گیرد تا به صرفه بودن ساخت راه‌آهن پرسرعت مشخص گردد.

مزایای راه‌آهن پرسرعت به دو دسته مزایای استفاده‌کنندگان که مستقیماً متوجه مسافرین قطارهای پرسرعت می‌شود و مزایای اجتماعی که جامعه را در بر می‌گیرد، تقسیم می‌شود که در ادامه در مورد هریک توضیح داده می‌شود.

مزایای استفاده کنندگان

مزایای عمده استفاده کنندگان راه‌آهن پرسرعت عبارتند از:

- سرعت تجاری بالا
- تواتر زیاد
- دسترسی مناسب و راحت
- راحتی
- آزادی عمل
- کل زمان مسافرت
- قابلیت اطمینان

- قیمت
- ایمنی

مزایای اجتماعی

راه‌آهن پرسرعت علاوه بر مزایای مستقیمی که برای استفاده‌کنندگان در بردارد مزایای غیر مستقیم اجتماعی ذیل را نیز در بر دارد که در ارزیابی استفاده از آن باید در نظر گرفته شود:

دارا بودن ظرفیت بسیار بالا: راه‌آهن پرسرعت به طور ذاتی دارای ظرفیت بسیار بالایی است به طوری که هر مسیر دوخطه قابلیت جابجایی حدود ۳۰۰ هزار نفر مسافر در روز را دارد. این مزیت راه‌آهن پرسرعت باعث کاهش ترافیک جاده‌ای می‌شود که با توجه به آثار منفی بالا رفتن ترافیک جاده‌ای یک مزیت اجتماعی مهم به شمار می‌رود.

آثار زیست محیطی: این مزیت شامل استفاده بهینه‌تر از سرزمین و کارایی بیشتر مصرف انرژی می‌باشد. به ازای ظرفیت حمل و نقل مسافر یکسان، سطح زمین مورد اشغال راه‌آهن پرسرعت نسبت به حمل و نقل جاده‌ای ۱ به ۳ است. همچنین کارایی مصرف سوخت راه‌آهن پرسرعت نسبت به حمل و نقل هوایی و جاده‌ای به ترتیب ۹ و ۴ برابر می‌باشد.

کمک به توسعه اقتصادی: راه‌آهن پرسرعت نه تنها در توسعه اقتصاد ملی بلکه در توسعه اقتصادی محلی مناطق خاص تحت پوشش، تأثیر چشمگیری دارد. به عنوان مثال می‌توان به نقش انکارناپذیر شین‌کان‌سن در توسعه اقتصادی شگفت‌انگیز کشور ژاپن اشاره نمود.

توسعه محدوده حومه‌ای: راه‌آهن پرسرعت، مناطق جغرافیایی وسیع‌تری را در محدوده دسترسی یک‌ساعته مردمی قرار می‌دهد که برای رفتن به محل کار و تحصیل به مرکز شهر می‌آیند. لذا مردمی که در شهرهای بزرگ کار یا تحصیل می‌کنند، می‌توانند محل سکونت خود را در فاصله حومه‌ای طولانی‌تری از مرکز شهر انتخاب کنند. در نتیجه علاوه بر اینکه بازار تجاری گسترش می‌یابد ساختار اجتماعی جدیدی نیز شکل می‌گیرد.

افزایش ظرفیت

قبلاً اشاره گردید که ظرفیت بالا از مشخصه‌های مهم راه‌آهن پرسرعت به شمار می‌آید. راه‌آهن‌های پرسرعت با مسیرهای اختصاصی مانند آنچه در ژاپن و فرانسه وجود دارد ظرفیت بسیار بالایی را ارائه می‌کنند. سیستم‌های علائم الکتریکی پیشرفته که برای کنترل اعزام قطارهای پرسرعت به کار می‌رود این امکان را به وجود می‌آورد تا قطارها با سرفاصله زمانی (هدوِی) ۴ تا ۵ دقیقه اعزام شوند. بنابر این در هر ساعت در هر جهت امکان اعزام ۱۲ قطار وجود دارد. قطارهای پرسرعت به طور معمول ظرفیت حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ مسافر را دارند اما در فرانسه قطارهای دوطبقه ظرفیت ۱۰۰۰ مسافر را دارند و در ژاپن با دوبله کردن قطارها به ظرفیت ۱۶۰۰ مسافر در هر رام قطار می‌رسند. بنابر این امکان حمل ۱۹۲۰۰=۱۲×۱۶۰۰ مسافر در هر ساعت در هر جهت یا حدود ۳۰۰ هزار نفر مسافر در روز وجود دارد. با این حال باید توجه داشت که این ظرفیت در حالت ایده‌آل محقق می‌گردد و بسته به شرایط بهره‌برداری بسیار متغیر بوده و ممکن از مقدار فوق کمتر باشد.

از طرف دیگر احداث خطوط اختصاصی راه‌آهن پرسرعت قسمت عمده‌ای از ظرفیت حمل و نقل مسافری راه‌آهن کلاسیک را آزاد می‌نماید که می‌تواند به نفع حمل و نقل باری به کار گرفته شود.

۱-۳-۳- ارتقاء سرعت در خطوط راه‌آهن کلاسیک

بین سطوح راه‌آهن کلاسیک و راه‌آهن پرسرعت، سطح دیگری نیز تحت عنوان راه‌آهن ارتقاء یافته پرسرعت[۱] قابل تعریف است که اتحادیه جهانی راه‌آهن‌ها آن را در تعریف راه‌آهن پرسرعت لحاظ نموده است. این سطح از راه‌آهن دارای مشخصه‌های بهتری از لحاظ سرعت و زمان سیر نسبت به راه‌آهن کلاسیک است، ولی هزینه‌های ایجاد آن از هزینه راه‌آهن پرسرعت کمتر است. سرعتی که برای راه‌آهن شبه پرسرعت تعریف می‌گردد بین ۲۰۰ تا ۲۴۰ کیلومتر در ساعت است. در حقیقت این نوع راه‌آهن حاصل ارتقاء خطوط راه‌آهن کلاسیک و همچنین

[۱] Incremental High Speed Rail

در برخی از موارد استفاده از ناوگان کج‌شونده می‌باشد. همانطورکه در بخش ناوگان خواهد آمد، ناوگان کج‌شونده امکان حرکت در قوس‌ها را با سرعت بیشتری نسبت به ناوگان معمولی دارند.

با توجه به هزینه‌های بالای ساخت خطوط راه‌آهن پرسرعت اختصاصی برخی از کشورها در جهت ارتقاء خطوط موجود و افزایش کیفیت و بهبود شرایط بهره‌برداری آنها به کارایی خوبی دست یافته‌اند که می‌تواند الگوی سایر کشورها باشد. توسعه راه‌آهن ارتقاء یافته پرسرعت قبل از تصمیم به احداث یک خط ویژه راه‌آهن پرسرعت، ضمن بالا بردن سطح سرویس برای استفاده‌کنندگان، راه خوبی برای کسب تجربه و فرهنگ‌سازی در زمینه راه‌آهن پرسرعت محسوب می‌شود.

۱-۳-۴- سایر سیستم‌های حمل و نقل زمینی پرسرعت

در یک تقسیم‌بندی کلی‌تر، راه‌آهن پرسرعت جزو سیستم‌های حمل و نقل زمینی پرسرعت محسوب می‌شود. سیستم قطار مغناطیسی یا مگلو[۱] که سیستم جدیدی به شمار می‌رود، گونه دیگری از سیستم‌های حمل و نقل زمینی پرسرعت است که البته به اندازه راه‌آهن پرسرعت گسترش نیافته است. در حال حاضر فناوری دیگری در رده سیستم‌های حمل و نقل زمینی پرسرعت توسعه پیدا نکرده است. مگلو یا حمل و نقل تعلیق مغناطیسی، شیوه‌ای از حمل و نقل است که ناوگان معلق، هدایت و به جلو رانده می‌شود و دو نوع معمولی (کم‌سرعت) و پرسرعت دارد. در حال حاضر تنها یک سیستم عملیاتی مگلو در دنیا وجود دارد که با سرعت متوسط ۲۵۰ کیلومتر در ساعت و حداکثر سرعت ۴۳۱ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. فصل مجزایی در این کتاب به معرفی کامل در مورد سیستم مگلو می‌پردازد.

---

[۱] MagLev

۱-۳-۵- راه‌آهن ارتقاء یافته پرسرعت، راه‌آهن پرسرعت و یا مگلو

یکی از مهم‌ترین سئوالاتی که معمولاً مطرح می‌گردد، این است که بین سیستم‌های راه‌آهن کلاسیک، راه‌آهن پرسرعت و مگلو کدام یک را باید به عنوان سیستم حمل و نقل مسافری در یک مسیر برگزید. پذیرفته است که پاسخ به این سؤال ساده نیست و به عوامل و شرایط زیادی بستگی دارد. هدف اصلی این کتاب پاسخ به این پرسش نیست، ولی به کسانی که در پی یافت پاسخ آن هستند، بسیار کمک می‌کند.همین بس که اشاره شود هزینه بسیار بالای راه‌آهن پرسرعت، برگزیدن آن را در شرایط مشخصی توجیه‌پذیر می‌نماید اما همچنین قبل از کنار گذاردن آن بهتر است گزینه مابین یعنی راه‌آهن ارتقاء یافته پرسرعت نیز امکانسجی گردد.

باید به این نکته توجه داشت که سازگاری بین سیستم جدید و راه‌آهن کلاسیک موجود، خیلی مهم است. شبکه راه‌آهن پرسرعت با شبکه راه‌آهن کلاسیک تکمیل می‌شود.

فصل ۲

راه‌آهن پرسرعت در دنیا

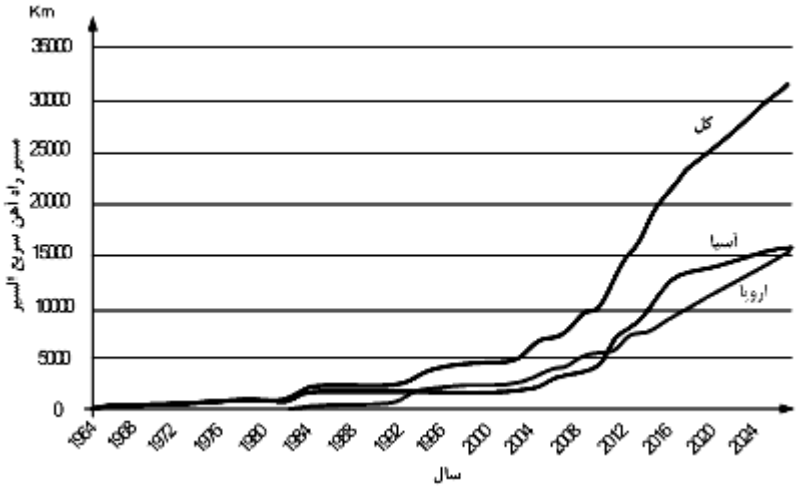
۲-۱- مقدمه

اولین قطار پرسرعت دنیا با نام شین‌کان‌سن در سال ۱۹۶۴ در ژاپن آغاز به کار کرد. اولین خط ریلی پرسرعت در اروپا در سال ۱۹۷۸ در ایتالیا بین رم و فلورانس با سرعت بهره‌برداری ۲۵۰ کیلومتر در ساعت راه‌اندازی گردید. اولین خط پرسرعت فرانسه تحت نام LGV در سال ۱۹۸۱ توسط SNCF (راه‌آهن فرانسه) افتتاح شد. این موارد نقاط مهمی در تاریخ توسعه راه‌آهن پرسرعت به شمار می‌روند.

راه‌آهن پرسرعت تلاشی در جهت جذب مسافران از دست رفته راه‌آهن کلاسیک محسوب می‌شود که در بسیاری از موارد در این امر موفق بوده است. دو قاره آسیا و اروپا در زمینه فناوری راه‌آهن پرسرعت و توسعه خطوط آن پیشتاز هستند. در نمودار شکل ۲-۱ وضعیت توسعه خطوط راه‌آهن پرسرعت نشان داده شده است. بخشی از منحنی‌ها بر اساس برنامه کشورها برای توسعه شبکه راه‌آهن پرسرعت خود تا سال ۲۰۲۵ میلادی تنظیم گردیده است.

در ادامه به بررسی راه‌آهن پرسرعت درکشورهایی که دارای راه‌آهن پرسرعت می‌باشند یا خطوطی را در دست ساخت دارند و یا خطوطی را در برنامه ساخت خود دارند، به تفکیک قاره‌ها می‌پردازیم. برای آشنایی بیشتر، در مورد کشورهایی که شبکه توسعه یافته خطوط

راه‌آهن پرسرعت دارند، نقشه مسیرهای مختلف به تفکیک خطوط ساخته شده، در حال ساخت و در برنامه ساخت، ترسیم شده است.



شکل ۲-۱: وضعیت و پیش‌بینی طول خطوط راه‌آهن پرسرعت در دنیا

۲-۲- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در اروپا

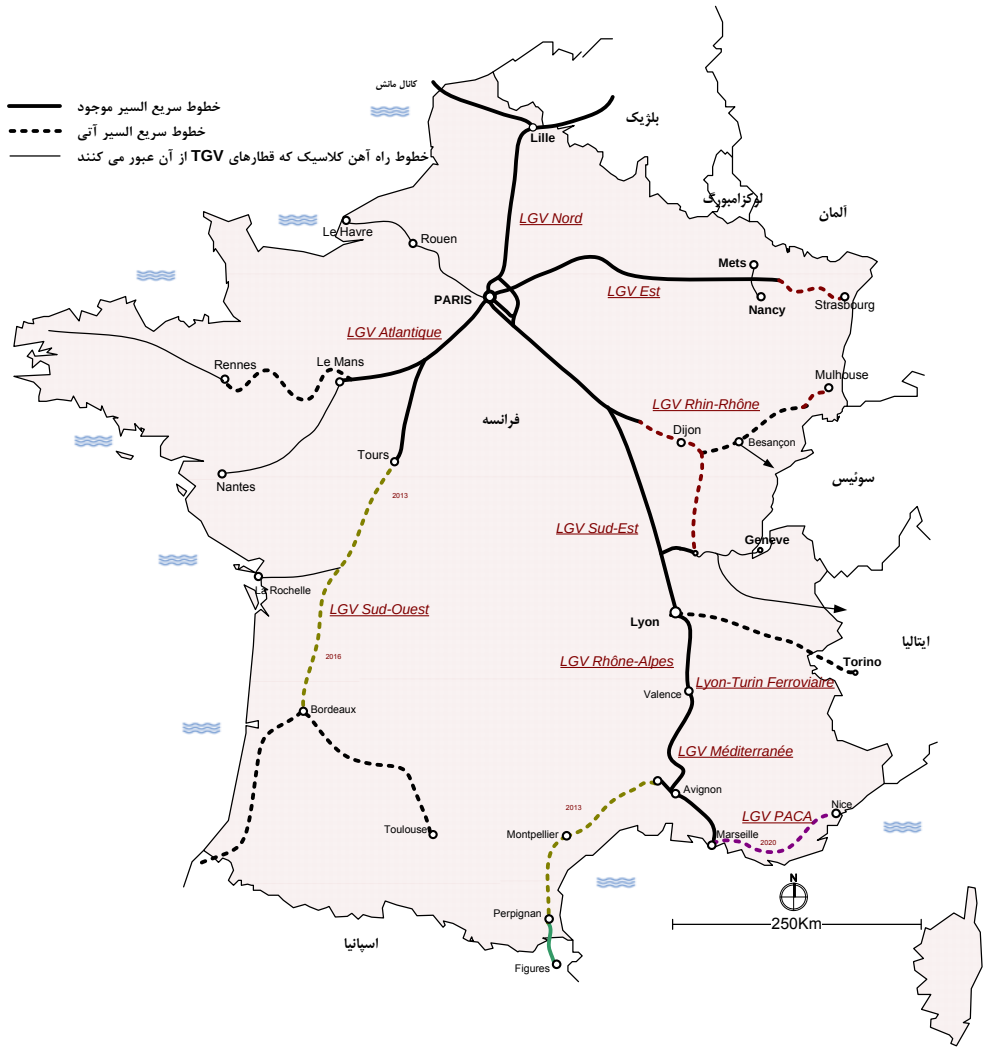
اروپا حدود ۶۸۰۰ کیلومتر خطوط راه‌آهن پرسرعت در حال بهره‌برداری و ۳۳۰۰ کیلومتر در دست ساخت دارد. همچنین طبق برنامه، این قاره تا سال ۲۰۲۵ میلادی حدود ۱۷۶۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت خواهد داشت. در حال حاضر هفت کشور بلژیک، فرانسه، آلمان، ایتالیا، اسپانیا، سوئیس، انگلستان در حال بهره‌برداری از خطوط راه‌آهن پرسرعت خود هستند که تا افق سال ۲۰۲۵، پنج کشور هلند، لهستان، پرتقال، روسیه و سوئد به آنها اضافه می‌شوند و در مجموع ۱۲ کشور اروپایی دارای راه‌آهن پرسرعت خواهند بود. در بین این کشورها دو کشور اسپانیا و فرانسه در حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت خواهند داشت، ولی در مقابل طول خط در برخی از آنها مانند سوئیس بیش از ۱۰۰ کیلومتر نیست.

۲-۲-۱- فرانسه

فرانسه در حال حاضر توسعه یافته‌ترین شبکه حمل و نقل ریلی پرسرعت در اروپا را دارد (اسپانیا با برنامه سنگین خود در توسعه خطوط راه‌آهن پرسرعت خود رقیبی برای فرانسه محسوب می‌شود و در افق ۲۰۲۵ از این کشور پیشی خواهد گرفت). شبکه قطارهای پرسرعت TGV در سال ۱۹۸۱ با خط پرسرعت بین پاریس و لیون (LGV جنوب- شرق) افتتاح گردید. شبکه TGV به مرور به شهرهای دیگر و حتی کشورهای دیگر مانند سوئیس، بلژیک، هلند و انگلستان نیز گسترش یافت.

در حال حاضر فرانسه ۱۹۶۰ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت دارد. دو مسیر دیگر نیز به طول حدود ۲۱۰ کیلومتر در حال ساخت بوده و حدود ۲۶۰۰ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت نیز در برنامه ساخت تا سال ۲۰۲۵ قرار دارد.

بهره‌برداری خطوط راه‌آهن پرسرعت فرانسه توسط شرکت SNCF صورت می‌گیرد. نقشه خطوط راه‌آهن پرسرعت کشور فرانسه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.

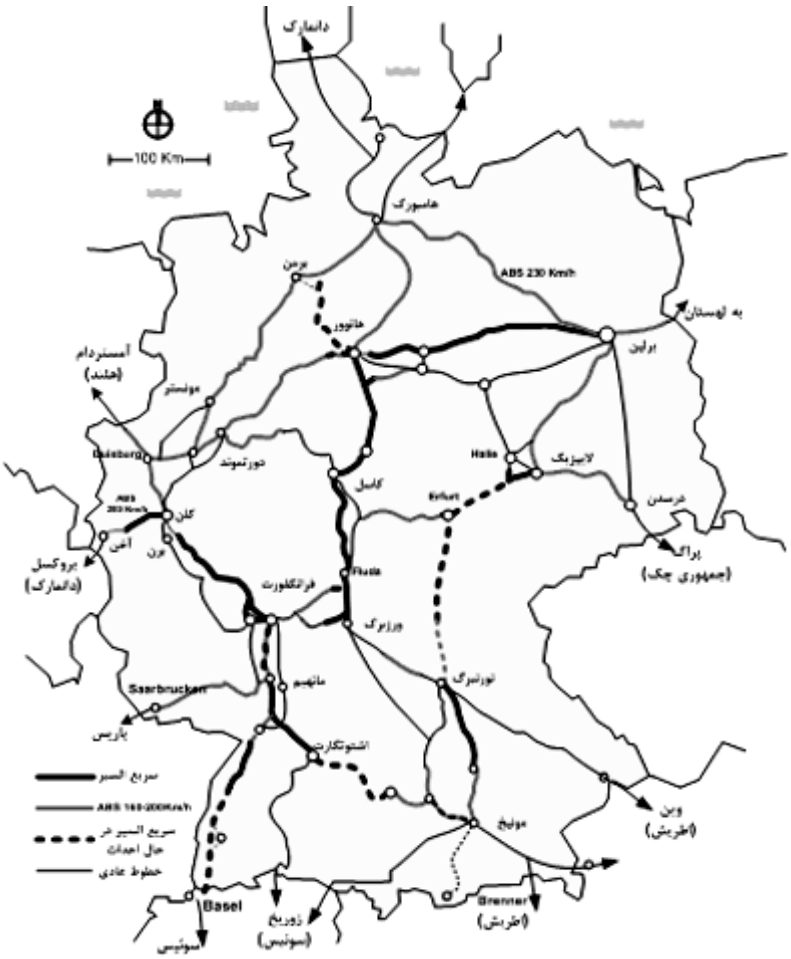


شکل ۲-۲: وضعیت خطوط راه‌آهن پرسرعت در فرانسه

۲-۲-۲- آلمان

ساخت اولین خط ICE مدت کوتاهی پس از اقدام فرانسویها برای ساخت LGV صورت گرفت، اما به دلیل مشکلات قانونی متعدد، کار به شدت با تأخیر روبرو شد و شبکه قطارهای پرسرعت آلمان ۱۰ سال پس از فرانسه راه اندازی گردید. شبکه ICE نسبت به TGV به علت

ساختار متفاوت سکونت در جامعه آلمان که چگالی جمعیتی آن تقریباً دو برابر فرانسه است با خطوط و قطارهای کلاسیک شبکه راه‌آهن آلمان بیشتر مرتبط است. آلمان در حاضر ۱۲۸۵ کیلومتر مسیر راه‌آهن پرسرعت در حال بهره‌برداری و ۳۷۸ کیلومتر دیگر نیز در دست ساخت دارد. نقشه شبکه راه‌آهن پرسرعت در کنار خطوط ABS در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳: وضعیت خطوط راه‌آهن پرسرعت در آلمان

همانگونه که در شکل ۲-۳ مشاهده می‌گردد به علت وجود شهرهای مهم با ضریب اهمیت کمابیش یکسان در کل کشور و عدم وجود مرکزیت زیاد در پایتخت، ساختار شبکه راه‌آهن کشور آلمان به جای آرایش ستاره‌ای به صورت مِش (توری) طراحی شده است.

قطارهای ICE آلمان زمان کوتاهی پس از راه اندازی به علت امتیاز استفاده از ولتاژ مشترک به اطریش و سوئیس رسیدند. در سال ۲۰۰۰ نسل سوم قطارهای ICE که قابلیت انطباق با چند نوع سیستم تغذیه را داشتند وارد هلند و بلژیک نیز شدند.

آلمان همچنین سیستم قطار تعلیق مغناطیسی یا مگلو با نام تجاری Transrapid را توسعه داده است. حداکثر سرعت Transrapid به ۵۵۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. یک خط تست به طول ۳۱/۵ کیلومتر در حال حاضر در Emsland آلمان در حال کار است.

۲-۲-۳- *بلژیک*

این کشور دارای ۴ خط پرسرعت به طول ۲۰۹ کیلومتر است که به ترتیب HSL۱ تا HSL۴ نام‌گذاری شده‌اند. نقشه خطوط راه‌آهن پرسرعت بلژیک در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

شکل ۲-٤: وضعیت خطوط راه‌آهن پرسرعت در بلژیک و هلند

۲-۲-۴- انگلستان

انگلستان با وجود سابقه تاریخی در زمینه راه‌آهن و افزایش سرعت قطارها، در زمینه توسعه راه‌آهن از سایر کشورهای اروپایی عقب مانده است. تنها خط راه‌آهن پرسرعت موجود این کشور خطی است به طول ۱۱۳ کیلومتر که ایستگاه St Pancras در لندن را به ورودی تونل زیردریایی مانش متصل می‌سازد. سرعت حرکت قطار در این مسیر ۳۰۰ کیلومتر در ساعت است. در ادامه، قطارها وارد تونل ۵۰/۵ کیلومتری مانش می‌شوند تا پس از خروج از سمت دیگر تونل به شبکه راه‌آهن پرسرعت فرانسه وارد شوند و تا پاریس یا بروکسل ادامه سیر دهند. در داخل تونل به دلائل ایمنی محدودیت سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت وجود دارد.

۲-۲-۵- هلند

هلند دارای یک خط پرسرعت با نام HSL-Zuid به طول ۱۲۰ کیلومتر است که آمستردام را به فرودگاه این کشور و در ادامه به روتردام متصل ساخته و از آنجا تا مرز بلژیک ادامه یافته و به شبکه راه‌آهن پرسرعت بلژیک متصل می‌گردد. نقشه این خط در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

۲-۲-۶- ایتالیا

اولین خط پرسرعت اروپا در سال ۱۹۷۸ در ایتالیا ایجاد شد. این خط با نام Direttissima به طول ۲۵۴ کیلومتر شهر رم را به شهر فلورانس متصل می‌سازد. قطارهایی که در این خط سرویس‌دهی می‌کنند یورواستار ایتالیا (ETR سری ۴xx و ۵۰۰) هستند. ایتالیا همچنین از قطارهای کج‌شونده (تیلتینگ) با نام پندولینو (سری ۴xx قطارهای ETR) را که بر مبنای تحقیقات شرکت فیات در دهه ۷۰ ساخته شدند، استفاده می‌کند.

در ایتالیا حدود ۱۳۰۰ کیلومتر خط جدید پرسرعت در نظر گرفته شده است که حدود ۹۰۰ کیلومتر آن ساخته شده است و کمتر از ۴۰۰ کیلومتر آن هم اکنون در حال ساخت است. تقریباً نیمی از مسافرین در شبکه T شکل تورین-ونیز و میلان- ناپل سفر می‌کنند که شبکه راه‌آهن پرسرعت ایتالیا نیز تقریباً منطبق با آن در حال احداث است. شبکه راه‌آهن پرسرعت ایتالیا در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود شبکه راه‌آهن پرسرعت این کشور با احداث دو خط میلان-ونیز و میلان-جنووا تقریباً تکمیل خواهد شد. شبکه راه‌آهن پرسرعت ایتالیا تکمیل کننده ۳ کریدور مسافری اصلی اروپایی است.

با وجود آنکه استاندارد تغذیه خطوط برقی راه‌آهن ایتالیا از نوع بالاسری ۳۰۰۰VDC است، ولی به دلیل لزوم سازگاری با شبکه راه‌آهن پرسرعت اروپا و امکان پذیرش قطار از سایر کشورهای اروپایی، خطوط جدید با تغذیه ۲۵kV_AC و سیستم علائم الکتریکی جدید و استاندارد ETCS سطح ۲ ساخته می‌شوند.

شکل ۲-۵: شبکه راه‌آهن پرسرعت کشور ایتالیا

۲-۲-۷- اسپانیا

سرویس راه‌آهن پرسرعت اسپانیا AVE[۱] نام دارد. این عبارت مخفف اسپانیایی «راه‌آهن پرسرعت اسپانیا» و از طرفی هم در زبان اسپانیایی به معنای پرنده است. راه‌آهن کلاسیک اسپانیا دارای پهنای خط عریض می‌باشد، ولی راه‌آهن پرسرعت این کشور برای داشتن امکان اتصال به خارج از کشور با پهنای خط استاندارد طراحی شده است.

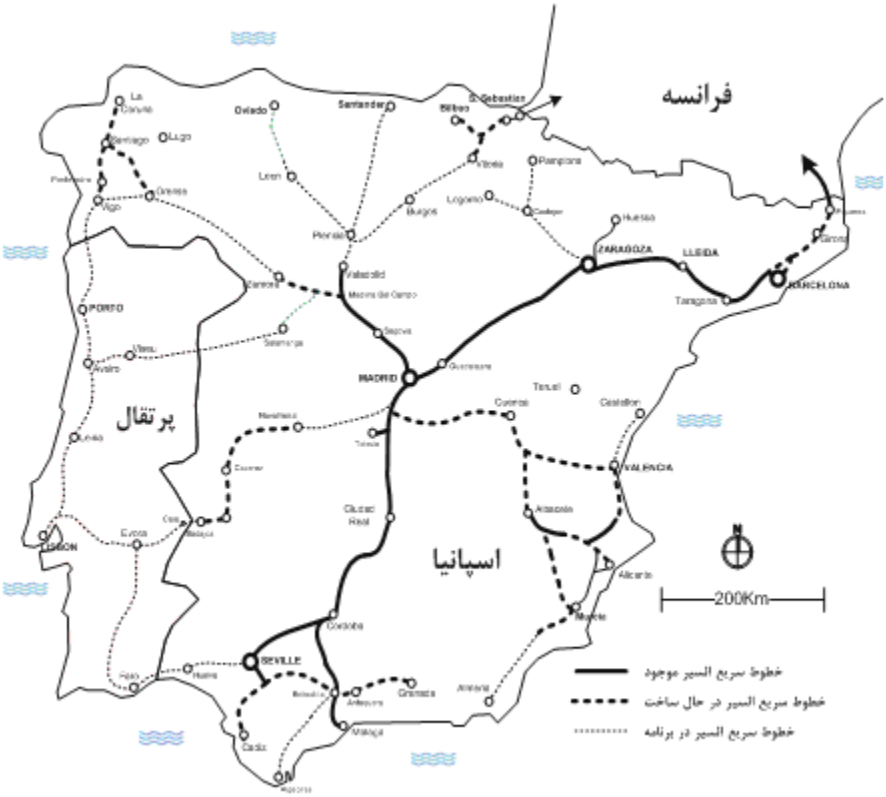
اسپانیا در زمینه توسعه شبکه راه‌آهن پرسرعت توجه ویژه و برنامه بلند پروازانه‌ای دارد و پیش‌بینی می‌شود در افق برنامه ۲۰۲۵ طولانی‌ترین شبکه راه‌آهن پرسرعت در اروپا و دومین

[۱] Alta Velocidad Española

شبکه راه‌آهن پرسرعت در دنیا بعد از کشور چین را داشته باشد. در حال حاضر این کشور حدود ۱۶۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت در حال بهره‌برداری، ۲۲۰۰ کیلومتر در حال ساخت و ۱۷۰۰ کیلومتر در برنامه ساخت دارد.

در نظر مسئولین اسپانیاست تا با توسعه شبکه راه‌آهن پرسرعت این کشور، مادرید در زمانی کمتر از ۴ ساعت و بارسلونا در زمانی کمتر از ۶ ساعت از مراکز تمام ایالتها قابل دسترسی باشد.

همانطور که درشکل ۲-۶ نشان داده شده است، شبکه راه‌آهن کشور اسپانیا همانند فرانسه از پایتخت این کشور، مادرید به صورت ستاره‌ای در جهت‌های مختلف منشعب می‌گردد.



شکل ۲-۶: شبکه راه‌آهن پرسرعت کشور های اسپانیا و پرتقال

۲-۲-۸- پرتقال

پرتقال در حال حاضر هیچ خط راه‌آهن پرسرعتی ندارد، ولی ساخت حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مسیر راه‌آهن پرسرعت را در برنامه خود دارد. نقشه شبکه آتی راه‌آهن پرسرعت کشور پرتقال و نحوه اتصال آن به شبکه راه‌آهن پرسرعت اسپانیا در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

اولین مسیر راه‌آهن پرسرعت این کشور، مسیر شرقی-غربی بین لیسبون و کایا در مرز فرانسه تا سال ۲۰۱۳ به بهره‌برداری خواهد رسید و ارتباط پایتختهای دو کشور را فراهم خواهد ساخت. سرعت این طرح ۳۵۰ کیلومتر در ساعت است. مسیر سراسری دیگری به صورت شمالی-جنوبی در طول این کشور احداث خواهد شد که این مسیر نیز از لیسبون می‌گذرد. این مسیر نیز در شمال و جنوب این کشور (در سه نقطه دیگر) به شبکه راه‌آهن پرسرعت اسپانیا متصل خواهد شد.

۲-۲-۹- لهستان

لهستان تا سال ۲۰۱۵ ساخت حدود ۷۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت را در دو مسیر، در برنامه ساخت خود دارد. مسیر اول به طول ۵۰۰ کیلومتر، شرقی-غربی بوده و پایتخت (وارسا) را به شهر پوزنان متصل می‌سازد. مسیر دیگر به طول ۲۱۲ کیلومتر، شمالی-جنوبی بوده و پایتخت را به کتوویچ و کراکوف متصل می‌سازد. این مسیرها که در منطقه مرکزی کشور قرار گرفته‌اند برای سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت طراحی شده‌اند. مسیرهای دیگری نیز برای افزایش سرعت تا ۲۰۰ کیلومتر ارتقاء داده می‌شوند، از جمله امتداد مسیر راه‌آهن پرسرعت شرقی-غربی این کشور که از شهر پوزنان تا مرز آلمان و امتداد یافته و از آنجا دسترسی به برلین را فراهم می‌سازد.

۲-۲-۱۰- سوئد

سوئد در حال حاضر قطارهای کج شونده X۲ با سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بین سه شهر عمده خود شامل استکهلم، گوتنبرگ و Malmö و نیز قطارهای اکسپرس آرلاندا را با سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بین استکهلم و فرودگاه آرلاندا در حال بهره‌برداری دارد. حتی در نظر

است قسمت عمده ۱۸۰ کیلومتری بین استکهلم و Malmö به سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت ارتقاء یابد. سایر خطوط به خصوص خطوط شمال نیز قرار است در سالهای آتی ارتقا یابد که قسمتهایی از آن هم اکنون در حال اجرا می‌باشد.

با این وجود، سوئد در حال حاضر راه‌آهن پرسرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت ندارد، گرچه در نظر است در آینده نه چندان نزدیک که زمان آن اعلام نشده است دو مسیر از پایتخت این کشور به سمت غرب برای اتصال به شهر گوتنبرگ و به سمت جنوب برای اتصال به هلسینگبرگ، با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت و مجموعاً به طول حدود ۷۵۰ کیلومتر ساخته شود. مسیر اخیر، راه‌آهن سوئد را به راه‌آهن دانمارک و از آنجا به راه‌آهن آلمان (هامبورگ) متصل می‌سازد.

۲-۲-۱۱- روسیه

روسیه در حال حاضر اولین خط راه‌آهن پرسرعت خود بین مسکو و سن‌پیترزبورگ به طول ۶۵۰ کیلومتر را ساخته است. قطارهای این خط با قابلیت سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت بر مبنای فناوری ICE و ساخت شرکت زیمنس آلمان به شرط انتقال فناوری ساخت می‌باشد. سرعت بهره‌برداری این خط ۲۵۰ کیلومتر در ساعت است که در آینده با اصلاحاتی به ۳۰۰ کیلومتر در ساعت ارتقاء خواهد یافت. شرکت راه‌آهن روسیه این خط را به عنوان پروژه پایلوت در نظر گرفته است و در نظر دارد خطوط راه‌آهن پرسرعت دیگری را نیز در آینده درازمدت از مسکو به دیگر شهرهای پرجمعیت با حداکثر فاصله مناسب راه‌آهن پرسرعت بسازد. همچنین درنظر است این خط تا هلسینکی (فنلاند) نیز امتداد یابد. ویژگی منحصر به فرد راه‌آهن پرسرعت مسکو-سن‌پیترزبورگ عرض خط آن است که بر خلاف راه‌آهن پرسرعت در سایر نقاط دنیا عریض (۱۵۲۰م.م.) ساخته شده است و بر این مبنا ناوگان مربوطه نیز دارای عرض و ارتفاع بیشتری طراحی شده‌اند.

۲-۳- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در آسیا

قاره آسیا در بهره‌برداری از راه‌آهن پرسرعت دارای سابقه طولانی‌تری نسبت اروپا است. این سابقه به راه اندازی اولین راه‌آهن پرسرعت دنیا در ژاپن در سال ۱۹۶۴ باز می‌گردد. آسیا حدود ۴۶۰۰ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت دارد که حدود ۲۵۰۰ کیلومتر آن در ژاپن قرار دارد. در حال حاضر ۵ کشور چین، ژاپن، کره جنوبی، تایوان و ترکیه دارای خطوط راه‌آهن پرسرعت هستند و در آینده سه کشور هند، عربستان و ایران نیز به آن اضافه خواهند شد و در مجموع ۸ کشور آسیایی دارای خطوط راه‌آهن پرسرعت خواهند بود. حداقل و حداکثر طول شبکه راه‌آهن پرسرعت در این کشورها به ترتیب ۳۵۰ و ۸۳۰۰ کیلومتر خواهد بود. تا قبل از سال ۱۹۹۲ طول خطوط پرسرعت آسیا از اروپا بیشتر بود که با افتتاح اولین خط راه‌آهن پرسرعت اسپانیا، اروپا از آسیا پیش افتاد. اما آسیا نیز با تلاشهای کشورهایی همچون چین و ژاپن و همچنین با توجه به پروژهایی که در ترکیه، عربستان و ایران اجرا می‌شود، به دنبال اروپا در پی توسعه خطوط راه‌آهن پرسرعت خود است و پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۱۲ در این زمینه مجدداً از اروپا پیش افتد و این جلوداری را تا سال ۲۰۲۵ حفظ نماید.

۲-۳-۱- ژاپن

ژاپن مهد راه‌آهن پرسرعت در دنیا تلقی می‌شود. به خطوط پرسرعت راه‌آهن در ژاپن شین‌کان‌سن گفته می‌شود. قطارهای شین‌کان‌سن ژاپن از مطرح‌ترین قطارهای پرسرعت در دنیا هستند. با راه‌اندازی اولین خط شین‌کان‌سن بین توکیو و اوزاکا به نام توکایدو شین‌کان‌سن در سال ۱۹۶۴، ژاپن نام خود را به عنوان اولین کشور توسعه دهنده راه‌آهن پرسرعت در دنیا ثبت کرد. پس از مدتی دومین خط راه‌آهن پرسرعت ژاپن با نام سانیوشین‌کان‌سن افتتاح شد. کشور ژاپن دارای چگالی بالای جمعیتی است و از طرفی ۷۰٪ آن کوهستانی و برای حمل و نقل جاده‌ای نامناسب است. از طرفی به علت طولی بودن کشور ژاپن، حمل و نقل ریلی بهترین گزینه حمل و نقل در این کشور محسوب می‌شود. در سال ۱۹۸۷ به دنبال خصوصی‌سازی راه‌آهن ملی ژاپن، توسعه خطوط پرسرعت ادامه یافت و فعالیتهای زیادی در جهت بهبود این

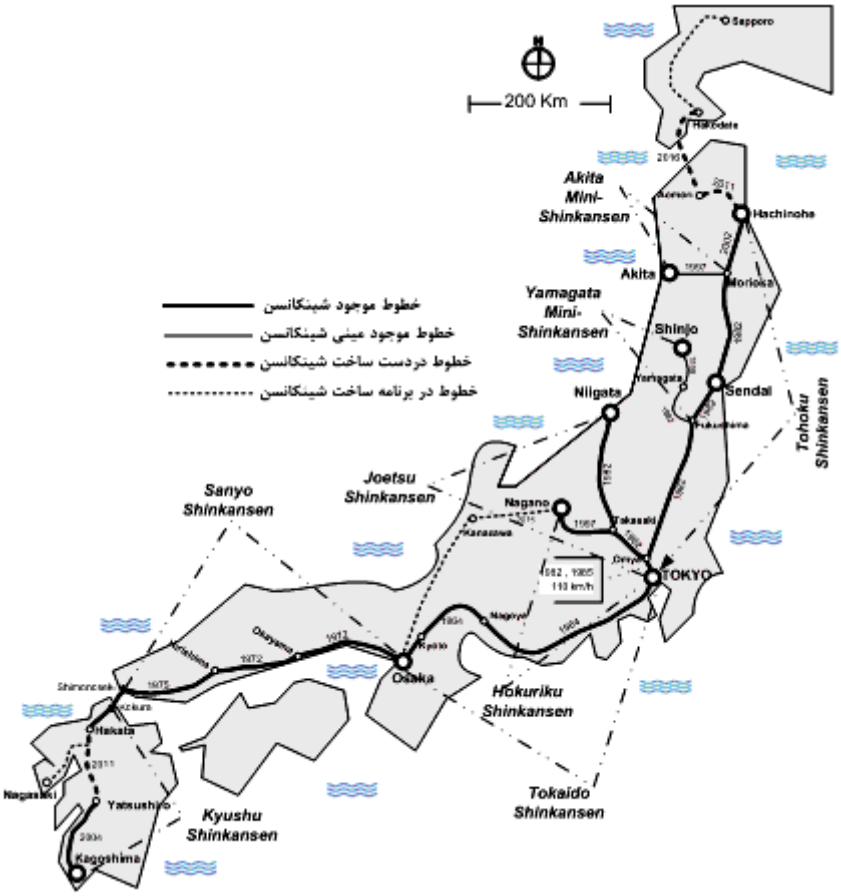
خطوط صورت گرفت. برای این که قوس‌ها با سرعت بیشتری طی شوند از فناوری تیلتینگ یا واگن‌های کج شونده استفاده شد. همچنین در طراحی‌ها معیارهای آیرودینامیکی، استفاده از موتورهای قوی‌تر و مواد محکم‌تر و سبک‌تر، ترمزهای باله‌ای، ایمنی در زمان زلزله و طوفان، و بهسازی خطوط در کنار توسعه مورد توجه بیشتری قرار گرفتند. در مورد بهسازی خطوط می‌توان به بهسازی اولین خط شین‌کان‌سن ساخته شده بین توکیو و اوزاکا اشاره کرد که زمان سیر را از ۴ ساعت در سال ۱۹۶۴ به ۲/۵ ساعت در حال حاضر کاهش داده است.

راه‌آهن پرسرعت ژاپن فناوری منحصر به فرد خود را دارد و از جنبه‌های مختلفی با راه‌آهن پرسرعت اروپایی تفاوت دارد. کشور ژاپن یکی از محدود کشورهای صاحب فناوری راه‌آهن پرسرعت در تمام بخش‌های آن از زیربنا گرفته تا ناوگان به شمار می‌رود. راه‌آهن پرسرعت ژاپن با توجه به شرایط جغرافیایی آن، از لحاظ زلزله‌خیز بودن و سایر حوادث طبیعی نظیر سیل و باد و رانش زمین و همچنین برفی بودن مناطق شمالی آن دارای طراحی ویژه‌ای برای مقابله با این شرایط است.

در حال حاضر حدود ۲۵۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت در این کشور در حال بهره‌برداری و ۶۰۰ کیلومتر نیز در دست ساخت است. حدود ۶۰۰ کیلومتر دیگر نیز در برنامه ساخت قرار دارد. بنابر این می‌توان پیش‌بینی کرد طول خطوط راه‌آهن پرسرعت این کشور در آینده به حدود ۳۷۰۰ کیلومتر برسد.

ژاپن از چهار جزیره اصلی تشکیل شده است. این جزایر در امتداد یکدیگر قرار گرفته‌اند و ساختاری طولی را بوجود آورده‌اند. شبکه راه‌آهن پرسرعت این کشور نیز به صورت طولی گسترش یافته است. سه جزیره از چهار جزیره اصلی دارای شبکه راه‌آهن پرسرعت هستند، ولی بیشتر مسیرها در جزیره اصلی کشور ژاپن (هونشو) قرار گرفته است. در مسیر طولی سراسری راه‌آهن پرسرعت این کشور در نقاطی نیز انشعاباتی به صورت عرضی احداث گردیده است. نقشه شبکه راه‌آهن پرسرعت (مسیرهای شین‌کان‌سن) در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. مسیرهای مختلف شبکه راه‌آهن پرسرعت این کشور به نامهای مختلفی شناخته می‌شوند و بسته

به موقعیت جغرافیایی قرار گرفتن با توجه به تفکیک افقی شبکه راه‌آهن این کشور توسط یکی از شرکت‌های پنجگانه ریلی حمل و نقل مسافر بهره‌برداری می‌شوند.



شکل ۲-۷: شبکه راه‌آهن پرسرعت کشور ژاپن

۲-۳-۲- کره جنوبی

کریدور سئول- بوسان مهمترین کریدور ترابری کره جنوبی محسوب می‌گردد. حدود ۷۵٪ از GNP کشور در حاشیه این کریدور ایجاد می‌شود. شهرهای نسبتاً مهمی در این کریدور قـرار

گرفته است و دسترسی دریایی و هوایی نیز به تعدادی از آنها وجود دارد. حدود ۶۵٪ ترافیک مسافر و ۷۰٪ ترافیک باری کره جنوبی در این کریدور قرار دارد. برای تسهیل در روند ترافیک این کریدور، ساخت راه‌آهن پرسرعت با نام KTX[1] بین سئول به بوسان به طول ۴۱۲ کیلومتر در برنامه این کشور قرار گرفت. فاز اول پروژه از سئول تا دائجو به طول ۳۳۰ کیلومتر در آوریل ۲۰۰۴ به بهره‌برداری رسید.

فاز دوم پروژه نیز تا بوسان به طول ۸۲ کیلومتر تا سال ۲۰۱۰ تکمیل خواهد شد. مسیر احداث راه‌آهن پرسرعت KTX بسیار کوهستانی است، لذا حدود ۱۹۰ کیلومتر از مسیر را تونل تشکیل داده و ۱۲۰ کیلومتر از آن در ارتفاع به صورت داکت هوایی احداث گردیده است. فناوری راه‌آهن پرسرعت کره جنوبی از TGV فرانسه اخذ شده است. نقشه راه‌آهن پرسرعت کره جنوبی در شکل ۲-۸ نشان داده شده است.

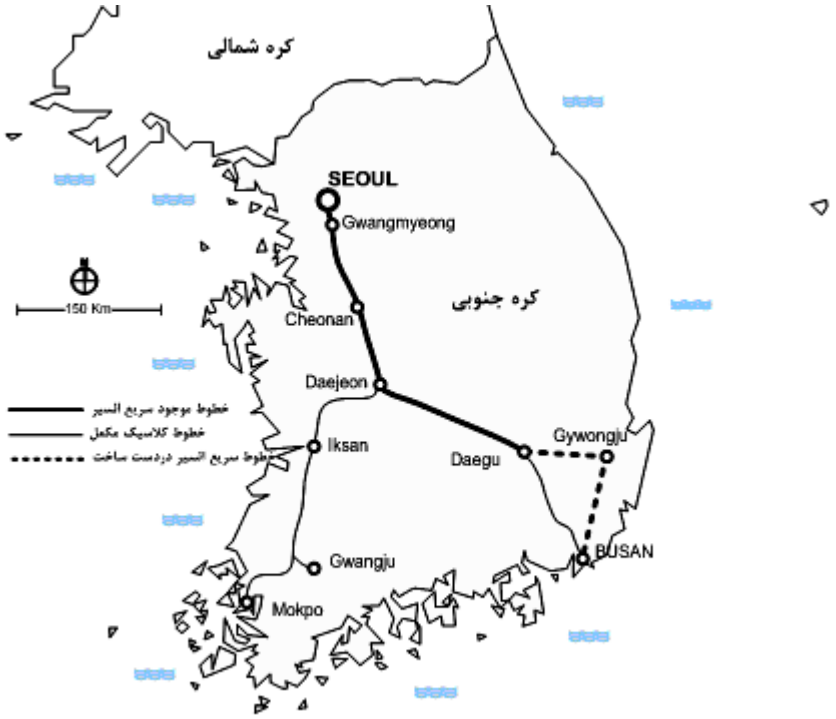
۲-۳-۳- چین

چین با توجه به جمعیت و مساحت زیاد توجه ویژه‌ای به راه‌آهن پرسرعت نشان داده است. این کشور تاکنون حدود ۱۰۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت احداث کرده است (حدود ۶۰۰۰ کیلومتر خطوط ۱۶۰ تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت) و حدود ۳۳۰۰ کیلومتر نیز در دست ساخت دارد. همچنین حدود ۴۰۰۰ کیلومتر راه‌آهن پرسرعت نیز در برنامه ساخت کوتاه مدت این کشور قرار دارد. البته اکثر این مسیرها برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت، سه مسیر برای سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت و فقط مسیر پکن-شانگهای برای سرعت ۳۵۰ کیلومتر در ساعت برنامه‌ریزی شده‌اند.

با توجه به طول قابل توجه خطوط راه‌آهن پرسرعت این کشور، توجه ویژه‌ای نیز به انتقال فناوری این صنعت نشان داده شده است، به طوری که از تمام کشورهای صاحب فناوری راه‌آهن پرسرعت، پروژه‌های پایلوتی در کشور اجرا شده است. این کشور حتی فناوری قطار پرسرعت مگلو را نیز که از نوع Transrapid آلمان است از مارس ۲۰۰۴ برای اتصال شانگهای

[1] Korea Train Express

به فرودگاه بین‌المللی پودونگ احداث نموده است. تمام خطـوط راه‌آهـن پرسـرعت چـین در قسمت شرقی این کشور که چگالی جمعیتی زیادی دارد، متمرکز شـده اسـت. نقـشه راه‌آهـن پرسرعت کشور چین در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است.



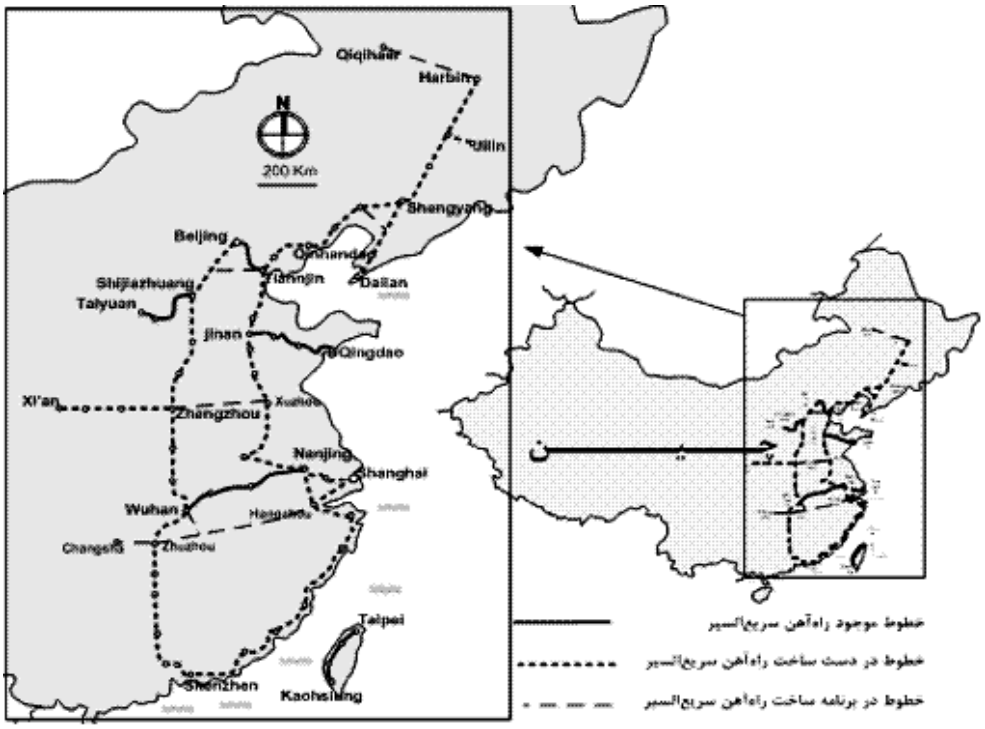
شکل ۲-۸: مسیر راه‌آهن پرسرعت کشور کره جنوبی

۲-۳-۴- تایوان

THSR[1] یا راه‌آهن پرسرعت تایوان به طول ۳۴۵ کیلومتری در حـال بهـره‌بـرداری اسـت (شکل ۲-۱۰). هسته مرکزی آن بر مبنای فناوری شین‌کانسن ژاپـن اسـت و قطارهـای آن از

[1] Taiwan High Speed Railway

سری TV۰۰ که تغییر یافته سری ۷۰۰ شین‌کان‌سن هستند، توسط یک کنسرسیوم ژاپنی ژاپن تأمین خواهند شد.



شکل ۲-۹: شبکه راه‌آهن پرسرعت کشور چین و تایوان

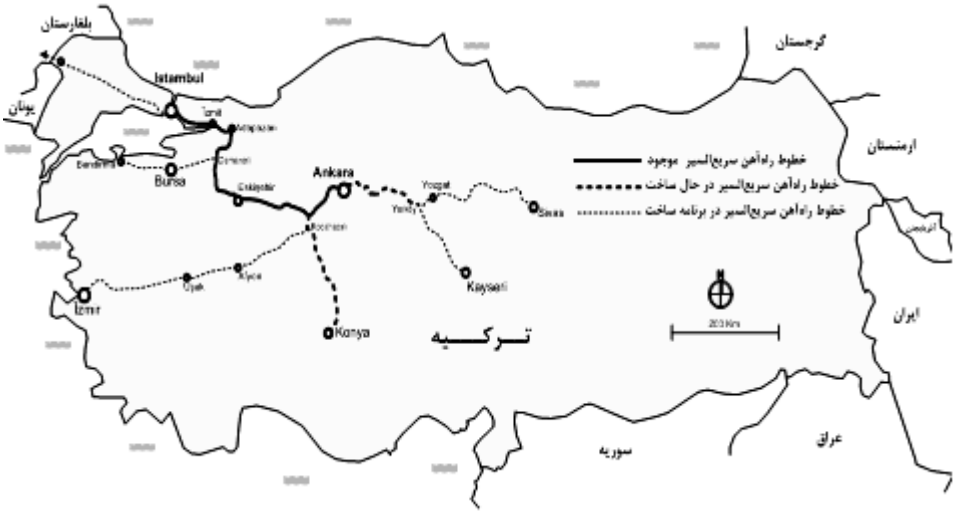
۲-۳-۵- ترکیه

ترکیه از سال ۲۰۰۳ ساخت خطوط راه‌آهن پرسرعت خود را آغاز کرده است. این کشور توجه ویژه‌ای به توسعه خطوط راه‌آهن پرسرعت خود نشان داده است، به طوری که ۵۳۳ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت را تکمیل نموده است و حدود ۵۰۰ کیلومتر دیگر در دست ساخت دارد. علاوه بر آن حدود ۱۴۰۰ کیلومتر خط راه‌آهن پرسرعت را در برنامه ساخت قرار دارد. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که تمام خطوط راه‌آهن پرسرعت این کشور برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت طراحی شده است، ولی با این وصف چنین شبکه بزرگی تحول

و تسهیل زیادی در حمل و نقل مسافری در این کشور ایجاد خواهد نمود. نقشه شبکه راه‌آهن پرسرعت ترکیه در نشان داده شده است.

۲-۳-۶- هند

هند در حال حاضر هیچ خط راه‌آهن پرسرعتی ندارد، ولی خط راه‌آهن پرسرعت بین بمبئی و احمدآباد به طول ۴۹۵ کیلومتر و با سرعت بهره‌برداری ۲۵۰ کیلومتر در ساعت در برنامه ساخت این کشور قرار دارد. البته پروژه‌های دیگری که بیشتر به صورت ساختار ستاره‌ای از شهرهای مهم این کشور نظیر دهلی، کلکته، حیدرآباد و بنگلور منشعب می‌شوند، نیز مطرح هستند.



شکل ۲-۱۰: مسیر راه‌آهن پرسرعت کشور ترکیه

۲-۳-۷- عربستان سعودی

عربستان سعودی پروژه راه‌آهن پرسرعت مکه-جده-مدینه را به طول ۵۵۰ کیلومتر و با سرعت بهره‌برداری ۳۰۰ کیلومتر در ساعت در برنامه دارد.

۲-۳-۸- ایران

ایران یک خط راه‌آهن پرسرعت بین تهران و اصفهان به طول ۴۹۵ کیلومتر و با سرعت بهره‌برداری ۲۵۰ کیلومتر در ساعت را در دست ساخت دارد. پروژه راه‌آهن پرسرعت تهران- مشهد نیز در این کشور مطرح می‌باشد.

۲-۴- وضعیت راه‌آهن پرسرعت در سایر نقاط دنیا

۲-۴-۱- ایالات متحده آمریکا

با وجود آنکه راه‌آهن در ایالات متحده آمریکا سابقه زیادی دارد، ولی چندین عامل باعث رکود حمل و نقل ریلی مسافری در ایالات متحده آمریکا شده است. با وجود گرایشهای جدید برای داشتن خطوط پرسرعت در آمریکا و وجود طرحهایی برای توسعه آن در مناطقی از این کشور، تنها سرویس پرسرعت موجود ریلی مسافری مربوط به کریدور شمال شرقی شرکت Amtrack بین بوستون و واشنگتن‌دی‌سی (سرویس، نیویورک و فیلادلفیا را نیز پوشش می‌دهد) به طول ۳۶۲ کیلومتر و با سرعت بهره‌برداری ۳۰۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد. راه‌آهن پرسرعت کالیفرنیا در برنامه ساخت راه‌آهن پرسرعت ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۲۵ قرار دارد. این راه‌آهن با سرعت بهره‌برداری ۳۰۰ کیلومتر در ساعت ساکرامنتو را به لس‌آنجلس به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر متصل می‌سازد.

۲-۴-۲- مراکش

خطی که فعلاً در برنامه ساخت مراکش تا سال ۲۰۱۵ قرار دارد، مسیر ۶۸۰ کیلومتری Tanger به مراکش است که از رباط و کازابلانکا عبور می‌کند. سرعت این طرح ۳۰۰ کیلومتر در ساعت است. ادامه این مسیر به سمت جنوب تا Agadir و مسیر نسبتاً طولانی از رباط تا Oujda نیز مطرح هستند.

۲-۴-۳- *برزیل*

برزیل مسیر ۵۰۰ کیلومتری ریودوژانیرو تا ساوپائولو با سرعت طرح ۳۰۰ کیلومتر در ساعت را در برنامه ساخت خود تا سال ۲۰۲۵ دارد.

۲-۴-۴- *آرژانتین*

آرژانیتن راه‌آهن پرسرعت بوئینس‌آیرس تا روزاریو به طول ۳۱۵ کیلومتر و سرعت طرح ۲۵۰ کیلومتر را در برنامه ساخت تا سال ۲۰۲۰ دارد.

۲-۵- آمار کلی طول خطوط راه‌آهن پرسرعت در دنیا

برای جمع‌بندی، آمار مربوط به وضعیت خطوط راه‌آهن پرسرعت در دنیا در جدول ۲-۱ آمده است.

در این جدول دو شاخص مقایسه‌ای تحت عنوان «درصد طول مسیر راه‌آهن پرسرعت به طول کل شبکه راه‌آهن» و «طول مسیر به چگالی جمعیت» نیز آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود به جز کشور تایوان که شرایط خاصی دارد، کشورهای ژاپن، اسپانیا و کره جنوبی دارای نسبت بالای طول خطوط راه‌آهن پرسرعت به طول کل خطوط راه‌آهن خود هستند و کشورهای فرانسه، بلژیک و ایتالیا در رده‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۲-۱: طول مسیرهای راه‌آهن پرسرعت در دنیا بر حسب کیلومتر [UIC,۲۰۰۸]

کشور	در حال بهره برداری	در حال ساخت	در برنامه ساخت تا ۲۰۲۵	طول کل مسیرهای راه‌آهن	جمع (*)	درصد طول مسیر به کل خطوط راه‌آهن	طول مسیر به چگالی جمعیت
اروپا	**6,848**	**3,274**	**7,456**		**17,578**		
بلژیک	209	0	0	3,513	209	5.9%	0.62
فرانسه	1,961	210	2,616	29,901	4,787	6.6%	16.89
آلمان	1,285	378	670	33,862	2,333	3.8%	5.57
ایتالیا	876	395	0	16,862	1,271	5.2%	4.39
هلند	120	0	0	2,896	120	4.1%	0.30
لهستان	0	0	712	19,627	712	0.0%	0.00
پرتقال	0	0	1,006	2,842	1,006	0.0%	0.00
روسیه	650	0	0	84,158	650	0.8%	79.38
اسپانیا	1,599	2,219	1,702	15,046	5,520	10.6%	17.51
سوئد	0		750	9,830	750	0.0%	0.00
سوئیس	35	72	0	3,499	107	1.0%	0.19
انگلستان	113	0	0	16,321	113	0.7%	0.45
آسیا	**4,556**	**10,213**	**6,683**		**21,452**		
چین	1,194	9,031	2,901	60,809	13,126	2.0%	8.62
تایوان	345	0	0	421	345	81.9%	0.54
هند	0	0	495	63,327	495	0.0%	0.00
ایران		0	475	7,335	475	0.0%	0.00
ژاپن	2,452	590	583	20,048	3,625	12.2%	7.28
عربستان	0	0	550	2,758	550	0.0%	0.00
کره جنوبی	330	82	0	3,381	412	9.8%	0.67
ترکیه	235	510	1,679	8,699	2,424	2.7%	2.56
سایر	**362**	**0**	**2,395**		**2,757**		
مراکش	0	0	680	1,989	680	0.0%	0.00
آرژانتین	0	0	315	35,753	315	0.0%	0.00
برزیل		0	500	29,817	500	0.0%	0.00
آمریکا	362	0	900	227,058	1,262	0.2%	11.47
کل	*11,766*	*13,487*	*16,534*		*41,787*		

* مسافت بر حسب کیلومتر

فصل ۳

زیرساخت راه‌آهن پرسرعت

۳-۱- مقدمه

زیرساخت راه‌آهن پرسرعت به کل خطوط، ابنیه، تأسیسات، تجهیزات و... (به جز ناوگان) گفته می‌شود که برای بهره‌برداری آن مورد نیاز است. زیرساخت راه‌آهن پرسرعت بخش عمده هزینه‌های مورد نیاز را شامل می‌شود و دارای اجزای مختلف و متعددی است. زیرساخت راه‌آهن پرسرعت با توجه به گستردگی آن، تخصصهای مختلف مهندسی، از عمران تا برق را در برمی‌گیرد. عناوین اجزای زیرساخت راه‌آهن پرسرعت با راه‌آهن کلاسیک دارای مشترکات زیادی است، ولی بخش‌های فنی آن به میزان زیادی ارتقاء یافته و شرایط سخت‌گیرانه‌تری بر آنها حاکم است. در این فصل به معرفی اجزا و پارامترهای زیرساخت راه‌آهن پرسرعت و همچنین تعمیر و نگهداری لازم برای آن پرداخته می‌شود.

قوس افقی

قوس معمولاً به منظور دور زدن موانع، داشتن شیبهای طولانی‌تر و آسان‌تر یا عبور دادن مسیر از نقاط اجباری یا مطلوب تعبیه می‌شود. با توجه به اینکه در قوس‌های دایروی افقی نیروی گریز از مرکز وزن قطار، مسافرین را به سمت بیرون قوس می‌راند و ارتعاشات نیز افزایش

می‌یابد، راحتی سفر کم می‌شود. همچنین در قوس بر اثر این نیرو، قطار تمایل به حرکت جانبی به بیرون از قوس دارد که این مسئله ایمنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر موارد فوق، در اثر افزایش بارگذاری جانبی ریل‌ها و وسیله نقلیه، ریل و چرخ زودتر فرسوده می‌شوند. قاعدتاً هرچه شعاع قوس بیشتر باشد تأثیر منفی بیشتری بر ایمنی و راحتی سفر به وجود می‌آید. شعاع قوس از یک طرف تابع سرعت طرح بوده و از طرف دیگر متأثر از عوارض منطقه است.

در عمل برای محاسبه شعاع قوس (R) بر حسب متر و حداکثر سرعت عبور از قوس (V_{max}) بر حسب کیلومتر در ساعت از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$V_{max}= k\sqrt{R} \Rightarrow R=\left(\frac{V_{max}}{k}\right)^2 \qquad (۱-۳)$$

که در آن k ضریبی بین ۴ تا ۴/۸ انتخاب می‌گردد.

گرچه راه‌آهن پرسرعت حساسیت کمتری نسبت به راه‌آهن کلاسیک نسبت به نشیب و فراز دارد، اما حساسیت آن نسبت به عبور از قوس‌های افقی به علت شتابهای جانبی ناشی از آن زیاد است. این شتاب که مقدار آن با توان دوم سرعت افزایش می‌یابد، مستقیماً به مسافرین وارد شده و در نتیجه راحتی سفر با قطار پرسرعت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شتاب جانبی بیش از حد قطار در سر قوس، مهم‌تر از اثر سوء بر راحتی سفر، اثر سوء ایمنی در بردارد و ممکن است باعث خروج از خط قطار و یا حتی واژگونی آن گردد.

با استفاده از رابطه (۳-۱) و با فرض k=۴/۸، حداقل شعاع قوس برای سرعت‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلومتر در ساعت به ترتیب برابر است با: ۳۹۰۶ و ۵۳۱۶ متر

قوس انتقال

قبلاً توضیح داده شد که دو پاره‌خط پروژه که در امتدادهای افقی مختلفی هستند را با قوس‌های افقی دایروی متصل می‌سازند. در عین حال باید توجه داشت که در راه‌آهن نمی‌توان یک پاره‌خط را بلافاصله به یک قوس دایروی یا دو قوس با شعاعهای مختلف را به یکدیگر

متصل نمود. در این گونه موارد برای اتصال از قوس انتقال[۱] یا قوس پیوندی استفاده می‌شود. در حقیقت پس از طراحی قوس‌های ساده دایروی از قوس‌های پیوندی برای بهبود فرم هندسی مسیر استفاده می‌شود. شعاع قوس پیوندی ثابت نیست و از بی‌نهایت شروع می‌شود و به طور یکنواخت کاهش می‌یابد تا اینکه در محل اتصال به قوس دایروی، شعاع آن برابر با شعاع قوس دایروی می‌گردد. بدیهی است در دو طرف قوس دایروی یعنی هم برای ورود و هم برای خروج از آن از قوس پیوندی استفاده می‌شود.

در برخی از خطوط فرعی که با قوس بدون بربلندی کار شده است، استفاده از قوس پیوندی امکان گردش تدریجی قطار را فراهم می‌سازد و در نتیجه از وارد شدن شتاب ناگهانی دورانی که ممکن است باعث خروج از خط شود، جلوگیری می‌نماید.

در خطوط اصلی دارای بربلندی نیز امکان تغییرات یکنواخت‌تر از ریل خارجی در طول قوس پیوندی فراهم شده و حرکت نرم قطار در هنگام عبور از قطعه مستقیم به داخل قوس را سبب می‌شود.

۳-۱-۱- بربلندی

در مسیر مستقیم، هر دو ریل مسیر راه‌آهن در یک ارتفاع قرار دارند. هنگام حرکت قطار در قوس، نیروی گریز از مرکز برابر با رابطه زیر به طرف خارج قوس به قطار وارد می‌شود:

$$F = \frac{MV^2}{R} \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

M= جرم قطار بر حسب کیلوگرم

V= سرعت قطار برحسب متر بر ثانیه

R= شعاع قوس بر حسب متر می‌باشد.

نیروی جانبی ایجاد شده علاوه بر اینکه از راحتی سفر برای مسافرین داخل قطار می‌کاهد، ریسک خروج از خط قطار را نیز افزایش می‌دهد. برای خنثی کردن اثر نیرو گریز از مرکز یا

[۱] Transition curve

کاهش اثر آن به ریل بیرونی نسبت به ریل داخلی اضافه ارتفاعی داده می‌شود که به آن بربلندی یا دِور[۱] گفته می‌شود.

در مورد بربلندی، مشکل از جایی شروع می‌شود که ترافیک مختلطی از خط عبور نماید. برای قطارهای کندرو که سرعت آنها از سرعت تعادلی کمتر است ($V_۱<V_E$) نیروی ناشی از بربلندی بر نیروی ناشی از گریز مرکز غلبه دارد. این حالت که به آن اصطلاحاً اضافه بربلندی[۲] گفته می‌شود، باعث فشار بیشتری بر ریل داخلی وارد می‌شود.

برای قطار تندرویی که سرعت عبور آن در قوس از سرعت تعادلی بیشتر است ($V_۲>V_E$) نیروی گریز از مرکز، بر نیروی ناشی از بربلندی غلبه دارد و در نتیجه به ریل خارجی فشار بیشتری وارد خواهد آمد. در این حالت نیز اصطلاحاً گفته می‌شود کمبود بربلندی[۳] وجود دارد.

با توجه اینکه در زمان بهره‌برداری، قطارها عملاً با سرعت‌های مختلفی، بیشتر و یا کمتر از سرعت تعادلی از قوس عبور می‌کنند، برای اینکه کمبود و یا اضافه بربلندی دشواری و یا خطری در بر نداشته باشد باید آن را محدود و مشخص نمود. در نظر داشته باشید که برای رسیدن به رابطه بربلندی تعادلی نیروی گریز از مرکز برابر با مؤلفه جانبی ناشی از جرم قطار قرار داده شد. حال برای قطارهایی با سرعتی بیشتر از سرعت تعادلی که نیروی گریز از مرکز آنها بیش از نیروی ناشی از جرم قطار است، شتابی به بیرون از قوس به مسافرین وارد می‌شود که برای به دست آوردن کمبود بربلندی مجاز، مقدار آن را باید برابر با مقدار شتاب مجاز جانبی قابل اعمال به مسافرین یعنی ۰/۶ متر بر مجذور ثانیه قرار داد.

از سوی دیگر برای محاسبه اضافه بربلندی باید حداقل سرعت قطار در قوس را در نظر گرفت. با توجه به اینکه حتی امکان توقف قطار نیز در قوس وجود دارد، حداقل سرعت قطار در قوس صفر فرض می‌شود. در این حالت نیروی گریز از مرکز صفر می‌شود و تنها نیروی وارد بر قطار، مؤلفه افقی وزن قطار است که نباید در حدی باشد که باعث واژگون شدن قطار

---

۱ Cant
۲ Cant excess
۳ Cant deficiency

شود. البته قبل از رسیدن به حد واژگونی قطار، کج شدن آن نباید از حدی بیشتر شود که موجب معادل شتابی باشد که باعث ناراحتی مسافر می‌گردد. با توجه به استاندارد راحتی سفر، بیشترین شتاب جانبی مسافر قطاری که در قوس ایستاده است، برابر با یک متر بر مجذور ثانیه است. اگر این عدد را مساوی مؤلفه جانبی شتاب ناشی از وزن قطار ایستاده در قوس قرار دهیم، به عدد ۱۵۳ میلیمتر برای بربلندی حداکثر می‌رسیم. در بسیاری از کشورها عدد ۱۵۰ میلیمتر برای حداکثر بربلندی استاندارد شده است. در راه‌آهن پرسرعت به خصوص وقتی خط، اختصاصی پرسرعت مسافری باشد چون قابلیت اطمینان بالا بوده و امکان توقف قطارها در قوس کمتر است و از طرفی هدف راحتی بیشتر مسافرین در سرعت‌های بالاتر می‌باشد، معمولاً بربلندی بیشتری اعمال می‌گردد. در اکثر موارد در راه‌آهن‌های پرسرعت مسافری اروپا بربلندی حداکثر برابر ۱۸۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. در خطوط راه‌آهن پرسرعت شین‌کان‌سن ژاپن نیز بربلندی حداکثر ۱۸۰ میلیمتر اعمال شده است. جالب آنکه نسخه اولیه استاندارد TSI حداکثر بربلندی را ۲۰۰ میلیمتر پیشنهاد داده است.

۳-۱-۲- *شیب طولی مسیر*

در راه‌آهن کلاسیک به خصوص راه‌آهن باری، محدودیت زیادی در شیب مسیر وجود دارد، ولی امکان کاهش شعاع قوس‌ها در شرایط خاص وجود دارد. اصولاً قطارهای پرسرعت دارای ویژگی مشترک نسبت بسیار بالای توان به وزن ناخالص می‌باشند. ویژگی مذکور این قابلیت را به قطار می‌دهد که فرازهای تند که خصوصاً دارای طول کمی هستند را به راحتی و با کاهش سرعت کمی (حدود ۲۰٪) طی نماید. در مسیرهای دارای نشیب و فرازهای پی در پی، کاهش انرژی جنبشی قطار در فراز، در نشیب بعد از آن تا حدودی جبران می‌شود. قابلیت در پیمودن فرازهای تند از امتیازات راه‌آهن پرسرعت محسوب می‌شود و گاهی در توجیه احداث آن در مناطق به خصوص کوهستانی بکار می‌رود و دلیل آن کاهش عملیات خاکی و تونل است که بخش عمده‌ای از هزینه احداث مسیر راه‌آهن را به خود اختصاص می‌دهد.

حداکثر شیب پروژه به کارایی ناوگان بستگی دارد. در فرانسه که یکی از مراجع اصلی راه‌آهن پرسرعت در دنیا است، در خاکریزها محدوده قدر مطلق مجاز شیب بین ۰ تا ۳۵ در هزار و در ترانشه‌ها بین ۰/۳ تا ۲۵ در هزار می‌باشد. برگرفته از استاندارد فرانسه، دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن پرسرعت ایران برای مسیرهای راه‌آهن پرسرعت که در آن قطارهای مسافری با کشش دیزلی بین ۱۲۰ تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کنند، شیب طولی ۱۲/۵ در هزار مجاز دانسته شده است. همچنین این دستورالعمل برای مسیرهای اختصاصی پرسرعت (ترافیک غیر مختلط) شیب طولی ۲۵ در هزار و با داشتن توجیه فنی و اقتصادی در محدوده خاکریزها، شیب طولی ۳۰ در هزار و در ترانشه نیز شیب طولی ۲۵ در هزار مجاز دانسته شده است. حداقل شیب ترانشه‌ها نیز ۰/۴ در هزار عنوان گردیده است.

۳-۱-۳- فاصله بین محور خطوط

تعیین فاصله بین محور خطوط بر مبنای عوامل زیر صورت می‌گیرد:

- قواره‌ی ساختمان و قواره‌ی بار
- فضای مورد نیاز برای عملیات مانور
- فضای مورد نیاز برای عملیات تعمیرات جزئی واگن‌ها
- فضای مورد نیاز برای عملیات نگهداری خط
- نحوه‌ی قرارگیری دکلهای شبکه بالاسری خطوط برقی
- تأثیر آیرودینامیکی دو قطار مجاور بر یکدیگر
- سرعت حرکت و رعایت فاصله‌های استاندارد بین دوراهه‌ها برای تأمین سرعت مورد نیاز

فاصله‌ی بین محور خطوط در ابتدا، برای خطوط مستقیم تعیین شده و در قوس‌ها متناسب با شعاع قوس افزایش داده می‌شود. در راه‌آهن پرسرعت فرانسه فاصله بین مرکز دو خط در حالتی که چیزی بین دو خط قرار نگیرد بر حسب سرعت در جدول ۳-۱ زیر نشان داده شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد به علت تأثیر آیرودینامیکی عبور دو قطار از مقابل یکدیگر، فاصله محور دو خط مجاور با افزایش سرعت بهره‌برداری افزایش می‌یابد. همین موضوع باعث

افزایش عرض سابگرید و خاکریز می‌گردد و در نتیجه حجم عملیات خاکی و تا حدودی ساختمانی را افزایش می‌دهد. این مسئله یکی دیگر از دلایل افزایش هزینه احداث راه‌آهن پرسرعت نسبت به راه‌آهن کلاسیک است.

جدول ۳-۱: فاصله بین مرکز خطوط موازی راه‌آهن پرسرعت در فرانسه

سرعت (کیلومتر در ساعت)	۲۳۰	۲۷۰	۳۰۰
فاصله بین مرکز دو خط (متر)	۴/۰۰	۴/۲۰	۴/۵۰

فاصله بین دو خط اصلی در داخل ایستگاه، برابر با فاصله دو خط اصلی در بلاک می‌باشد. ولی با توجه به اینکه بین خطوط اصلی و سایر خطوط ایستگاه اجسامی مانند سیگنال‌های علائم الکتریکی و یا پایه‌های خط برقی قرار می‌گیرند و یا مسیر حرکت برای مأمورین نگهداری تعبیه می‌شود، فاصله به ۷ متر افزایش می‌یابد و حداقل مجاز این فاصله ۶/۵ متر است. در صورتی که این موارد تؤام باشند، مثلاً مسیر حرکت پرسنل نگهداری دور پایه‌های خط برقی حرکت نماید، این فاصله باز هم افزایش داده می‌شود.

۳-۲- زیرسازی

اساس زیرسازی راه‌آهن پرسرعت با زیرسازی راه‌آهن کلاسیک یکسان است، لیکن سرعت بالاتر از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت با چرخ‌های فلزی روی ریل‌های آهنی مسائلی را پدید می‌آورد که لازم است تمهیدات خاص آن در زیرسازی لحاظ گردد. در راه‌آهن کلاسیک به علت سرعت پائین‌تر، مسائل بیشتر به صورت استاتیکی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد، ولی در راه‌آهن پرسرعت به علت اینکه قطار با وزن چند صد تن با سرعت بالا و توسط چرخ‌های فلزی روی ریل آهنی حرکت می‌کند، مسائل دینامیکی قابل صرف نظر نیستند و به جز اندرکنش دینامیکی ریل، تراورس، بالاست و زیربالاست، موضوع اندرکنش دینامیکی روسازی و زیرسازی خطوط آهن و انتشار امواج در بستر روسازی نیز مطرح می‌گردد. در مورد

زیرسازی نیز، فلسفه کلی مشابهت اجزای راه‌آهن پرسرعت با اجزای راه‌آهن کلاسیک اما با کیفیت بالاتر و رواداریهای کمتر صادق است.

۳-۲-۱- خاکریز

در راه‌آهن پرسرعت که نسبت به راه‌آهن کلاسیک هم دارای اثرات دینامیکی شدیدتر روی بستر است و هم حساسیت بیشتری روی نشست زیرسازی دارد، خاکریز باید از نظر برآوردن شرایط زیر مطالعه و طراحی گردد:

- محدود بودن نشست و پایدار بودن زمین بستر در زمان احداث، بهره‌برداری و شرایط نامتعارف مانند وقوع زلزله
- محدود بودن نشست خاکریز و تثبیت بدنه آن در کوتاه مدت قبل از بهره‌برداری و در زمان بهره‌برداری تحت شرایط آب و هوایی منطقه
- کنترل نشست کلی و نسبی مجموعه خاکریز و بستر زمین در کوتاه مدت و دراز مدت. یکنواختی نشست (نشست نسبی) در طول مسیر برای راه‌آهن پرسرعت از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، چون نشستهای نسبی در طول مسیر باعث اعمال شتاب‌های ناگهانی به قطار و برهم زدن آسایش مسافرین می‌گردد و ممکن است باعث خروج از خط قطار شود.
- کنترل تغییرات ناشی از بار دینامیکی عبور متناوب قطارهای پرسرعت

برای بررسی‌های فوق لازم است نمونه‌برداری و آزمایش در فواصل نزدیک به هم (در حد چندین متر) صورت گیرد و متناسب با شرایط از خاک مناسب جهت خاکریزی استفاده شود تا یکنواختی رفتار زیرسازی در طول مسیر تقریباً به صورت یکنواخت رخ دهد. به عبارت دیگر سختی بستر مسیر راه‌آهن پرسرعت و نشست‌پذیری آن در طول مسیر تأمین گردد.

نشست خاکریز

نشست در خاکریز راه‌آهن به خصوص راه‌آهن پرسرعت پدیده بسیار مهمی است که در مراحل ساخت آن باید مورد توجه و بررسی دقیق قرار گیرد. نشست بسته به نوع خاک ممکن

است به صورت ناگهانی، بلندمدت و یا ثانویه رخ دهد. با توجه به انواع مختلف خاکهای مورد استفاده در زیرسازی و موجود در بستر، نشستها انواع مختلفی دارد و حتی ممکن است در شرایطی پدیده معکوس به صورت تورم و برآمدگی نیز ظاهر گردد. بعضی از خاکهای ریزدانه با چسبندگی زیاد، با جذب و یا از دست دادن آب منقبض می‌شوند و باعث برآمدگی بستر می‌گردند. نکته مهم آن است که کلیه نشستهای آنی و تدریجی مسیر باید تا اتمام زمان ساخت روسازی و یا حداکثر تا شروع زمان بهره‌برداری رخ داده باشند. در راه‌آهن پرسرعت با توجه به حساسیت زیاد، اتمام نشستهای بلند مدت قبل از بهره‌برداری خط (ترجیحاً تا زمان شروع اجرای روسازی) بسیار حائز اهمیت است. در شرایطی که بررسیها نشان دهد این مهم در موعد مقرر به اتمام نمی‌رسد، نشست نهایی باید با روشهای تثبیت خاک یا عملیات تسریع کننده، محقق شود. در هر حال به صفر رساندن نشست مسیر، میسر نیست و در زمان بهره‌برداری نشست پسماندی رخ خواهد داد که مقدار آن مثلاً در راه‌آهن پرسرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت برای روسازی بالاستی و بدون بالاست به ترتیب برابر با ۱۵ و ۳ سانتیمتر محدود می‌گردد. مقادیر نشست مجاز با افزایش سرعت کاهش می‌یابد.

همچنین در طول زمان بهره‌برداری نباید هیچگونه نشست و تورم آنی رخ دهد. با توجه به اینکه شوکهای ناشی از عبور قطارهای پرسرعت زیاد است و در صورت مستعد بودن زیرسازی امکان نشست ناگهانی وجود دارد، در بررسی و اجرای مسیر راه‌آهن پرسرعت باید دقت بیشتری صورت گیرد.

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، ترافیک راه‌آهن پرسرعت به نشست نسبی مسیر بسیار حساس است. مقدار مجاز نشست نسبی در راه‌آهن پرسرعت با افزایش سرعت کاهش می‌یابد. برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت، حد نشست نسبی برای روسازی بالاستی و بدون بالاست به ترتیب به ۱۰ و ۳ میلیمتر در طول ۱۰ متر محدود می‌گردد.

۳-۲-۲- *ترانشه*

اگر بستر ترانشه ضعیف باشد، تقویت آن با روشهای بهسازی و تحکیم مورد نیاز می‌باشد. در صورتی که بستر ترانشه از نوع سنگی باشد، استحکام و ثبات بستر بیشتر است. در این حالت صلبیت بستر و عدم نشست آن باعث عدم نشست نسبی یکنواخت از منطقه خاکریزی شده قبل از ترانشه به منطقه سنگی ترانشه می‌گردد. همانطور که قبلاً گفته شد، عدم نشست نسبی یکنواختی که در این وضعیت پیش می‌آید نقطه ضعفی در راه‌آهن پرسرعت محسوب می‌گردد. بنابر این طراحی خاکریز منتهی شونده به ترانشه سنگی باید به گونه‌ای باشد که صلبیت بستر به طور تدریجی از منطقه خاکریز به منطقه ترانشه تغییر نماید.

نکته مهم دیگر در خصوص ترانشه‌ها بحث پایداری دیواره آنها است. دیواره نامطمئن ترانشه ممکن است باعث ایجاد خطرات جدی برای قطارهایی شود که از آن عبور می‌نمایند. در مورد ترانشه‌های خاکی قواعدی که برای پایداری بدنه خاکریزها حاکم هستند، صدق می‌نماید. چون ارتفاع دیواره ترانشه بعضاً بسیار بلند است، برای اطمینان بیشتر بهتر است در این گونه موارد، شیب به صورت پله پله اجرا شود. به این ترتیب ترانشه‌های بلند به چند ترانشه کوچک‌تر و یک ترانشه بزرگ که شیب آن کم است، تقسیم می‌شود. روشهای پیشرفته دیگری نیز برای پایداری و مونیتورینگ ترانشه‌ها وجود دارند که بسته به مورد می‌توان از آنها استفاده کرد. با توجه به اینکه قطارهای پرسرعت با سرعت بسیار زیادی از ترانشه عبور می‌کنند، از لحاظ آیرودینامیکی، ایجاد فشار مثبت و منفی در ابتدا و انتهای قطار ممکن است باعث ریزش و فرسایش سطح ترانشه شود. برای پیشگیری از این مشکل باید از روشهای حفاظتی مناسب نظیر توری و درخت کاری و چمن‌کاری استفاده نمود.

۳-۳- ابنیه فنی مسیر

در طول خط‌آهن برای احداث مسیر و همچنین جمع‌آوری و تخلیه آب‌های سطحی نیاز به ساخت سازه‌های مختلف فنی پیش می‌آید. این ابنیه شامل تونل‌ها، پل‌ها، آبروها، کانال‌ها، دیوارهای حائل، زهکش‌ها و غیره هستند. در راه‌آهن پرسرعت نیز همانند راه‌آهن کلاسیک از

کلیه این ابنیه در احداث مسیر استفاده می‌شود، ولی به علت حساسیت بیشتر، در ساخت ابنیه فنی باید ملاحظات و دقت بیشتری صورت گیرد. در این بخش در مورد مشخصات تونل‌ها و پل‌ها در راه‌آهن پرسرعت به دلیل اهمیت بیشترشان توضیح داده خواهد شد.

۳-۳-۱- تونل

در صورت استفاده از روسازی صلب بدون بالاست در داخل تونل باید تغییر یکنواخت نشست نسبی رعایت شود. لذا صلبیت خاکریز منتهی به تونل از فاصله مشخص تا منتهی شدن به مدخل تونل باید به طور یکنواخت افزایش یابد.

ورود قطارهای پرسرعت با سرعت زیاد به داخل تونل، تغییر فشار زیادی ایجاد می‌کند که بخشی از آن وارد قطار شده و روی سلامت و راحتی مسافرین اثر می‌گذارد.

طبق استاندارد TSI اروپا تونل‌های راه‌آهن پرسرعت باید طوری طراحی شده باشد که حداکثر تغییرات فشار در طول قطار در حالی که قطار در حال عبور با حداکثر سرعت از داخل تونل است، از ۱۰ کیلوپاسکال تجاوز ننماید. این محدودیت با فرض کامل نبودن سیستم آب‌بندی قطار برای عدم انتقال تغییرات فشار به داخل قطار در نظر گرفته شده است. سطح مقطع تونل یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار برای تغییرات فشار هنگام عبور قطار از تونل است.

از طرف دیگر در خطوطی که بهره‌برداری مختلط قطارهای پرسرعت و قطارهای باری صورت می‌گیرد، به دو دلیل مسائل آیرودینامیک و ایمنی باید یا از حضور همزمان دو قطار باری و پرسرعت به طور همزمان در داخل تونل جلوگیری شود و یا سرعت قطار پرسرعت در داخل تونل کاهش داده شود.

در طراحی تونل‌های راه‌آهن پرسرعت، حفاظت پرسنل در داخل تونل و همچنین مسائل ایمنی مسافران در داخل تونل و خروج اضطراری آنها در مواقع خرابی قطار نکته مهم دیگری است که باید مد نظر باشد.

۳-۳-۲- پل

پل سازه‌ای است که بر روی راه، راه‌آهن، آبراهه، دره، مسیل، خط لوله و انتقال احداث می‌شود تا امکان عبور مسیر راه‌آهن را از روی آنها فراهم سازد. پل‌های با دهانه کوچک به عنوان آبرو شناخته می‌شوند. فضای روی پل‌های راه‌آهن باید به اندازه‌ای باشد که ضمن رعایت گاباری، فضای لازم جهت کار کردن ماشین‌آلات مکانیزه نیز فراهم باشد. در صورتی که پل در قوس قرار داشته باشد، اضافه عرض پل متناسب با قوس لحاظ می‌گردد. فاصله بین محور خطوط روی پل به اندازه خارج از پل در نظر گرفته می‌شود. در راه‌آهن پرسرعت به خاطر حساسیت بیشتر مسیر و محدودیت‌های بیشتر (مانند مجاز نبودن تقاطع همسطح)، از پل‌ها بیشتر استفاده می‌گردد. به عنوان مثال در عبور از مناطق شهری و نیز دره‌ها و زمینهایی که از بستر مناسبی برای زیرسازی برخوردار نیستند، پل مجرایی[۱] احداث می‌گردد.

در مناطقی که راه‌آهن پرسرعت از روی مناطق مسکونی عبور می‌کند لازم است در لبه پل حصار ضد نویز نصب گردد.

وزش باد عمود بر جهت حرکت قطار به خصوص وقتی سرعت حرکت قطار و شدت باد زیاد باشد، ممکن است خطرات زیادی در بر داشته باشد. سوانح چندی ناشی از وزش باد عمود بر قطار گزارش شده است. در صورتی که قطار روی پل قرار داشته باشد، وزش باد خطرناک‌تر است. لذا در نواحی بادخیز به خصوص روی پل‌ها از حائل‌های مناسب جهت حفاظت از وزش باد استفاده می‌گردد.

قرار گرفتن پایه پل‌ها در نزدیک سوزن‌ها منع شده است. همچنین توصیه شده است که ستونهای نزدیک به خطوط پرسرعت در ایستگاه‌های زیرزمینی به خاطر امکان رخداد خروج از خط به طور مناسب محافظت گردد. در طراحی پل‌های هوایی طویل به علت مسائل تعمیر و نگهداری در حد امکان از ادوات انبساط[۲] کمتر استفاده می‌شود.

---

۱ Viaduct
۲ Expansion Devices

۳-۴- روسازی

روسازی به بخشی از خط آهن گفته می‌شود که بر روی زیرسازی احداث می‌شود. روسازی از اجزا و ادوات زیر تشکیل می‌گردد:

- ریل
- پابند و اتصالات
- تراورس
- بالاست

همانگونه که در بخش زیرسازی اشاره گردید، اثرات دینامیک ترافیک قطارهای پرسرعت که مستقیماً به روسازی منتقل می‌شود بسیار شدیدتر از قطارهای کلاسیک است. لذا رفتار خط ناشی از بارهای دینامیکی از حیث پایداری مکانیکی و هندسی اجزای آن باید دقیقاً بررسی قرار گیرد و با در نظر گرفتن اندرکنش چرخ و ریل به طور کامل تحلیل شود.

۳-۴-۱- ریل

یک توافق ضمنی بین بسیاری از راه‌آهن‌های پرسرعت دنیا وجود دارد که برای سرعت‌های مختلف نیازی به استفاده از ریل‌های متفاوت نیست. از این رو هم برای سرعت ۳۰۰ و هم برای سرعت ۳۵۰ کیلومتر در ساعت ریل نوع ۶۰E۱ یا همان UIC۶۰ توصیه می‌شود. توافق مشترکی نیز در مقاومت مکانیکی ریل وجود دارد و ریل با درجه ۹۰۰A برای سرعت‌های مختلف استفاده می‌شود. با افزایش سرعت، اگر محموله‌های دریافتی از نوع بهترین تولیدات کارخانه باشند، کیفیت ویژه‌ای برای ریل خواسته نمی‌شود. لیکن در راه‌آهن پرسرعت نسبت به راه‌آهن کلاسیک، معیارهای پذیرش محمولات ریل سخت‌گیرانه‌تر است و در مونتاژ نیز، در مورد جوشکاری و عیوب سطحی حساسیت بیشتری وجود دارد. لذا در زمان تحویل‌گیری دقت می‌شود هیچگونه عیب ظاهری در ریل وجود نداشته باشد و عیوب داخلی نیز با روشهای غیرمخرب مانند اولتراسونیک بررسی می‌شود. انحراف قابل پذیرش سطحی ریل در هر متر طول حدود ۰/۲ میلیمتر می‌باشد.

گرچه در راه‌آهن پرسرعت بهتر است از شاخه‌های ریل طویل‌تری استفاده شود، ولی برخی از راه‌آهن‌های پرسرعت به این نتیجه رسیده‌اند که طول ریل‌ها نباید نزدیک به ۳۶ متر باشد چون در این طول با توجه به سرعت عبور قطار، طول موج و فرکانس بار دینامیک وارد بر ریل با توجه به ناپیوستگی موجود در محل جوش درز ریل‌ها باعث تشدید در ریل و آثار سوء ناشی از آن می‌گردد.

معمولاً در راه‌آهن شیب عرضی ریل[۱] وجود دارد، به طوری که ریل به طور مایل نسبت به افق به سمت داخل خط نصب می‌شود. در راه‌آهن‌های پرسرعت نیز این اصل رعایت می‌شود و در بیشتر موارد شیب عرضی ریل ۱:۲۰ در نظر گرفته می‌شود. در راه‌آهن پرسرعت آلمان شیب عرضی ریل استثناً ۱:۴۰ اجرا شده است. استاندارد STI شیب عرضی ریل را برای سرعت‌های بالای ۲۸۰ کیلومتر در ساعت ۱:۲۰ پیشنهاد نموده است.

ریل جوش پیوسته

در ساخت راه‌آهن پرسرعت همواره از ریل جوش پیوسته استفاده می‌گردد و وجود درز ریل تنها در محل سوزن‌ها آن هم به اندازه یک عدم پیوستگی ممان اینرسی، مجاز شمرده می‌شود.

جوشکاری ریل‌های فولادی معمولاً با یکی از دو روش جوش الکتریکی یا جوش ترمیت انجام می‌شود. در راه‌آهن پرسرعت بهتر است جوشها با استفاده از روش الکتریکی انجام شود و انجام جوش ترمیت تنها در موارد خاص و با نظارت دقیق قابل انجام است.

۳-۴-۲- دوراهه (سوزن)

در راه‌آهن با توجه به وجود خطوط مستقیم و موازی برای انتقال قطار از یک خط به خط دیگر از وسیله نسبتاً پیچیده‌ای به نام دوراهه یا انشعاب استفاده می‌شود.

---

[۱] Rail Inclination

دوراهه وسیله بسیار حساسی است و طراحی، ساخت، نصب و نگهداری و تعمیر آن نیاز بـه مراقبت ویژه دارد. در غیر این صورت این وسیله می‌تواند در بهره‌برداری راه‌آهن بسیار خطرساز شود و باعث بروز سوانح متعدد گردد. بنابر این دوراهه‌ها فقط باید در محلهایی نصب گردند که نیازهای بهره‌برداری الزام می‌نماید. دو راهی می‌تواند چپگرد و یا راستگرد باشد.

در خطوط راه‌آهن کلاسیک در منطقه تکه مرکزی در روی ریل داخلی شکافی وجود دارد و لازم است از حرکت نامنظم و کنترل نشده چرخ دیگر جلوگیری شود. لذا به منظور جلوگیری از حرکت محور قطار به سمت داخل، در محل تکه مرکزی از ریل هادی استفاده می شود. البته در سرعت‌های بالا، ریل هادی نیز نمی‌تواند تضمین کننده عـدم ایجـاد خطـر یـا اغتـشاش در حرکت شود. بنابر این لازم است شکاف موجود در محل تکه مرکـزی حـذف شـود. بـه ایـن منظور، تکه مرکزی نیز همانند تیغه سوزن به صورت متحرک ساخته می‌شود و توسـط ماشـین سوزن‌های مخصوص با توجه به مسیری که سوزن به آن تنظـیم شـده اسـت جابجـا و شـکاف موجود در مسیر حرکت قطار بسته می‌شود. از این رو در خطوط پرسرعت نیـازی بـه در نظـر گرفتن ریل هادی نمی‌باشد (شکل ۳-۱).

شکل ۳-۱: قلب سوزن متحرک در خطوط راه‌آهن پرسرعت

دوراهه‌ها در راه‌آهن پرسرعت با فراهم نمودن امکان جابجایی سریع از یک خط به خط دیگر و یا به خطوط جانبی به خصوص در رژیم بهره‌برداری مختلط (سبقت گرفتن قطار اکسپرس از قطار متوقف در ایستگاه، سبقت گرفتن قطار مسافری از باری، سبقت گرفتن از قطار خراب شده و متوقف در بخشی از خط و نظایر آن)، در افزایش کارایی و ظرفیت بهره‌برداری نقش اصلی را دارند. با توجه به اینکه این جابجایی ممکن است چندین مرتبه در طول سفر رخ دهد، برای حفظ سرعت لازم است سرعت عبور در سر دوراهه، در وضعیت مستقیم برابر با سرعت خط اصلی و در وضعیت معکوس، نه همان سرعت خط اصلی ولی حتی‌المقدور زیاد باشد. در راه‌آهن پرسرعت با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت، سرعت هدایت قطار روی سوزن در مسیر مستقیم ۳۰۰ کیلومتر در ساعت و در مسیر جانبی (معکوس) بسته به ظرفیت تعریف شده از ۱۰۰ تا ۱۶۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود. محدودیت سرعت در وضعیت معکوس دوراهه به علت عبور قطار از مسیر قوس‌دار دوراهه است. با توجه به اینکه امکان اعمال بربلندی (دور) برای دوراهه وجود ندارد، این محدودیت سرعت از قوس مشابه در طول خط شدیدتر می‌شود. لذا برای تأمین سرعت مورد نیاز لازم است شعاع قوس دوراهه و در نتیجه طول آن افزایش یابد. به عنوان مثال برای عبور قطار با سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت در وضعیت معکوس، شعاع سوزن ۳۰۰۰ متر و طول آن حدود ۱۵۰ متر با تانژانت زاویه ۱:۴۶ خواهد بود. در نتیجه در مورد سوزن‌های خطوط اصلی راه‌آهن پرسرعت طول تیغه‌های جابجا شونده سوزن آنقدر بلند است که دیگر جابجایی آن با یک ماشین سوزن میسر نیست و به این منظور از چندین ماشین سوزن استفاده می‌شود. در شکل ۳-۲ نمونه‌ای از دوراهه در راه‌آهن پرسرعت تایوان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به علت بلند بودن بخش تیغه متحرک، از پنج ماشین سوزن برای جابجایی تیغه سوزن راه‌آهن پرسرعت استفاده شده است. با توجه به اینکه مقدار جابجایی تیغه سوزن در نقاط مختلف در طول آن متفاوت است، میزان جابجایی میله کششی آنها باید با دقت تنظیم و کنترل شود. برای اعمال نیرو به چند نقطه از تیغه سوزن راه‌آهن پرسرعت با میزان جابجایی متفاوت یکی از گزینه‌ها، استفاده از ماشین سوزن

الکتروهیدرولیک است که با یک موتور، دارای چندین بازوی هیدرولیکی توزیع شده در طول تیغه سوزن دوراهه است. در این روش کنترل نیروها و تنظیم مقدار جابجایی‌ها از روش الکترومکانیکی ساده‌تر است. در راه‌آهن ژاپن از ماشین سوزن الکترومکانیکی و توزیع نیرو به صورت مکانیکی نیز استفاده شده است.

شکل ۳-۲: نمونه دوراهه در راه‌آهن پرسرعت تایوان

برای اطمینان از چسبیده بودن تیغه سوزن به ریلی اصلی که در ایمنی حرکت بسیار مهم است از حسگرهای مکانیکی استفاده می‌گردد.

از مطالب گفته شده این نتیجه حاصل می‌گردد که دوراهه‌های خطوط اصلی راه‌آهن پرسرعت سازه‌های بزرگ و پیچیده‌ای هستند و به نگهداری مضاعفی نسبت به دوراهه‌های راه‌آهن کلاسیک نیاز دارند. در راه‌آهن کلاسیک ریل‌های سوزن معمولاً به ریل‌های مسیر جوش داده نمی‌شود و بین آنها درز وجود دارد. اما در راه‌آهن پرسرعت ریل‌های سوزن به ریل‌های اصلی جوش داده می‌شود. تفاوت دیگر دوراهه در راه‌آهن پرسرعت و راه‌آهن کلاسیک در شیب عرضی ریل است. همانطور که قبلاً گفته شد در خطوط اصلی راه‌آهن، ریل با شیب عرضی ۱ به ۲۰ یا ۱ به ۴۰ به سمت داخل مسیر نصب می‌شود. در راه‌آهن کلاسیک

رعایت این شیب عرضی در دوراهه‌ها الزامی نیست، ولی در دوراهه‌های راه‌آهن پرسرعت، شیب عرضی باید پیاده شود. نکته دیگر اینکه فاصله دو سوزن در خطوط اصلی پرسرعت حداقل برابر با V/۲ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴-۳- *پابندها، بالشتک‌ها و سختی خط*

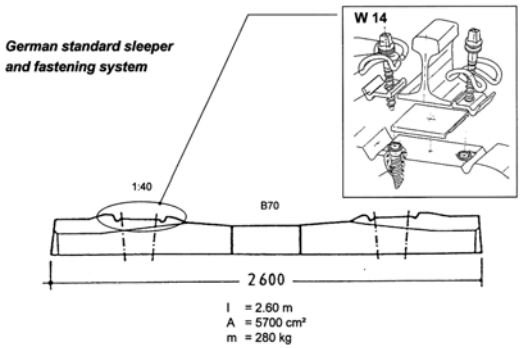
در خطوط راه‌آهن پرسرعت از اتصالات ارتجاعی استفاده می‌شود.

سه نوع پابند اصلی مورد استفاده در سه کشور اصلی صاحب فناوری راه‌آهن پرسرعت یعنی آلمان، فرانسه و ژاپن به ترتیب عبارتند از وسلو، نابلا و کُوا در شکل ۳-۳، شکل ۳-۴ نشان داده شده‌اند. در راه‌آهن پرسرعت استفاده از پابند پاندرول نیز مرسوم است.

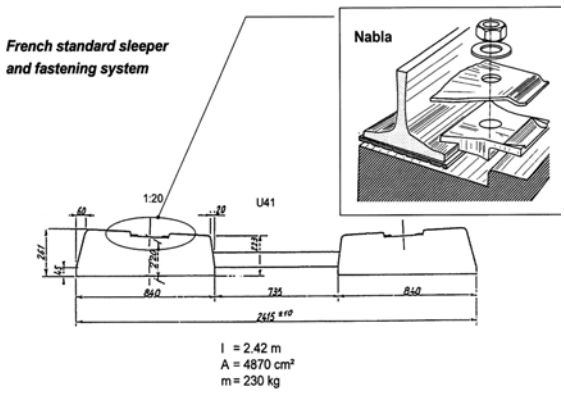
به طور کلی برای اینکه اتصالات وظیفه خود را مؤثرتر انجام دهند، علاوه بر پابنده‌ایی با قابلیت ارتجاعی که در بالا انواع مختلف آن معرفی گردید، در موقعیت‌های مناسب از بالشتک‌های[۱] ارتجاعی نیز استفاده می‌گردد. بالشتک‌ها در راه‌آهن نقش بسیار مهمی دارند و به خصوص در راه‌آهن پرسرعت علاوه بر جذب بخشی از انرژی دینامیکی و جلوگیری از انتقال آن به خط، نویز ناشی حرکت که در سرعت‌های بالا از مشکلات اصلی است را تخفیف می‌دهند. استفاده از بالشتک‌ها به خصوص روی پل‌ها، تونل‌ها و خطوط با دال و کلاً خطوطی با بستر صلب حیاتی است. بالشتک‌ها از لاستیک (طبیعی یا مصنوعی)، پلاستیک، چوب‌پنبه با الیاف لاستیکی، پلی اتیلن و سایر مواد ارتجاعی ساخته می‌شوند. با توجه به اینکه بالشتک‌ها در اثر بار بین ۰/۵ تا ۱ میلیمتر فشرده می‌شوند و در نتیجه تمایل دارند به طور جانبی اندکی باز شوند، معمولاً دو سطح آن را شیاردار می‌سازند. همانگونه که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، بالشتک‌های خط می‌توانند زیر ریل (و/یا زیرسری[۲] ریل)، زیر تراورس و زیر کل روسازی قرار گیرند.

---

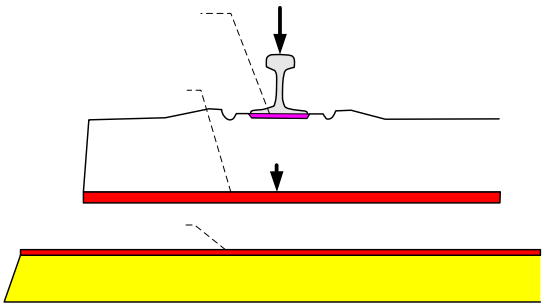
۱ Pad
۲ Baseplate



شکل ۳-۳: شکل و شماتیک نصب پابند وسلو و تراورس مونوبلوک (استاندارد راه‌آهن پرسرعت آلمان)



شکل ۳-٤: شکل و شماتیک نصب پابند نابلا و تراورس دی بلوک (استاندارد راه‌آهن پرسرعت فرانسه)



شکل ۳-۵: موقعیتهای مختلف قرار گرفتن بالشتکها ارتجاعی

اتصالات به طور عام و پابندها و بالشتک‌ها به طور خاص باید دارای عمری طولانی برابر با عمر بهره‌برداری از ریل بوده و نیاز به تعمیر و نگهداری نداشته باشد.

طبق استاندارد STI در راه‌آهن پرسرعت با خطوط بالاستی، سفتی بالشتک‌های زیر ریل نباید از ۶۰۰ MN/m بیشتر شود. همچنین صلبیت دینامیک سیستم‌های خط با دال در راه‌آهن پرسرعت نباید از ۱۵۰MN/m تجاوز نماید. بررسی داده‌های جدول نشان می‌دهد، تفاوت‌های مهمی بین مشخصات بالشتک‌های مورد استفاده، هم از نظر ضخامت و هم از نظر صلبیت وجود دارد.

۳-۴-۴- *تراورس*

انتقال نیرو بین ریل و بالاست از طریق قطعاتی عمود بر ریل به نام تراورس صورت می‌گیرد.

تاکنون از چوب، فولاد و بتن در ساخت تراورس استفاده شده است. تراورس چوبی دارای قدمت استفاده بیشتری است و بیشترین تعداد تراورس‌های راه‌آهن را در دنیا تشکیل می‌دهد. با توجه به مشخصات خوب تراورس چوبی هنوز هم مورد استفاده است. تنها مانع بازدارنده در استفاده از تراورس چوبی کمبود چوب مناسب برای تهیه آن است. با پیشرفت علم استفاده از تراورس‌های کامپوزیتی و FFU نیز مورد توجه قرار گرفته است. عامل تعیین کننده در انتخاب نوع تراورس در راه‌آهن کلاسیک ارزیابی فنی و اقتصادی است. پیشرفت‌های حاصل در علم بتن در دهه ۵۰ منجر به تولید تراورس بتنی گردید. تراورس‌های بتنی به دو دسته تراورس‌های بتن مسلح دو قطعه‌ای[۱] و تراورس‌های پیش‌تنیده تک‌قطعه‌ای[۲] تقسیم می‌شوند. تراورس‌های بتنی با وجود عیوب تمایل به خرد شدن و مقاومت کم در برابر خستگی، دارای مزیت وزن زیاد هستند که موجب پایداری بیشتر آنها در برابر نیروهای وارد بر خط می‌شود. مزیت وزن زیاد باعث شده است که تراورس‌های بتنی تنها گزینه مورد استفاده در راه‌آهن پرسرعت باشند.

---

۱ Two Block
۲ Mono Block

تراورس‌های تک‌قطعه‌ای با توجه به وزن و سطح مقطع بیشتر برای استفاده از راه‌آهن پرسرعت مناسب‌تر بوده و توصیه می‌شوند. در اکثر کشورهای دارای راه‌آهن پرسرعت از تراورس‌های تک‌قطعه‌ای استفاده شده است اما راه‌آهن پرسرعت فرانسه هر دو نوع تراورس بتنی به کار رفته است.

تفاوت وزن تراورس‌ها در راه‌آهن‌های مختلف کاملاً به چشم می‌خورد. ولی هیچیک از کشورها به جز اسپانیا با فرض افزایش سرعت از ۳۰۰ به ۳۵۰ کیلومتر در ساعت، افزایشی در وزن تراورس قائل نیستند. ارتفاع تراورس در اسپانیا (۲۴۲ میلیمتر) از سایر کشورها بیشتر است. بدیهی است سطح مقطع تراورس یک فاکتور اساسی برای توزیع نیروهای عمودی منتقل شده به بالاست می‌باشد، لیکن رابطه دقیق آن مشخص نمی‌باشد.

راه‌آهن آلمان در حال بررسی استفاده از تراورس‌هایی با طول بیشتر از حد متعارف (۲/۸ متر) می‌باشد.

۳-۴-۵- *بالاست*

بالاست لایه‌ای از سنگ شکسته با مشخصات خاص است که تراورس‌ها روی آن قرار می‌گیرند. بعضاً زیرِ لایه بالاست، لایه‌ای به نام زیر بالاست قرار می گیرد.

در راه‌آهن پرسرعت حساسیت زیادی به وجود گرد و خاک و ذرات ریز در بالاست وجود دارد، لذا بالاست قبل از استفاده شسته می‌شود و یا حتی در مواردی که لازم باشد، دو مرتبه شستسو انجام می‌گیرد. قطر سنگهای بالاست در خطوط پرسرعت از ۲۲ تا ۶۳ سانتیمتر انتخاب می‌شود.

با فرض برابر بودن سایر شرایط می‌توان نتیجه گرفت بالاست با کیفیت خوب که در حال حاضر در راه‌آهن‌های پرسرعت موجود استفاده می‌شود، بدون مشکل برای راه‌آهن پرسرعت تا ۳۵۰ کیلومتر در ساعت قابل استفاده است. به عبارتی مشخصات مورد نیاز بالاست در سرعت‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلومتر در ساعت تفاوتی نخواهد داشت. اما مشکل خاصیت سیالی پیدا کردن بالاست در سرعت‌های بالا و اینکه نیاز به لایه ضد ارتعاش خواهد بود یا خیر، موضوع

قابل مطالعه‌ای به شمار می‌رود. به طور کلی استفاده از لایه‌های ضد ارتعاش در راه‌آهن پرسرعت عمومیت چندانی ندارد، اما در راه‌آهن پرسرعت فرانسه و آلمان در موارد مشخصی در تونل‌ها و روی پل‌ها به کار گرفته شده‌اند ($۰/۱۰ N/mm^۲$، ضخامت ۱ سانتیمتر).

در سرعت‌های بالا در مورد بالاست موارد زیر نیز باید در نظر گرفته شوند:

- ایجاد سائیدگی یا خراش روی ریل ناشی از بالاست و یا سایر ذرات
- پرتاب قطعات بالاست: ایجاد خلا ناشی از حرکت سریع قطارها (بیش از ۳۰۰ کیلومتر در ساعت) ممکن است باعث پرتاب قطعات بالاست شود. به این منظور در برخی از پل‌ها برای جلوگیری از پرتاب بالاست بر روی جاده لازم است توری نصب شود. همچنین در نواحی برفگیر، در اثر جدا شدن توده‌های برف چسبیده به بخش زیرین قطار در سرعت‌های بالا، سنگ بالاست پرتاب می‌گردد که ممکن است باعث آسیب رساندن به ریل یا قطار شود. در نواحی شمالی ژاپن برای مقابله با این مشکل، سطح بالاست با توری پوشانده شده است.

۳-۴-۶- خطوط اسلب

خط آهن بیشتر روی بالاست قرار دارد که تکیه‌گاه انعطاف پذیری است. به خط با بستر بالاستی، «خط بالاستی[۱]» گفته می‌شود. در مقابل، «خط با دال[۲]» قرار دارد که خط آهن بر روی یک دال بتنی قرار می‌گیرد. خط با دال در راه‌آهن پرسرعت آلمان و ژاپن بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. مزایای خط با دال نسبت به خط بالاستی، نیاز کمتر به تعمیر و نگهداری، سطح مقطع کمتر روسازی، مقاومت جانبی بیشتر و طول عمر زیاد و معایب آن صلبیت زیاد، هزینه بالای احداث و دشوار بودن تعمیر و نگهداری در صورت زیرسازی نامناسب است.

دو نوع خط با دال وجود دارد:

- ریل مستقیم بر روی دال بتنی قرار می‌گیرد.

---

۱ Ballasted Track
۲ Slab Track

- ریل روی تراورس و تراورس روی دال قرار می‌گیرد. در این حالت امکان تعویض تراورس‌ها در صورت خرابی وجود دارد.

بهتر است دال از بتن پیش تنیده تشکیل شود تا از ترک خوردگی جلوگیری شده و رفتار مکانیکی و توزیع بهتر نیروها را فراهم آورد. تنظیم قائم یک خط با دال و غلبه بر مشکل نشستهای بعد از ساخت که در راه‌آهن پرسرعت بسیار اهمیت دارد، در خطوط با دال بسیار دشوار و پر هزینه است. بنابر این بهتر است از این روش در محلهایی استفاده شود که بستری با کیفیت خوب دارند. از طرفی بتن مسلح به واسطه وجود شبکه میلگرد در داخل آن ممکن است شبکه رادیویی کنار خط را تحت تأثیر قرار دهد و خود نیز تحت تأثیر شبکه برقی قرار گرفته و ایجاد جریان سرگردان ناشی از القائات شبکه بالاسری برق، در بتن خوردگی ایجاد نماید.

خط با دال در تونل‌ها و پل‌های قوسی مورد توجه است، زیرا باعث کم شدن سطح مقطع روسازی می‌گردد و می‌توان تونلی با سطح مقطع کمتر داشت که این مسئله هزینه‌های ساخت تونل را به اندازه‌ای کاهش می‌دهد که می‌تواند اختلاف هزینه ناشی از خط با دال را نسبت به خط بالاستی جبران نماید. به علاوه کم بودن نیاز به تعمیر و نگهداری (پارامترهای هندسی خط دیرتر از میزان خارج می‌شود) به خصوص در تونل‌ها یک امتیاز بارز محسوب می‌شود. تجربه آلمانی‌ها نشان می‌دهد که هزینه احداث خطوط با دال حدود ۵۰٪ تا ۷۵٪ از خطوط بالاستی بیشتر است. برآورد اسپانیایی‌ها هزینه احداث و طول عمر خطوط با دال (۶۰ سال) را دو برابر و هزینه تعمیر و نگهداری آنها را نصف خطوط بالاستی نشان می‌دهد. بنابر منطقی است که هزینه طول عمر پروژه خط با دال به میزان قابل توجهی کمتر از خطوط بالاستی در نظر گرفته شود.

انواع دیگری از خط از جمله خطوط قرار داده شده در آسفالت، خطوط مخصوص، خطوط نردبانی، خطوط Riessberger نیز وجود دارند که تاکنون برای راه‌آهن پرسرعت مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.

۳-۵- سایر اجزای زیرساخت

اصلی‌ترین و پر هزینه‌ترین بخش زیرساخت راه‌آهن را زیرسازی و روسازی تشکیل می‌دهد. با این حال تجهیزات و تأسیسات دیگری نیز در طول خط مورد نیاز است تا توان، ایمنی و سهولت بهره‌برداری قطارها را فراهم نمایند. این بخش‌ها شامل سیستم برق‌رسانی، علائم الکتریکی و ارتباطات هستند. همچنین برای سوار و پیاده شدن مسافرین، مبادله بار، عملیات مانور و نظایر آن ایستگاه‌هایی در طول خط و به فواصل مشخصی تعبیه می‌گردند. تمام این موارد هم در راه‌آهن کلاسیک و هم در راه‌آهن پرسرعت وجود دارد، ولی ویژگی‌های آنها در راه‌آهن پرسرعت تفاوتهای بارزی دارد که در این قسمت بدانها اشاره خواهد شد.

۳-۵-۱- سیستم تغذیه و برق‌رسانی

در راه‌آهن پرسرعت از دیدگاه فنی برقی کردن یک الزام است و راه‌آهن پرسرعت غیر برقی متصور نیست.

انواع سیستم‌های تأمین تغذیه در راه‌آهن برقی

سیستم تغذیه راه‌آهن برقی به دو صورت جریان متناوب یا AC (از فرکانس ۱۶/۷ هرتز تا ۵۰ و ۶۰ هرتز) و جریان مستقیم یا DC وجود دارد. جریان از کنار خط به وسیله سیم تماس[۱] (برای تغذیه AC و DC) یا ریل سوم (فقط برای تغذیه DC) جمع‌آوری می‌گردد. ریل سوم فضای کمتری را اشغال می‌کند و بیشتر در متروها و برای ولتاژهای پائین (کمتر از ۷۵۰ ولت) استفاده می‌شود. ریل سوم برای سرعت‌های بالا مناسب نیست. دامنه ولتاژ مورد استفاده در راه‌آهن برقی از ۷۵۰ تا ۲۵۰۰۰ ولت (فاز نسبت به زمین) متغیر است (البته در آفریقای جنوبی ولتاژ ۵۰ کیلو ولت نیز استفاده شده است). تغذیه جریان مستقیم و با ولتاژهای ۷۵۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ بیشتر متداول است. در راه‌آهن‌های بین شهری از تغذیه DC کمتر استفاده شده است و

[۱] contact wire

ولتاژ ۲۵ کیلوولت ۵۰ هرتز (در آمریکا و ژاپن ۶۰ هرتز) تقریباً استاندارد شده است. از این پس منظور از سیستم تغذیه، نوع AC آن می‌باشد.

موتورهای کشش قطار می‌توانند از نوع DC یا AC باشند. بنابر این با توجه به نوع سیستم تغذیه و نوع موتورهای مورد استفاده در قطارهای برقی، چهار ترکیب AC-AC، AC-DC، DC-AC و DC-DC متصور است. در راه‌آهن پرسرعت ترکیب اول متداول‌تر است.

تغذیه قطار برقی همواره تک فاز است، ولی شبکه بالاسری می‌تواند به صورت تک فاز و یا دو فاز طراحی شود. سه نوع ساختار برای شبکه بالاسری وجود دارد که جدول ۳-۲ معرفی شده است.

سیستم تغذیه دو فاز در دنیا به ویژه در اروپا و بیشتر با فرکانس ۵۰ هرتز توسعه زیادی یافته است (خطوط TGV در فرانسه، راه‌آهن پرسرعت مادرید-بارسلونا در اسپانیا، خطوط پرسرعت تالیس، خط پرسرعت CTRL در انگلستان و موارد متعدد دیگر).

مزایای ساختار تغذیه دو فاز عبارتند از:

- امپدانس کمتر ۰/۱۲ در مقابل ۰/۳ اهم بر کیلومتر در شبکه تکفاز ۲۵ کیلوولت
- فاصله بیشتر بین پستهای کشش (۶۰ تا ۹۰ کیلومتر)
- تقارن سیستم و در نتیجه اغتشاشات کمتر الکترومغناطیسی (تشعشات طولی الکترومغناطیسی بین ۲ تا ۴ مرتبه کاهش می‌یابد)

در مقابل معایب زیر را نیز می‌توان برای این ساختار تغذیه برشمرد:

- نیاز به تجهیزات اضافی که هزینه را حدود ۳۰٪ نسبت به تغذیه تکفاز افزایش می‌دهد
- نیاز به احداث پستهای AT در هر ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر

پست موازی‌ساز برای توزیع بهتر جریان در خط بالاسری (که شامل فیدر فاز مقابل باشد) و پست جداساز نیز برای حالات اضطراری که یک پست کشش از سرویس خارج می‌شود، در ساختار تغذیه در نظر گرفته می شود. معمولاً در ساختار تغذیه دوفاز، پست موازی‌ساز با پست

اتوترانس (تشکیل پست SP[1] می‌دهد) و یا پست موازی ساز و پست جداساز با پست اتـوترانس (تشکیل پست ATP[2] می‌دهد) ترکیب می‌شود.

در جدول ۳-۲ شاخصهای مقایسه سه نوع سیستم تغذیه AC یکجا آورده شده است.

جدول ۳-۲: مقایسه کلی سه نوع ساختار تغذیه در راه‌آهن برقی

شاخص / نوع سیستم تغذیه	تشعشعات الکترومغناطیسی	سرمایه‌گذاری (پستها+بالاسری)	تعداد اتصالات ولتاژ بالا	پیچیدگی
تکفاز با سیم برگشت	زیاد	حداقل	به تعداد مورد نیاز	کم
تکفاز با BT	محدود	متوسط	به تعداد مورد نیاز	محدود
دو فاز با AT	خیلی محدود	زیاد (۳۰٪ نسبت به مورد قبلی)	به تعداد مورد نیاز ولی محدود	زیاد

توان‌های مورد استفاده راه‌آهن پرسرعت

توان مورد استفاده در قطار با افزایش سرعت به طور نمـایی افـزایش مـی‌یابـد. از ایـن رو قطارهای پرسرعت همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، توان زیادی مصرف می‌نمایند و برای حفـظ سرعت و شتاب لازم حتی در فراز، جریان بسیار زیادی از شبکه بالاسری می‌کـشند (تـوان بـر واحد وزن در قطارهای پرسرعت به ده برابر قطارهای کلاسیک می‌رسد). از طرفـی ترافیـک و شرایط جغرافیایی خط در میزان جریان مورد نیاز، تعیین کننده است. بنابر ایـن سیـستم تغذیـه (فواصل، موقعیت و توان پستهای کشش، مشخصات شبکه بالاسری و غیره) بایـد متناسـب بـا شرایط بهره‌برداری طراحی شود. برای اینکه حسی از توان مصرفی قطارهای پرسرعت در مقیاس واقعی به دست آید، توان بر واحد طول چند راه‌آهن پرسرعت اروپـایی در جـدول ۳-۳ آورده شده است.

[1] Switching and Paralleling station with AutoTransformer
[2] AutoTransformer with Paralleling station

جدول ۳-۳: مقایسه کلی سه نوع ساختار تغذیه در راه‌آهن برقی

خط پرسرعت	سرعت بهره‌برداری	سرفاصله زمانی (هدوِی)	دیماند (MVA/Km)
پاریس–لیون	۲۷۰	۵	۰/۷
کلن–فرانکفورت	۳۰۰	۵	۱/۰
خط فرضی ۱	۳۰۰	۳	۱/۲
خط فرضی ۲	۳۵۰	۳	۲/۰

شبکه بالاسری

در راه‌آهن برقی، توان مورد نیاز قطارها شامل تغذیه موتورهای کشش، روشنایی، سیستم تهویه و غیره از شبکه بالاسری توسط پانتوگراف بالای قطار تأمین می‌گردد. با افزایش سرعت قطار، کیفیت تماس پانتوگراف با سیم تماس شبکه بالاسری تنزل می‌یابد. این کاهش کیفیت، خود را با بروز جرقه‌هایی ناشی از نیروی کم تماس پانتوگراف با سیم تماس و بالا رفتن بیش از حد آن نشان می‌دهد. برای تماس پانتوگراف با سیم تماس به طور دائم از حالت سکون تا حداکثر سرعت با کیفیت در طراحی شبکه بالاسری باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

- سرعت حداکثر و جریان مورد نیاز قطار
- ارتفاع سیم تماس حتی‌الامکان ثابت باشد یا به عبارتی سیم تماس باید کاملاً صاف و کشیده باشد.
- حداقل ارتعاش و تکان که عبور نرم پانتوگراف را در سرعت‌های بالا و بادهای قوی تضمین نماید.
- مقاومت در برابر ارتعاش، گرما، خوردگی و غیره

دو معیار برای اندازه‌گیری کیفیت تماس شبکه بالاسری و پانتوگراف وجود دارد که عبارتند از:

الف- اندازه‌گیری نیروی تماس و مونتیور کردن آن به نحوی که در حد بهینه خود باشد.

ب – اندازه‌گیری جرقه‌های تولید شده در حین جریان گرفتن پانتوگراف از سیم تماس

در سرعت‌های بالا امکان استفاده از ساختار شبکه بالاسری و پانتوگراف ساده‌ای که در راه‌آهن برقی کلاسیک بکار گرفته می‌شود، وجود ندارد و لازم است تمهیدات ویژه بکار گرفته شود.

در ژاپن ساختار مرکب[۱] که از سه ردیف سیم طولی تشکیل شده است، برای شین‌کان‌سن استفاده می‌شود. ولی در اروپا از ساختار ساده یا بافتی[۲] برای شبکه بالاسری راه‌آهن پرسرعت استفاده شده است. در خطوط راه‌آهن پرسرعت ایتالیا تجهیزات شبکه بالاسری برای اینکه جریان زیادتر شبکه ۳ کیلوولت DC را عبور دهند، دوبله ساخته می‌شوند. راه‌آهن ایتالیا هم اکنون به منظور سازگاری با سایر خطوط اروپایی، خطوط جدید پرسرعت خود را با ولتاژ ۲۵ کیلوولت AC می‌سازد. شبکه مرکبی که در راه‌آهن پرسرعت ژاپن استفاده می‌شود، دارای مزایای ارتعاشات عمودی کمتر و قابلیت گذردهی جریان بیشتر است، ولی به علت اجزای بیشتر، طراحی پیچیده‌تری دارد.

در اروپا، اغلب برای جبران حرکتهای شدید عمودی پانتوگراف ما بین دو پایه، در طول سیم تماس، حدود ۱/۱۰۰۰ قوس شکم داده می‌شود. به عبارتی وسط سیم تماس ۲۰ تا ۳۰ میلیمتر از طرفین آن پائین‌تر است. این نوع طراحی برای راه‌آهن پرسرعت آلمان و فرانسه که نیروی فشار پانتوگراف به سیم تماس خیلی زیاد است، مناسب است، ولی برای ژاپن که این نیرو به مراتب کمتر است، مؤثر نمی‌باشد.

۳-۵-۲- سیستم علائم الکتریکی و ارتباطات

سیستم علائم الکتریکی و ارتباطات در راه‌آهن پرسرعت تفاوتهای عمده‌ای با راه‌آهن کلاسیک دارد که در این بخش به آن پرداخته می‌شود. سیستم‌های اینترلاکینگ کنترل قطار در هر ۲۰ تا ۲۵ کیلومتر از مسیر برای موارد زیر لازم هستند:

---

۱ compound
۲ stiched

- امکان انتقال از یک خط به خط دیگر (کراس‌اُور)، جهت رویارویی با مشکلات بهره‌برداری، ضمناً سرعت در خطوط کراس‌اُور به ۱۷۰ کیلومتر در ساعت محدود می‌شود.
- کنترل خطوط جانبی (غیر عبوری) که هر از چندگاه برای سبقت‌گیری قطارها تعبیه شده است. در ایستگاه‌ها، خطوط جانبی در نظر گرفته شده‌اند.

همچنین سوزن‌ها باید دارای تکه‌های مرکزی متحرک مجهز به ماشین الکتریکی تعویض باشند. در خطوط راه‌آهن کلاسیک، از سیستم علائم الکتریکی کنار خط برای کنترل قطارها استفاده می‌شود. در خطوط پرسرعت، خواندن یا تشخیص سیگنالهای متعارف کنار خط نسبت به خطوط کلاسیک تفاوت چندانی ندارد. در شرایط آب و هوایی خوب و مناسب، نمای سیگنالهای کنار خط از سرعت ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در ساعت به یک گونه دیده می‌شود. به هر حال، طول زمان مشاهده نمای سیگنال در سرعت‌های بالاتر در تمامی شرایط آب و هوایی و به ویژه شرایط بد آب و هوایی کاهش می‌یابد. در سرعت‌های بالاتر از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت، لکوموتیوران باید دقت زیادی به خرج دهد تا نمای سیگنالها را تشخیص دهد. این اطلاعات در زمانهای مشخص ظاهر می‌شود و لکوموتیوران باید آن را به خاطر بسپارد و دقت بیشتری به خرج دهد.

شرایط عمومی بهره‌برداری

ساختار خطوط پرسرعت ترجیحاً ساده است:

- خطوط دو طرفه که امکان بهره‌برداری از آن با سرعت حداکثر و بدون هیچ محدودیتی در هر دو جهت وجود دارد.
- وجود کراس اُور در هر ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر
- خطوط جانبی (با ایستگاه یا بدون ایستگاه) به فاصله حدوداً ۵۰ تا ۸۰ کیلومتر

فاصله بین کراس اُورها بر این مبنا محاسبه می‌شود که در وقتی یک قطار از کار می‌افتد و در بلاک بین دو کراس اُور متوقف می‌شود (مثلاً در حالتی که داغی سر محور آن تشخیص داده شده است که یکی از متداول ترین دلایل توقف کوتاه مدت است)، تنها این قطار باید به

طور عادی در این بلاک حضور داشته باشد. با در نظر گرفتن سرعت کامل ۳۰۰ کیلومتر در ساعت یا ۵ کیلومتر در دقیقه، بخش ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری در ۴ تا ۶ دقیقه طی می‌شود. اگر سیستم داغی سر محور در وسط این بخش قرار گیرد، داغی سر محور ۲ یا ۳ دقیقه بعد از عبور از کراس‌اُور تعیین خواهد شد و بنابر این قطار بعدی هنوز به کراس‌اُور نرسیده است و هنوز می‌تواند به خط مجاور هدایت شود. اگر سیستم تشخیص داغی سر محور قبل از نقطه میانی بخش بلاک قرار گیرد، حتی زمان بیشتری برای هدایت قطار بعدی به خط مجاور وجود خواهد داشت و اگر پس از نقطه میانی قرار داشته باشد، بعد از کراس اُور بعدی توقف خواهد کرد، بنابراین در هر صورت امکان سبقت گرفتن قطار بعدی وجود دارد.

قطارهای از کار افتاده که نتوانند تا ایستگاه بعدی ادامه مسیر دهند به خط جانبی منتقل می‌شوند (قطار از کار افتاده می‌تواند خودش را به خط جانبی برساند و یا توسط قطار پشتی به خط جانبی هدایت می‌شود). خط جانبی، یک خط توقف با سکوی ساده برای پیاده کردن مسافران از قطار از کار افتاده و سوار شدن به قطار بعدی است که به همین منظور در خطوط جانبی توقف کرده است. چنین خطوط جانبی در هر یک کراس‌اُور از سه کراس‌اُور تعبیه می‌شود. به طور عادی هرگز نیازی به طی دو بخش کامل برای رسیدن به این خطوط جانبی در یک جهت یا در جهت دیگر وجود ندارد.

در خطوط پرسرعت، تمامی سیستم‌های اینترلاکینگ قطار (یک ITCS[1] برای هر کراس‌اُور یا خط جانبی و ایستگاه استفاده می‌شود) ، در طول خط پخش هستند و از یک مرکز کنترل از راه دور قطار کنترل می‌شوند.

به طور کلی سیستم‌های کنترل از راه دور، دارای افزونگی یا سیستم پشتیبان هستند تا احتمال خطا را به حد قابل قبول برسانند.

در این طراحی، سیستم کنترل محلی در هر ITCS وجود ندارد. سیستم ITCS دارای ۳ عملکرد اصلی زیر است:

---

۱ Interlocking Train Control System

- بهره‌برداری: مسیرگیری، حفاظت و ایمنی پرسنل، نظارت مهندسی و غیره
- کنترل قطار
- کنترل منابع قدرت (تمامی خطوط پرسرعت برقی هستند)

تمامی تجهیزات از طریق یک پانل نمایش بزرگ یا از طریق مونیتورها تحت نظارت قرار دارند.

دانستن دقیق نوع و موقعیت قطارها، الزام اصلی بهره‌برداری خطوط پرسرعت است. بنابراین، یک ماژول نمایشگر وضعیت قطار، تمامی این اطلاعات را به پرسنل بهره‌برداری می‌دهد. مسیر برحسب موقعیت به چندین بخش تقسیم می‌شود. معادل هر بخش روی پانل نمایش، پنجره‌ای وجود دارد که شاخص قطار روی آن نمایش داده می‌شود. هر پنجره نشاندهنده فاصله بین دو ITCS برای یک خط است. این ماژول به ماژول گرافیکی که گراف زمان حقیقی هر قطار را ترسیم می‌کند، مربوط است.

یک رایانه مرکزی، فایل برنامه حرکت قطارها را مدیریت می‌کند و می‌تواند به طور خودکار تمامی مسیرهای مورد نیاز را با استفاده از ماژول نمایشگر وضعیت قطار، کنترل کند. مدار خطهای قفلِ نزدیک شدن قطار برای فعال کردن مسیرگیری خودکار استفاده می‌شوند. همچنین، این ماژول برای تشخیص قطاری که سرمحور یا چرخ‌هایی دارد که خیلی داغ هستند، استفاده می‌شود.

انواع سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت

سیستم‌های علائم الکتریکی معدودی در جهان وجود دارند که مناسب خطوط پرسرعت باشند. در این بخش TVM[۱]، LZB[۲]، ERTMS[۳] و ATC که مطرح‌ترین سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت هستند، به طور اجمالی معرفی می‌شوند.

---

۱ Transmission Voie-Machine or "track to train transmission"
۲ Linienzugbeeinflussung or "continuous train control"
۳ European Rail Traffic Management System

سیستم فرانسوی TVM ۴۳۰

این سیستم یکی از معروف‌ترین سیستم‌های علائم الکتریکی موجود در دنیا است که توسط راه‌آهن فرانسه (SNCF) سالهاست که با موفقیت استفاده می‌شود. در این سیستم همانطور که لازمه سیستم علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت است از مفهوم علائم الکتریکی داخل کابین شده است. به عبارتی سیگنال‌های کنار خط که مرز بین بلاک‌های میانی را مشخص می‌کنند، مجازی هستند. محل دقیق موقعیت این سیگنال‌های مجازی با تابلوهای ثابتی به جای سیگنال‌های نوری کنار خط مشخص می‌شوند.

نمایش اطلاعات در داخل کابین

در سیستم TVM۴۳۰ در هر لحظه، فقط یک نما از شش نمای زیر در داخل کابین نمایش داده می‌شود.

- اطلاعات محدودیت سرعت
- اطلاعات چشمک زن
- اطلاعات اخطار سرعت
- اطلاعات سرعت حرکت
- اطلاعات توقف
- اطلاعات جاری حرکت

نظارت بر سرعت

با اطلاعاتی که از کنار خط به قطار ارسال می‌شود، تجهیزات داخل قطار برای هر بخش بلاک پارامترهای زیر را محاسبه می‌کنند:

- سرعت نظارت اولیه
- سرعت نظارت نهایی
- ضریب ترمزگیری برای اعمال در منحنی نظارت بر ترمزگیری

این پارامترها برای استخراج منحنی نظارت بر سرعت با لحاظ الزامات زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- عدم ایجاد مزاحمت برای راننده که به طور عادی سرعت را کاهش دهد.
- توقف قطار قبل از نقطه حفاظت شده یا محدود کردن سرعت قطار به سرعت مجاز در صورت عدم توجه راننده به اطلاعات ارائه شده توسط علائم الکتریکی داخل کابین.

اساس علائم الکتریکی داخل کابین

اطلاعات از طریق یک کوپلینگ الکترومغناطیسی در فاصله بین فرستنده مدار خط و مدار کوتاه ناشی از اولین محور انتقال می‌یابد. بنابراین، قطارها باید روی هر مدار خط از گیرنده به سمت فرستنده با سنسورهایی که قبل از اولین محور آنها قرار دارد، حرکت کنند. در نتیجه، در خطوط دو جهته لازم است تا امکان جابجایی گیرنده و فرستنده برای تمام مدارات خط مطابق با جهت حرکت قطار وجود داشته باشد.

مراحل محدود کردن سرعت و توقف

شرایطی که باعث فعال شدن پروسه توقف قطار می‌شود، عبارتند از:

- اشغالی بلاک
- عدم مسیرگیری
- حفاظت خطوطی که کارگران در آنها مشغول به کار هستند.

شرایطی که باعث فعال ساختن پروسه محدودیت سرعت می‌شوند، عبارتند از:

- نزدیک شدن به نقطه انتقال به خط مجاور
- فعال شدن مُد حفاظت
- محدودیت سرعت در یک محدوده

حفاظت از پرسنل و کارگران

سیستم سرعت بالا، پرسنل را برای انجام هر کاری بر روی خط یا در اطراف خط بدون در نظر گرفتن معیارهای حفاظتی خاص منع می‌کند. از آنجایی که استفاده از «ابزارمتعارف» غیر ممکن است، وسایل ویژه‌ای به عنوان سوئیچ‌های حفاظتی لازم است تا فرمان محدودیت سرعت توقف را به قطارها ارسال کنند.

پرسنل بهره‌برداری می‌توانند مسیر را خط به خط در طول یک بخش[1] بازدید نمایند. این عملیات، علامت «قرمز» نمایشگر علائم الکتریکی داخل کابین را در هر دو جهت کنترل می‌کند.

به علاوه، امکان کنترل کلی محدودیتهای سرعت ۱۷۰ یا ۲۳۰ کیلومتر در ساعت، به خصوص در موقعیت شرایط بد آب و هوایی وجود دارد.

تشخیص نقض حریم مسیر

تشخیص‌دهنده سقوط از روی پل روگذر جاده در تقاطع با خطوط پرسرعت زمانی نصب می‌شود که وضعیت سایت و میزان ترافیک جاده‌ای به اندازه‌ای باشد که احتمال افتادن وسایل نقلیه بر روی خط وجود داشته باشد. این تشخیص دهنده از دو شبکه توری سیمی به هم پیچیده با اتصال جداگانه الکتریکی تشکیل شده است. افتادن وسیله نقلیه سبب قطع همزمان دو شبکه می‌شود. این انتخاب فنی برای محدود کردن پیامدهای قطع تصادفی تنها بر یکی از شبکه‌ها است که می‌تواند بدون اینکه سبب توقف ترافیک ریلی شود، تشخیص داده شود. سیستم ترکیبی نظارت تلویزیونی نیز به منظور نقض حریم مسیر در نظر گرفته می‌شود تا خطا یا تشخیص مورد را به اپراتور اعلام کند.

---

[1]- بخشی از خطوط حدود ۲۰ تا ۲۵ کیلومتر بین دو ITCS Crossover

تشخیص داغی سر محور

اندازه‌گیری درجه حرارت سرمحورهای قطارهای پرسرعت توسط سیستم مرکزی تشخیص داغی سرمحور که در مرکز CTC نصب می‌گردد، مونیتور می‌شود. اطلاعات مورد نیاز از تجهیزات محلی که در طول خطوط پرسرعت توزیع شده‌اند، جمع‌آوری می‌شود. نشان داده شده است. این نقاط مونیتورینگ، مجهز به نسل چهارم سنسورهایی هستند که با رسیدن قطار فعال شده و شروع به کار می‌نماید. فعال‌سازی باید ۳ ثانیه قبل از رسیدن قطار به محل سنسورها شروع و تا عبور کامل قطار ادامه یابد. اطلاعات درجه حرارت سرمحورها به سیستم مرکزی ارسال می‌شود که پردازش زمان حقیقی روی آنها انجام می‌شود و برای استفاده در بخش تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه ریلی نگهداری می‌شود.

مقایسه اطلاعات یک محل اندازه‌گیری با اندازه‌گیری‌هایی که در محل قبلی به دست آمده است یا رسیدن به آستانه درجه حرارت بحرانی می‌تواند دو نوع سیگنال را فعال نماید:

- یک هشدار ساده مربوط به سرمحوری که دمای آن از حد استاندارد بیشتر است، ولی نشان از یک خطر آنی ندارد.
- یک هشدار خطر مربوط به سرمحوری که داغی آن در حد بحرانی است و وضعیت آن به توقف قطار و بازدید فوری نیاز دارد.

تشخیص سیل (جریان آب) روی خط

بسته به شرایط زمینهای اطراف خط، در اثر باران های شدید، خطر بالا آمدن آب و سیل گرفتگی وجود دارد. مکانهایی که در معرض این خطر هستند به ایستگاه تلمبه زنی مجهز می‌شوند چون شکست و نقص محل می‌تواند برای ترافیک ریلی خطرناک باشد. تجهیزات این ایستگاه‌ها توسط سیستم تشخیص سیل گرفتگی کامل می‌شود که هدف آن پیش اخطار هرگونه احتمال خطری است که با سطوح بالای ناگهانی آب در ارتباط است.

علائم الکتریکی متعارف

در موقعیتهای خاص، ضروری است که خطوط پرسرعت به هر دو سیستم علائم الکتریکی داخل کابین و سیگنالهای متعارف کنار خط تجهیز شوند (برای مثال امکان بهره‌برداری قطارهای باری بخشی از خطوط در طی شب، بدون ایجاد هزینه‌های بالای نصب سیستم علائم الکتریکی داخل کابین روی لکوموتیوهای باری متعدد). هیچ مشکل خاصی در نصب سیگنال‌های کنار خط تؤام با سیستم علائم الکتریکی داخل کابین وجود ندارد. قطارهای مجهز به سیستم علائم الکتریکی داخل کابین توجهی به سیگنالهای کنار خط ندارند (که در تمام موقعیتها، با علائم داخل کابین که به لکوموتیوران نشان داده می‌شود، متناقض نیستند) و قطارهایی که به سیستم علائم الکتریکی داخل کابین مجهز نیستند، تنها از شاخص‌های سیگنال کنار خط همچون وضعیت خطوط کلاسیک استفاده می‌کنند.

سیستم آلمانی LZB

سیستم علائم الکتریکی داخل کابینِ LZB، سیستم انتقال اطلاعات کنار خط به داخل کابین قطار است که در راه‌آهن آلمان به ویژه در راه‌آهن پرسرعت آن مورد استفاده قرار گرفته است. در این سیستم، اطلاعات علائم الکتریکی به صورت پیوسته به داخل کابین انتقال می‌یابد. این سیستم بر مبنای اصل «سرعت و فاصله هدف» کار می‌کند. اطلاعات نمایشی داخل کابین عبارتند از:

- یک شاخص دایره‌ای یا چرخشی که سرعت واقعی قطار و حداکثر سرعت مجاز را به راننده نشان می‌دهد.
- یک شاخص نشان‌دهنده سرعت هدف
- یک شاخص نشان‌دهنده فاصله تا هدف
- یک سیستم مونیتورینگ سرعت (ATP)

- یک سیستم مونیتورینگ پیوسته سرعت مرتبط با LZB که دارای عملکرد مستقیم روی ترمزهای قطار است. اگر سرعت قطار از سرعت مجاز تجاوز نماید، این سیستم باعث توقف قطار قبل از نقطه خطر می‌شود.

پیاده سازی و ایمنی سیستم

انتقال اطلاعات در این سیستم به کمک کابلهایی انجام می‌شود که در میان خط قرار گرفته‌اند. این کابلها متناوباً در طول خط از روی یکدیگر عبور می‌کنند. انتقال به صورت دو طرفه، از خط به قطار و از قطار به خط صورت می‌گیرد. یک مرکز کامپیوتری در کنار خط، یک بخش از خط به طول حدود ۱۰۰ کیلومتر را مدیریت می‌کند. این مرکز به تجهیزات علائم الکتریکی لینک شده است.

یک آنتن نصب شده روی قطار، اطلاعات مربوط به موقعیت، سرعت، جهت حرکت و سایر مشخصه‌های قطار را به کنار خط انتقال می‌دهد. از این اطلاعات و اطلاعاتی که از سیستم علائم الکتریکی به دست می‌آید، مشخصه‌های ترمزی و سایر اطلاعات مورد نیاز توسط تجهیزات موجود کنار خط محاسبه شده و سپس این اطلاعات به پردازشگر داخل کابین قطار انتقال می‌یابد. پردازشگر کنار خط در هر ثانیه یک پیغام (۸۳ بیتی) را ارسال می‌کند. تجهیزات LZB کنار خط شامل ۳ پردازشگر است که بر مبنای اصل ۲ از ۳ کار می‌کند. خرابی یکی از زیرسیستم‌ها، کل سیستم را خارج از سرویس نمی‌سازد.

تجهیزات مرتبط داخل قطار نیز ۳ سیستم پردازشگر دارد که از نرم‌افزارهای مختلف برای ایمنی و قابلیت اطمینان بالاتر استفاده می‌کند. اساس کار این بخش نیز بر مبنای اصل ۲ از ۳ است. تشخیص حضور قطار با تجهیزات علائم الکتریکی متعارف انجام می‌شود.

کارآیی و قابلیت دسترسی

کابل موجود در روی خط برای تبادل اطلاعات بین خط و قطار ممکن است برای عملیات نگهداری خط مشکل ساز گردد.

قطار برای افزایش قابلیت دسترسی به دو آنتن مجهز است. ترمزگیری می‌تواند به صورت خودکار انجام شود. هدایت قطار می‌تواند به طور دستی و یا خودکار بسته به انتخاب راننده صورت بگیرد.

همچون سیستم TVM، در سیستم LZB امکان استفاده از سیگنالهای متعارف کنار خط وجود دارد تا قطارهایی که مجهز به سیستم LZB نیستند نیز بتوانند از خط عبور نمایند. از طرفی این قابلیت به عنوان یک سیستم پشتیبان محسوب می‌شود تا در صورت خرابی تجهیزات LZB، مورد استفاده قرار گیرد.

حفاظت از پرسنل و کارگران خط

پرسنل و کارگران توسط سیستم‌های هشدار دهنده مستقل محافظت می‌شوند. همچنین به عنوان یک اقدام پیشگیرانه می‌توان فرمان محدودیت سرعت را برای قطارهایی که در خط مجاور سیر می‌کند از طریق مرکز کنترل اعمال نمود.

تشخیص نقض حریم مسیر

در این سیستم در صورتی که راننده قطار مانعی را روی خط مجاور مشاهده نماید، ترمز اضطراری را فعال می‌کند که این عمل تلگرامی را به مرکز کنترل بازگشت می‌دهد و مرکز کنترل، فرمان توقف برای تمامی ناوگانی که در آن محدوده در خط مجاور تردد می‌نمایند و به سیستم LZB مجهز هستند، ارسال می‌نماید.

سیستم تشخیص داغی سرمحور

در این سیستم داغی سرمحور به وسیله حسگرهای کنار خط تشخیص داده می‌شود.

سیستم ژاپنی

همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید، ژاپن یکی از کشورهای مطرح و صاحب نام در زمینه راه‌آهن پرسرعت است. خطوط پرسرعت ژاپن اصطلاحاً شین‌کان‌سن نامیده می‌شود. این کشور با توجه به سابقه طولانی راه‌آهن پرسرعت و پیشرفته بودن، از لحاظ فناوریهای مرتبط با این

صنعت از جمله فناوری علائم الکتریکی صاحب سبک است. در این قسمت به معرفی سیستم علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت ژاپن پرداخته می‌شود.

کنترل اتوماتیک قطار (ATC)

در ژاپن برای کنترل و ایمنی سیر و حرکت قطارهای پرسرعت، سیستم کنترل اتوماتیک قطار یا ATC[۱] ابداع گردیده است. سیستم ATC، علائمی با فرکانس صوتی را از طریق مدار خط و در بخش‌های مختلف آن به قطار ارسال می‌نماید. این علائم حاوی اطلاعات مربوط به سرعت مجاز در طول مدار خط هستند. با دریافت این اطلاعات در داخل قطار، سرعت کنونی قطار با سرعت مجاز مقایسه شده و در صورتی که سرعت قطار بیشتر از سرعت مجاز باشد، ترمزها به صورت خودکار فعال شده و سرعت قطار را کاهش می‌دهند. پس از رسیدن سرعت به زیر سرعت مجاز، ترمزها آزاد می‌شوند. در این سیستم ایمنی بالایی وجود دارد و کنترل به صورت پیوسته صورت می‌گیرد، لذا علاوه بر خطوط شیکانسن، در راه‌آهن پرترافیک محدوده توکیو و در برخی از متروها نیز از این سیستم استفاده شده است. با اینکه ATC جلوگیری از تجاوز سرعت را بر عهده دارد، کنترل دقیق و تمام عیار قطار برای کاهش سرعت و توقف دقیق در ایستگاه‌ها بر عهده سیستم دیگری به نام ATO[۲] است که البته در متروها و راه‌آهن‌های شهری پرترافیک نیز استفاده می‌شود.

سیستم DATC

از زمان شروع به کار اولین قطار شین‌کانسن در سال ۱۹۶۴ تاکنون، سیستم ATC برای کنترل این قطارها به کار گرفته شده است و هیچگونه سانحه‌ای نیز در برنداشته است. با این حال سیستم ATC دارای اشکالات زیر است:

- در این سیستم به علت ماهیت عملکردی، سرفاصله زمانی (هدوِی) اعزام دو قطار را نمی‌توان از حد مشخصی کمتر نمود.

---

[۱] Automatic Train Control
[۲] Automatic Train Operation

- ترمزها موقعی به کار برده می‌شوند که قطار به حداکثر سرعت می‌رسد، به همین دلیل راحتی مسافرین کاهش می‌یابد.
- اگر بهره‌بردار بخواهد می‌یابد قطارهای سریع‌تری را روی مسیر استفاده نماید، این سیستم ظرفیت لازم را ندارد و تمام تجهیزات کنار خط و داخل قطارها باید تعویض شوند.

در سیستم D-ATC، مدار خط در وهله اول، وجود قطار در یک بخش را تشخیص می‌دهد و در وهله بعد، اطلاعات دیجیتال شامل تعداد بخش‌های باز تا قطار جلویی و سکویی که قطار به آن وارد می‌شود را به قطار منتقل می‌کند. حافظه بخش داخل قطار نیز اطلاعات مربوط به شیب و فراز خط و محدوده سرعت روی قوس‌ها و سوزن‌ها را ثبت می‌نماید. تمام این اطلاعات مبنای تصمیم‌گیری ATC برای کنترل ترمز تدریجی و توقف قطار است.

در سیستم D-ATC، منحنی ترمز برای توقف قطار پیش از ورود آن به بخش بعدی که توسط قطار دیگری اشغال شده است در مقایسه با سیستم ATC بهینه‌تر محاسبه و اجرا می‌شود. وقتی سرعت قطار به آستانه نزدیک می‌شود، ابتدا آلارم به صدا در می‌آید و وقتی سرعت از آستانه فراتر رود، ترمزها فعال می‌شوند. برای راحتی بیشتر مسافرین ترمزها در ابتدا به آرامی عمل می‌کنند و سپس شدیدتر می‌شوند تا قطار به سرعت مورد نظر برسد. وقتی سرعت قطار به پائین‌تر از آستانه می‌رسد، ترمزها بسیار سبک‌تر عمل می‌کنند. تنظیم کنترل شده نیروی ترمز به این نحو باعث می‌شود که ضمن ایجاد راحتی بیشتر برای مسافرین، سرعت قطار منطبق با شیوه ترمزگیری کاهش یابد.

در این سیستم، علاوه بر شیوه ترمزگیری متعارف، شیوه ترمزگیری اضطراری نیز وجود دارد و در صورتی استفاده می‌شود که سرعت قطار بیش از حالتی باشد که توسط منحنی ترمز متعارف کنترل شود.

مزایای زیر را می‌توان برای D-ATC برشمرد:

- استفاده از ترمزگیری تک‌مرحله‌ای، بهره‌برداری بهتری را از ظرفیت خط ممکن می‌سازد و با تأخیر عملکرد در رها شدن ترمز در محدوده کنترل سرعت، زمان تلف نمی‌شود.

- قطار می‌تواند با سرعت بهینه حرکت نماید و از قبل نیازی به کاهش سرعت نیست، زیرا بر اساس اطلاعات کسب شده از تجهیزات کنار خط که نشان‌دهنده مسافت باقی مانده تا قطار جلویی است، برای هر نوع ناوگانی شیوه‌های ترمزگیری متفاوتی قابل اعمال شدن است. این امر امکان بهره‌برداری از قطارهای اکسپرس، محلی و باری در یک خط و با سرعت بهینه را میسر می‌سازد.
- برای راه اندازی قطارهای سریع‌تر در آینده نیازی به تغییرات تجهیزات کنار خط نیست.

در سیستم ATC، بخش اینترلاکینگ که کنترل عناصر محوطه را بر عهده دارد کاملاً از سیستم کنترل اتوماتیک قطار مجزا است و حتی ممکن است سازنده‌های مختلفی داشته باشد، در حالی که در سیستم جدید D-ATC، حرکت به سمت یکپارچه کردن این دو قسمت اصلی و در نتیجه کاهش قیمتها بوده است. این سیستم جدید اصطلاحاً SAINT[1] نامگذاری گردیده است. در سیستم علائم الکتریکی قبلی و کنونی شین‌کان‌سن، سیستم رادیویی شین‌کان‌سن نقش زیادی در علائم نداشته و اطلاعات بیشتر از طریق مدار خط رد و بدل می‌گردد. اما ژاپنی‌ها به دنبال حذف مدار خط و انتقال دیتا از طریق شبکه رادیویی موجود شین‌کان‌سن هستند. شبکه رادیویی شین‌کان‌سن با توجه به کوهستانی بودن بیشتر مسیرها و همچنین برای قابلیت دسترسی و اطمینان کافی، تماماً با استفاده از نصب کابل نشتی در دو طرف خط پیاده‌سازی شده است.

ایمنی در برابر عوامل طبیعی

ژاپن یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای دنیا است. همچنین از لحاظ سایر مسائل طبیعی نظیر تندباد و طوفان، بارندگیهای شدید و ریزش برف شدید و سرما با شرایط دشواری روبرو است که قاعدتاً می‌تواند اثرات سوء و فاجعه‌آمیزی در بهره‌برداری قطارها به ویژه قطارهای پرسرعت در بر داشته باشد. با توجه به این شرایط کشور ژاپن دارای تجربه خوبی در مقابله با این پدیده‌ها است و پیش‌بینی‌های لازم در این خصوص به عمل آمده است.

[1] Shinkansen ATC and INTerlocking system

سیستم ERTMS

سیستم ERTMS[1] (سیستم مدیریت ترافیک ریلی اروپایی) دو عملکرد زیر را با قابلیت اطمینان بالا ارائه می‌دهد:

- اعمال فاصله لازم بین قطارها (بهره‌برداری بلاک)
- عملکرد مونیتورینگ سرعت قطار (ATP)

در سیستم ERTMS قطارها مجهز به سیستم علائم الکتریکی داخل کابین هستند. با استفاده از اطلاعات منتقل شده از کنار خط و با استفاده از داده‌های قطار به خصوص مشخصات ترمزی قطار، EuroCab (پردازشگر کامپیوتری داخل کابین) عملیات زیر را انجام می‌دهد:

- اطلاعات مورد نیاز جهت هدایت قطار را نمایش خواهد داد (فاصله هدف، سرعت هدف، حداکثر سرعت مجاز و غیره)
- منحنی‌های سرعت برای ATP (سیستم حفاظت اتوماتیک قطار) را انجام محاسبه و ایجاد می‌کند.
- ترمز قطار را در صورت نیاز به صورت خودکار فعال خواهد ساخت.

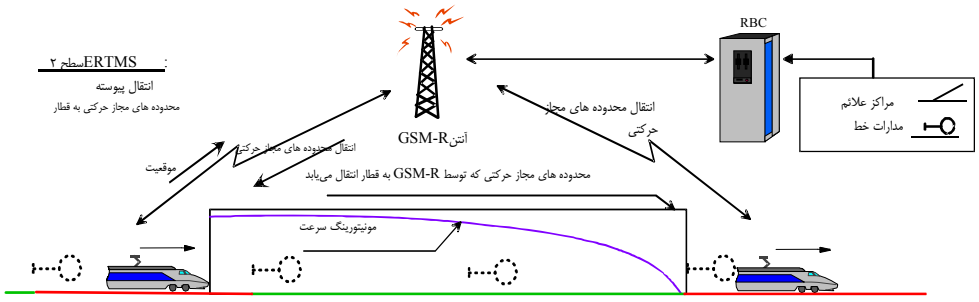
سایر عملکردهای سیستم علائم الکتریکی نظیر اینترلاکینگ و کنترل ترافیک مرکزی (CTC) توسط بخش‌های دیگر پیاده‌سازی می‌شود و کاملاً مستقل از ERTMS هستند.

ERTMS/ETCS (سیستم کنترل قطار اروپایی) سطح ۲ که ساختار آن در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، یک سیستم کنترل قطار رادیویی است که برعکس سیستم سطح ۱ جایگزین سیستم علائم الکتریکی فعلی می‌شود. محدوده‌های مجاز حرکتی توسط RBC[2] ها در کنار خط محاسبه شده و توسط GSM-R به قطار انتقال می‌یابد. ERTMS سطح ۲ یک نظارت پیوسته سرعت را ارائه می‌کند و همچنین از تجاوز از محدوده‌های مجاز سرعت جلوگیری می‌کند. تشخیص حضور قطار توسط تجهیزات علائم الکتریکی متعارف که در لایه‌های زیرین قرار گرفته است (اینترلاکینگ، مدار خط و غیره) انجام می‌شود و خارج از حیطه ERTMS است.

---

[1] European Rail Traffic Management System
[2] Radio Block Control

ETCS سطح ۲ برای ارتباطات کنار خط با قطار بر اساس سیستم رادیو و برای انتقال داده در نقاط مشخص که بیشتر اطلاعات مرجع مکانی است، از بالیسهای اروپایی (EuroBalise) استفاده می‌کند. ارتباطات کنار خط با قطار به صورت پیوسته انجام می‌شود. RBC کنار خط که به قطار اطلاعات ارسال می‌کند، هر قطار تحت کنترل ERTMS را جداگانه از روی شناسه ERTMS تجهیزات داخل قطار شناسایی می‌کند.



شکل ۳-۶: سیستم کنترل قطار اروپایی سطح ۲

لازم به ذکر است سیگنالهای کنار خط در ETCS سطح ۲ قابل حذف شدن هستند. تبادل اطلاعات (نظیر اطلاعات تشخیص حضور قطار توسط مدار خط، نظارت ماشین سوزن‌ها، مسیرگیری و غیره) بین اینترلاکینگ و ERTMS صورت می‌گیرد. این اطلاعات از همان نوعی هستند که بین TVM و ITCS مبادله می‌گردد.

سطح سومی نیز برای ERTMS/ETCS وجود دارد که دارای مشخصات فنی پیچیده و پیشرفته‌ای است و برای اساس مفهوم بلاک متحرک کار می‌کند. در این سطح، بیشتر اجزای علائم الکتریکی کنار خط حذف شده و تنها ماشین سوزن و تعداد محدودی بالیس غیر فعال در کنار خط باقی می‌ماند. این سطح تاکنون به صورت عملیاتی و حتی آزمایش پیاده‌سازی نشده است.

نکته قابل توجه آن است که لازمه پیاده‌سازی سطح ۲ و ۳ سیستم ERTMS/ETCS تجهیز شبکه به شبکه رادیویی GSM-R است و این سیستم با شبکه‌های رادیویی دیگر سازگاری ندارد.

مقایسه سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت

عمده‌ترین سیستم‌های علائم الکتریکی راه‌آهن پرسرعت موجود در دنیا تا اینجا معرفی گردید. در این قسمت مقایسه‌ای بین آنها صورت می‌گیرد. مقایسه این چهار سیستم از لحاظ پارامترهای کلی در جدول ۳-۴ آمده است:

جدول ۳-٤: مقایسه کلی سیستم های علائم الکتریکی راه‌آهن‌های پرسرعت

ردیف	پارامتر	نوع سیستم			
		TVM۴۳۰	LZB	D-ATC	ERTMS/ETCS-L۲
۱	کشور مبدا	فرانسه	آلمان	ژاپن	بین‌المللی
۲	تعداد سازندگان	محدود	محدود	محدود	۶ شرکت بین‌المللی
۳	کشورهای استفاده کننده	فرانسه، انگلیس، بلژیک، کره جنوبی	آلمان، اسپانیا، اطریش	ژاپن، تایوان	کشورهای اروپایی
۴	هزینه نسبی	۱	N/A	N/A	۱
۵	قابلیت ارتقاء به سرعت بالاتر	N/A	N/A	دارد	دارد
۶	یکپارچگی اینترلاکینگ و کنترل قطار	دارد	دارد	دارد	دارد
۷	علائم الکتریکی داخل واگن	دارد	دارد	دارد	دارد
۸	انتقال اطلاعات از کنار خط به قطار	مدار خط	کابل القایی	مدار خط	رادیو، بالیس
۹	استاندارد جهانی	ندارد	ندارد	ندارد	دارد
۱۰	تشخیص حضور روی خط	مدار خط	مدار خط	مدار خط	مدار خط
۱۱	الزامات سیستم رادیویی	ندارد	ندارد	ندارد	دارد(اختصاص باند فرکانسی لازم)
۱۲	حفاظت از پرسنل و کارگران	دارد	مستقل، ایجاد محدودیت سرعت	دارد	N/A
۱۳	تشخیص نقض حریم مسیر	دارد	دید و اعمال توسط راننده	N/A	N/A
۱۴	تشخیص داغی سر محور	دارد	دارد	N/A	N/A
۱۵	تشخیص سیل (جریان آب) روی خط	دارد	N/A	دارد	N/A
۱۶	نحوه انتقال اطلاعات	پیوسته	پیوسته	پیوسته	پیوسته

۳-۵-۳-۱ ایستگاه‌ها

راه‌آهن‌های پرسرعت نیز می‌توانند در کنار راه‌آهن شهری، نقش قابل توجهی در حمل و نقل کاری و تحصیلی ایفا نمایند. با راه‌آهن شهری و مترو در عرض یکساعت حدود ۶۰ کیلومر طی می‌شود در حالی که راه‌آهن پرسرعت در همین مدت زمان می‌تواند حدود ۲۰۰ کیلومتر را طی نماید. این قابلیت در حمل و نقل حومه‌ای باعث تجدید ساختار شهرنشینی و توسعه شهرهای

اقماری در فاصله نسبتاً دور از کلان شهرها می‌گردد. با روی آوردن راه‌آهن‌های پرسرعت به اینگونه سفرها و با توجه به حجم بالای مسافرینی که به راه‌آهن جذب می‌شود و همچنین در جهت ایجاد جذابیت بیشتر، ساختار ایستگاه‌ها تغییرات بنیادی می‌نماید.

رویکرد ایستگاه‌های بن‌بست و متمرکز در راه‌آهن در حال منسوخ شدن است و سعی می‌شود ایستگاه‌ها با دیدگاه جدید توسعه یافته و به یکدیگر متصل شوند و ساختار شبکه‌ای منسجمی بین این ایستگاه‌ها و سایر شیوه‌های حمل و نقل مکمل شکل گیرد. در این حالت ترافیک و مراجعه مسافرین در ایستگاه‌های مختلف توزیع شده و دسترسی آنها تسهیل می‌گردد. لذا برای دسترسی بهتر، لازم است ارتباط سیستم‌های حمل و نقل تغذیه‌کننده و تکمیلی مثل راه‌آهن‌های شهری، متروها، اتوبوس، تاکسی و اتومبیل شخصی به ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت برقرار شود، همانطورکه در ایستگاه‌های بزرگ راه‌آهن پرسرعت در چند طبقه، خطوط مترو (بیشتر به صورت زیرزمینی)، ترمینال اتوبوس‌رانی و میادین مجهز ایستگاه آن را تغذیه می‌نمایند. برای انجام این مهم ساختار ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت تغییرات بنیادی نموده‌اند. در راستای جذب مسافرین بیشتر، سیاستهای راه‌آهن‌های جدید ارائه سرویس‌های تجاری جنبی در کنار سرویس اصلی حمل و نقل است. در ژاپن حدود ۳۰٪ از درآمد راه‌آهن از طریق سرویس‌های تجاری جنبی تأمین می‌گردد.

البته باید به این نکته نیز توجه داشت که به علت کمبود و گرانی زمین همواره احداث و توسعه ایستگاه‌ها در درون کلان‌شهرها ممکن نیست. در این حالت ایستگاه در خارج شهر ساخته می‌شود که در این حالت تدارک لینکهای مناسب ارتباطی به درون شهر ضروری است. در راه‌آهن پرسرعت فرانسه و ایتالیا که قطارهای پرسرعت اجازه تردد روی خطوط راه‌آهن کلاسیک را دارند، قطارهای پرسرعت با توجه به موجود بودن خطوط کلاسیک در درون شهرها از این خطوط استفاده می‌نمایند و خود را به مرکز شهر می‌رسانند. ولی در ژاپن به دلیل تفاوت عرض خط، با صرف هزینه زیاد، خطوط شین‌کان‌سن تا مرکز شهر توکیو احداث شده است. با سیاست انتقال ایستگاه‌ها به درون شهرها و با توجه به گران بودن و کمبود زمین در

داخل شهرهای بزرگ، طراحی ایستگاه باید به گونه‌ای باشد ک حداقل اشغال زمین را داشته باشد. بنابر این در ایستگاه‌های جدید حداقل تعداد خطوط به کار می‌رود و دپوها و کارگاه‌های تعمیر و نگهداری به خارج از شهر منتقل می‌گردد و ایستگاه به جای سطح در ارتفاع توسعه می‌یابد.

با وجود آنکه خارج نمودن ایستگاه‌های راه‌آهن موجود در درون شهر به خارج از شهر به هیچ عنوان پذیرفته نیست، ولی برای احداث ایستگاه‌های جدید راه‌آهن پرسرعت در خارج شهر مزایایی را نیز می‌توان برشمرد:

- توسعه مناطق حومه‌ای از لحاظ صنعتی و اداری
- ایجاد مسیر کمربندی در اطراف شهرهای بزرگ به منظور افزایش ظرفیت خطوط پرسرعت و همچنین کاهش زمان سفر
- ایجاد ارتباط بین سیستم‌های مختلف حمل و نقل ریلی

خطوط و سکوی ایستگاه

طراحی سکو و به ویژه نسبت ارتفاع آن نسبت به کف واگن، پارامتر مهمی در دسترسی راحت‌تر مسافرین به قطار است و قدم مهمی در جهت دسترسی به حمل و نقل بدون مانع به شمار می‌رود. البته تطبیق سکو با کف واگن کار ساده‌ای نیست و همواره محقق نمی‌شود. به عنوان مثال در آلمان ارتفاع کف واگن‌های ICE۳ نسبت به سطح سکو ۴۵۰ میلیمتر بالاتر است و برای سوار شودن دو پله نیاز است.

در ژاپن سکو هم سطح با کف واگن در نظر گرفته می‌شود. فاصله افقی لبه سکو و لبه درب ورودی واگن نیز باید به اندازه‌ای کم باشد که باعث گیر کردن پای مسافرین در فاصله بین آن دو نشود. در ژاپن قطارهای مینی‌شین‌کان‌سن نیز وجود دارند که بخشی از مسیر را روی خطوط اختصاصی شین‌کان‌سن و بخش‌هایی را روی خطوط کلاسیک ارتقاء یافته طی می‌کنند. عرض این قطارها برای اینکه با قواره قطارهای کلاسیک سازگاری داشته باشد از عرض واگن‌های استاندارد شین‌کان‌سن کمتر است. لذا وقتی قطارهای مینی‌شین‌کان‌سن در ایستگاه‌های خطوط

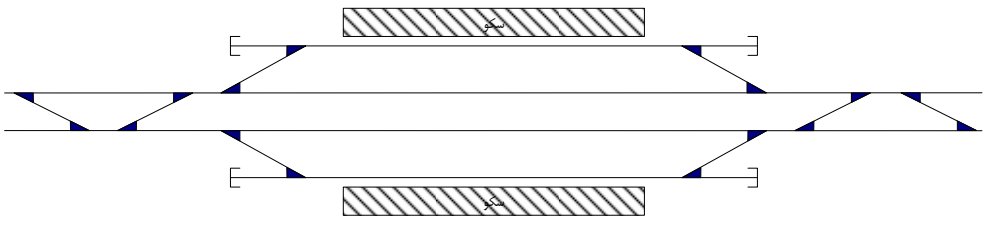
اصلی شین‌کان‌سن توقف می‌نمایند، فاصله افقی نسبتاً زیادی با لبه سکو پیدا می‌کنند که از لحاظ استاندارد ایمنی ژاپن پذیرفته نیست. برای رفع این مشکل درب این قطارها دارای لبه‌ای متحرک هستند که هنگام توقف قطار در ایستگاه، این فاصله را پر می‌نماید.

طول سکوی مسافری بر مبنای طول بلندترین قطار مسافری تعیین می‌گردد. ایستگاه‌های قطارهای پرسرعت باید حداقل دو سکو داشته باشند که توسط راهروی زیرگذر به یکدیگر مرتبط می‌گردد. برای ایمن بودن مسافران از اثرات آیرودینامیکی قطارهای عبوری از خط اصلی، سکوهای مسافری کنار خطوط جانبی ساخته می‌شوند. احداث سکوهای جزیره‌ای بین خط اصلی و خط جانبی، در ایستگاه‌های بین راهی راه‌آهن پرسرعت مطلقاً منع شده است. طول سکوهای ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر با عرض حدود ۱۰ متر در نظر گرفته می‌شوند.

یکی از مهمترین اجزایی که در تشکیل خطوط ایستگاه نقش دارد، سوزن است که در مورد ویژگی‌های آن قبلاً توضیح داده شد.

خطوط ایستگاه‌های مسافری در پلان، روی مسیر مستقیم و در نیمرخ طولی، روی شیب ۰ الی ۲ در هزار قرار می‌گیرند. سوزن‌های رابط دو خط اصلی ایستگاه‌ها را می‌توان روی شیب کمتر از ۵ در هزار نیز منظور نمود.

سوزن‌های رابط بین دو خط اصلی در موارد خرابی یکی از قطارها در بلاک، برای برقراری ترافیک از یک خط به خط دیگر مطابق شکل ۳-۷ برای رفت و برگشت مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۷: شماتیک نمونه یک ایستگاه میانی راه‌آهن پرسرعت

نکته دیگری که طراحی لی‌اوت خطوط ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت رعایت می‌شود، تعداد خطوط کم ایستگاه است و خطوط عبوری برای ایمنی بیشتر از کنار سکو عبور نمی‌کنند و معمولاً خطوط دوم و سوم ایستگاه هستند. با توجه به اینکه ایستادن مسافرین منتظر قطار بر روی سکو می‌تواند خطرناک باشد و امکان سقوط مسافر از سکو و پرت شدنش روی خط قطار وجود دارد در ایستگاه‌های جدید راه‌آهن پرسرعت به عنوان مثال در آلمان و ژاپن لبه سکو دارای حفاظ است که دروازه‌هایی روی آن مقابل درب‌های قطار تعبیه شده است. این دروازه‌ها می‌تواند مانند نمونه‌ای که از راه‌آهن آلمان در شکل ۳-۸ نشان داده شده است باز باشد و یا دارای درب‌های کشویی و خودکاری باشد که پس از توقف قطار و باز شدن درب‌های آن باز می‌شود. یکی از معایب حفاظ، این است که موقعیت و تعداد درب‌های تمام قطارها باید کاملاً یکسان باشد و یا درب‌های سکو برای چند نوع قطار طراحی شود. به سیستم فوق که در متروها نیز کاربرد فراوانی دارد PSD[1] گفته می‌شود.

شکل ۳-۸: حفاظ سکو در راه‌آهن پرسرعت آلمان

[1] Platform Screening Door

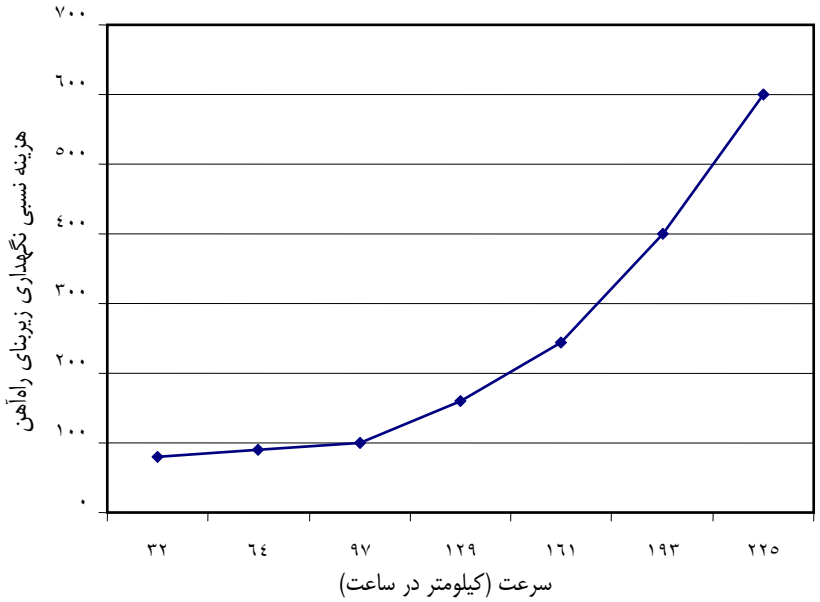
نکته مهم دیگر در طراحی ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت معماری و نمای ظاهری آن است. ایستگاه‌های راه‌آهن پرسرعت باید دارای معماری شاخصی باشند که نقش و اهمیت و کلاس آنها را نشان داده و به عنوان نماد ماندگاری در مجموعه شهری خودنمایی کند.

۳-۶- نگهداری زیرساخت

تعمیر و نگهداری زیرساخت از مسائل مهم در هر پروژه ریلی از جمله در راه‌آهن پرسرعت است. بازدید و تعمیرات دقیق و برنامه‌ریزی شده راه‌آهن پرسرعت حساس‌تر و در کارآیی و عملکرد مورد انتظار آن نقش حیاتی دارد. از این روست که هزینه‌های تعمیر و نگهداری با افزایش سرعت رشد نمایی دارد. در شکل ۳-۹ نمودار افزایش هزینه‌های نگهداری را بر حسب سرعت بهره‌برداری نشان می‌دهد.

۳-۶-۱- بازدید

بازدید، اولین مرحله در نگهداری محسوب می‌گردد که اهمیت زیادی دارد. بازدید که در سطوح مختلفی از بازدید اولیه تا بازدید دقیق قابل انجام است، مبنای تصمیم‌گیری برای رفع خرابی‌های مشاهده شده است. بازدید، همچنین امکان پیش‌بینی وقوع خرابی‌ها را فراهم می‌نماید که منجر به اقدامات اصلاحی پیشگیرانه می‌گردد. مدیریت اقدامات پیشگیرانه، امروزه در راه‌آهن پیشرفت زیادی نموده است و می‌تواند از بروز سوانح سنگین و وارد شدن خسارات جانی و مالی عمده جلوگیری نماید. بازدید زیربنا به دو صورت چشمی (با پیاده‌روی، با درزین و با لکوموتیو) و با تجهیزات (با ابزار دستی، با تجهیزات موبایل و با ماشین‌آلات مکانیزه بازدید) صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۹: نمودار نسبت هزینه با افزایش سرعت

در روش بازدید چشمی کارگران بازدیدکننده با قدم زدن در کنار خط، سوزن‌ها، تقاطع‌ها و درزهای انبساط را به طور چشمی بازدید می‌کنند. ماشین‌آلات بازدید نیز با حرکت در طول خط، هندسه خط، بازدید اولتراسونیک ریل برای تشخیص شکستگی‌های احتمالی درونی ریل و اندازه‌گیری ناهمواری‌های سطح ریل را با تکنیک جریان-ادی انجام می‌دهند. این وظایف ممکن است توسط چندین ماشین صورت گیرد.

دوره بازدید و اندازه‌گیری زیربنا پارامتر مهم دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد. طول دوره‌های بازدید بستگی به شرایط بهره‌برداری، ترافیک و کلاس خطوط مورد نظر دارد و کشورهای مختلف بعضاً استانداردهای متفاوتی را در این خصوص مد نظر قرار می‌دهند. به عنوان مثال در ژاپن دوره بازدید با ماشین اندازه‌گیری در خطوط پرسرعت اصلی هر ۱۰ روز یکبار و برای خطوط مینی‌شین کانسن هر ۳ ماه یکبار صورت می‌گیرد (جزئیات نحوه بازدید

مکانیزه در راه‌آهن پرسرعت ژاپن در همین فصل خواهد آمد). نمونه دوره‌های بازدید مورد استفاده در راه‌آهن آلمان در جدول ۳-۵ آمده است.

جدول ۳-۵: دوره های بازدید خطوط راه‌آهن پرسرعت آلمان

نوع بازدید	دوره بازدید (ماه)	
	سرعت از ۱۶۰ تا ۲۳۰ (کیلومتر در ساعت)	سرعت بیش از ۲۳۰ (کیلومتر در ساعت)
هندسه خط	۳	۲
رفتار دینامیکی	۶	۶ (کلن–فرانکفورت ۴)
بازدید چشمی با پیاده‌روی در کنار خط	۳	۲
بازدید مکانیزه (توسط ماشین‌آلات اندازه‌گیری)	۳	۳
بازدید سوزن‌ها	۳	۳
تست اولتراسونیک	۴	۴
پروفیل تاج ریل	۱۸	۱۲

پست‌های بازدید و نگهداری

برای فراهم نمودن شرایط بازدید، نیاز به مراکز بازدید و نگهداری است. در این مراکز، تجهیزات و پرسنل مورد نیاز برای انجام بازدید و نگهداری مستقر هستند. این مراکز بسته به شرایط بهره‌برداری، طول مشخصی از خط را پشتیبانی می‌کنند. به عنوان مثال یک مرکز پشتیبانی در راه‌آهن پرسرعت هلند با تعداد حدود ۷۰ نفر پرسنل با تخصصهای مرتبط یک طول ۸۰ کیلومتری را زیر پوشش قرار می‌دهد. در پستهای بازدید و نگهداری راه‌آهن پرسرعت با توجه به نقش مهم آن در بهره‌برداری بی‌وقفه، پایدار و ایمن، رعایت اصولی از جمله موارد زیر الزامی است:

- استانداردهای شفاف ساخت و تأیید
- قابلیت فنی بالا و آماده به کاری زیاد پرسنل نگهداری

- تنوع کاری و انعطاف در امور فنی لازم
- قابلیت بالای وارسی مکانیزه و انجام امور

۳-۶-۲- ناوگان بازدید

بر اثر بارگذاری مداوم قطارها، خط آهن در معرض تغییر وضعیت و جابجایی‌های عمودی و جانبی قرار دارد. اندازه‌گیری دوره‌ای جابجایی و ناهمواریهای خط و تشخیص خرابی‌ها و انجام اقدامات اصلاحی برای داشتن راحتی و ایمنی سفر به خصوص در خطوط راه‌آهن پرسرعت ضروری است. ماشین‌آلات بازدید شامل ماشین اندازه‌گیر هندسه خط، ماشین بازدید پل، ماشین بازدید تونل، ماشین بازدید ریل، ماشین بازدید شبکه برقی و قطار بازدید خط می‌شوند. البته در راه‌آهن پرسرعت معمولاً ماشین‌آلات بازدید یکپارچه‌ای بکار گرفته می‌شوند که خیلی از این وظایف را به طور یکجا و همزمان انجام می‌دهند.

در هریک از راه‌آهن‌های پرسرعت دنیا، ماشین اندازه‌گیر خاص و پیشرفته‌ای به کار گرفته می‌شود. به ماشین اندازه‌گیر گاهی دکتر خط نیز گفته می‌شود. از ویژگی‌های این ماشین‌ها در راه‌آهن پرسرعت، سرعت بالای اندازه‌گیری آنها (در حد سرعت بهره‌برداری) و همچنین اندازه‌گیری پارامترهای متعدد زیرساخت است. این ماشین‌ها قیمت زیادی نیز دارند که باید در برآورد هزینه‌های راه‌آهن پرسرعت در نظر گرفته شود.

در ادامه به طور نمونه، ماشین‌آلات بازدید مورد استفاده در خطوط راه‌آهن پرسرعت ژاپن معرفی می‌گردد که در نوع خود از پیشرفته‌ترین ماشین‌آلات بازدید و اندازه‌گیری راه‌آهن محسوب می‌شود.

در خطوط شین‌کان‌سن برای مدتهای زیادی از «دکتر زرد[۱]» که یک ترن‌ست پرسرعت برای اندازه‌گیری وضعیت خط و شبکه بالاسری است استفاده می‌شد. این قطار دارای سیستم اندازه‌گیری بر مبنای سه بوژی بود و با حداکثر سرعت ۲۱۰ کیلومتر در ساعت اندازه‌گیری را انجام می‌داد. برای اینکه اندازه‌گیری‌ها هرچه بیشتر به شرایط واقعی نزدیک باشد، لازم است

[۱] Doctor Yellow

سرعت قطار اندازه‌گیر به سرعت بهره‌برداری خط نزدیک باشد. از طرفی در صورتی که سرعت قطار اندازه‌گیری به خصوص در خطوط راه‌آهن پرسرعت کمتر از سرعت بهره‌برداری باشد، باعث مختل شدن ترافیک خواهد گردید. با افزایش سرعت قطارها در شبکه راه‌آهن پرسرعت ژاپن، فناوری موجود در قطار اندازه‌گیر دکتر زرد و حداکثر سرعت اندازه‌گیری آن کفایت نمی‌کرد و لازم بود سیستم جدید اندازه‌گیری جایگزین آن گردد. به منظور افزایش سرعت اندازه‌گیری یکی از اقداماتی که صورت گرفت جایگزین کردن سیستم اندازه‌گیری بر مبنای دو بوژی به جای سه بوژی بود.

در همین راستا ابتدا قطار اندازه‌گیری STAR۲۱ و سپس East-i توسعه یافت که این قطار از پیشرفته‌ترین قطارهای اندازه‌گیری راه‌آهن پرسرعت محسوب می‌شود.

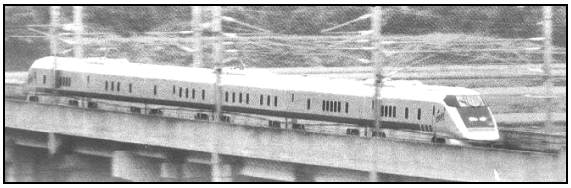
قطار اندازه گیری East-i

پس از ساخت قطار اندازه‌گیر STAR۲۱ بین سالهای ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ با توجه کم‌تر بودن بار محوری در برخی از خطوط جدید و همچنین نیاز به سرعت اندازه‌گیری بالاتر، راه‌آهن شرق ژاپن قطار East-i که آخرین سیستم اندازه‌گیری خطوط شین‌کان‌سن محسوب می‌گردد را توسعه داد.

راه‌آهن شرق ژاپن دارای ۳ رام قطار اندازه‌گیر East-i است که با حداکثر سرعت خط حرکت می‌کنند. یکی از این قطارها مربوط به اندازه‌گیری خطوط اصلی شین‌کان‌سن است که با حداکثر سرعت ۲۷۵ کیلومتر در ساعت پارامترهای مورد نظر را اندازه‌گیری می‌نماید. این قطار دارای ۶ واگن اندازه‌گیر است، در حالی که دو قطار دیگر مربوط به اندازه‌گیری خطوط مینی شین‌کان‌سن دارای ۳ واگن هستند.

اسم کامل این قطار Shinkansen General Electric and Track Inspection Car یا ماشین بازرسی عمومی خط و تجهیزات الکتریکی خطوط شین‌کان‌سن است. این ماشین یک قطار مخصوص است که مرتباً تمام پارامترهای خطوط و تأسیسات برقی شین‌کان‌سن را برای اطمینان از ایمنی تردد در این خطوط مورد بررسی قرار می‌دهد. با استفاده از فناوری پیشرفته‌ای که در

این قطار به کار رفته است، امکان تست با سرعت بسیار بالاتر از قطارهای معمولی بازرسی خطوط فراهم شده است.



شکل ۳-۱۰: تصویری از قطار اندازه‌گیری East-I در حال اندازه‌گیری

خطوط شین‌کانسن Tohoko، Joetso و Nagano هر ۱۰ روز یکبار و خطوط مینی‌شین‌کانسن Yamagata و Akita سالی ۴ مرتبه با این قطار تست می‌شوند. لازم به ذکر است دو خط اخیر دارای عرض خط دوگانه برای قطارهای شین‌کانسن کوچک (mini-Shinkansen) همزمان با قطارهای کلاسیک هستند. نمایی از قطار East-i در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.

بخش اندازه‌گیری پارامترهای خط

یک قطار شین‌کانسن، ۱۶ واگن و حدود ۹۳۰ تن وزن دارد. خط و ریل باید قابلیت آن را داشته باشد که این جرم سنگین با سرعت بالا را عبور دهد. ولی در هر صورت عبور پیاپی این قطارها با سرعت ۲۷۵ کیلومتر در ساعت باعث سایش و خرابی‌هایی در خط می‌شود. از این رو و به منظور تداوم بهره‌برداری و حفظ ایمنی، خطوط شین‌کانسن باید اندازه‌گیری و تست شوند و در صورت وجود مشکل تعمیرات لازم در خط صورت گیرد.

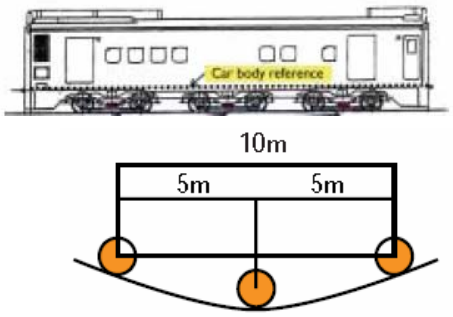
به طور کلی قطار East-i قادر است پارامترهای خطی زیر را با حداکثر سرعت ۲۷۵ کیلومتر در ساعت اندازه‌گیری نماید:

- ناهمواریهای سطحی ریل
- خرابی‌های طولی و افقی (جانبی) خط
- دِور (بربلندی)
- عرض خط
- شتاب نوسانی قطار
- شتاب نوسانی سرمحور
- وزن چرخ و فشار جانبی
- نویز زیر قطار

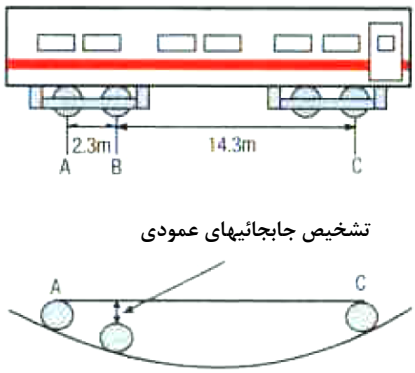
حسگرهای اندازه‌گیری نیروهای جانبی وارد بر خط و نیز شتاب‌سنج نصب شده روی سرمحور جزو تجهیزات بیرونی واگن شماره ۲ هستند.

پارامترهای خط در واگن شماره ۳ پردازش و نمایش داده می‌شود. واگن شماره ۳ تجهیزات ناهمواریهای سطحی ریل، خرابی‌های طولی و افقی خط، مونیتورینگ وضعیت ریل، مؤلفه‌های عمودی و افقی فشار چرخ و تجهیزات ضبط تصویر را داراست.

وزن فشار جانبی چرخ همان نیروهای P و Q هستند که در صورت کمتر شدن نسبت آنها از مقدار آستانه مجاز، پدیده خروج از خط رخ می‌دهد و لذا اندازه‌گیری آنها در شرایط واقعی و سرعت بالا اهمیت زیادی دارد.



شکل ۳-۱۱: روش اندازه‌گیری ۳ بوژی

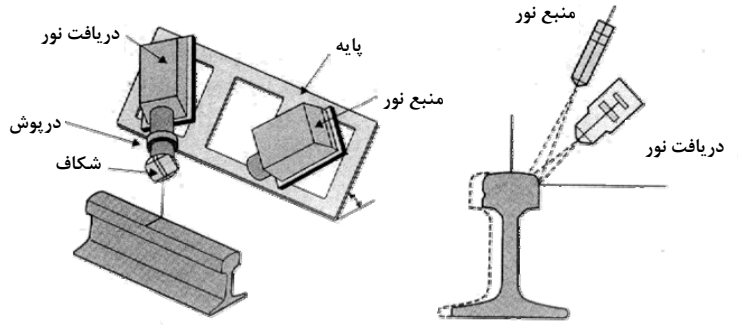


شکل ۳-۱۲: روش اندازه‌گیری جدید ۲ بوژی

برخی از پارامترهای کلیدی خط که در بالا اشاره گردید از روش‌های نوینی به دست می‌آیند که در ادامه توضیح داده می‌شود. خرابی‌های طولی و افقی خط قبلاً با استفاده از روش ۳ بوژی انجام می‌شد (انحراف از وسط وتر متقارن). در این روش اولاً شاسی واگن باید از جنس سختی ساخته می‌شد تا در محل قرارگیری بوژی وسط که جابجایی آن مبنای اندازه‌گیری است، شکم ندهد و ثانیاً چون ساختار آن با قطارهای در حال بهره‌برداری در خط متفاوت بود، شرایط کاملاً واقعی را شبیه‌سازی نمی‌کرد و در نتیجه دقت اندازه‌گیری‌ها تحت‌الشعاع قرار می‌گرفت.

برای رفع این مشکل روش ۲ بوژی ابداع گردید که هم اکنون در قطار East-i به کار می‌رود (انحراف از وسط وتر نامتقارن). در این روش چرخ‌های بیرونی (A و C) ثابت بوده و یکی از چرخ‌های درونی (B) مبنای اندازه‌گیری جابجائی‌های عمودی قرار دارد و سپس با استفاده از روابط ریاضی به میزان خرابی طولی خط بر مبنای مرکز فاصله ۱۰ متر و یا ۴۰ متر تبدیل می‌شود. برای داشتن مرجع خط مستقیم از چرخ A به چرخ C به جای استفاده از شاسی غیر قابل انعطاف از شعاع لیزری در کف واگن استفاده می‌شود (شکل ۳-۱۱ و شکل ۳-۱۲).

برای اندازه‌گیری خرابی‌های افقی خط از روش فوق استفاده می شود، با این تفاوت که در نقطه اندازه‌گیری، جابجایی افقی یا جانبی ریل نسبت به خط مستقیم اتصال نقطه A به C اندازه‌گیری می‌شود. در این حالت اندازه‌گیری به صورت غیرتماسی و با استفاده از تاباندن اشعه لیزر بر ریل و تصویربرداری از بازتاب آن و پردازش تصویر میزان جابجایی به دست می‌آید (شکل ۳-۱۳).

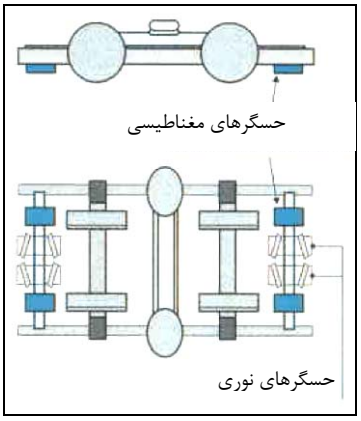


شکل ۳-۱۳: نحوه اندازه گیری جابجایی افقی خط و پروفیل ریل توسط قطار اندازه‌گیری East-i

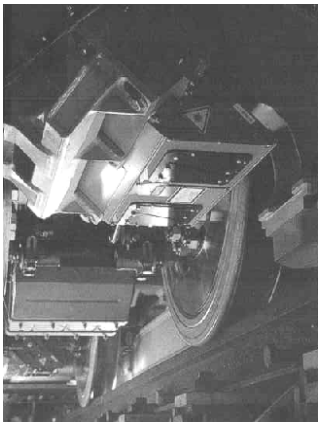
از همین سیستم برای به دست آوردن پروفیل ریل نیز استفاده می‌گردد. محل قرار گرفتن سیستم‌های لیزری روی بوژی در شماتیک شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است. همان طورکه مشاهده می‌شود، علاوه بر سیستم لیزری، سیستم مغناطیسی نیز روی بوژی تعبیه شده است که همین سیستم وظیفه اندازه‌گیری جابجایی افقی ریل را بر عهده دارد و برای زمانی است که در

مناطق برف‌گیر انعکاس نور از برف مانع اندازه‌گیری دقیق سیستم نوری می‌گردد. محل قرار گرفتن تجهیزات لیزری فوق در زیر قطار در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری‌های انجام شده بعضاً با دقت و سرعت نمونه‌برداری بسیار بالایی انجام می‌شوند به طوری که برخی از نمونه‌برداریها در هر ۰/۲۵ میلی ثانیه صورت می‌گیرد.



شکل ۳-۱٤: محل سنسورهای لیزری و مغناطیسی اندازه‌گیری خرابی افقی خط



شکل ۳-۱۵: سنسور لیزری نصب شده زیر بوژی

۳-۶-۳- تعمیرات زیرساخت

عملیات بازدید، مرحله اول در مدیریت تعمیر و نگهداری به شمار می‌رود. پس از بازدید، اطلاعات و داده‌ها ثبت و گزارشات مربوطه تهیه می‌شود. با استفاده از این گزارشات وضعیت خط تحلیل می‌گردد و فعالیتهای مربوط به نگهداری و تعمیر خطوط و همچنین اقدامات پیشگیرانه تعیین و اجرا می‌گردد. پس از انجام تعمیرات ممکن است بازدید مجددی به منظور اطمینان از بهبود شرایط در حد مطلوب انجام گیرد. نگهداری و تعمیرات همچون بازدید ممکن است به صورت دستی یا مکانیزه باشد.

برای تعمیرات و اصلاح خطوط راه‌آهن که در اثر مرور زمان و در اثر بهره‌برداری تنزل کیفیت و مشخصات یافته‌اند، هر چند مدت یکبار لازم است عملیات تعمیرات و بهسازی روی آنها صورت گیرد. برای انجام کار با سرعت مناسب و دقت لازم از ماشین‌آلات مخصوصی استفاده می‌شود که اصلی‌ترین آنها عبارتند از:

- زیرکوب (Tamping)
- پایدارساز (Stabilisation)
- رگولاتور (Regulator)
- ماشین سنگ‌زنی (Grinding)
- ماشین اصلاح پروفیل ریل
- ماشین سوزن‌کوب
- ماشین سرند بالاست (Ballast cleaning)
- ماشین چند منظوره

دوره تعمیرات مختلف خط بستگی به شرایط بهره‌برداری دارد و معمولاً اندازه‌گیری‌ها و بازرسی‌های دوره‌ای که در بخش قبل توضیح داده شد، زمان مناسب آن را تعیین می‌نماید. لیکن جهت آشنایی با یک نمونه در راه‌آهن پرسرعت، تجربه نت راه‌آهن پرسرعت هانوور-ورزبرگ پس از ۵ سال بهره‌برداری در جدول زیر آمده است:

جدول ۳-۶: تجربه نت راه‌آهن پرسرعت هانوور-ورزبرگ پس از ۵ سال بهره‌برداری

اقدام	فاصله زمانی
زیرکوبی و پایدارسازی خطوط	یکبار در ۵ سال
زیرکوبی و پایدارسازی سوزن‌ها	هر ۳ سال
سنگ زنی ریل‌ها	هر ۴ سال
سنگ زنی سوزن‌ها	هر ۳ سال
جوشکاری سطحی ریل (لکه گیری)	۶۵ مورد در هر ۱۰۰ کیلومتر در هر سال
اصلاح سایر خرابیهای موردی	۵۰ مورد در هر ۱۰۰ کیلومتر در هر سال
تعویض زبانه سوزن	۱ مورد در هر ۱۰۰ سوزن در سال
تعمیر شکستگی ریل	صفر

فصل ۴

قطارهای پرسرعت

۴-۱- مقدمه

زیرساخت راه‌آهن پرسرعت به همراه قطارهای ویژه پرسرعت تشکیل یک راه‌آهن پرسرعت قابل بهره‌برداری را می‌دهند. قطارهای پرسرعت با قطارهای کلاسیک متفاوت هستند و ویژگی‌های منحصر به فردی دارند. با توجه به اهمیت قطارهای پرسرعت در بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت یک فصل به این موضوع اختصاص داده می‌شود.

۴-۲- مشخصه‌های اصلی

قطارهای پرسرعت دارای یک سری ویژگی‌های ذاتی و مشترک هستند که لازمه نوع بهره‌برداری آنها می‌باشد. قطارهای پرسرعت دارای حداقل سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت روی خطوط ویژه پرسرعت بوده و قابلیت رسیدن به سرعت‌های بالای ۳۰۰ کیلومتر در ساعت را در شرایط مناسب دارند. البته این قطارها ممکن است در خطوط کلاسیک با سرعت کمتری حرکت نمایند.

ویژگی بیشتر قطارهای پرسرعت جدید این است که خودکشش الکتریکی یا اصطلاحاً EMU[1] می‌باشند. در قطار خودکشش، به جای اینکه قطار توسط لکوموتیو کشیده شود، نیروی محرکه در طول محورهای قطار توزیع شده است. این ویژگی، نیروی جلوبرندگی بیشتری به کل قطار داده و در نتیجه قطار خیلی سریع به سرعت حداکثر می‌رسد، ضمن اینکه قابلیت پیمایش فراز را بدون کاهش محسوس سرعت ایجاد می‌نماید. تعداد موتورهای کششی بیشتر در طول قطار، نسبت توان به وزن ناخالص بالاتری را به دست می‌دهد. این نسبت در قطارهای پرسرعت حدوداً ۱۵ تا ۲۰ kW/ton است، در حالی که در قطارهای باری سنگین این نسبت در حدود ۱/۵ تا ۲ kW/ton است. توان کل یک قطار ممکن است به ۱۸ MW برسد (قطار شین‌کان‌سن)، ولی به طور معمول، قطارهای پرسرعت با طول ۲۰۰ متر و وزن تقریبی ۴۰۰ تن حدود ۸ تا ۱۰ مگاوات توان دارند. نسبت توان به وزن ناخالص بالا در قطارهای پرسرعت (حدود ۱۰ برابر قطارهای عادی) برای شتاب‌گیری و حفظ سرعت لازم می‌باشد. این میزان انرژی این قابلیت را به قطار می‌دهد که با از دست دادن اندک سرعت (حدود ۲۰٪) فرازهای تند را طی نماید. بار محوری قطارهای پرسرعت همانگونه که در فصل زیرساخت آورده شد، بین ۱۷ تا ۱۸ تن می‌باشد. عرض خط در راه‌آهن پرسرعت استاندارد است (در این مورد استثناء نیز وجود دارد)، بنابر این ناوگان راه‌آهن پرسرعت متناسب با عرض خط استاندارد ۱۴۳۵ میلیمتر ساخته می‌شوند. حتی در ژاپن که عرض خط شناخته شده و کلاسیک راه‌آهن، عرض خط باریک ۱۰۶۷ میلیمتر است، پس از آنکه در دهه ۶۰ تصمیم به احداث راه‌آهن پرسرعت گرفته شد، به علت محدودیت سرعت برای عرض خط باریک، عرض خط استاندارد برای این منظور انتخاب گردید. البته این تفاوت عرض خط در ژاپن باعث شده است که شبکه راه‌آهن پرسرعت از شبکه راه‌آهن کلاسیک کاملاً مجزا شود. در عوض، در کشورهایی که عرض خط راه‌آهن کلاسیک آنها تا پیش از احداث شبکه راه‌آهن پرسرعت، استاندارد بوده است، بهره‌برداری مختلط بیشتر به چشم می‌خورد.

[1] Electric Multiple Unit

قطارهای پرسرعت معمولاً دارای آرایش ثابتی هستند و واگن‌های آنها به سادگی و در حال بهره‌برداری قابل انفصال یا اتصال نیستند. طول قطارهای پرسرعت بین ۱۰۰ تا حداکثر ۴۰۰ متر می‌باشد. برای سهولت بهره‌برداری و اینکه نیازی به دور زدن قطار در ایستگاه مبدا و مقصد نباشد، قطارهای پرسرعت دوکابین ساخته می‌شوند یعنی در دو انتهای قطار، کابین راننده در نظر گرفته می‌شود. در صورت نیاز در برخی از موارد برای افزایش ظرفیت قطارها می‌توان دو رام قطار پرسرعت را به یکدیگر کوپل نمود.

۴-۳- نیازمندی‌های عمومی

نیازمندیهای عمومی قطارهای پرسرعت به چهار دسته تجاری، فنی و ایمنی، نگهداری و بهره‌برداری و نهایتاً تطابق با زیرساخت تقسیم‌بندی می‌شوند. این نیازمندیها در ادامه شرح داده می‌شود.

۴-۳-۱- نیازمندی‌های تجاری

از دیدگاه تجاری و ایجاد جذابیت برای مسافرین باید در داخل قطارهای پرسرعت شرایط مناسب و متناسب فراهم گردد و مسافرین علاوه بر دریافت سرویس حمل و نقل، از بودن در قطار احساس راحتی و آرامش نمایند. نوع سرویس‌های ارائه شده، معمولاً به طول زمان سفر نیز بستگی دارد. مثلاً در سفرهای شبانه قطارهای کلاسیک معمولاً سرویس خواب تأمین می‌گردد، ولی در راه‌آهن پرسرعت با توجه به زمان نسبتاً کوتاه‌تر سفر که زیر ۴ ساعت برنامه‌ریزی می‌گردد، واگن‌ها کوپه‌دار نیستند و دارای سالن پوشیده از صندلی می‌باشند. در سفرهای کوتاه‌تر، سرویس‌های راحتی کمتری ارائه می‌گردد. بسته به هزینه پرداخت شده توسط مسافرین، علاوه بر سرویس‌های موجود، سرویس‌های اضافه‌تری به مسافرین ارائه می‌گردد. به این منظور در قطارهای پرسرعت کلاس‌های مختلفی نظیر کلاس اقتصادی و کلاس تجاری تعریف می‌گردد. در کلاس تجاری، صندلی‌ها راحت‌تر و با فاصله بیشتری بوده و خدمات بیشتری ارائه می‌شود.

برای راحتی بیشتر، صندلی‌های قطار ممکن است قابل چرخش باشند تا مسافر بتواند در جهت حرکت و یا مخالف آن قرار بگیرد. در این حالت افرادی که با هم سفر می‌کنند، می‌توانند صندلی‌های خود را به طرف هم برگردانند. از طرفی برای راحتی، به خصوص در سفرهای طولانی‌تر پشتی صندلی قابل تا شدن می‌باشد تا مسافرین بتوانند خواب کوتاهی داشته باشند. نکته مهم دیگر آن است که جلوی پای مسافرین نیز باید به اندازه کافی باز و راحت باشد.

سرویس‌هایی که در قطارهای پرسرعت ارائه می‌گردد

. تقریباً تمام قطارهای پرسرعت در دنیا دارای حداقل دو کلاس ویژه (تجاری) و معمولی (اقتصادی) می‌باشند. البته حداقل سرویس‌ها در تمام کلاس‌ها ارائه می‌شود که سطح آن به سیاست و ابتکار بهره‌بردار و همچنین علاقه و فرهنگ مسافرین بستگی دارد. ارائه برخی سرویس‌ها که در برابر هزینه‌های بالای بهره‌برداری قطارهای پرسرعت قابل توجه نیست، ممکن است نقش زیادی در جذب مسافرین بیشتر به راه‌آهن پرسرعت داشته باشد. به عنوان مثال در مسیرهایی که سفرهای کاری صورت می‌گیرد، ارائه سرویس اینترنت باعث می‌شود که چند ساعتی که افراد در قطار هستند کارهای خود را از طریق رایانه شخصی و با اتصال به شبکه جهانی اینترنت انجام دهند. این سرویس که در سایر شیوه‌های حمل و نقل رقیب موجود نیست، می‌تواند در انتخاب راه‌آهن پرسرعت برای سفر، نقش مهمی داشته باشد. سیستم تهویه مناسب قطار نیز از پارامترهای بسیار تأثیر گذار در راحتی مسافرین است و باید به آن توجه ویژه‌ای شود. به خصوص اگر موقعیت جغرافیایی بهره‌برداری در مناطق گرم یا سرد باشد، لازم است به مسئله تأمین شرایط محیطی معتدل و مناسب در داخل قطار بیشتر پرداخته شود. با توجه به اینکه برخی از مسافرین سیگاری هستند، بهتر است واگن‌هایی را مخصوص سیگاریها در نظر گرفت.

جدول ٤-۱: سرویس‌های اضافی ارائه شده در برخی از قطارهای پرسرعت

راه‌آهن / پرسرعت / سرویس	فرانسه	آلمان	اسپانیا		ایتالیا	
	SNCF	DB	Renfe	ETR۵۰۰	ETR۴۸۰	ETR۴۵۰
پذیرایی سر صندلی	✓*	✓	✓			
نوشیدنی خوش‌آمدگویی	✓		✓*	✓*	✓*	✓*
غذای میان وعده				✓*	✓*	✓*
روزنامه	✓	✓	✓	✓*	✓*	✓*
کافه‌تریا/رستوران	✓	✓	✓	✓	✓	
فروش سیار تنقلات						✓
ویدئو		✓	✓			
صوتی (۴ کانال موسیقی)		✓	✓	✓	✓	
بازی بچه‌ها	در برخی از سرویس‌های جدید شین‌کان‌سن ارائه شده است.					
اتاق رختکن	✓	✓(ICE ۳)				
تلفن داخل قطار		✓	✓			
پارکینگ			✓			
رزرو تاکسی	✓	✓				
دسترسی به لابی کلوپ	✓	✓*	✓*	✓	✓	✓
محل تعویض بچه						
تمهیدات ویژه معلولین				✓	✓	
تمهیدات ویژه والدین با بچه		✓				
پریز برق	✓	✓		✓	✓	
ایستگاه‌های موبایل		✓				
کوپه ویژه کسب و کار		✓		✓		

* روی بلیت درجه ۱ لحاظ شده است.

۴-۳-۲- نیازمندی‌های فنی و ایمنی

حد بالایی از استانداردهای ایمنی در قطارهای پرسرعت لحاظ می‌گردد. این استانداردها چه در موقع تولید و تحویل‌گیری و چه در موقع بهره‌برداری حائز اهمیت می‌باشند. چندین سطح استاندارد در این زمینه وجود دارد که عبارتند از استانداردهای UIC، استانداردهای TSI، استانداردهای EN ریلی و استانداردهای ملی. استانداردهای UIC کاملاً شناخته شده و جهانی

هستند و بخش‌های عمده‌ای از راه‌آهن پرسرعت از جمله قطارها را در برمی‌گیرند. به عنوان مثال می‌توان به فیش شماره ۶۶۰ UIC اشاره کرد که به الزامات فنی قطارها می‌پردازد.

استاندارد TSI بیشتر به مشخصات فنی اشاره دارد که به منظور سازگاری بین راه‌آهن‌های کشورهای مختلف استفاده می‌شود. این مسئله در اروپا که یک قطار پرسرعت روی شبکه راه‌آهن پرسرعت چند کشور سیر می‌کند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. استانداردهای اروپایی EN نیز که امروزه در سطح جهان به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، بخش ریلی را نیز در برگرفته‌اند، به طوری که استانداردهای مهمی نیز مربوط به بخش ریلی در این حیطه تدوین شده است. به عنوان مثال می‌توان به استاندارد EN۵۰۱۲۶ اشاره نمود که مربوط به RAMS[1] می‌باشد. کشورهایی که در زمینه راه‌آهن پرسرعت صاحب نام هستند، به فراخور نیاز، استانداردهایی را تعریف و در سطح ملی رسمیت بخشیده‌اند. برخی از این استانداردها مانند استانداردهایی که در آلمان یا فرانسه وجود دارد، چنان معتبرند که در سایر کشورها نیز به عنوان مرجع قرار می‌گیرند.

۴-۳-۳- نیازمندی‌های نگهداری و بهره‌برداری

قطارهای پرسرعت از لحاظ قابلیت اطمینان و آماده‌کاری برای بهره‌برداری و آسانی تعمیر و نگهداری باید در حد قابل قبول و مشخصی باشند که در استاندارد مشخص می‌شود. قطارهای پرسرعت با توجه به سرعت بالا، نسبت به قطارهای راه‌آهن کلاسیک باید از ایمنی بالاتری برخوردار باشند و در نتیجه لازم است از استانداردهای ایمنی دقیق‌تری پیروی نمایند. از طرفی قطارهای پرسرعت در صورت بروز مشکلات و خرابی در حین بهره‌برداری، ضمن آنکه نباید ایجاد سانحه نمایند، بهره‌برداری را هم نباید مختل کنند و تا حد مشخصی بتوانند ادامه مسیر دهند. همچنین تعمیر و نگهداری قطارهای پرسرعت باید روتین، راحت و سریع باشد.

[1] Reliability, Availability, Maintainability and Safety

۴-۳-۴- انطباق با زیرساخت

قطارهای پرسرعت روی خط آهن حرکت می‌کنند و با زیرساختی در تعاملند که برای بهره‌برداری مناسب و با سرعت بالا، لازم است انطباق و سازگاری مناسبی با آن داشته باشند.

در درجه اول، عرض چرخ‌ها باید با عرض خط با در نظر داشتن تلرانسهای مجاز انطباق داشته باشد. قطار همچنین باید با خط از لحاظ اندرکنش و نیروهای متقابل بین چرخ و ریل و سختی، انطباق لازم را داشته باشد. به عنوان مثال با توجه به اینکه بوژی‌های قطار برای حداقل قوس مشخصی طراحی می‌شوند، لازم است حداقل قوس خط که در کارگاهها و دپوها وجود دارد با قوس طراحی شده قطارها سازگاری داشته باشد. درب‌های قطار باید انطباق لازم را با سکوها داشته باشند و به محض توقف کامل قطار روی سکو درب‌ها باز شود و تا زمانی که کلیه درب‌ها بسته و قفل نشود، قطار حرکت ننماید. برخی از سکوهای جدید ایستگاه‌ها برای ایمنی بیشترین مسافرین منتظر قطار، دارای حفاظ درب‌دار (PSD) هستند که در حالت عادی این درب‌ها بسته هستند. نه تنها این درب‌ها باید هنگام توقف قطار، در روبروی درب‌های قطار قرار گیرند، بلکه باید با درب‌های قطار همزمان باز شوند.

بخش‌های تغذیه قطار باید با سیستم تغذیه کنار خط که جزو زیرساخت محسوب می‌شود، انطباق لازم را داشته باشند. ولتاژ و فرکانس تغذیه قطار و شبکه بالاسری نیز باید سازگار باشد. حتی پانتوگراف قطار از لحاظ فیزیکی باید با شبکه بالاسری منطبق باشد. همانگونه که وضعیت خط تعیین کننده سرعت حرکت قطار است، وضعیت و ساختار شبکه بالاسری نیز به عنوان یک عامل محدود کننده سرعت مطرح می‌باشد. ارتفاع شبکه بالاسری، زیگزاگ بودن سیم تماس و نیروی تماس بین پانتوگراف و سیم تماس از مواردی مهمی هستند که در انطباق بین شبکه بالاسری و قطار باید در نظر گرفته شوند. در صورتی که از قطارهای کج‌شونده استفاده می‌شود باید سیستم جمع‌آوری جریان آن با شبکه بالاسری منطبق باشد.

مسئله مهم دیگر انطباق قطار با زیر ساخت مربوط به سیستم علائم الکتریکی می‌شود. سیستم‌های علائم الکتریکی داخل-کابین[۱] که به ویژه در قطارهای پرسرعت نقش پررنگ‌تری دارند، دارای دو بخش داخل قطار و کنار خط هستند. این دو بخش باید انطباق لازم را با یکدیگر داشته باشند. در غیر این صورت، امکان حرکت قطار در شبکه وجود نخواهد داشت. همانطور که قبلاً اشاره شد، سیستم‌های مختلف علائم الکتریکی نظیر ETCS، LZB و TVM برای راه‌آهن پرسرعت وجود دارد که هیچگونه سازگاری با یکدیگر ندارند. لذا سیستم علائم الکتریکی داخل کابین همواره باید با بخش کنار خط سازگار باشد. در اروپا قطارهای پرسرعت بین کشورهای مختلف تردد می‌نمایند که سیستم‌های علائم الکتریکی و فرکانس و ولتاژ تغذیه شبکه راه‌آهن این کشورها با هم متفاوت است. کشورهای اروپایی در تلاشند برای رفع این مشکل سیستم یکپارچه و استانداردی را در سطح قاره پیاده نمایند، ولی تا قبل از آن برای رفع این مشکل، قطارهای بین‌المللی در اروپا علاوه بر اینکه مجهز به چندین سیستم علائم الکتریکی داخل کابین می‌باشند، امکان اخذ توان از چندین سیستم تغذیه را نیز دارند که البته این کار هزینه ساخت آنها را بیشتر می‌کند. رانندگان این قطارها نیز مجبورند آموزش بیشتری برای آشنایی با سیستم‌های علائمی کشورهای مختلف ببینند.

۴-۴- انواع قطارهای پرسرعت

قطارهای پرسرعت را می‌توان از جنبه‌های مختلف فنی زیر دسته‌بندی نمود:

- از نظر نحوه توزیع سیستم کشش (متمرکز و توزیع شده)
- از نظر موقعیت قرار گرفتن بوژی‌ها (قطارهای مفصلی و غیرمفصلی)
- از نظر قابلیت کج‌شوندگی واگن‌ها
- از نظر قابلیت انطباق با عرض خطهای مختلف

قطارهای دارای هریک از این ویژگی‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود هستند که در این بخش به آنها پرداخته خواهد شد.

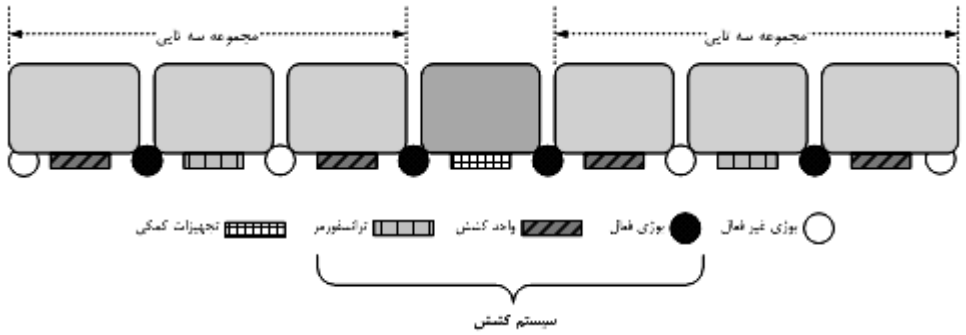
---

[۱] Cab Signalling

۴-۴-۱- کشش متمرکز و توزیع شده

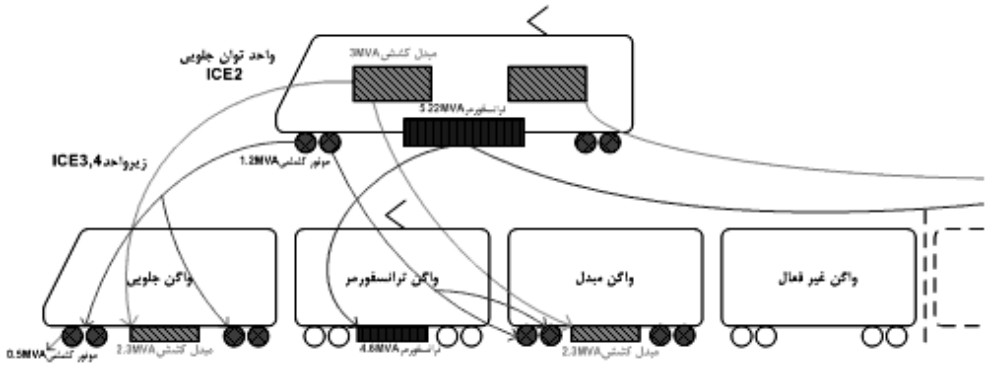
نیروی حرکت یک قطار می‌تواند به صورت متمرکز یا توزیع شده در طول قطار اعمال شود. در سیستم متمرکز، واگن اول و آخر نیروی حرکتی قطار را تأمین می‌نمایند. در قطارهای کلاسیک این نوع سیستم کشش متداول‌تر است با این تفاوت که برای کاهش هزینه تنها یک واگن کشنده (به نام لکوموتیو) در ابتدای قطار وجود دارد و مابقی قطار را به دنبال می‌کشد. در این حالت برای تغییر جهت حرکت قطار، یا کل قطار باید دور بزند و یا تنها لکوموتیو از ابتدای قطار به انتهای آن منتقل و بدین ترتیب جهت حرکت قطار عوض می‌شود. اما در قطارهای پرسرعت که از سیستم کشش متمرکز استفاده می‌کنند با توجه به اینکه آرایش یک رام قطار ثابت است، به منظور سهولت تغییر جهت حرکت آن، در طرفین قطار، لکوموتیو که قاعدتاً دارای کابین هدایت نیز هست، تعبیه می‌شود. برای تأمین نیروی بیشتر، هر دو لکوموتیو به صورت فعال عمل می‌کنند و در حالی که لکوموتیو اول قطار را می‌کشد، لکوموتیو آخر (پیرو) همزمان قطار را هل می‌دهد. به این سیستم اصطلاحاً push-pull گفته می‌شود.

در سیستم کشش توزیع‌شده، محورهای فعال که نیروی حرکتی اعمال می‌کنند، به لکوموتیو محدود نشده است و در طول قطار توزیع شده است. به عبارتی به جز واگن اول، واگن‌هایی دیگری نیز دارای موتور هستند که به محورهای آنها نیرو وارد کرده و در جلوبرندگی قطار سهیم می‌شوند. البته این به آن معنی نمی‌باشد که در این حالت تمام محورهای قطار فعال هستند، بلکه آرایشهای مختلفی به این منظور به کار می‌رود و معمولاً محورهای برخی از واگن‌ها در طول قطار فعال عمل می‌کنند و در جلوبرندگی قطار سهیم می‌شوند. شماتیک یک نمونه از سیستم توزیع نیروی محرکه قطار که به صورت واحدهای سه‌گانه آرایش یافته است، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود علاوه بر محورهای موتوردار، سایر تجهیزات تغذیه مانند ترانسفورمرها و واحدهای قدرت نیز در واگن‌های مختلف توزیع و برای جلوگیری از اشغال فضای داخل واگن در زیر آنها نصب می‌گردند.



شکل ٤-1: شماتیک یک نمونه از سیستم توزیع نیروی محرکه قطار

در شکل ۴-۲ نمونه‌های عملی از سیستم توزیع کشش و قدرت در قطارهای ICE نشان داده شده است. در قسمت بالای شکل، تجهیزات قطار نسل ICE۲ نشان داده شده است که بـه علـت متمرکز بودن سیستم کشش و تغذیه، تمام تجهیزات و موتورهـای کـشش در لکوموتیـو قـرار گرفته است. در قسمت پائین همین شکل تجهیزات قطارهای ICE۳،۴ نشان داده شده است که در طول قطار توزیع شده‌اند.



شکل ٤-۲: نمونه‌ای عملی از سیستم توزیع نیروی حرکتی در قطارهای ICE و محل قرار گرفتن تجهیزات

در سیستم کشش توزیع شده با توجه به کارگیری تعداد بیشتری موتور، حجم و اندازه آنهـا کوچک‌تر می‌شود و با توجه به امکان اعمـال تـوان بیـشتر، در سیـستم کـشش توزیـع شـده شتاب‌گیری بالاتری نسبت به سیستم متمرکز وجود دارد. در سیستم‌هایی نظیر مترو کـه تعـداد

توقفها زیاد است و این توقفها تأثیر منفی زیادی روی سرعت متوسط قطار دارد، بـرای داشـتن شتاب بیشتر و جبران زمان از دست رفته لازم است از سیستم توزیع شده استفاده شود.

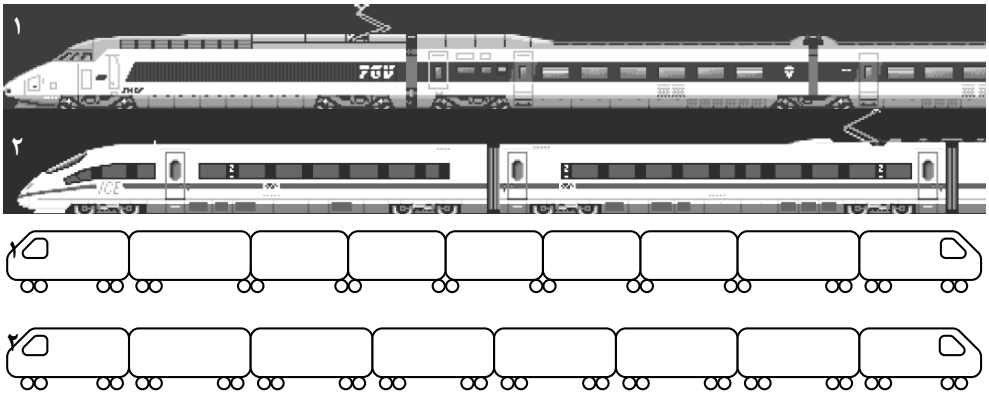
به طور کلی مزایای سیستم کشش توزیع‌شده نسبت به متمرکز را می‌توان به صـورت زیـر برشمرد:

- ظرفیت بالاتر حمل مسافر برای طول ثابتی از قطار
- کاهش بار محوری و توزیع یکنواخت‌تر آن در طول قطار
- تعداد بیشتر محورهای فعال قطار و در نتیجه شتاب بالاتر، چسبندگی بهتر و امکان پیمـایش فرازهای تندتر با سرعت بیشتر
- امکان بالاتر بردن توان کشش قطار
- امکان طراحی مدولار
- امکان استفاده از ترمز الکتریکی به عنوان ترمز اصلی (تعداد بیـشتری از محورهـای دارای موتور هستند که می‌توان هنگام ترمزگیری به عنوان ترمز دینامیک از آنها استفاده نمود.)

از طرفی عیوب سیستم کشش توزیع شده، کارایی پائین‌تر آن در شرایط وجود باد عمود بر جهت حرکت قطار و همچنین ثابت بودن آرایش قطار می‌باشد. با ایـن حـال در حمـل و نقـل پرسرعت مسافری، در مجموع، سیستم توزیع شده بر سیستم متمرکز دارای برتری می‌باشـد. در حال حاضر هر دو نوع سیستم کشش توزیع شده و متمرکز در قطارهای پرسرعت دنیا متـداول است، ولی قطارهای جدید بر اساس سیستم کشش توزیع شده سـاخته مـی‌شـوند. در قطارهـای شین‌کان‌سن ژاپن از ابتدا از نیروی کشش توزیع شده استفاده گردید، ولـی در قطارهـای TGV فرانسه و ICE آلمان از ابتدا از نیروی کشش متمرکز اسـتفاده شـد. بـا ایـن وجـود، راه‌آهـن پرسرعت فرانسه در نسل جدید قطارهای خود به نام AGV از نیروی کشش توزیع شده اسـتفاده نموده است. همچنین در قطارهای ICE-۳ که نسل جدید قطارهای پرسرعت آلمان هستند، نیز از نیروی کشش توزیع شده استفاده شده است. این رویکرد دلیلی بر برتری ساختار کشش توزیـع شده بر کشش متمرکز است.

۴-۴-۲- قطارهای مفصلی و غیرمفصلی

نحوه اتصال واگن‌ها و یا از دیدگاه دیگر، موقعیت قرار گرفتن بوژی‌ها در یک قطار پرسرعت به دو شکل مفصلی[۱] و غیرمفصلی انجام می‌شود. در اتصال مفصلی، بوژی در بین دو واگن قرار می‌گیرد و علاوه بر نقش اصلی، کوپلینگ دو واگن به یکدیگر را نیز انجام می‌دهد و نیازی به ادوات جداگانه کوپلینگ نمی‌باشد. در اتصال غیرمفصلی، بوژی‌ها در طرفین واگن و در زیر آن قرار می‌گیرند. به عبارتی در حالت اخیر هر واگن مستقلاً دارای بوژی است در حالی که در حالت اول هر واگن با واگن همسایه بوژی را به طور مشترک استفاده می‌کنند. بدیهی است در حالت مفصلی آرایش قطار ثابت بوده و جداکردن واگن‌ها که از طریق بوژی‌های مشترک به یکدیگر کوپل شده‌اند، میسر نیست. اما در قطارهای غیرمفصلی امکان جدا کردن واگن‌ها و تغییر آرایش قطار میسر می‌باشد. شماتیک و تصویر نمونه‌هایی از این دو نوع قطار در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ٤-۳: شماتیک و نمایی از قطارهای مفصلی (۱) و غیر مفصلی (۲)

مزایای قطارهای پرسرعت با اتصال مفصلی را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- بوژی‌ها در زیر موقعیت مسافرین قرار ندارد و در نتیجه نویز و ارتعاش کمتری به مسافرین وارد می‌شود و باعث راحتی بیشتر سفر می‌شود.

[۱] Articulated

- به علت نزدیکی بیشتر واگن‌ها، راهروی متصل‌کننده بین آنها حذف و در نتیجه تردد مسافرین در طول قطار راحت‌تر است.
- به علت وجود بوژی در بین دو واگن، امکان کاهش ارتفاع کف واگن وجود دارد. این کاهش ارتفاع کف، دسترسی مسافرین را هنگام سوار شدن تسهیل می‌کند و باعث راحتی بیشتر آنان می‌شود.
- تجربه، نشان می‌دهد قطارهای مفصلی در صورت رخداد خروج از خط، عملکرد بهتری را نشان می‌دهند. این عملکرد به نظر ناشی از اتصالات محکم‌تر بین واگن‌ها و توزیع مناسب‌تر نیروهای کششی و فشاری می‌باشد.
- با توجه به حذف قلابهای کوپلینگ و در نتیجه کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، استهلاک کلی کمتر است.

۴-۴-۳- *قطارهای کج شونده (تیلتینگ)*

در فصل زیرساخت عنوان گردید اجرای بربلندی بینابینی در خطوط مختلط باری و مسافری هنگام عبور قطارهای مسافری کمبود بربلندی و هنگام عبور قطارهای باری اضافه بربلندی به وجود می‌آورد. این مسئله برای هر دو نوع قطار تا حدودی ایجاد مشکل ایجاد می‌کند. در این وضعیت هنگام عبور از یک قوس، نیروی گریز از مرکز در یک قطار مسافری بر مؤلفه نیروی مقابله کننده با آن ناشی از شیب عرضی خط بیشتر می‌شود و علاوه بر افزایش احتمال خروج از خط، تعادل مسافرین را به سمت بیرون قوس به هم می‌ریزد و در نتیجه راحتی سفر کاهش می‌یابد.

دوچرخه و موتور سیکلت هنگام عبور از قوس قابلیت آن را دارند که به میزان مورد نیاز به سمت داخل قوس کج شوند و نیروی گریز از مرکز را خنثی نمایند، ولی در قطارهای عادی و همچنین اتومبیل‌ها این قابلیت وجود ندارد. با ایده گرفتن از نحوه حرکت موتور سیکلت در قوس‌ها، برخی از کشورها سعی کرده‌اند این حالت را روی قطار مسافری پیاده نمایند. به این

منظور قطار به بوژی‌هایی مجهز می‌شود که هنگام عبور از قوس، واگن سوار بر خود را در جهت تأمین بربلندی خط، کج نماید.

طبق استاندارد (UIC-۷۰۵)، اتحادیه بین المللی راه‌آهن‌ها، سیستم‌های جدید تیلتینگ زمینه سرعت ۲۳۰ کیلومتر در ساعت در خطوط موجود و قابلیت سیر در خطوط سریع را مهیا می‌کنند.

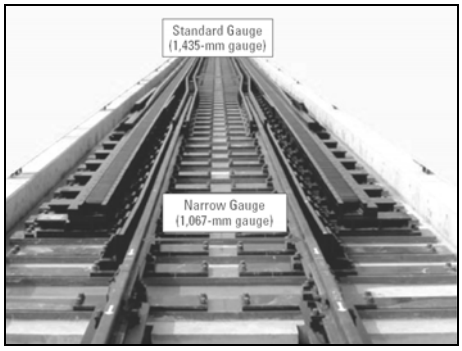
مزیت عمده قطارهای کج‌شونده آن است که به علت سرعت بالاتر در قوس‌ها، سرعت متوسط افزایش یافته و در نتیجه سرعت متوسط سیر کاهش می‌یابد. این سیستم برای افزایش سرعت متوسط قطارها در مسیرهای راه‌آهن کلاسیک که دارای قوس‌های زیاد هستند و هزینه لازم برای ارتقاء مسیر آنها برای سرعت‌های بالاتر وجود ندارد، راهکار بسیار مؤثری است. در مقابل، قطارهای کج شونده در سر قوس‌ها، استرس بیشتری به خط وارد می‌نمایند و همچنین احساس دریازدگی برای عده قلیلی از مسافرین حساس، ایجاد می‌نمایند.

اصل فناوری کج‌شوندگی متعلق به کشور ایتالیا است که بعداً با توجه به عملکرد قابل توجه قطارهای کج‌شونده، به کشورهای دیگر نیز راه یافت. فناوری کج‌شوندگی دارای دو نوع فعال و غیرفعال است و برای قطارهای کلاسیک و پرسرعت کاربرد دارد، اما بیشتر قطارهای پرسرعت که از خطوط اختصاصی پرسرعت استفاده می‌کنند، فناوری کج‌شوندگی را بکار نبرده‌اند. با این وجود به نظر می‌رسد دو کشور اصلی صاحب فناوری راه‌آهن پرسرعت یعنی فرانسه و ژاپن در نسل جدید قطارهای پرسرعت خود به سمت استفاده از فناوری کج‌شوندگی رفته‌اند.

تنها قطاری که فناوری کج شوندگی غیر فعال استفاده می‌کند قطار Talgo۳۵۰ متعلق به راه‌آهن پرسرعت اسپانیا است. قطارهای با سرعت بیشتر از ۲۵۰ کیلومتر در ساعت که از فناوری کج‌شوندگی فعال استفاده کردند، شامل Acela Exp ایالات متحده، سری N۷۰۰ شینکاسن ژاپن، FASTECH ۳۶۰ ژاپن و TGV Réseau می‌باشند.

۴-۴-۴- قطارهای عرض متغیر

قطارهای عرض متغیر به بوژی‌هایی مجهز هستند که هنگام عبور از محل مخصوصی، عرض آنها تغییر می‌نماید. محل تغییر عرض خط مجهز به سیستم تغییر خودکار عرض محور چرخ است که این عمل را به روشهای مختلف انجام می‌دهد. تغییر خودکار عرض محور معمولاً به این صورت انجام می‌شود که قفل بوژی هنگام عبور از سیستم باز شده و عرض محور تغییر داده می‌شود (چرخ‌ها به هم نزدیک‌تر و یا از هم بازتر می‌شوند). در نهایت بوژی مجدداً قفل شده و قطار روی خط با عرض خط جدید ادامه سیر می‌دهد. دو کشور اسپانیا و ژاپن در این زمینه تجربه بیشتری دارند. تغییر خودکار عرض محور روشهای مختلفی دارد که با یکدیگر سازگار نیستند. در مجموع می‌توان گفت فناوری آن فراگیر نشده است و هنوز در کشورهای زیادی به کار گرفته نشده است. نمونه‌ای از سیستم ژاپنی تغییر عرض محور بین خطوط کلاسیک با عرض خط ۱۰۶۷ و خطوط استاندارد شین‌کان‌سن در شکل ۴-۴ و همچنین نمونه‌ای از قطار تست با قابلیت تغییر عرض محور در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ٤-٤: سیستم ژاپنی تغییر عرض محور

شکل ٤-٥: قطار تست با قابلیت تغییر عرض محور

تغییر عرض محور لکوموتیوها بسیار دشوار است. لذا معمولاً در سیستم تغییر عرض محور ابتدا لکوموتیو از مجموع واگن‌ها جدا می‌شود و عرض محور واگن‌ها در سیستم تغییر خودکار عرض، متناسب با خط جدید تغییر می‌نماید و سپس توسط لکوموتیوی سازگار با عرض خط جدید ادامه سیر داده می‌شود.

مزایای قطارهای عرض متغیر عبارتند از:

- کاهش زمان سیر به دلیل امکان تغییر عرض خط بدون توقف قطار
- راحتی بیشتر مسافرین به دلیل آنکه مسافر نیاز به تعویض قطار برای ادامه سفر خود تا مقصد را ندارد.

در کنار آن معایب زیر نیز بر سیستم مذکور مترتب می‌باشد:

- هزینه نگهداری بالاتر
- تجربه کم در خصوص بهره‌برداری ناوگان موتوردار

۴-۵- قطارهای پرسرعت مطرح در دنیا

ناوگان راه‌آهن پرسرعت دارای فناوری پیشرفته‌ای هستند. از این رو ناوگان مورد استفاده در شبکه راه‌آهن پرسرعت کشورهای مختلف، گرچه با مدل‌ها و نام‌های مختلفی معرفی می‌شوند، ولی اصل فناوری آنها متعلق به چند شرکت است. به عنوان مثال قطار پرسرعت KTX کره از خانواده قطارهای TGV فرانسه است و یا قطارهای پرسرعت تایوان از نسل قطارهای شین‌کانسن ژاپن می‌باشند.

ناوگان مطرح راه‌آهن پرسرعت در دنیا و خانواده اصلی آنها در جدول ۴-۲ نشان داده شده است. در ادامه قطارهای پرسرعت مورد استفاده در دنیا به اختصار معرفی می‌گردد.

جدول ٤-٢: ناوگان مطرح راه‌آهن پرسرعت

خانواده	کشور صاحب فناوری	نام تجاری یا مدل	کشورهای استفاده کننده
ETR ۵۰۰	ایتالیا	ETR ۵۰۰	ایتالیا
ICE	آلمان	ICE-۱, ICE-۲, ICE-۳	آلمان، هلند، بلژیک، سوئیس و اطریش
		VALERO RUS	روسیه
		CRH۳	چین
شین‌کان‌سن	ژاپن	شین‌کان‌سن سری ۱۰۰ تا ۸۰۰ و E۱ تا E۵	ژاپن
		FASTECH۳۶۰	ژاپن
		۷۰۰T	تایوان
		CRH۲۰۰۱A	چین
تالگو	اسپانیا	Talgo ۳۵۰	اسپانیا
		Talgo ۲۵۰	اسپانیا
TGV	فرانسه	TGV	فرانسه
		ATG	فرانسه
		Eurostar	انگلستان– فرانسه/بلژیک
		Thalys	فرانسه، بلژیک، هلند، آلمان
		AVE	اسپانیا
		KTX	کره جنوبی
		Amtrack Acena Express	ایالات متحده آمریکا
قطارهای کج‌شونده	ایتالیا	Amtrack Acena Express	ایالات متحده آمریکا
		پندولینو سری ۱۰۴	ایتالیا
	ژاپن	شین‌کان‌سن سری ۷۰۰N	ژاپن
		FASTECH ۳۶۰	ژاپن
	فرانسه	TGV Réseau	فرانسه
مگلو	ژاپن	JR-Maglev MLX۰۱	ژاپن
	آلمان	Transrapid	آلمان، چین

۴-۶- نگهداری و تعمیرات قطارهای پرسرعت

بخش مهمی از جذابیت راه‌آهن پرسرعت به سرویس‌های سریوقت و قابلیت اطمینان بالای آن بر می‌گردد. به منظور ایجاد قابلیت دسترسی و اطمینان از یک طرف و ایمنی سیر و حرکت این قطارها با توجه به ترافیک و سرعت بالای آنها از طرف دیگر، دارا بودن یک سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) ساختار یافته و دقیق، رکن اساسی محسوب می‌شود. سیستم نت، ضمن کارآمد بودن باید از نقطه نظر هزینه نیز بهینه باشد و باعث تحمیل هزینه‌های نامعقولی به هزینه‌های بهره‌برداری نگردد. تجربه حدود نیم قرن بهره‌برداری از راه‌آهن پرسرعت، تخصص‌ها، مستندات، ابزار، تجهیزات و فرایندهای با ارزشی در زمینه نت ایجاد نموده است که دسترسی به اهداف فوق را میسر می‌سازد. اصول پایه نت حتی در طراحی ناوگان راه‌آهن پرسرعت باید لحاظ شود تا به ایجاد ساختار نت مناسب کمک شود. این اصول عبارتند از:

- قابلیت تعویض آسان، به واسطه مدولار بودن و قابلیت دسترسی راحت
- قابل تعمیر بودن
- تعمیر آسان و سریع در صورت ایجاد خرابی

طبق استاندارد EN ۱۳۳۰۶ سازمان مناسب نت ناوگان راه‌آهن پرسرعت بر اساس فعالیت‌های سلسله‌مراتبی در ۵ سطح، بسته به پیچیدگی کار دسته‌بندی می‌شود. حجم فعالیتهای مورد نیاز و تجهیزات و تخصص‌ها در هر سطح نت افزایش می‌یابد.

به طور کلی دو نوع نگهداری شامل نگهداری پیشگیرانه و نگهداری اصلاحی تعریف می‌شود. نگهداری اصلاحی بعد از بروز یک خرابی انجام می‌شود. نگهداری پیشگیرانه خود دارای دو بخش پیشگیرانه مشروط و پیشگیرانه سیستماتیک است. در نگهداری پیشگیرانه مشروط در صورتی که اندازه‌گیری شاخص‌های تعریف شده‌ای الزام نمایند، قطعه یا قطعات مورد نظر تعویض می‌گردد. در نگهداری پیشگیرانه‌ی سیستماتیک، قطعات پس از طی عمر مفید تعریف شده برای آنها (زمانی یا مسافتی) تعویض می‌شوند. سیاستهای نت ناوگان، تعادل مناسب بین نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی را تعریف می‌نماید.

در یک تقسیم‌بندی دیگر نگهداری پیشگیرانه به دو دسته سطح پایین و سطح بالا تقسیم‌بندی می‌گردد. نگهداری سطح پایین شامل عملیات بسیار ساده و تمیز نمودن قطار است. نگهداری سطح بالا عملیات پیچیده‌تری را شامل می‌گردد که لازم است طی آن ناوگان چند روز از بهره‌برداری تجاری خارج شوند.

سطوح مختلف نگهداری ناوگان پرسرعت به شرح زیر هستند:

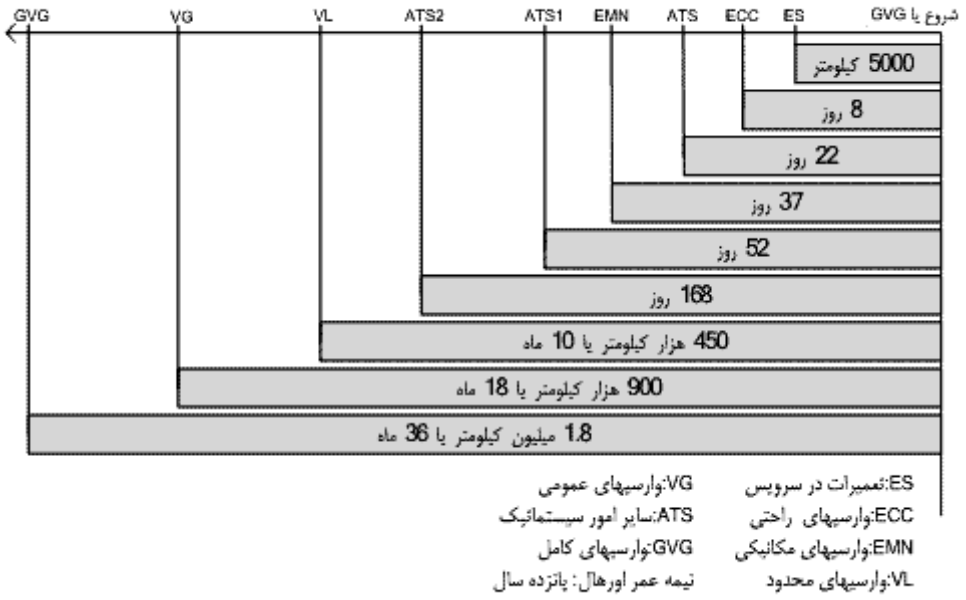
- سطح ۱: بازدید در سرویس که یک نگهداری سطح پایین محسوب می‌شود و انجام آن در ایستگاه توسط پرسنل بهره‌برداری انجام می‌شود، بدون آنکه قطار از سرویس خارج شود.
- سطح ۲: بازدید و عملیات نگهداری در دپوی اختصاصی که یک نگهداری سطح پائین است. این سطح نت بین دو سرویس بهره‌برداری انجام می‌شود و طی آن نگهداریهای پیشگیرانه ساده و رفع خرابی‌ها و ایرادات سطحی صورت می‌گیرد.
- سطح ۳: بازدیدهای دوره‌ای در مراکز نگهداری که یک نگهداری سطح بالا محسوب می‌شود و انجام آن مستلزم خروج قطار از چندین دوره سرویس بهره‌برداری است.
- سطح ۴: عملیات نت اساسی قطارها در تأسیسات نت صنعتی که یک نگهداری سطح بالا محسوب می‌شود و تعمیرات عمده و اورهال بدنه قطار و تجهیزات مهم طی آن انجام می‌گیرد و نیاز به تخصصهای ویژه، فناوری‌های خاص، مستندات لازم و فرایندهای مخصوص و ابزار و دستگاههای مناسب و ویژه دارد.
- سطح ۵: ارتقاء، اصلاح و به روزرسانی که یک نگهداری سطح بالا می‌باشد و طی آن اورهال کل قطار (طراحی داخلی و به روز رسانی اجزا) و تعمیرات و یا تغییرات مهم در قطار انجام می‌شود. این کار در تأسیسات نت صنعتی خاص انجام می‌شود و نیاز به تجهیزات و تکنیک‌های مخصوص دارد.

برای انجام سطح عملیات فوق به تأسیسات دپو و کارخانجات صنعتی نیاز است. دپوها که از کارخانجات کوچک‌تر هستند می‌توانند عملیات نگهداری سطوح ۱ تا ۳ را پشتیبانی نمایند. برای انجام عملیات سطوح ۴ و ۵ به کارخانجات صنعتی ویژه نیاز می‌باشد. با توجه به اینکه سررسید

انجام عملیاتی که در دپوها انجام می‌گیرد، زودتر است لازم است این تأسیسات نزدیک ایستگاه‌های مبدا و/یا مقصد ساخته شوند. کارخانجات می‌توانند هر جایی در طول خط و یا خارج از خط اصلی ساخته شوند (در این حالت لازم است خطوط دسترسی وجود داشته باشند و این خطوط برقی نیز باشند).

تعداد و طراحی دپوها و کارخانجات به عوامل زیادی از جمله تعداد ترن‌ست، اندازه شبکه، نحوه بهره‌برداری سطوح، قابلیت دسترسی و کیفیت مورد نظر بستگی دارد. به عنوان نمونه سررسیدهای زمانی یا مسافتی نت ترن‌ست‌های TGV در شماتیک زیر نشان داده شده است.

در انتخاب و خرید ناوگان نکته مهمی که باید کنار هزینه اولیه خرید درنظر گرفته شود، هزینه‌های طول عمر قطار است. یک قطار ارزان ممکن است هزینه‌های طول دوره بهره‌برداری زیادی حتی چندین برابر هزینه خرید اولیه خود را به بهره‌بردار تحمیل نماید.



شکل ٤-٦: دوره‌های تیپ زمانی/مسافتی نت قطارهای TGV

۴-۶-۱- ترمز

برای تأمین ایمنی حرکت قطارها به خصوص در سرعت‌های بالا، سیستم ترمز مناسب نقشی حیاتی را ایفا می‌نماید. انواع مختلفی از سیستم‌های ترمز برای متوقف نمودن قطارها وجود دارد که به مرور زمان توسعه یافته‌اند. هر یک از انواع سیستم‌های ترمز روی قطارهای مختلفی بسته به سرعت و کاربری آنها به کار برده می‌شود.

به طور کلی سیستم‌های ترمزگیری زیر برای متوقف کردن یا کاهش سرعت وسائل نقلیه ریلی بکار می‌روند:

- ترمزهای کفشکی (یا بلوکی): این نوع ترمزگیری در اثر نیروی اصطکاک ایجاد شده بین کفشک چدنی که به چرخ‌ها فشرده می‌شود، انجام می‌گیرد. این سیستم ترمز در سرعت‌های پائین‌تر و بیشتر روی واگن‌های باری استفاده می‌شود. از معایب آن سایش چرخ، امکان قفل شدن و نیاز به تعویض به موقع کفشکها می‌باشد. در صورت عدم تعویض به موقع کفشکها باعث می‌شود قالب کفشک به چرخ می‌چسبد و باعث داغ شدن بیش از حد و آسیب رسیدن به چرخ‌ها می‌شود.
- ترمزهای دیسکی: در این نوع سیستم، ترمزگیری با استفاده از نیروی اصطکاک ایجاد شده روی دیسک‌های مخصوص صورت می‌گیرد که روی محورهای قطار نصب شده‌اند. برای داشتن قدرت ترمزی بیشتر تعداد دیسک‌ها افزایش می‌یابد.
- ترمزهای الکترودینامیک: در صورتی که موتورهای کشش در وضعیت مولد قرار گیرند، نیروی مقاومی را روی محور کوپل شده خود ایجاد می‌کنند که می‌توانند نقش ترمزی داشته باشد. از مزایای این روش آن است که تماس فیزیکی برقرار نمی‌شود و در نتیجه سایش و آسیب رساندن بر چرخ‌ها را در برندارد. موتورها هنگام ترمزگیری الکترودینامیکی، انرژی الکتریکی تولید می‌کنند که می‌تواند به شبکه برقی بازگردانده شود و یا به مصارف کمکی برسد و یا در شبکه‌ای از مقاومت‌ها تلف شود.

برای انتقال نیروی ترمز یا فرمان ترمزگیری از هوای فشرده و یا سیگنال الکتریکی استفاده می‌شود. در روش فرمان هوایی، لوله هوای تحت فشار ترمز در سرتاسر قطار امتداد دارد. وقتی فرمان ترمز صادر می‌شود فشار هوای این لوله تخلیه می‌شود و موازنه فشار لوله هوا و فشار تانکهایی که به کفشک‌ها نیرو وارد می‌کنند به هم خورده و ترمز اعمال می‌شود.

همانند نیروی کششی که باعث به حرکت درآمدن قطار می‌شود، نیروی ترمزگیری نیز تعریف می‌شود که برابر با حداکثر نیروی ترمز کننده قطار است. این نیرو به نوع سیستم ترمز و همچنین ضریب چسبندگی قطار بستگی دارد. در قطارهای کلاسیک، نیروی ترمزی با درصد وزن ترمز بیان می‌شود که برابر است با درصد نسبت وزن ترمز قطار به وزن کل قطار. وزن ترمز عبارت است از نیروی ترمزی که یک قطار در مخالف جهت حرکت اعمال می‌نماید. برخلاف نیروی کشش قطار، نیروی ترمزی آن با رابطه و منحنی مشخصی قابل بیان نیست. در قطارهای پرسرعت بهره‌برداری قطارها از لحاظ فاصله اعزام آنها و نقاط توقف نسبت به قطارهای کلاسیک بسیار دقیق‌تر است و در این زمینه ترمز نقش مهمی را ایفا می‌کند. در قطارهای پرسرعت کنترل ترمزگیری توسط تجهیزات پیشرفته مونیتورینگ و همچنین علائم الکتریکی، دقیق کنترل می‌شود. با توجه به اینکه قطارهای پرسرعت بیشتر به صورت ترن‌ست هستند و تعداد محورهای فعال آنها زیاد است، ترمز الکترودینامیکی نسبتاً قوی دارند و منحنی آن شبیه منحنی نیروی کششی است که نسبت به سرعت رسم شده است. به عبارتی در حالت ایده‌آل می‌توان انتظار داشت نیروی ترمزگیری قطار در حالت ترمز دینامیک مشابه و آینه نیروی کششی قطار باشد.

در قطارهای پرسرعت با توجه به انرژی جنبشی بسیار بالای آنها، سیستم ترمز متعارف قطارهای کلاسیک قابل استفاده نیست و باید به طور کامل مجدداً طراحی شود. سیستم کفشک و چرخ در سرعت‌های بیش از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت قابل استفاده نیست، زیرا گرمای بسیار بالای تولید شده به چرخ آسیب جدی می‌رساند. در ناوگان پرسرعت علاوه بر سیستم ترمز الکترودینامیکی از سیستم ترمز با چند دیسک روی هر محور استفاده می‌شود و ترمز محورها به

طور هماهنگ با کنترل الکتروپنوماتیک اعمال می‌شوند. ترمز الکترودینامیکی قطارهای پرسرعت باید دارای شرایط زیر باشد:

- ترجیحاً انرژی الکتریکی تولید شده آنها به صورت مخلوط بازگشت به شبکه بالاسری و اتلاف در مقاومت با اولویت بالاتر روش قابل بازگشت باشد.
- از برق دار بودن شبکه بالاسری مستقل باشد.
- به صورت هماهنگ و همزمان با ترمز الکترومغناطیسی قابل اعمال باشد.

جهت آشنایی بیشتر، چند نمونه از ساختار ترمزهای قطارهای پرسرعت در جدول ۴-۳ آمده است:

انواع دیگر ترمزهای مورد استفاده در قطارهای پرسرعت ترمزهای الکترومغناطیسی هستند که به دو صورت کفشک القایی و ترمزهای جریان سرگردان دو ریل می‌باشند. این نوع ترمزگیری با وجود مزایایی که دارد از جمله فاصله نسبتاً کوتاه ترمزگیری و عدم تماس فیزیکی، دارای عیوب آسیب‌رسانی به زیرساخت و ایجاد اغتشاش الکترومغناطیسی روی تجهیزات برقی و الکترونیکی می‌باشد.

جدول ٤-٣: ساختار چند نمونه از ترمزهای قطارهای پرسرعت

نوع قطار	نوع محور	ساختار ترمز پنوماتیک
TAV	محور لکوموتیوها	۴ بلاک کفشک و چرخ
	محورواگن (غیر فعال)	۴ دیسک
AVE کلاس ۱۰۲	لکوموتیوها	۱ دیسک بر محور و دو نیمه دیسک بر چرخ
	واگن‌ها(غیر فعال)	۲ نیم دیسک بر چرخ و یک دیسک بر چرخ
ICE۳	محورهای فعال	دو نیم دیسک بر چرخ
	محورهای غیر فعال	۳ دیسک بر محور

فصل ۵

بهره‌برداری در راه‌آهن پرسرعت

۵-۱- مقدمه

بهره‌برداری در راه‌آهن به کلیه عملیاتی و فعالیت‌هایی گفته می‌شود که نتیجه آن جابجایی کارآمد و ایمنِ بار و مسافر است. در صورتی که حمل و نقل ترانزیت سریع، ترانزیت سبک ریلی (LRT) و تراموا‌ها را از بحث خود مستثنی نمائیم، بهره‌برداری راه‌آهن شامل سه دسته‌ی راه‌آهن پرسرعت، راه‌آهن کلاسیک بین شهری و راه‌آهن حومه‌ای برای جابجایی کاری و تحصیلی می‌شود. در این فصل، صرفاً به بهره‌برداری راه‌آهن مسافری با تأکید بر راه‌آهن پرسرعت پرداخته می‌شود. بهره‌برداری راه‌آهن باری دارای جوانب و پیچیدگیهای خاص خود است که جای بحث آن در این فصل نمی‌باشد.

بهره‌برداری در راه‌آهن، جنبه‌های بسیار متنوعی شامل موارد زیر را در بر می‌گیرد:

- رژیم بهره‌برداری: بهره‌برداری مختلط یا اختصاصی
- ظرفیت خط: که به شرایط و عوامل مختلفی بستگی دارد.
- مدیریت ترافیک: شامل برنامه‌ریزی ترافیک، اجرای ترافیک و گراف، بهره‌برداری متمرکز، اصلاح برنامه ترافیک در حال اجرا و همچنین استفاده از فناوری‌های جدید و رایانه در این امور

- مباحث مربوط به طراحی و ظرفیت مورد نیاز ایستگاه و تأسیسات
- مباحث مربوط به تعداد، نوع و آرایش ناوگان مورد نیاز
- تأمین پرسنل بهره‌برداری مورد نیاز
- مقررات و دستورالعملهای بهره‌برداری
- بازرگانی: تعرفه‌ها، صدور بلیت، خدمات مسافرین و رقابت‌پذیر کردن، از طریق ایجاد سرویس‌های جدید و جذاب
- ایمنی بهره‌برداری
- مصرف انرژی
- مسائل زیست محیطی

۵-۲- مقایسه راه‌آهن پرسرعت با سایر شیوه‌های حمل و نقل

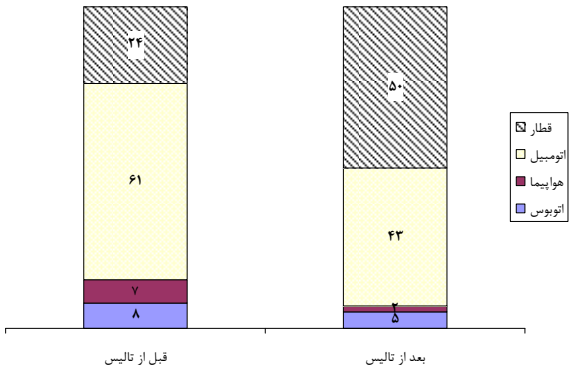
هریک از شیوه‌های حمل و نقل، شامل حمل و نقل هوایی، زمینی و ریلی که در زمینه حمل و نقل مسافر رقیب یکدیگر محسوب می‌شوند، از لحاظ بهره‌برداری یا ارائه سرویس حمل مسافر دارای ویژگی‌های خاصی هستند که برخی از این ویژگی‌ها و تلاش در جهت تقویت آنها ممکن است عاملی در جهت جذب مسافر از سایر شیوه‌های حمل و نقل شود. زمانی که اتومبیلها مانند امروز به تولید صنعتی و انبوه با کیفیت بالا و قیمت ارزان نرسیده بودند و سرویس تجاری هوایی حمل و نقل مسافر رایج نشده بود، راه‌آهن به واسطه سابقه قدیمی‌تر خود، یکه تاز میدان حمل ونقل مسافر بین شهری بود. ولی با تحولات بعدی راه‌آهن به تدریج سهم خود را از دست داد و حمل و نقل هوایی و زمینی سهم زیادی از راه‌آهن را به سمت خود کشاندند.

۵-۲-۱- اثر راه‌آهن پرسرعت بر ترافیک

با تولد راه‌آهن پرسرعت و قابلیت‌هایی که در خصوص کاهش زمان سیر و سایر مزایا ارائه نمود، جایگاه راه‌آهن در زمینه حمل و نقل مسافر تا حدود زیادی ترمیم گردید و در حال

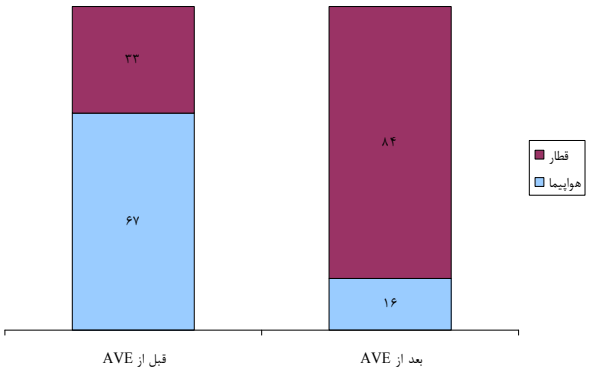
حاضر نقش و سهم مهمی را در زمینه حمل و نقل مسافر در کشورهایی که دارای این نوع راه‌آهن هستند، بازی می‌کند. نمونه‌هایی از میزان جذب سهم سایر شیوه‌های حمل و نقل توسط راه‌آهن پرسرعت در ادامه می‌آید.

شکل ۵-۱ سهم انواع شیوه‌های حمل و نقل یعنی قطار، اتوبوس، اتومبیل و هواپیما را در مسیر ۳۳۰ کیلومتری پاریس- بروکسل را قبل از ارائه سرویس راه‌آهن پرسرعت تالیس نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱: سهم شیوه‌های مختلف حمل و نقل قبل و بعد از راه‌اندازی راه‌آهن پرسرعت تالیس

از شکل قابل ملاحظه است که سهم راه‌آهن بعد از راه‌اندازی راه‌آهن پرسرعت تقریباً دو برابر شده است و به ۵۰٪ کل سهم شیوه‌های حمل و نقل رسیده است. در شکل ۵-۲ وضعیت حمل مسافر راه‌آهن پرسرعت را در مسیر ۴۷۱ کیلومتری بین مادرید و سویل در اسپانیا در رقابت بین قطار و هواپیما نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲: سهم حمل مسافر بین قطار و هواپیما قبل و بعد از راه‌اندازی راه‌آهن پرسرعت AVE اسپانیا

همانطور که مشاهده می‌شود، پس از احداث راه‌آهن پرسرعت، سهم راه‌آهن از ۳۳٪ به ۸۴٪ رسیده است که نشان دهنده رشد بسیار شاخص و چشمگیری است. مثال بارز دیگر مربوط به راه‌آهن پرسرعت کره یا KTX است، به طوری که احداث اولین خط راه‌آهن پرسرعت در کره جنوبی تأثیر زیادی در تغییر الگوی شیوه حمل و نقل بجا گذاشته است. اولاً درصد قابل توجهی از مسافرین راه‌آهن کلاسیک به خصوص در مسیرهای طولانی‌تر، جذب KTX شده‌اند (۳۶/۲٪ در مسیر ۴۰۰ کیلومتری سئول به پوسان). ثانیاً با افتتاح خط پرسرعت KTX ۳۰/۴٪ مسافرین سایر شیوه‌های حمل و نقل جذب راه‌آهن شده‌اند. بیشترین جذب مسافر از حمل و نقل هوایی بوده است، به طوری که در مسیر ۳۰۰ کیلومتری سئول به دائگو و در مسیر سئول به پوسان به ترتیب ۷۱/۵٪ و ۲۹/۵٪ از مسافرین هوایی جذب راه‌آهن پرسرعت شده‌اند.

۵-۲-۲- مناطق هدف برای قطارهای پرسرعت

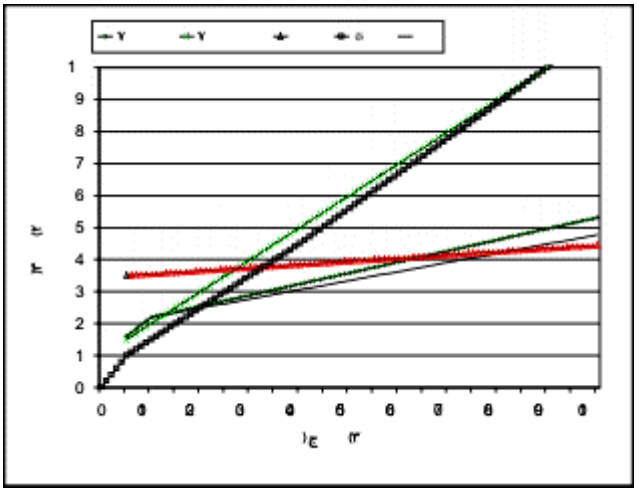
مناطق هدف اولیه برای قطارهای پرسرعت معمولاً اتصال مستقیم زوج شهرهای مهم در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در فرانسه بین پاریس و لیون و در ژاپن بین توکیو و اوزاکا راه‌آهن پرسرعت احداث گردیده است.

در بیشتر مواقع، قطار پرسرعت برای سفرهای تجاری در نظر گرفته می‌شود. در فرانسه سفرهای تجاری از طراحی نوع واگن‌ها که برای سفرهای تجاری مناسب هستند، مشخص است. در این کشور مسافرتهای تفریحی در اولویت دوم قرار دارد. TGV هزینه‌های سفر را در مسیرهای طولانی نسبت به سفرهای هوایی کاهش داده است و راه‌آهن را قابل رقابت با هواپیما کرده است. سهولت مسافرت با قطار تغییرات اجتماعی قابل توجهی را دربرداشته است و مناطق حومه‌ای با فواصل زمانی یک ساعت از پاریس را در محدوده تجاری و رفت و آمد روزانه کاری و تحصیلی این شهر قرار داده است. این ویژگی ضمن توسعه بازار تجاری، تغییر ساختار اجتماعی و استفاده از زمین را باعث شده است. در حقیقت یک اثر جنبی عمده قطارهای پرسرعت در فرانسه باز شدن مناطق ایزوله شده قبلی به محدوده رشد سریع اقتصادی بوده است. برخی از خطوط راه‌آهن پرسرعتی که بعداً احداث گردیدند، مانند مادرید- سیلویا در اسپانیا و آمستردام- گرونینگن همین هدف را دنبال می‌کنند.

۵-۲-۳- محدوده مسافتی مناسب و دارای مزیت

در سیستم‌های حمل و نقل هوایی و جاده‌ای، محدودیت ظرفیت بیشتری نسبت به حمل و نقل ریلی وجود دارد. در زمانهای اوج مسافرت نظیر تعطیلات، مسیرهای هوایی و اتوبان‌ها دچار محدودیت ظرفیت می‌شوند. قطارهای پرسرعت که دارای ظرفیت فوق‌العاده بالایی در کریدورهای ثابت خود هستند، در این مواقع قادرند ترافیک سنگین سایر شیوه‌های را جذب و بار آنها را سبک نمایند.

قطار پرسرعت این مزیت را بر اتومبیل دارد که سرعت بالاتری نسبت به آن داشته و مشکل ترافیکی که اتومبیل‌ها با آن مواجه هستند را ندارد. زمان سیر بر حسب مسافت در پنج شیوه مسافرت شامل هواپیما، اتومبیل، قطارهای کلاسیک، قطارهای پرسرعت و مگلو در نمودار شکل ۵-۳ مقایسه شده است. در این تحلیل فرض شده است که سرعت متوسط تجاری برای هواپیما، اتومبیل، قطارهای کلاسیک، قطارهای پرسرعت و مگلو به ترتیب ۱۰۰۰، ۹۰، ۱۰۰، ۲۹۰ و ۳۵۰ کیلومتر در ساعت است.



شکل ۵-۳: مقایسه زمان سیر بر حسب مسافت‌های مختلف در شیوه‌های مختلف حمل و نقل

همانطور که مشاهده می‌شود، در مسافت‌های زیر ۲۰۰ کیلومتر، اتومبیل بر سایر وسایل برتری دارد، ولی پس از آن قطار پرسرعت پیشی می‌گیرد. اتومبیل تا حدود مسافت‌های ۳۰۰ کیلومتر بر قطارهای کلاسیک برتری دارد و پس از آن در رده آخر قرار می‌گیرد و اینجاست که اگر قطار پرسرعت نباشد هواپیما پیشتاز بر جاده و ریل است. در صورت وجود قطار پرسرعت، برتری بر همه شیوه‌های حمل و نقل تا مسافت‌های حدود ۶۵۰ کیلومتر ادامه می‌یابد. گرچه قطارهای پرسرعت با سرعت هواپیمای جت حرکت نمی‌کنند، با این حال در مسافت‌های کوتاه بر هواپیما مزیت نسبی دارند. با توجه به نمودار شکل ۵-۳ برای مسافت‌های کمتر از ۶۵۰ کیلومتر، عملیات وارسی بلیت و تشریفات پرواز و دسترسی به فرودگاه، زمان کل مسافرت را با قطارهای پرسرعت قابل مقایسه می‌سازد. قطارهای پرسرعت مسافران را از مرکز شهر مبدا به مرکز شهر مقصد منتقل می‌کنند و آنها را سریع‌تر سوار و پیاده می‌نمایند و بدین ترتیب مزیت سرعت حرکت هواپیما را تا حدودی خنثی می‌کنند. از طرفی قطارهای پرسرعت ظرفیت بیشتر و امکان ارسال متوالی با سرفاصله زمانی (هدوی) کمتر نسبت به هواپیما دارند. همچنین قطارهای پرسرعت این مزیت قابل توجه را دارند که آلودگی بسیار کمتری نسبت به اتومبیل و

هواپیما برای محیط زیست در بردارند. در مورد تحلیل محدوده مناسب سفر با قطارهای مغناطیسی (مگلو) در فصل آخر توضیح داده شده است.

۵-۳- طراحی، پیاده‌سازی و مدیریت سیر و حرکت

مدیریت سیر و حرکت قطارها شامل رویه‌ها، دستورالعمل‌ها و تجهیزاتی می‌شود که حرکت ایمن حرکت قطارها را به کمک برنامه زمان‌بندی حرکتی مشخص (time table) میسر می‌سازد. این برنامه شامل موارد زیر خواهد بود:

- شناسایی قطارها
- برنامه زمان‌بندی هریک از قطارها
- تعیین خطوطی که قطارهای مذکور از روی آن حرکت می‌کنند.

مدیریت سیر و حرکت قطارها دارای دو بخش اساسی زیرساخت و برنامه حرکتی قطارها است که قاعدتاً این دو وجه باید با در نظر گرفتن استانداردهای ایمنی با یکدیگر منطبق و سازگار باشند. مسئولین زیرساخت، وظیفه برپا نگهداشتن زیرساخت در بیشترین زمان ممکن را برای سیر و حرکت قطارها برعهده دارند. ابزارهایی که به آنها برای سیر و حرکت ایمن قطارها کمک می‌کند، عبارت است:

- تأسیساتی برای جلوگیری از مواجهه با ریسک‌های بزرگ
- رویه‌های مورد نیاز برای این تأسیسات، برای اینکه هم در شرایط خرابی و سوانح و هم در شرایط عادی با ایمنی بالایی کار کنند.
- جدول برنامه زمانی حرکت قطارها
- اطلاعات مفید و به روز در مورد وضعیت کنونی تجهیزات زیربنایی تأمین ایمنی

بنابر این با توجه به شرایط زیربنا و تقاضای موجود، ترافیک طراحی و بهینه می‌شود و در عمل پیاده‌سازی می‌گردد. اجرای برنامه حرکتی قطار یک فرایند پویا است به طوری که در طول اجرا ممکن است شرایط پیش‌بینی نشده‌ای مانند خرابی قطارها و نظایر آن پیش بیاید که قاعدتاً مدیریت ترافیک باید برنامه حرکتی را بلافاصله با توجه به شرایط پیش آمده، اصلاح و

جاری نماید. برای طراحی و پیاده‌سازی و اصلاح برنامه حرکت قطارها، ابزار گراف به خوبی استفاده می‌شود. البته در این خصوص نرم‌افزارهای پیشرفته‌ای نیز وجود دارند که بسیار تسهیل‌کننده هستند. ظرفیت خطوط ریلی در برنامه‌ریزی حرکت نقش مهمی دارد. لذا در ادامه به معرفی مفهوم ظرفیت، گراف و سایر مباحث مرتبط به موضوع پرداخته می‌شود.

۵-۳-۱- ظرفیت

تعیین ظرفیت جاده نسبتاً آسان است و به صورت تعداد خودروها در ساعت در هر جهت مشخص می‌گردد. ولی تعیین ظرفیت در راه‌آهن از جاده دشوارتر است، چون ظرفیت راه‌آهن هم به زیربنا بستگی دارد و هم به جدول زمان‌بندی حرکت قطارها. تعاریف متعددی تاکنون برای معرفی ظرفیت راه‌آهن ارائه شده است، از جمله:

- ظرفیت تأسیسات زیربنایی راه‌آهن عبارت است از قابلیت بهره‌برداری از آنها با یک برنامه قابل قبول ورود و خروج به موقع قطارها به مبدا و مقصد
- قابلیت زیرساخت راه‌آهن به طوری که بتواند از عهده اجرای یک یا چند برنامه زمان‌بندی برآید.
- ظرفیت در اصل وجود ندارد. ظرفیت زیرساخت راه‌آهن بسته به روش بکارگیری آن دارد [UIC].

علت دشوار بودن تعریف ظرفیت راه‌آهن آن است که چندین پارامتر مهم قابل اندازه‌گیری وجود دارد. این پارامترها شامل تعداد قطارها، ثبات و نظم بهره‌برداری، سرعت متوسط و میزان تنوع سرویس قطارها وابسته به یکدیگر هستند. ظرفیت، ترکیب متعادلی از پارامترهای مذکور می‌باشد و در حقیقت ظرفیت طول محیط لوزی شکل فوق است. به عنوان مثال در یک شبکه با ساختار قطارهای مختلط پرسرعت و کم سرعت، می‌توان به سرعت متوسط بالایی دست یافت، ولی به ازای آن ممکن است ثبات و نظم بهره‌برداری پایین آمده و قطارها سر موقع اعزام و یا به مقصد نرسند و یا تعداد کمتری قطار را بتوان اعزام نمود.

تعداد قطارها

وقتی تعداد قطارها از حدی زیادتر شود، دیگر نمی‌توان طوری برنامه‌ریزی کرد که در زمان توقف قطار کندتر در ایستگاه، قطار پرسرعت بدون معطلی از آن سبقت بگیرد. افزودن قطارهای بیشتر به برنامه باعث می‌شود که برخی از قطارهای پرسرعت در پشت قطارهای کندرو گیر بیافتند که عملاً باعث کاهش سرعت متوسط و احیاناً کاهش ثبات سیستم خواهد شد.

میزان تنوع سرویس‌ها

تنوع سرویس‌ها در یک برنامه زمانی به این معنی است که قطارهایی با سرعت‌های مختلف مثلاً ۱۶۰ و ۳۰۰ کیلومتر در ساعت در یک مسیر برنامه‌ریزی شوند و یا اینکه برای قطارهای هم‌سرعت، برنامه مختلفی برای توقف در ایستگاه‌های بین مسیر در نظر گرفته شود، بدین معنی که برخی از آنها به صورت اکسپرس بین مبدا و مقصد بدون توقف در ایستگاه‌های بین راه سیر کنند و برخی دیگر در تمام یا برخی از ایستگاه‌های بین مسیر توقف داشته باشند. هرچه این تنوع بیشتر باشد، برنامه زمان‌بندی دچار اختلال شده و روی سه رأس دیگر لوزی تأثیر منفی می‌گذارد.

سرعت متوسط

یک قطار در سرعت‌های مختلف میزان متفاوتی از ظرفیت را مصرف می‌نماید. مثلاً وقتی یک قطار متوقف است، تمام ظرفیت بلاک را برای مدت نامحدودی اشغال کرده است. وقتی قطار به حرکت درمی‌آید و سرعت می‌گیرد، هرچه سرعت بالاتری داشته باشد، بلاک را برای مدت کوتاه‌تری اشغال می‌کند و تعداد قطار بیشتری می‌توان به بلاک اعزام نمود و در نتیجه استفاده بیشتری از مسیر می‌شود. در عین حال، با افزایش سرعت، خط ترمز یا مسافت ترمز افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه از سرعتی به بالا، سرفاصله زمانی (هدوِی) مجدداً با شیب کمتری افزایش می‌یابد.

ثبات و نظم بهره‌برداری

هنگام بررسی ظرفیت راه‌آهن، داشتن نگاهی به پایداری و نظم بهره‌برداری نیز اهمیت دارد. البته تعیین شاخص کمّی برای ثبات و نظم بهره‌برداری کار ساده‌ای نیست، لیکن ارائه سرویس‌های به موقع از آن نتیجه می‌شود و می‌تواند معیار اندازه‌گیری مناسبی باشد. با این حال، تخمین به موقع بودن سرویس بهره‌برداری تا زمانی که جدول زمان‌بندی به مرحله اجرا درنیامده است، کار دشواری است و ممکن است برخی از پرسنل با تجربه صنف بهره‌برداری به ازای تغییرات کوچک در برنامه حرکت، بتوانند تغییرات در نظم سرویس‌ها را تا حدودی پیش‌بینی کنند. همچنین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند RAILSYS می‌توانند اثر تغییرات بزرگ‌تر را پیش‌بینی نمایند. با وجود آنکه به طور کلی پیش‌بینی به موقع بودن سرویس‌ها دشوار می‌باشد، ولی می‌توان این قانون عمومی را استخراج نمود که نظم و ترتیب و به موقع بودن سرویس‌ها وقتی از ظرفیت بیشتر استفاده می‌شود، کاهش می‌یابد.

محاسبه ظرفیت مورد استفاده

ظرفیت مورد استفاده یا میزان اشغال زیربنا در یک محدوده زمانی تعریف شده، اندازه‌گیری می‌شود و به آن زمانهای پشتیبان برای ثبات جدول زمانی و همچنین در جایی که نیاز باشد، زمان تعمیرات اضافه می‌گردد.

فرمول محاسبه ظرفیت مورد استفاده برابر است با:

$$k=A+B+C+D \qquad (۱-۵)$$

k: زمان کل اشغالی (دقیقه)

A: زمان اشغال زیربنا (دقیقه)

B: زمان بافر (دقیقه)، این زمان به فاصله زمانی بین دو قطار اضافه می‌شود و برای کاهش میزان تأخیر از یک قطار به قطار پشتی می‌باشد.

C: زمان پشتیبان برای مسیرهای تک‌خطه (دقیقه)

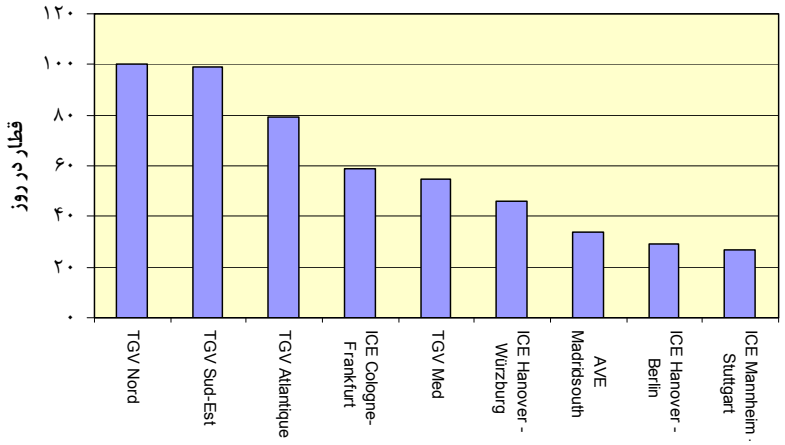
D: زمان پشتیبان برای عملیات تعمیر و نگهداری (دقیقه)

در این صورت درصد اشغال ظرفیت K عبارت است:

$$K=k*۱۰۰/u \qquad (۲-۵)$$

که در آن u پنجره زمانی انتخاب شده است.

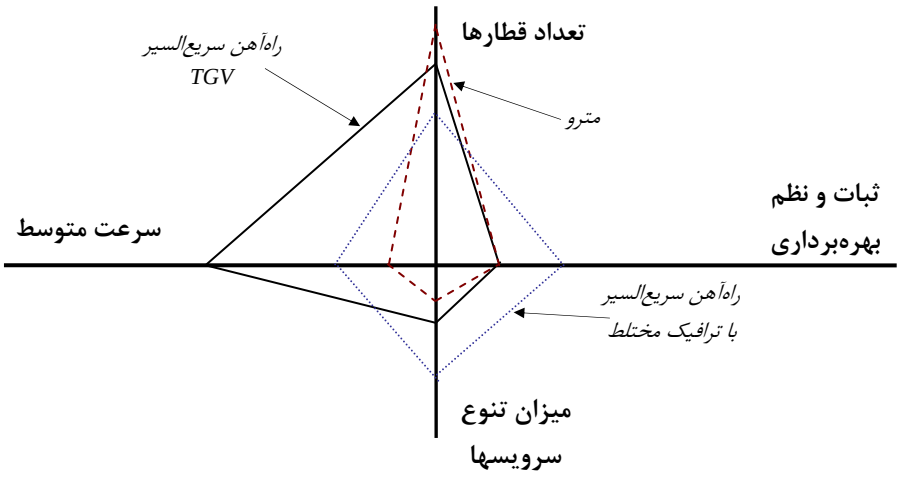
ترافیک در اکثر خطوط پرسرعت دنیا، اختصاصی است، یعنی در خطوط پرسرعت تنها قطارهای پرسرعت حرکت می‌کنند و قطارهای باری و مسافری کم‌سرعت تردد نمی‌نمایند. در صورت نیاز، قطارهای باری شبها که ترافیک مسافری وجود ندارد، روی خطوط پرسرعت سیر می‌کنند. نکته‌ای که در مورد احداث خطوط پرسرعت باید در نظر داشت، این است که علاوه بر سرعت بالا، ظرفیت بالای این خطوط نیز مدنظر و مورد توجه است. بدون داشتن تقاضای سفر بالا، ساخت خطوط پرسرعت به صرفه نیست. در شکل ۵-۴ چگالی اعزام قطارها مربوط به چند خط پرسرعت در فرانسه، اسپانیا و آلمان نشان داده شده است.



شکل ۵-٤: چگالی اعزام قطارها در برخی از نمونه‌های قطارهای پرسرعت

همان طور که مشاهده می‌شود کمترین تعداد قطارها در روز ۳۰ رام می‌باشد که با فرض هر قطار ۸۰۰ مسافر، حداقل تعداد مسافرین در سال حدود ۹ میلیون نفر می‌باشد.

سه مدل بهره‌برداری شامل خطوط راه‌آهن پرسرعت با ترافیک اختصاصی، خطوط راه‌آهن پرسرعت با ترافیک مختلط و خطوط مترو از دیدگاه پارامترهای مرتبط با ظرفیت در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۵: نحوه کیفی چیدمان پارامترهای مؤثر بر ظرفیت در راه‌آهن‌های پرسرعت پر ظرفیت

بدیهی است در راه‌آهن پرسرعت، ثبات و نظم در بهره‌برداری و ارائه سرویس‌های سرِ وقت و به موقع اهمیت زیادی دارد. در راه‌آهن پرسرعت لازم است حداکثر ظرفیت در دسترس استفاده شود و کیفیت سرویس‌ها از لحاظ به موقع بودن حرکت از مبدا و رسیدن به مقصد و ایستگاه‌های بین مسیر نیز بالا باشد.

برای اینکه حداکثر استفاده از ظرفیت خط به عمل آید، UIC روش فشرده‌سازی جدول زمان‌بندی حرکت قطارها را پیشنهاد نموده است. طبق بررسی انجام شده توسط UIC، عنوان شده است که امکان ورود قطارهای جدید در برنامه زمان‌بندی همواره وجود دارد، ولی با این کار، ثبات زمان‌بندی تنزل می‌یابد و زمانی که شاخص ثبات زمان‌بندی از حدی کمتر شد، اضافه کردن قطارها به برنامه باید متوقف شود. سوال مهمی که مطرح می‌شود این است که حداکثر درصد اشغال زیرساخت ریلی چقدر خواهد بود. تعیین این پارامتر بسیار دشوار است، چون چندین پارامتر شامل موارد زیر در آن دخیل هستند:

- قابلیت اطمینان زیرساخت
- قابلیت اطمینان ناوگان
- میزان استقلال خط مورد نظر از سایر خطوط
- سطح کیفیتی مورد نظر بهره‌بردار (آیا در صورت مشکلات زمان‌بندی حاضر است اعزام یک قطار را لغو نماید؟)
- آستانه‌های زمان سفر
- تعداد قطارها در هر ساعت
- طول مسیر مورد بررسی و امکان سازمان‌دهی سبقت‌گیری یا تقاطع در آن

به این دلیل برای درصد اشغال خطوط، تنها می‌توان با توجه به تجربه بهره‌برداری در راه‌آهن‌های اروپایی مقادیری تقریبی را به صورت پیشنهادی ارائه داد که در جدول ۵-۱ آمده است.

جدول ۵-۱: درصد اشغال انواع مختلف خطوط

نوع خط	درصد اشغال در ساعات پیک	درصد اشغال در حال عادی	توضیح
ترافیک اختصاصی مسافری حومه‌ای	٪۸۵	٪۷۰	امکان لغو برخی از سرویس‌ها در صورت تأخیر امکان بهره گیری از میزان بالایی از ظرفیت را می دهد
ترافیک اختصاصی راه‌آهن پرسرعت	٪۷۵	٪۶۰	
خطوط با ترافیک مختلط	٪۷۵	٪۶۰	درصورت پایین‌تر بودن تعداد قطارها (کمتر از ۵ قطار در ساعت) و با وجود درصد بالایی از عدم تجانس قطارها می‌تواند بالاتر نیز باشد.

۵-۳-۲- گراف

گراف یک ابزار بسیار مناسب و کارآمد در برنامه‌ریزی و کنترل حرکت قطارها است. گراف حرکت قطارها در مرحله برنامه‌ریزی، تصویری از برنامه سیر قطارها و در مرحله اجرا،

تصویری از برنامه اجرا شده و یا در حال اجرا را به نمایش می‌گذارد. گراف حرکت قطارها یک دیاگرام مسافت- زمان است (معمولاً محور عمودی، مسافت و محور افقی زمان را نمایش می‌دهد). هر چقدر سرعت حرکت یک قطار بیشتر باشد، خط آن در گراف نیز عمودی‌تر خواهد بود. در تهیه گراف حرکت قطارها، ترسیم مسیرهای حرکتی با در نظر گرفتن زمانی اضافی به نام بافر صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه در عمل نمی‌توان به ظرفیت تئوری محاسبه شده رسید، بر اساس توصیه UIC زمان بافری بین حداقل سرفاصله زمانی (هدوِی) اعزام قطارها در نظر گرفته می‌شود تا ثبات برنامه‌ریزی دچار اختلال نشود.

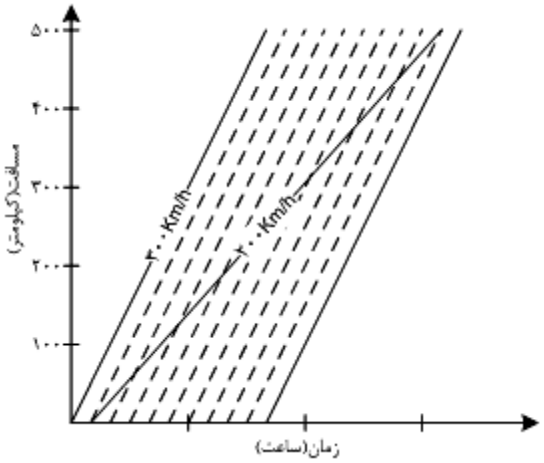
هدف از تهیه گراف حرکت قطارها موارد زیر است:

- در مرحله برنامه‌ریزی: تنظیم برنامه حرکت قطارها شامل طراحی ساختار گراف و اطمینان از تدارک مسیر حرکتی برای تمام تقاضاهای مورد نیاز
- در مرحله پیاده‌سازی: درگیری و ملاحظه حرکت قطارها
- پیش‌بینی تداخل‌های ممکن در حین اجرای برنامه
- برای تصمیم‌گیری‌های لازم در حین اجرا، شامل توقف، سبقت دادن برخی از قطارها

از ظرفیت زیرساخت در حالتی حداکثر استفاده خواهد شد که تمام قطارها با سرعت یکسانی حرکت نمایند و منحنی شتاب‌گیری و ترمزگیری یکسانی داشته باشند. بنابر این برای تقویت سایر شاخصهای مورد نظر در بهره‌برداری از جمله تعداد قطارهای زیاد و ثبات بهره‌برداری (زمان‌بندی دقیق رسیدن به ایستگاه‌ها و سرعت متوسط بالا)، لازم است قطارهای در سرویس راه‌آهن پرسرعت از یک نوع باشند و از برقراری سرویس‌های مختلط پرهیز نمود. در صورت نیاز به بهره‌برداری مختلط نیز می‌توان به گونه‌ای برنامه‌ریزی نمود که قطارهای پرسرعت در ساعاتی از روز و قطارهای عادی در ساعاتی دیگر تردد نمایند.

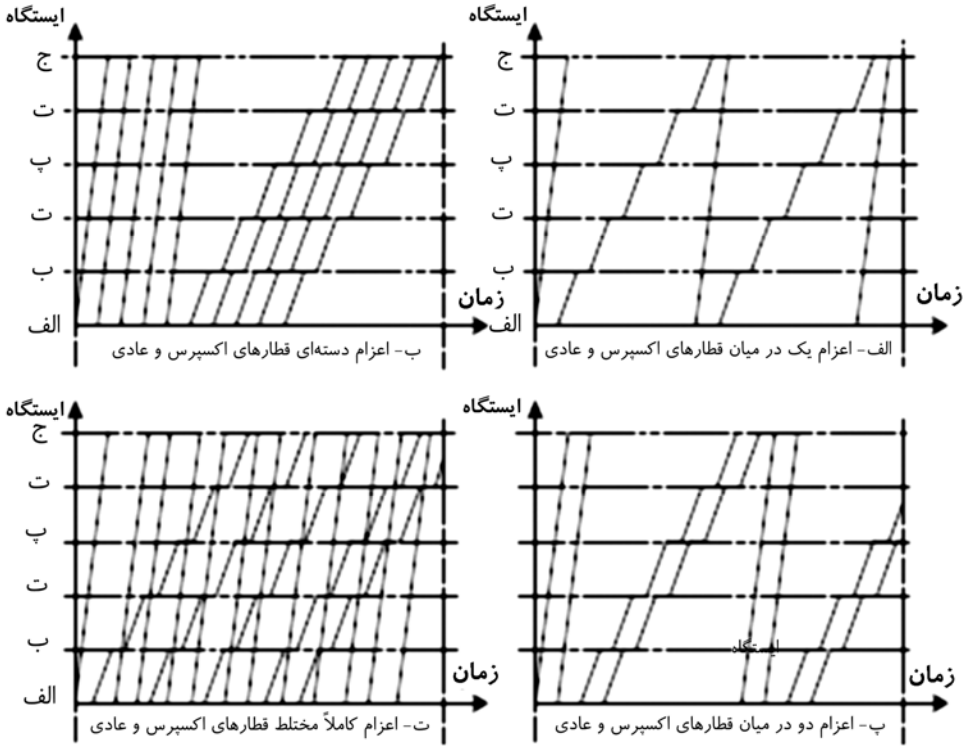
در گراف شکل ۵-۶ به عنوان نمونه اثر نامطلوب اعزام یک قطار کندرو در بین قطارهای پرسرعت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، با اعزام یک قطار ۲۰۰ کیلومتر در ساعت، ظرفیت اعزام ۹ قطار سریع‌السیر ۳۰۰ کیلومتر در ساعت اشغال گردیده است (فاصله

اعزام قطارها ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده است). هر قدر فاصله بین ایستگاه‌ها بیشتر باشد، ظرفیت اشغال شده عدد بالاتری خواهد بود. همچنین هر چقدر اختلاف سرعت قطارها در مسیر بیشتر باشد، ظرفیت از دست رفته آن مسیر نیز افزایش خواهد یافت. نحوه برنامه‌ریزی و رسم گراف حرکت قطارها می‌تواند تأثیر بسیار قابل توجهی بر میزان ظرفیت قابل دسترسی داشته باشد. در خطوط راه‌آهن پرسرعت سعی می‌شود بیشتر سرویس‌ها بین مبدا و مقصد، بدون توقف یا با حداقل توقف در ایستگاه‌های اصلی بین راه، باشند تا تأثیر نامطلوبی بر ظرفیت وارد نشود، ولی در برخی از کشورهای دارای راه‌آهن پرسرعت و به طور خاص کشور ژاپن، قطارهای پرسرعت سرویس‌های متنوعی ارائه می‌دهند. به عنوان مثال برخی از قطارهای پرسرعت به صورت اکسپرس حرکت می‌کنند و تعداد توقفهای کمی دارند (مبدا، مقصد و احتمالاً تعداد اندکی توقف در ایستگاه‌های مهم بین مسیر). در این نوع بهره‌برداری مختلط، قطارهای پرسرعتی نیز وجود دارند که در بیشتر ایستگاه‌های طول مسیر توقف دارند. البته این نیاز در کشوری مثل ژاپن رخ می‌دهد که چگالی جمعیتی بالایی دارد و شبکه راه‌آهن بسیار گسترده است و بنابر این تعداد مسافرین در ایستگاه‌های بین مسیر نیز قابل توجه است.



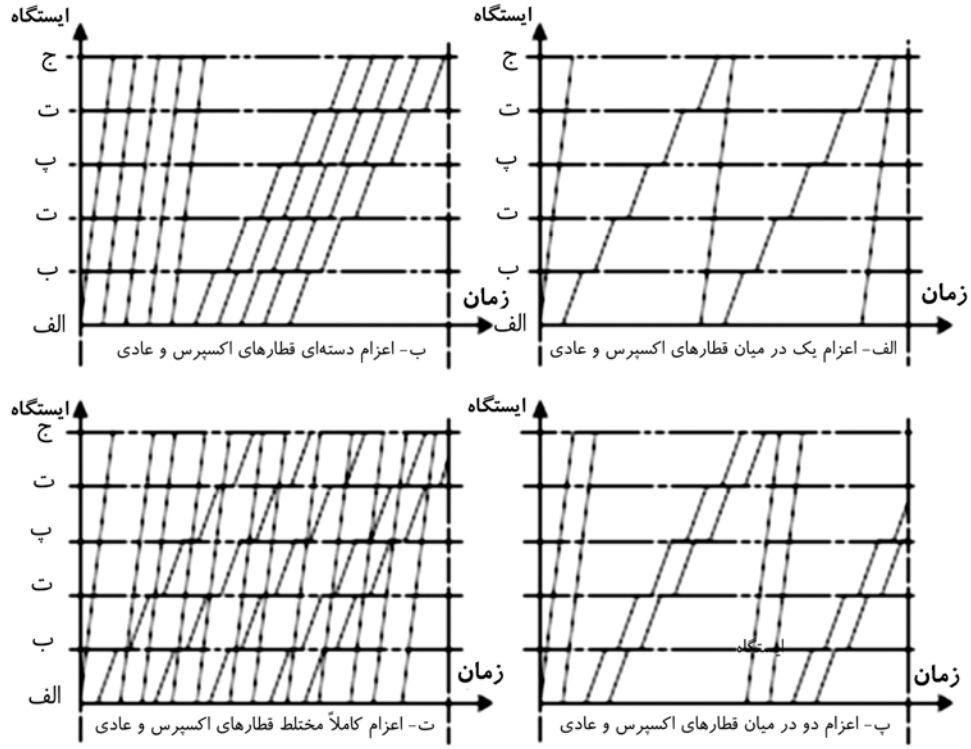
شکل ۵-۶: اثر اعزام یک قطار کندرو در بین قطارهای پرسرعت

مسئله تنوع سرویس‌ها در گراف‌های



شکل ۵-۷ نشان داده شده است. گراف‌ها یک بازه چهار ساعته را نشان می‌دهند. همچنین فرض شده است، قابلیت اعزام قطارها به فاصله ۱۵ دقیقه از یکدیگر وجود دارد. در گراف «الف» برای ایجاد تنوع لازم در ارائه سرویس به مسافرین، قطارهای اکسپرس و قطارهای عادی، یک در میان اعزام شده‌اند ولی اتلاف ظرفیت بسیار زیادی وجود دارد و سرفاصله زمانی (هدوی) ممکن برای اعزام هر قطار به یک ساعت و چهل و پنج دقیقه رسیده است و در بازه زمانی فرض شده، تنها پنج قطار اعزام شده است. در گراف «ب» ترتیب اعزام قطارها به صورت اعزام متوالی دو قطار اکسپرس و دو قطار عادی است. گرچه در این حالت از سطح تنوع سرویس‌ها کاسته شده است، ولی امکان اعزام حدود هفت قطار در بازه زمانی میسر شده است. در گراف «پ» ابتدا قطارهای اکسپرس و سپس قطارهای عادی اعزام شده‌اند، گرچه در این حالت از

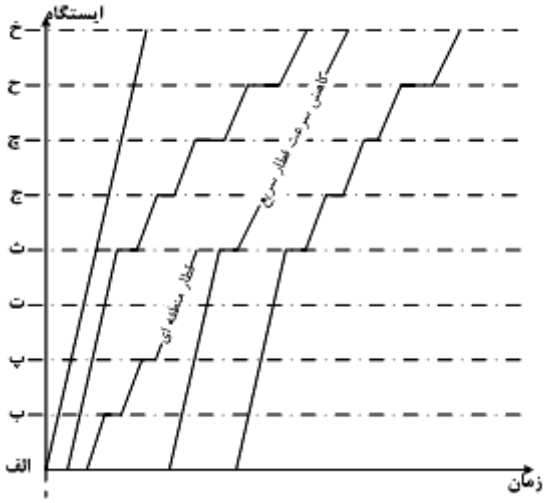
لحاظ سرویس به مسافرین نامطلوب‌ترین وضعیت ایجاد شده است، ولی تعداد ۱۰ قطـار در بـازه زمانی اعزام شده است و استفاده از ظرفیت نسبت به حالت اول ۱۰۰٪ افـزایش یافتـه اسـت. در گراف «ت» قطارهای اکسپرس و عادی کاملاً مختلط اعزام شده‌انـد و قطارهـای اکـسپرس از قطارهای عادی در ایستگاه‌ها سبقت می‌گیرند. این نوع گراف ظرفیت اعزام ۱۷ قطـار را فـراهم کرده و تنوع سرویس‌ها را نیز ایجاد نموده است.



شکل ۵-۷: اثر نحوه برنامه‌ریزی قطارها بر ظرفیت قابل حصول

در وضعیت اخیر، از طرفی باید برنامه‌ریزی حرکت قطارها بـسیار دقیـق و بـا اسـتفاده از تکنیکهای ابداعی باشد و از طرف دیگر نیز قابلیت اطمینان شبکه و قطارها بالا باشد تا کمترین اختلال در سیر و حرکت قطارها رخ دهد. به عنوان مثـال گـراف شـکل ۵-۸ حـالتی را نـشان

می‌دهد که قطارهای پرسرعت اکسپرس با قطارهای پرسرعت عادی با یکدیگر در برنامه حرکت قطارها وجود دارند و همانگونه که مشاهده می‌شود در جایی، یک قطار اکسپرس اندکی تقلیل سرعت داده شده است تا بتواند بین دو قطار عادی حرکت نماید. همچنین برای استفاده حداکثر از ظرفیت، قطارهایی برای تردد بین بخشی از مسیر در نظر گرفته می‌شود به طوری که آنها تمام طول مسیر را سیر نمی‌نمایند و به طور منطقه‌ای سرویس می‌دهند.



شکل ۵-۸: کاهش سرعت قطار پرسرعت جهت انطباق با برنامه

۵-۳-۳- طراحی ترافیک

به منظور طراحی مناسب ترافیک راه‌آهن، بهره‌برداران در ابتدا باید تقاضاها را در حد امکان دقیق پیش‌بینی نمایند. این تقاضا در دو بعد حمل بار و مسافر مطرح است. با در نظر گرفتن فاکتورهای اصلی که بر تقاضای حمل و نقل تأثیر می‌گذارند و با جمع‌آوری مناسب داده‌ها و پردازش آنها می‌توان به برآوردی از تقاضا دست یافت. پیش‌بینی تقاضای به دست آمده به عنوان شاخص مهمی در برنامه‌ریزی حرکت قطار مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر شاخصهای مرتبط عبارتند از:

- کارآیی ناوگان و قابلیت اطمینان و آماده بکاری آنها
- ظرفیت خط
- تجهیزات ایمنی
- پرسنل
- ارتباطات و اتصالات شبکه‌ای
- ضریب اشغال ایستگاه

همین سیکل نیز برای پیش‌بینی تقاضا برای احداث یک خط راه‌آهن پرسرعت به کار برده می‌شود. نه تنها تقاضای ترافیک مبدا و مقصد نهایی، بلکه تقاضای ترافیک مراکز جمعیتی مهم بین مسیر نیز در نظر گرفته می‌شود. متناسب با تقاضای نقاط مختلف در طول مسیر، سرویس‌های بهره‌برداری طراحی می‌شود. برخی از سرویس‌ها به صورت اکسپرس بدون توقف و به طور مستقیم بین مبدا و مقصد و برخی از سرویس‌ها نیز با در نظر گرفتن توقف‌هایی در نقاط جمعیتی بین راه طراحی می‌گردند. سپس با توجه به ظرفیت و نوع ناوگان در دسترس، تعداد ناوگان و آرایش آنها تعیین می‌گردد. سازندگان ناوگان راه‌آهن پرسرعت در دنیا محدود هستند و ساختار قطارهای موجود نیز تقریباً مشابه می‌باشند. معمولاً قطارهای پرسرعت از نوع ترن‌ست به طول ۲۰۰ متر با ظرفیت ۴۰۰ تا ۶۰۰ نفر می‌باشند. امکان کوپل کردن دو ترن‌ست نیز فراهم آمده است. در محاسبات، ضریب اشغال قطارها در زمانهای مختلف از جمله ساعت پیک باید لحاظ گردد. تعدادی ناوگان نیز باید به صورت ذخیره و آماده به کار در نظر گرفته شود.

۵-۳-۴- سرویس‌های مختلف بهره‌برداری در راه‌آهن پرسرعت

برخی تصور می‌کنند راه‌آهن پرسرعت بین مبدا و مقصدی نسبتاً طولانی بهره‌برداری می‌شود و در ایستگاه‌های بین مسیر توقفی ندارد. گرچه این تصور به علت اینکه از یک طرف توقفهای پیاپی تأثیر منفی در سرعت متوسط دارد و از طرف دیگر گراف حرکتی را پیچیده می‌کنند و ممکن است روی سیر قطارهای دیگر طبق برنامه اثر منفی داشته باشد، تا حدودی

منطقی است، اما مزایای توقف بین راهی برخی از قطارهای پرسرعت برای مسافرین بین راهی باعث شده است در برخی از کشورها با دستیابی به قابلیت اطمینان بالای زیرساخت و قطارها و با داشتن یک برنامه‌ریزی دقیق و پیشرفته، اینکار را بدون ایجاد تأثیر منفی زیاد روی قطارهای اکسپرس، پیاده نمایند.

شین‌کان‌سن ژاپن نمونه‌ای شاخص از این نوع بهره‌برداری را به مرحله اجرا در آورده است. برای آشنایی بیشتر با یکی از الگوهای موفق، سرویس‌های مختلف بهره‌برداری حال حاضر شین‌کان‌سن در ادامه به اجمال توضیح داده شده است.

شبکه قطارهای شین‌کان‌سن به عنوان هسته اصلی حمل و نقل کشور ژاپن به شمار می‌رود. همانگونه که در فصل دوم توضیح داده شد، شبکه شین‌کان‌سن از پنج مسیر اصلی تشکیل شده است. در هر مسیر انواع مختلفی از سرویس‌ها به کمک انواع مختلفی از قطارها ارائه می‌شود که هرکدام با اسامی خاص و با معنایی مشخص می‌شود. این قطارها از لحاظ فنی، آرایش، تجهیزات و امکانات و همچنین سرعت و تعداد توقفهای بین راهی متفاوت هستند. تنوعی که در انواع قطارهای شین‌کان‌سن وجود دارد، در کمتر کشوری که راه‌آهن پرسرعت دارد، به چشم می‌خورد.. در برخی از مسیرها، قطارها علاوه بر سرعت بالا دارای فواصل اعزام کمی هستند به طوری که در مسیر توکیو به اُزاکا در هر ساعت ۶ قطار در هر جهت اعزام می‌شود.

۵-۳-۵- کنترل متمرکز

کنترل متمرکز از مهم‌ترین بخش‌ها در سیستم‌های حمل و نقل ریلی پرترافیک یا پرسرعت به شمار می‌رود. به منظور بهره‌برداری ایمن و کارآمد قطارهای پرسرعت، نیاز به کنترل ترافیک قطارها به صورت متمرکز می‌باشد. سطوح و قابلیت‌های زیادی در مراکز کنترل قابل به کارگیری است که به مرور زمان توسعه یافته‌اند. در حالت کنترل متمرکز در صورت رخداد شرایط غیرعادی مانند سانحه یا نظایر آن، مدیریت شرایط آسان‌تر خواهد بود. به مرور قابلیت‌های بیشتری به سیستم کنترل متمرکز اضافه گردید به طوری که تنظیم برنامه‌ریزی حرکت قطارها و تنظیم مسیرها نیز به صورت خودکار و توسط رایانه انجام می‌شود. در کنار

کنترل ترافیک، عملیات متنوع دیگری نیز در مرکز کنترل انجام می‌شود. کنترل‌های مرکزی ممکن است از لحاظ قابلیت‌های عملیات، تفاوت‌های قابل توجهی داشته باشند، ولی معمولاً یک مرکز کنترل ترافیک راه‌آهن پرسرعت قابلیت‌های زیر را دارا می‌باشد:

- برنامه‌ریزی و کنترل ترافیک
- مونیتورینگ و کنترل سیستم تغذیه بالاسری و مصرف انرژی
- سیستم اطلاع‌رسانی به مسافرین
- کنترل سیستم ارتباطات و علائم
- کنترل تأسیسات و تجهیزات ایستگاه
- سیستم امنیتی و نظارت ویدئویی

برنامه‌ریزی و کنترل ترافیک

این بخش، اصلی‌ترین قسمت کنترل مرکزی است که ارتباط تنگاتنگی با سیستم علائم الکتریکی دارد. در راه‌آهن پرسرعت از سیستم علائم الکتریکی محلی استفاده نمی‌شود. بلکه اینترلاکینگ‌های ایستگاه‌ها از طریق شبکه ارتباطات، تحت پوشش بخش ترافیک کنترل مرکزی قرار دارند. بخش کنترل مرکزی به عنوان لایه بالاتری روی علائم الکتریکی ایستگاه‌ها قرار می‌گیرند. پرسنل کنترل ترافیک امکان تغییر و ارسال فرمان به سوزن‌ها و علائم تمامی ایستگاه‌ها از طریق تابلوی مرکز ترافیک را دارند و از طریق پانل نمایش مرکزی بر عملیات بهره‌برداری قطارها در کل مسیر یا شبکه نظارت پیوسته دارند. زمانی که ترافیک شبکه‌های راه‌آهن پرسرعت کمتر بود، کنترل مرکزی مجهز به سیستم CTC بود که امکان ساده کنترل و مسیردهی قطارها را به صورت متمرکز فراهم می‌نمود. با افزایش تدریجی حجم ترافیک و گستردگی شبکه، نیاز به بهره‌برداری دقیق از ترافیک متراکم و پرسرعت قطارها در حد دقیقه و صدور دستورات لازم حس گردید. برای پاسخ به این نیاز، سیستم‌های نرم‌افزاری ابداع گردیدند که بسیاری از عملیات کنترل مرکزی ترافیک را خودکار و سیر و حرکت قطارها را دقیق‌تر نمودند. این سیستم‌ها با توجه به اطلاعات وضعیت موجود، مانند زیربنا، ناوگان و غیره و با

توجه به اولویتها و محدودیتهای ترافیکی، یک برنامه سطح بالای ترافیکی را ارائه می‌دهند. این برنامه پس از بازبینی، از جنبه‌های مختلف قابل پیاده‌سازی است. این برنامه از طریق رادیوهای دیجیتال، بلادرنگ به قطارها ارسال می‌شود و وضعیتهای مختلف از جمله نواحی احتیاط، محدودیت‌های سرعت و غیره برای راننده نمایش داده می‌شود. از این عملیات، برنامه زمان‌بندی حرکت قطارها و همچنین برنامه کاری پرسنل بهره‌برداری و قطار نیز قابل استحصال است.

در راه‌آهن پرسرعت معمولاً وظایف دیگری نیز برای این بخش تعریف می‌شود:

- مونیتورینگ و ارزیابی شرایط غیرعادی بهره‌برداری نظیر خرابی قطار، وضعیت غیرعادی در قطار و غیره و رسیدگی به آن و بازیابی شرایط عادی بهره‌برداری
- مدیریت عملیات نجات و بازیابی در شرایط اضطراری

مونیتورینگ و کنترل سیستم تغذیه و مصرف انرژی

در این قسمت، کلیه بخش‌های برق‌رسانی از طریق شبکه SCADA مونیتور و کنترل می‌شود. سیستم برق‌رسانی شامل دو بخش برق‌رسانی به قطارها (پست‌های کشش، شبکه بالاسری،...) و برق‌رسانی ایستگاه‌ها می‌گردد. هر دو بخش در اینجا مونیتور و کنترل می‌شود و در صورت مشکل و یا خرابی در سیستم برق‌رسانی، اقدامات لازم جهت رفع مشکل صورت می‌گیرد. برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات شبانه شبکه برق بالاسری و برق‌رسانی نیز توسط این قسمت و با هماهنگی بخش کنترل بهره‌برداری انجام می‌گیرد

کنترل سیستم علائم و ارتباطات

بخش برنامه‌ریزی و کنترل بهره‌برداری، سیستم علائم الکتریکی را به عنوان بازوی اجرایی خود دارد. با این وجود چون تجهیزات و سیستم‌های علائم و ارتباطات نقش و بخش عمده‌ای را در زیربنا به خود اختصاص می‌دهند، این قسمت علاوه بر مونیتورینگ دائم و برنامه‌ریزی بازدید این تجهیزات، در صورت خرابی، اقدام لازم و سریع را جهت بازیابی شرایط عادی هدایت می‌نماید.

کنترل تجهیزات و تأسیسات

این قسمت مسئول کنترل خطوط، تجهیزات و تأسیسات است. در صورت رخداد سوانح طبیعی نظیر سیل، زلزله و نظایر آن و یا شرایط اضطراری، این قسمت متوجه شده و اخطارهای ایمنی را در خصوص کاهش سرعت یا توقف قطارها می‌دهد و عملیات بازیابی به شرایط عادی را سازماندهی و مدیریت می‌نماید. این قسمت همچنین شرایط خط را بر اساس نتایج به دست آمده از ماشین‌های اندازه‌گیری مونیتور کرده و در صورت نیاز، اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه را سازماندهی می‌نماید.

به جز اقدامات اصلی فوق که در کل از نوع کنترل و مونیتورینگ محسوب می‌شود، در مرکز کنترل سیستم‌های دیگری از جمله اطلاع‌رسانی به مسافرین، سیستم امنیتی و نظارت تلویزیونی نیز وجود دارند. در صورت نیاز، بین زیر سیستم‌های مختلف، ارتباطات لازم برقرار می‌شود. به عنوان مثال سیستم کنترل ترافیک، اطلاعات ورود و خروج قطارها را به سیستم اطلاع‌رسانی به مسافرین ارسال می‌کند و این بخش از طریق تابلوهای متغیر، اطلاعات یاد شده را برای مسافرین به نمایش می‌گذارد.

مثالهایی از سیستم کنترل متمرکز

در مسیر شین‌کان‌سن سانیو از سال ۱۹۸۲ سیستم کنترل متمرکز COMTRAC[1] همزمان با بازگشایی ایستگاه اوکایاما به بهره‌برداری رسید. این سیستم، پشتیبانی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مؤثری از پرسنل کنترل ترافیک جهت مدیریت کارآمد حمل و نقلی به عمل می‌آورد و به صورت مستمر موقعیت قطارها را بر اساس شرایط بهره‌برداری (زمان اعزام، شماره خط اعزام، ترتیب قطارها در هر ایستگاه) تحت نظارت دارد. در صورت عدم بهره‌برداری از هر قطار مطابق برنامه پیش‌بینی شده برای آن، COMTRAC هشدار داده و برنامه جدیدی برای ترتیب و تواتر ورود و اعزام قطارها ارائه می‌دهد. به علاوه، COMTRAC وضعیت بهره‌برداری را مطابق با شرایط تنظیم شده توسط کارکنان مرکز ترافیک پیش‌بینی می‌نماید. خروجی‌ها بر روی پایانه

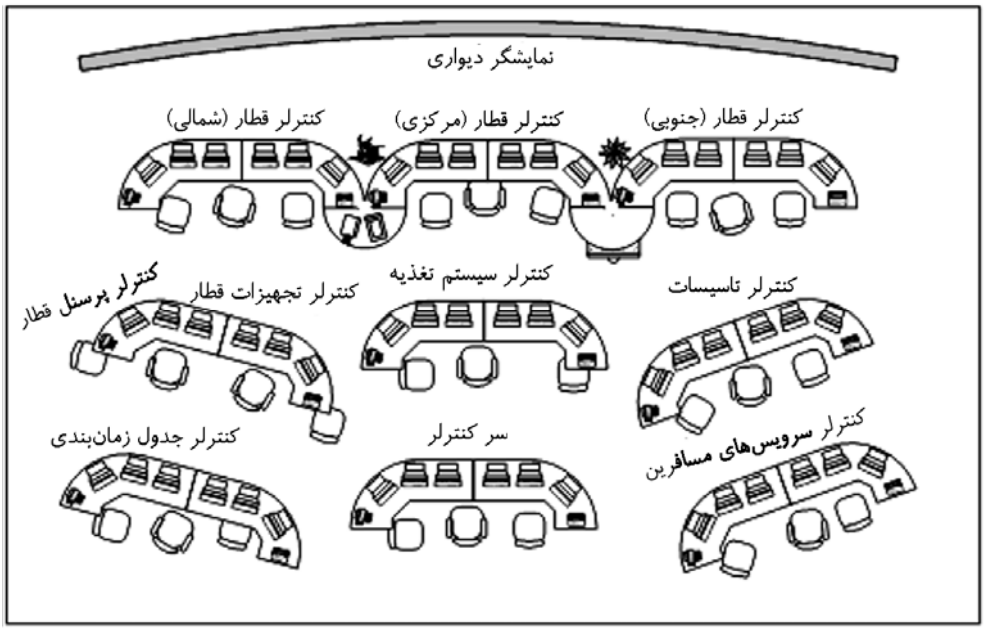
[1] COMputer aided TRAffic Control

نمایش یا چاپگر جهت کاهش بار پیچیدگی کنترل ترافیک نمایش داده می‌شود. در مرحله‌ای پیشرفته‌تر، راه‌آهن شرق ژاپن سیستم جدید کنترل ترافیک به نام COSMOS[1] را بر اساس سیستم اولیه COMTRAC در راستای افزایش کارایی بهره‌برداری سراسری بر روی خطوط سنتی یاماگاتا و ناگاتا، همزمان با افتتاح شین‌کان‌سن ناگانو به کار گرفت. در این برنامه، انواع شیوه‌های بهره‌برداری از جمله بهره‌برداری ترکیبی و جزیی پوشش داده شده است. این سیستم کاملاً یکپارچه و پیشرفته قادر به انجام برنامه‌ریزی حمل و نقل و کنترل ترافیک، مدیریت ابزار و تجهیزات، مدیریت ماشین‌آلات، مدیریت نگهداری و کنترل اطلاعات در یک مجموعه می‌باشد.

مرکز کنترل راه‌آهن آلمان مثال دیگری از مراکز کنترل پیشرفته می‌باشد که از ۷ مرکز ناحیه‌ای مدیریت شبکه در برلین، هانوور، دالسبرگ، لایپزیگ، مونیخ، کارلسروهه و فرانکفورت تشکیل شده است. این مراکز وظیفه هماهنگی، دیسپاچینگ و بهره‌برداری در هریک از شبکه‌های محلی تحت پوشش را بر عهده دارند. یک مرکز سوپروایزری ملی نیز در فرانکفورت، هماهنگی و دیسپاچینگ کل شبکه را بر عهده دارد.

همانطور که گفته شد، یک مرکز کنترل متمرکز از بخش‌های مختلفی تشکیل می‌شود. هر بخش در موقعیت فیزیکی مشخص در مرکز کنترل قرار می‌گیرد. ارائه یک نمونه عملی بهترین روش برای آشنایی با بخش‌های مختلف است. نمونه مرکز کنترل راه‌آهن پرسرعت تایوان در Error! Reference source not found. (شماتیک) نشان داده شده است. در برخی از مراکز کنترل یک میز برای آموزش نیز در نظر گرفته می‌شود.

[1] COmputerized Safety Maintenance and Operation System for Shinkansen



شکل ۵-۹: شماتیک بخش‌های مرکز کنترل راه‌آهن پرسرعت تایوان

۵-۴- سناریوهای مختلف ترکیب بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت و راه‌آهن کلاسیک

قطارهای پرسرعت برای این که به بیشترین سرعت خود برسند، باید در خطوط ویژه پرسرعت حرکت کنند. اما به دلائل زیر بعضاً ممکن است قطارهای پرسرعت در خطوط شبکه راه‌آهن کلاسیک حرکت نمایند.

- پائین آوردن قیمت انجام پروژه‌های راه‌آهن پرسرعت: با توجه به اینکه تملک زمین در محدوده شهرهای بزرگ بسیار پرهزینه است و شبکه راه‌آهن کلاسیک قبل از توسعه شهر و گران شدن زمین در محدوده شهری احداث شده است، استفاده از شبکه کلاسیک موجود، ضمن فراهم نمودن امکان دسترسی به مراکز شهرها، قیمت پروژه را نیز به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

- ارائه سرویس‌های یکسر: برای اینکه مسافرین مجبور به تعویض چندین قطار از نوع پرسرعت و کلاسیک در طول مسیر خود بین مبدا و مقصد نباشند، برای بخشی از مسیر، قطارهای پرسرعت وارد شبکه راه‌آهن کلاسیک و یا قطارهای کلاسیک وارد شبکه راه‌آهن پرسرعت می‌شوند.

از طرفی، خطوط پرسرعت اختصاصی که در آن فقط قطارهای پرسرعت حرکت می‌کنند، دارای مزایای زیر هستند:

- برنامه‌ریزی و طراحی ترافیک آسان‌تر
- سرعت متوسط بالاتر
- ظرفیت بالاتر
- امکان پیاده‌سازی شیبهای تندتر و در نتیجه مسیر کوتاه‌تر

در مجموع، چهار سناریوی مختلف برای ترکیب بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت و راه‌آهن کلاسیک وجود دارد که در ادامه تشریح می‌گردد.

نوع اول: بهره‌برداری مجزا

این نوع بهره‌برداری، خالص‌ترین سیستم بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت است. در این سیستم، شبکه راه‌آهن پرسرعت اختصاص به قطارهای پرسرعت و شبکه راه‌آهن کلاسیک اختصاص به قطارهای کلاسیک دارد و هیچیک از انواع قطارها امکان استفاده از شبکه دیگری را ندارند. علت این نوع بهره‌برداری، در بیشتر موارد به دلایل فنی است. مثلاً در ژاپن، عرض خط شبکه راه‌آهن پرسرعت و راه‌آهن کلاسیک متفاوت است (راه‌آهن پرسرعت دارای عرض خط استاندارد و راه‌آهن کلاسیک دارای عرض خط متریک می‌باشد). از این رو امکان سیر هریک از انواع قطارهای پرسرعت و کلاسیک روی شبکه دیگری وجود ندارد. البته در اسپانیا هم محدودیت فنی مشابهی وجود دارد، اما امکان برای ورود محدود قطارهای شبکه کلاسیک به شبکه خطوط راه‌آهن پرسرعت فراهم شده است.

نوع دوم: شبکه پرسرعت مجزا

در این نوع بهره‌برداری، قطارهای کلاسیک امکان ورود به شبکه راه‌آهن پرسرعت ندارند، ولی قطارهای پرسرعت به دلائلی وارد شبکه راه‌آهن کلاسیک می‌شوند. این نوع بهره‌برداری در فرانسه مرسوم می‌باشد. علت آن نیز به منظور دسترسی راحت‌تر به مراکز شهرها و ارائه سرویس‌های یکسر است.

نوع سوم: شبکه راه‌آهن کلاسیک مجزا

این نوع سیستم کاملاً برعکس نوع دوم است. در این سیستم امکان ورود قطارهای کلاسیک به شبکه راه‌آهن پرسرعت وجود دارد، ولی قطارهای پرسرعت نمی‌توانند وارد شبکه راه‌آهن کلاسیک شوند. تنها نمونه عملی این نوع سیستم در اسپانیا وجود دارد. در این کشور عرض خط راه‌آهن کلاسیک و پرسرعت متفاوت است، ولی برخی از قطارهای تالگو از نوع کلاسیک که مجهز به بوژی عرض متغیر هستند، می‌توانند وارد شبکه پرسرعت شوند و با سرعت کمتری ادامه سیر دهند.

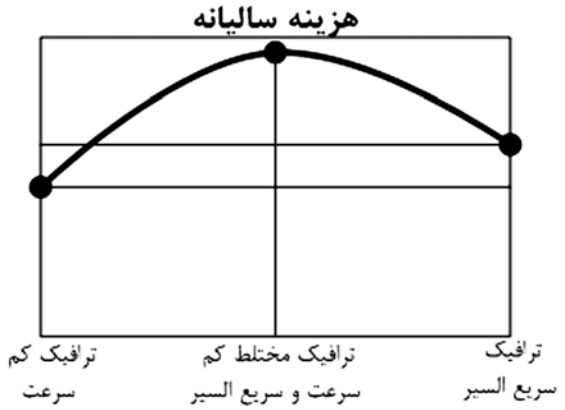
نوع چهارم: کاملاً ترکیبی

در این نوع سیستم، هم قطارهای پرسرعت امکان ورود به شبکه راه‌آهن کلاسیک را دارند و هم قطارهای کلاسیک در شرایطی می‌توانند به شبکه خطوط راه‌آهن پرسرعت وارد شده و ادامه سیر دهند. این نوع سیستم در ایتالیا و آلمان رایج است. در ادامه، مورد آلمان را دقیق‌تر بررسی می‌نماییم.

در جدول ۶-۳ ساختار ترافیک مختلط در خطوط مختلف راه‌آهن آلمان آمده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، در آلمان سه دسته خط شامل خطوط جدید پرسرعت (NBS)، خطوط ارتقاء یافته (ABS) و خطوط کلاسیک وجود دارند که قطارها روی هریک با سرعت‌های متفاوتی حرکت می‌کنند. به عنوان مثال، قطارهای پرسرعت روی هریک از این خطوط به ترتیب با سرعت‌های ۳۰۰، ۲۰۰ و ۱۶۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کنند، در حالی

که قطارهای عادی مسافری روی خطوط پرسرعت حداکثر با سرعت ۲۰۰ و قطارهای باری روی این خطوط بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ کیلومتر در ساعت سیر می‌کنند.

صرف نظر از سازگاری مسائل فنی، طراحی جدول زمانی حرکت قطارها در حالت بهره‌برداری مختلط اهمیت زیادی دارد. وجود اختلاف زیاد بین سرعت قطارهای در برنامه حرکت، باعث افت شدید ظرفیت می‌شود و لازم است در این خصوص تمهیدات مناسبی اندیشیده شود تا ظرفیت پرسرعت خط کمترین افت را داشته باشد. به این منظور متداول‌ترین و بهترین شیوه، اعزام قطارهای عادی در زمانهایی است که تقاضا برای قطارهای پرسرعت کمتر باشد. در حالت ترافیک مختلط باری و مسافری، بهترین راهکار، اعزام قطارهای باری در ساعات نیمه شب است.



شکل ۵-۱۰: نمودار هزینه سالیانه در وضعیتهای مختلف بهره‌برداری خطوط راه‌آهن از لحاظ سرعت

۵-۵- ایمنی بهره‌برداری

قطارهای پرسرعت دارای ایمنی فوق‌العاده بالایی هستند، به طوری که در ژاپن و فرانسه که به ترتیب بیشترین سابقه و شبکه را دارا می‌باشند، تاکنون سانحه منجر به جرح و فوتی رخ نداده است و تنها در ژاپن به علت زلزله شدیدی که در مسیر حرکت قطارهای شیکانسن در اکتبر ۲۰۰۳ رخ داد، باعث خروج از خط واگن اول گردید که هیچگونه تلفات جانی در برنداشت.

تنها سانحه سنگین مربوط به قطارهای پرسرعت مربوط به قطارهای ICE آلمان است که در ژوئن سال ۱۹۹۸ در اثر شکست محور، خروج از خط قطار و برخورد آن به پایه پل رخ داد و منجر به کشته شدن ۷۰ نفر گردید. پس از بروز این سانحه، تغییرات عمده‌ای از جمله تغییر طراحی چرخ در قطارهای ICE انجام شد. به علت ویژگی‌های طراحی و ساختاری راه‌آهن پرسرعت، امکان رخداد سوانح در آن حتی نسبت به راه‌آهن کلاسیک به میزان زیادی کاهش یافته است.

همانگونه که قبلاً عنوان گردید، راه‌آهن پرسرعت ارتقاء یافته راه‌آهن کلاسیک است. امکان رخداد سانحه در تمام جنبه‌های محتمل راه‌آهن کلاسیک، در صورت ثابت ماندن شرایط، در راه‌آهن پرسرعت نیز با توجه به سرعت بالاتر آن با احتمال بیشتری مطرح می‌باشد. بنابراین علاوه بر رعایت تمام الزامات ایمنی، مواردی ویژه راه‌آهن پرسرعت نیز در مراحل طراحی و اجرای راه‌آهن پرسرعت در نظر گرفته شود. تدابیر ایمنی دارای چهار جنبه سخت‌افزار، نرم‌افزار، انسان‌افزار و سازمان‌افزار می‌باشد که هرکدام گستردگی خاص خود را دارند و مجال پرداختن به آن در اینجا نمی‌باشد. در مورد تدابیر سخت‌افزاری لازم به برخی از جنبه‌های مهم در قسمت علائم و ارتباطات اشاره گردید. تنها به ذکر این نکته بسنده می‌کنیم که در طراحی، اجرا، تحویل‌گیری و بهره‌برداری راه‌آهن پرسرعت جنبه‌های افزونی بر راه‌آهن کلاسیک در نظر گرفته شده است. تجربه بیش از ۴۰ سال بهره‌برداری از راه‌آهن پرسرعت نشان می‌دهد این نوع شیوه حمل و نقل در بالاترین سطح ایمنی قرار دارد.

۵-۶- مزایای زیست محیطی و استراتژی مصرف انرژی

بررسی تأثیر راه‌آهن سریع السیر بر محیط زیست از جنبه‌های گوناگونی مطرح است که در ادامه بدان می‌پردازیم.

۵-۶-۱- اشغال زمین

ظرفیت حمل و نقل به مساحت زمین اشغال شده، یک شاخص مهم برای مقایسه شیوه‌های حمل و نقل زمینی محسوب می‌شود. در جدول ۵-۲ این شاخص در راه‌آهن سریع السیر و آزادراه مقایسه شده است. همانگونه که مشخص است، این شاخص در راه‌آهن پرسرعت ۳ برابر آزادراه است.

جدول ۵-۲: مقایسه راه‌آهن و آزادراه از لحاظ ظرفیت و اشغال زمین

مشخصه	راه‌آهن پرسرعت	آزادراه
نوع	دوخطه	۶ بانده
اشغال سرزمین	۲۵ متر	۷۵ متر
ترافیک ناوگان (در ساعت درجهت)	۱۲ قطار	۴۵۰۰ خودرو
تعداد مسافر در هر ناوگان	۶۶۶ مسافر در قطار	۱/۷ مسافر در هر خودرو
ظرفیت (مسافر در ساعت)	۸۰۰۰	۷۶۵۰

۵-۶-۲- کارایی مصرف انرژی

سه شاخص برای مصرف انرژی قطارهای پرسرعت مسافری مطرح می‌گردد:

- مصرف انرژی به ازای هر قطار در یک کیلومتر kwh/train-km
- مصرف انرژی به ازای هر صندلی در یک کیلومتر wh/seat-km
- مصرف انرژی به ازای هر مسافر در یک کیلومتر wh/passenger-km

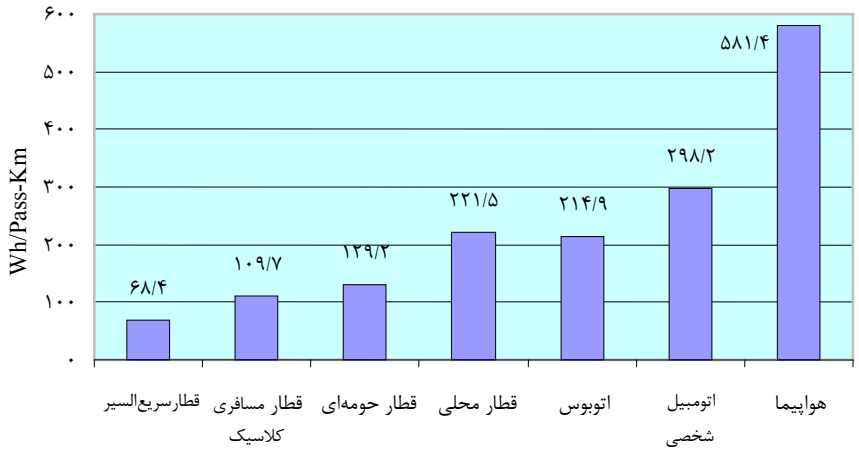
فرق شاخص دوم و سوم در این است که شاخص سوم ضریب اشغال قطار را نیز لحاظ کرده است و لذا از لحاظ کارایی مصرف انرژی شاخص واقعی‌تری است. از این رو مبنای ما این شاخص خواهد بود. مصرف انرژی از نقاط مختلف زیر قابل اندازه‌گیری است:

- در سطح پانتوگراف: انرژی وارده شده به قطار را در نظر می‌گیرد.
- در سطح پست‌های کشش: که انرژی وارد شده به سیستم راه‌آهن را در نظر می‌گیرد.

- در سطح نیروگاه: که علاوه بر انرژی وارده شده به سیستم راه‌آهن، انرژی تلف شده از نیروگاه تا راه‌آهن را نیز در نظر می‌گیرد.

فرض بر این است که مصرف انرژی در سطح پست کشش اندازه‌گیری می‌شود. در این صورت اتلاف در قطار، شبکه بالاسری و پستهای کشش در نظر گرفته می‌شود.

در نمودار شکل ۵-۱۱، کارایی مصرف انرژی در شیوه‌های مختلف حمل و نقل و همچنین در انواع مختلف حمل و نقل ریلی با یکدیگر مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، حمل و نقل هوایی کمترین کارایی را در مصرف انرژی و راه‌آهن پرسرعت بهترین کارایی را دارد. مصرف انرژی راه‌آهن پرسرعت به ازای حمل یک مسافر در مسافت مشخص، یک هشتم حمل و نقل هوایی می‌باشد.



شکل ۵-۱۱:میزان مصرف انرژی به ازای حمل یک مسافر- کیلومتر

در فصل ناوگان عنوان گردیده است که با افزایش سرعت، مصرف انرژی به صورت توان دوم سرعت افزایش پیدا می‌نماید، ولی با این وجود همانگونه که در نمودار فوق نیز آمده است،

مصرف انرژی در قطار پرسرعت نه تنها از قطارهای کلاسیک بیشتر نیست بلکه به میزان قابل توجهی کمتر نیز می‌باشد. به عنوان شاهدی بر مدعا، می‌توان به نمونه‌های عملی اشاره کرد. به عنوان نمونه، در مثالی از راه‌آهن بین شهری سوئد با افزایش ۴۴ درصد سرعت متوسط و کاهش ۳۰ درصد زمان سفر، مصرف انرژی ۲۹ درصد کاهش یافته است. در نمونه دیگر که مربوط به سرویس سریع حومه‌ای سوئد است با افزایش ۴۴ درصد سرعت متوسط و کاهش ۳۲ درصد زمان سفر، میزان مصرف انرژی بین ۲۷ تا ۴۳ درصد کاهش پیدا کرده است.

دلایل عمده مصرف انرژی کمتر با وجود افزایش سرعت در قطارهای پرسرعت می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- آیرودینامیک بهتر قطارهای پرسرعت نسبت به قطارهای کلاسیک که حتی تا ۲۵ درصد کاهش مصرف انرژی را باعث می‌شود.
- ترمز گیری با قابلیت بازگشت دادن انرژی الکتریکی به شبکه: کاهش مصرف حدود ۱۱ تا ۱۷ درصد انرژی
- استفاده بهینه‌تر از طول قطار: حذف لکوموتیو و استفاده از واگن‌های خودکشش، واگن‌های عریض‌تر و بهبود استفاده از فضای داخل واگن
- استفاده از منابع تغذیه با ضریب کارایی بالاتر که بخشی از آن مربوط به دستیابی به فناوریهای جدیدتر الکترونیک قدرت در داخل قطار می‌باشد.
- ضریب اشغال بالاتر: ناشی از سرویس‌های رقابتی ارائه شده به مسافرین توسط بهره‌برداران قطارها

۵-۷- حمل و نقل پرسرعت باری

در حمل و نقل پرسرعت باری علاوه بر مشخصه سرعت، مشخصه‌های دیگری مانند نوع بار، اصول بهره‌برداری و مسائل مربوط به ناوگان نیز مطرح هستند. حداقل سرعت حمل و نقل پرسرعت باری ۱۶۰ سرعت کیلومتر در ساعت تعریف می‌شود. سریع‌ترین قطار باری که امروزه استفاده می‌شود (۲۰۰۵)، قطار پرسرعت پست فرانسه است که با سرعت ۲۷۰ کیلومتر

در ساعت بهره‌برداری می‌شود. از نقطه نظر کسب و کار، راه‌آهن پرسرعت باری به این صورت تعریف می‌شود:

سریع‌تر از کامیون، ارزان‌تر از هواپیما

بازار هدف راه‌آهن پرسرعت باری، محموله‌های پستی و بارهایی مانند میوه و سبزیجات هستند که باید سریع جابجا شوند. برای مدت‌های مدیدی راه‌آهن کلاسیک موقعیت مهمی در این بازار داشت، ولی در اواسط قرن بیستم سهم خود را به نفع حمل و نقل هوایی و جاده‌ای از دست داد.

امروزه موقعیت در کشورها از لحاظ راه‌آهن پرسرعت باری مختلف است. در برخی از کشورها راه‌آهن باری پرسرعت احیا شده است و در حال باز پس‌گیری سهم خود در این بازار است، در حالی که در برخی از کشورها این سهم همچنان روز به روز کاهش یافته و راه‌آهن از این بازار به کلی کنار زده شده است.

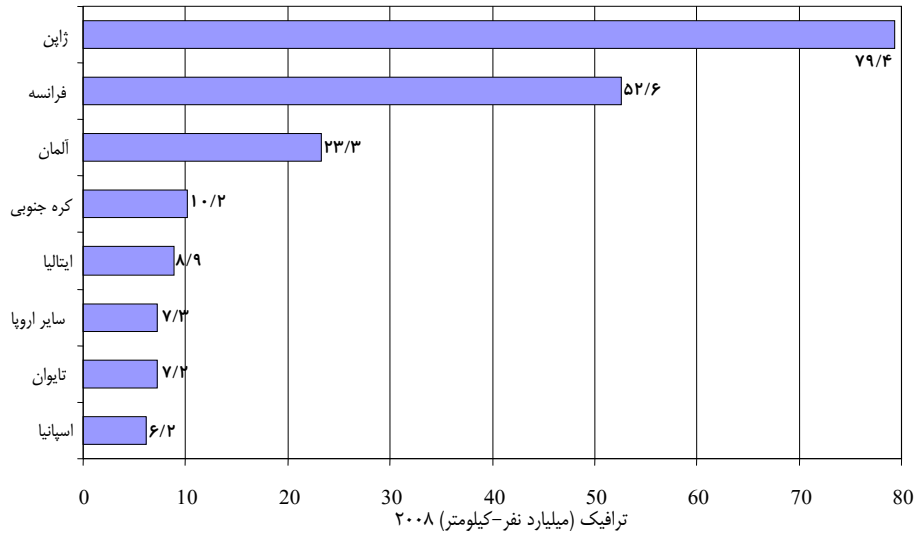
ناوگان ریلی حمل و نقل پرسرعت بار از واگن‌های باری با امکان حرکت با سرعت بالاتر تا ترن‌ست‌ها را در بر می‌گیرد، ولی استفاده از فناوری قطارهای مسافری متداول‌تر است. در برخی از ناوگان ریلی پرسرعت حمل بار، مستقیماً از قطارهای مسافری با مناسب‌سازی فضای داخلی آنها استفاده شده است.

حجم بارهای موجود در بازار حمل و نقل ریلی پرسرعت باری کم است، ولی ارزش آنها بالا است، ضمن اینکه بازار مذکور روال رو به رشدی را از خود نشان می‌دهد. برای توسعه حمل و نقل ریلی پرسرعت باری بسیار مهم است که به آن به عنوان یک سیستم کامل نگاه شود. سیستم حمل و نقل ریلی پرسرعت باری علاوه بر ناوگان، ترمینال‌ها، واحدهای باری، تکنیک‌های جابجایی بار و بهره‌برداری قطارها را در بر می‌گیرد. در صورتی که راه‌آهن پرسرعت باری بخواهد سهم بیشتری در بازار حمل بار به دست آورد، توسعه ترمینال‌های باری مناسب در موقعیت‌های صحیح، حیاتی است.

ترافیک، مسئله مهم دیگر در حمل و نقلی ریلی پرسرعت باری است. تداخل ترافیکی نه تنها با ترافیک راه‌آهن پرسرعت پیش می‌آید، بلکه ممکن است با احتمال بیشتری با ترافیک راه‌آهن کلاسیک باری پیش آید. انتظار می‌رود توسعه کریدورهای راه‌آهن پرسرعت اروپایی به افزایش سهم این بازار نیز کمک نماید.

۵-۸- ترافیک راه‌آهن پرسرعت در دنیا

برای آشنایی با وضعیت ترافیک راه‌آهن پرسرعت در کشورهای مختلف، عملکرد سال ۲۰۰۸ کشورهای مختلف بر حسب اطلاعات ارائه شده از سوی UIC در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، کشورهای ژاپن، فرانسه و آلمان به ترتیب در صدر قرار دارند.



شکل ۵-۱۲: ترافیک راه‌آهن پرسرعت در کشورهای مختلف (عملکرد سال ۲۰۰۸)

مراجع

[۱] Training in High Speed Systems, RAI – UIC, Tehran, 3 – 4 February 2007

[۲] 6th World Congerss on High Speed Rail proceeding, UIC, 17-19 Mar 2008, Amsterdam.

[۳] Eurailspeed conference proceeding, UIC, 7-9 Nov 2005, Milano

[۴] Design of new lines for speeds of 300-350 Km/h state of the art, version dated 25 october 2001, UIC.

[۵] UIC Code 406, Capacity, 1st edition, Sep 2004

[۶] Steer Davies Gleave, high speed rail:international comparisons, Final Report Prepared for: Commission for Integrated Transport, February 2004.

[۷] http://www.rff.fr, 2007

[۸] UIC, Railway Statistics synopsis, 2008.

[۹] Alstom, The High Speed Rail System in Korea, Project Story, 2004

[۱۰] http://www.uic.org, 2009-2010

[۱۱] دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن پرسرعت، نشریه شماره ۳۹۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۶.

[۱۲] دکتر سعید منجم، طراحی مسیر (راه آهن و مترو)، انتشارات انگیزه، تهران، ۱۳۸۶.

[۱۳] دکتر جبارعلی ذاکری و همکاران، مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط راه‌آهن (TMM)، مرکز آموزش عالی علمی و کاربردی راه‌آهن، تهران، ۱۳۸۴.

[۱۴] *http://en.wikipedia.com*, 2010.

[۱۵] مهیار عربانی و فریدون مقدس نژاد، مهندسی راه‌آهن، انتشارات دانشگاه گیلان، ۱۳۸۴.

[۱۶] هاشم مهرآذین، راه‌آهن ۱: روسازی و برقی کردن، انتشارات پرتونگار مشهد، ۱۳۷۹.

[۱۷] و.ا. پروفلیدیس، ترجمه‌ی محسن حسنقلیان و حسین قهرمانی، مهندسی راه‌آهن، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران، ۱۳۸۰.