

خصوصیات خط برای قطارهای پر سرعت

محور مقاله: خطوط سریع السیر ریلی
اصغر جاوید^۱

چکیده

بعد مسافت و کمبود وقت در عصر حاضر و افزایش گستره فعالیت انسانها، نیاز به جابجایی با سرعت های بیشتر را بیش از پیش ضروری کرده است. با توجه به نقش حمل و نقل ریلی در جابجایی مسافران به نظر می رسد که تلاش در جهت افزایش سرعت در این بخش از حمل و نقل، جزء نیازهای اساسی حال و آینده خواهد بود. از آنجائیکه افزایش سرعت در وسایل نقلیه ریلی مستلزم تغییراتی در خطوط ریلی می باشد، در این مقاله سعی شده است با ارائه آمار و ارقام مربوط به راه آهن های سریع السیر کشورهای مختلف جهان، نیاز حرکت به سمت استفاده از آن بیشتر احساس شود و سپس اثر پارامتر سرعت قطار در قسمتهای مختلف خط بررسی شود تا نیازهای یک خط پر سرعت معین شوند.

کلمات کلیدی: خطوط سریع السیر ریلی، خطوط ریلی، قطار پر سرعت

۱- مقدمه

قطارهای سریع السیر (سرعت بیش از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت) را می توان عکس العمل راه آهن به نیاز بازار حمل و نقل برای زمان سفر کمتر دانست. شروع استفاده از سرعتهای بالا توسط دو شبکه راه آهن بوده است [1]:

- شبکه راه آهن ژاپن با به کار گرفتن شینکانسن در سال ۱۹۶۴ با سرعت ۲۱۰ کیلومتر در ساعت بین توکیو و اوزاکا
 - راه آهن فرانسه با افتتاح قطار سریع السیر TGV بین پاریس و لیون در سال ۱۹۸۱ با سرعت ۲۶۰ کیلومتر در ساعت
- خطوط سریع السیر در سال ۱۹۸۰ در آلمان غربی (هانوو - ورتزبرگ و مانهایم - اشتوتگارت)، در ایتالیا (رم - فلورانس)، در اسپانیا (مادرید - سیویل)، در فرانسه (پاریس - بردو) و خط پاریس - لندن از داخل کانال مانش، ساخته شدند. دو رویکرد به راه آهن های سریع السیر وجود دارد:

- اول اینکه تنها قطارهای مسافری با بار محوری کم، حد مجاز پایین برای خرابی های خط و شیبهای زیاد (تا ۳۵ در هزار) روی خطوط سریع السیر حرکت کنند که این رویکرد در راه آهن پاریس - لیون با این فرض که ترافیک مسافری زیاد، احداث و بهره برداری از این خط جدید را مقرون به صرفه می نماید، به اجرا در آمد.
- دوم آنکه خطوط سریع السیر توسط هر دو نوع قطارهای مسافری و باری مورد استفاده قرار گیرند که وجود همزمان آنها هزینه های نگهداری بیشتر و مقادیر شیب طولی کمتر را ایجاب می کند [2]. بسیاری از خطوط سریع امروزی برای ترافیک مختلط (مسافری و باری) طراحی می شوند.

۲- نقش قطارهای پر سرعت در کاهش زمان سفر

همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می گردد کاهش زمان سفر، هدف همیشگی راه آهن بوده است. بهر حال فقط با قطارهای سریع السیر، راه آهن قادر به ارائه زمان سفرهای مساوی با حمل و نقل هوایی برای مسیرهای ۴۰۰ تا ۷۰۰ کیلومتری شده است.

جدول ۱: کاهش زمان سفر قطار در بعضی از مسیرها (دقیقه : ساعت)

۱۹۸۷	۱۹۸۳	۱۹۸۰	۱۹۶۰	۱۹۵۰	۱۹۳۷	
	(خط TGV به طول ۴۲۷ کیلومتر)					
۰۱:۵۰	۰۲:۰۰	۰۳:۵۰	۰۴:۰۰	۰۵:۰۵	۰۵:۱۵	پاریس-لیون (۵۱۱ کیلومتر)
				۱۹۶۵ (شینکانسن)	۱۹۶۳	توکیو-اوزاکا (۵۱۵ کیلومتر)
				۰۳:۱۰	۰۵:۳۰	

در حقیقت راه آهنهای سریع السیر در مورد این برتری خود که می توانند به مراکز شهرها وارد شوند، سرمایه گذاری می کنند و به این ترتیب زمان سفر بسیار کمتری را از مرکز یک شهر تا مرکز شهر دیگر، نسبت به اتومبیل یا حتی در بسیاری مواقع، نسبت به هواپیما ارائه می دهند [1].

جدول ۲: مقایسه زمان سفر از مرکز یک شهر تا مرکز شهر دیگر برای قطار، هواپیما و اتومبیل (مسیر پاریس-لیون) (دقیقه:ساعت)

زمان سفر TGV	زمان سفر TGV + زمان دسترسی تا ایستگاه راه آهن	هواپیما*	اتومبیل** (در جاده با سرعت حدود ۱۲۰ کیلومتر در ساعت)
۰۱:۵۰	۰۲:۳۰	۰۳:۰۰ الی ۰۲:۳۰	۰۵:۰۰

* زمان مزبور برابر است با مجموع زمان پرواز، زمان سفر از مرکز شهر تا فرودگاه، زمان کنترل و زمان ورود و خروج
 ** زمان سفر مرکز تا مرکز شهر: یعنی زمان رسیدن اتومبیل از مرکز شهر تا ابتدای جاده (حدود ۳۰ دقیقه) نیز منظور شده است.
 موفقیت قطارهای سریع که خصوصاً برای مسافتهایی در مقیاس اروپای مرکزی تا غربی مناسب است، کمیسیون اروپا را به سمت برنامه ریزی برای اجرای یک شبکه ریلی سریع اروپایی سوق داده است. این شبکه، خطوط جدید (با سرعتهای طراحی بیش از ۲۵۰ کیلومتر در ساعت) و خطهای موجود را که برای سرعتهای تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بازسازی خواهند شد، شامل می گردد. جدول ۳ اثرات تحقق شبکه راه آهن سریع اروپا را در کاهش بیش از ۵۰ درصدی زمان سفر برای چند مسیر نشان می دهد [1].

جدول ۳: زمان سفر بین شهرهای اروپا قبل (۱۹۹۲) و بعد (۲۰۱۰) از تحقق شبکه راه آهن سریع اروپایی (دقیقه:ساعت)

از لندن به	آمستردام	بروکسل	پاریس	برلین	فرانکفورت	میلان	تورین	بارسلون	مادرید
قبل	۰۷:۳۸	۰۴:۵۵	۰۵:۱۵	۱۶:۳۵	۱۱:۲۶	۱۸:۰۵	۱۶:۴۶	۲۰:۰۰	۲۱:۳۲
بعد	۰۳:۴۵	۰۲:۰۵	۰۲:۱۰	۰۸:۲۵	۰۵:۰۰	۰۶:۰۵	۰۵:۱۵	۰۶:۴۰	۰۹:۲۰
از پاریس به	آمستردام	بروکسل	لندن	برلین	فرانکفورت	میلان	تورین	بارسلون	مادرید
قبل	۰۵:۲۰	۰۲:۲۵	۰۵:۱۵	۱۴:۲۰	۰۵:۵۵	۰۷:۲۰	۰۶:۲۰	۰۸:۴۵	۱۲:۳۲
بعد	۰۲:۵۰	۰۱:۲۰	۰۲:۱۰	۰۷:۱۰	۰۳:۱۰	۰۳:۵۵	۰۳:۰۵	۰۴:۳۰	۰۶:۴۵

۳- خصوصیات فنی خطوط پر سرعت ریلی

جدول ۴ خصوصیات فنی خطوط راه آهن سریع را نشان می دهد. تفاوتهای قابل توجهی در شیب ها و سیستم کشش برقی مشاهده می شود. بنابراین برای اجرای شبکه راه آهن سریع اروپایی نیاز به استاندارد شدن بسیاری از خصوصیات فنی می باشد که در حال

حاضر تفاوت‌هایی را به خاطر خصوصیات تکنولوژیکی و صنعتی تولید در کشورهای مختلف نشان می‌دهند. با این وجود مقامات راه آهن به دنبال سرعت‌های بالاتر هم هستند [1].

جدول ۴: خصوصیات فنی خطوط ریلی سریع السیر

خط	پاریس-لیون (۴۲۷ کیلومتر)	هانوو-ورتزبورگ (۳۲۷ کیلومتر)	رم-فلورانس (۲۶۰ کیلومتر)	پاریس-بردو (۲۶۰ کیلومتر)	مادرید-بارسلون (۵۲۲ کیلومتر)
سرعت طراحی (Km)	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰
حداقل شعاع انحنا (m)	۴۰۰۰	۷۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰
حداکثر شیب طول (‰)	۳۵	۱۲.۵	۸	۲۵	۳۰
کشش (KV)	۲۵	۱۵	۳	۲۵	۲۵
فرکانس منبع تغذیه (Hz)	۵۰	۱۶.۶۶		۵۰	۵۰

۴- اجزاء مختلف خطوط ریلی

دو سیستم مجزا در خط راه آهن مشخص شده است:

۴-۱- **روسازه یا خط:** شامل قسمتهای زیر بوده و مورد بازدید و تعویضهای متناوب قرار می‌گیرند.

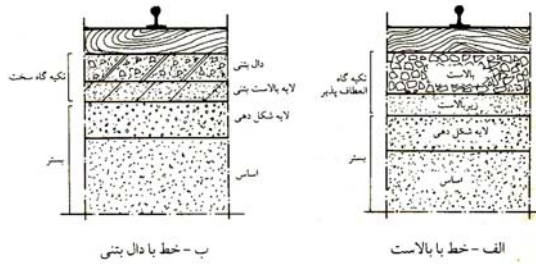
- **ریلها:** چرخهای قطار را نگه داشته و در مسیر هدایت می‌کنند.
- **تراورسرها و پابندها:** فاصله ریلها را از یکدیگر ثابت نگه داشته و بار وارده بر ریلها را توزیع می‌کنند.
- **بالاست:** معمولاً از سنگ شکسته تشکیل شده و وظیفه مستهلک کردن ارتعاشات قطار، توزیع مناسب بارها و زهکشی سریع آب باران را بر عهده دارد.
- **زیربالاست:** از شن و ماسه تشکیل شده و از نفوذ و فرو رفتن سنگهای بالاست در قسمت فوقانی بستر جلوگیری کرده و در توزیع بهتر بارهای وارده و تسریع زهکشی آب باران نقش دارد.

۴-۲- **بستر:** شامل قسمتهای زیر بوده و در حالت کلی در طی تعمیرات دوره ای خط، در معرض تغییر نخواهند بود.

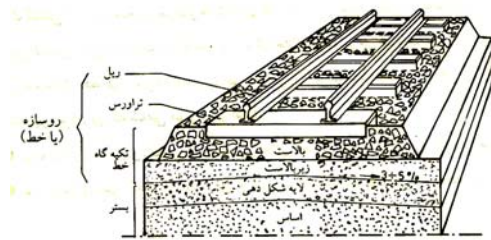
- **اساس:** در حالتیکه خط در طول یک ترانشه بنا شده باشد شامل همان خاک محل می‌باشد و در حالتیکه خط بر روی خاکریز بنا شده باشد از خاکهای منتقل شده به محل تشکیل می‌شود.
- **لایه شکل دهی اساس:** زمانی بکار می‌رود که مصالح اساس دارای کیفیت مناسب نباشند.

عمقی که اغتشاش ناشی از عبور قطار در آن محسوس است تا حدود ۲ متر زیر سطح فوقانی بستر قرار دارد. این عمق اصطلاحاً بستر نامیده می‌شود.

معمولاً خط بر روی بالاست قرار دارد که در این حالت یک تکیه‌گاه انعطاف پذیر یا "خط با بالاست" داریم، اما ممکن است خط بر روی دال بتنی نیز قرار گیرد که در این حالت یک تکیه‌گاه غیر انعطاف پذیر یا "خط با دال" خواهیم داشت. این نوع خط، مقاومت جانبی بالایی داشته و سرعت‌های بسیار زیاد را امکانپذیر می‌کند. خط با دال معمولاً بیشتر در تونلها بکار می‌رود که به سطح مقطع کوچکتري نیاز است و کار تعمیر و نگهداری را تسهیل می‌کند ولی میزان سر و صدا در آن بیشتر است. خط بالاست هزینه اجرایی کمتری داشته و در سرعت‌های بالا از مقاومت جانبی بهتری برخوردار می‌باشد [2].



شکل ۲: خط با بالاست و خط با دال بتنی



شکل ۱: سیستم خط - بستر

۵- بارهای محوری و ترافیکی

از جمله عوامل بحرانی که در ایجاد خستگی در خط و بستر دخالت دارند، بار محوری و بار ترافیکی (تناژ) می باشند.

- **بار محوری:** شامل چهار گروه ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۲.۵ تن می باشد. مطالعات متعدد نشان داده است که خستگی در ریل با بار محوری به توان n (عددی بین ۳ و ۴) رابطه دارد.
- **بار ترافیکی:** از آنجائیکه وسایل ریلی متفاوتی با محدوده سرعتیهای مختلف بر روی خط حرکت می کنند از رابطه زیر جهت تخمین دقیق تر بار ترافیکی یا تناژ استفاده می شود:

$$T = S \cdot T_{th} = S \cdot (T_p + 1.15T_{tr} + 1.4T_{tr}) \quad (1)$$

T_{tr} : ترافیک روزانه ماشینهای کشنده ریلی

T_p : ترافیک روزانه وسایل نقلیه مسافری

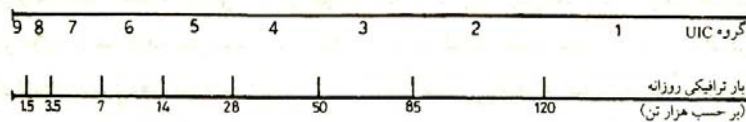
T_{tr} : ترافیک روزانه وسایل نقلیه باری

$S = 1$ برای خطوط بدون ترافیک مسافری

$S = 1.1$ برای خطوط با ترافیک مختلط و حداکثر سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

$S = 1.2$ برای خطوط با ترافیک مختلط و حداکثر سرعت بین ۱۲۰ و ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت

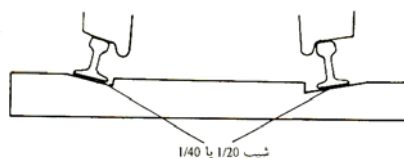
$S = 1.25$ برای خطوط با ترافیک مختلط و حداکثر سرعت بیشتر از ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۳: تقسیم بندی خطوط راه آهن در گروههای UIC بر طبق بار ترافیکی روزانه

۶- زاویه نصب ریل بر روی تراورس

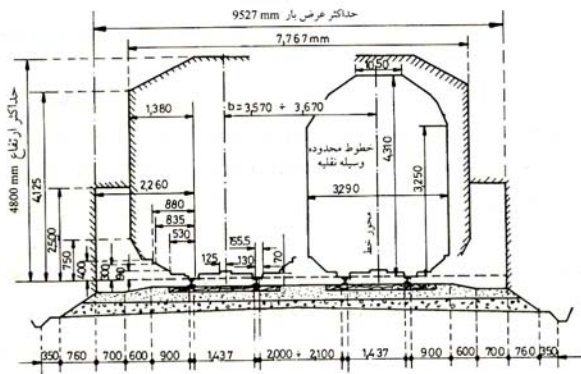
انحراف محور ریل را نسبت به امتداد قائم شیب تماس مخروطی می نامند که معمولاً مقدار آن ۰.۰۵ می باشد که در سرعتیهای بالا کاهش آن به مقدار ۰.۰۲۵ توصیه شده است [3].



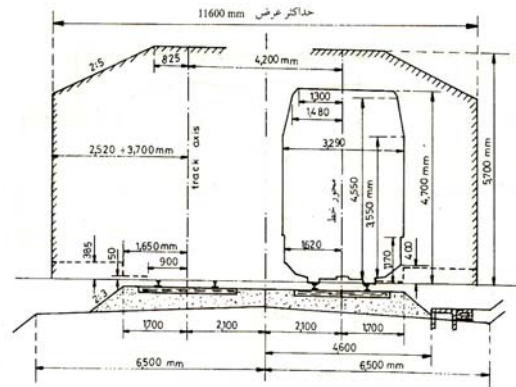
شکل ۴: شیب نصب ریل بر روی تراورس

۷- گاباری

مرز خارجی با حداقل فاصله که باید اطراف وسیله نقلیه خالی باشد گاباری تعریف می گردد. گاباری به دو پارامتر عرض وسیله نقلیه ریلی و فاصله محور تا محور دو خط بستگی دارد. در قطارهای سریع السیر به دلیل حرکات جانبی زیاد، اساساً فاصله محور تا محور بیشتری برای دو خط نیاز است و لذا گاباری در این قطارها متفاوت است.



شکل ۶: گاباری در قطارهای سریع السیر



شکل ۵: گاباری در قطار با سرعت کم و متوسط

۸- نیروهای ایجاد شده توسط حرکت وسیله نقلیه ریلی و تحلیل استاتیکی و دینامیکی آنها

- نیروهای وارده بر خط در طی حرکت وسیله نقلیه ریلی را بسته به جهت آنها می توان به شکل زیر دسته بندی نمود:
- **نیروهای قائم:** این نیروها باعث ایجاد تنشهای مکانیکی در خط می شوند. تحت تاثیر این نیروها، رفتار ریلها و تراورسها ارتجاعی و رفتار بالاست و بستر ارتجاعی-خمیری می باشد. این نیروها در طراحی قسمتهای مختلف سیستم خط بسیار لازم می باشند [4].
 - **نیروهای جانبی:** این نیروها بر روی ایمنی حرکت قطار اثر گذاشته و ممکن است تحت شرایط خاصی باعث خروج قطار از خط شوند.
 - **نیروهای طولی:** این نیروها به دلیل شتاب تند شونده یا کند شونده قطار ایجاد شده و در طراحی پلها در نظر گرفته می شوند.

نکته مهم در تحلیل بارهای وارده بر خط اینست که خرابی ایجاد شده در چرخ یا ریل باعث وارد شدن بار دینامیکی اضافی (Q dynamic) بر سیستم چرخ و ریل می گردد. این بار اضافی زمانی اهمیت بیشتری می یابد که سرعت قطار افزایش یابد. اندازه گیری ها نشان داده اند که برای بار ۱۰ تن در هر چرخ و سرعت ۲۰۰ کیلو متر بر ساعت، بار دینامیکی اضافی معادل ۶ تن افزایش در بار استاتیکی آن چرخ می باشد.

بر طبق روش تحلیل طیفی [5] مشخص شده است که بارهای دینامیکی اضافی را می توان به دو گروه تقسیم نمود:

- بار دینامیکی اضافی ایجاد شده به خاطر جرمهای معلق (وسيله نقلیه ریلی) که تابعی از مشخصات وسیله نقلیه می باشد. ارتعاش جرمهای معلق که عامل ایجاد این بارها می باشند با افزایش سرعت قطار، افزایش می یابند.
- بار دینامیکی اضافی ایجاد شده به خاطر جرمهای غیر معلق (ریلها و جرمها) که تابعی از سرعت، میزان خرابی خط، جرم غیر معلق و سختی قائم خط می باشند.

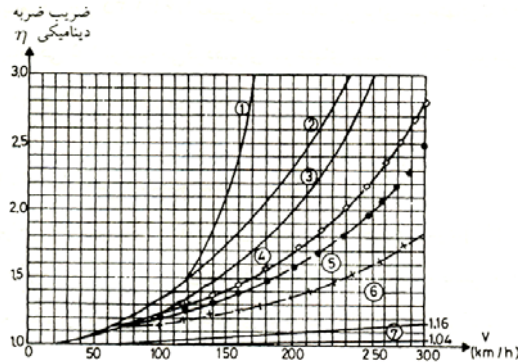
بنابراین در بارگذاری مکانیکی سیستم خط - بستر بار کل هر چرخ را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{static}} + Q_{\text{dynamic}} \quad (2)$$

روش معمول در مهندسی راه آهن استفاده از روش شبه استاتیکی در تحلیل بارهای وارد بر خط می باشد که در آن از ضریبی بنام ضربه دینامیکی (η) استفاده می شود تا اثرات بار دینامیکی نیز در نظر گرفته شود. این ضریب تابعی از سرعت قطار می باشد. بنابراین رابطه فوق را می توان بشکل زیر در نظر گرفت:

$$Q_{total} = \eta Q_{static} \quad (3)$$

در نمودار زیر ضریب ضربه دینامیکی بدست آمده از تئوریهای مختلف بطور خلاصه نشان داده است [6].



شکل ۷: ضریب ضربه دینامیکی (η)

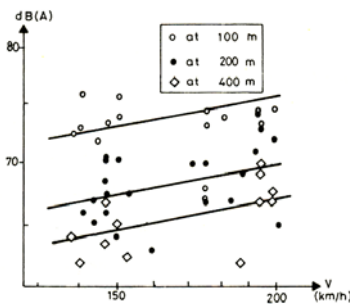
منحنی های ۱ تا ۳ از خصوصیات وسایل نقلیه قدیمی بدست آمده اند و برای وسایل نقلیه جدید معتبر نمی باشند. منحنی های ۴ تا ۶ تا سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت به واقعیت نزدیک بوده و مقدار ۱.۵ را توصیه می کنند. برای سرعتهای بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت باید بررسیهای تحلیلی بر مبنای داده های تجربی انجام پذیرد.

۹- رابطه بین حد سر و صدای ریل با سرعت

از تحلیل های مختلف مشخص شده است که یک رابطه لگاریتمی بین حد سر و صدای ریل L با سرعت قطار V به شکل زیر وجود دارد:

$$L(dB(A)) = A + B \log V \quad (4)$$

که A و B ضرایب ثابت بوده و به خصوصیات خط و وسیله نقلیه ریلی، نوع ترافیک، خصوصیات خاک و ... بستگی دارد.



شکل ۸: حد سر و صدای ریل مناسب با فاصله و سرعت

برای قطار TGV فرانسه با سرعت ۲۷۲ کیلومتر بر ساعت در سال ۱۹۸۳ حد سر و صدای ۹۷dB(A) و برای قطار ICE آلمان با سرعتهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب حد سر و صدای ۸۶dB(A) و ۹۳dB(A) در فاصله ۲۵ متری از خط گزارش شده است. اگر نتوان با طراحی مناسب وسیله نقلیه ریلی و خط، میزان سر و صدا را کاهش داد، روش متداول ساخت موانع صوتی در طول خط است. استاندارد های حد سر و صدا در کشورهای مختلف متفاوت می باشد [6].

۱۰- حد مجاز سایش ریل

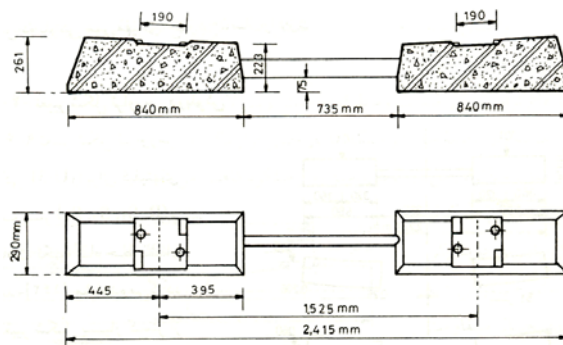
حداکثر مجاز سایش قائم ریل تابعی از حداکثر سرعت قطار و ترافیک بار خط می باشد.
جدول ۵: حداکثر مجاز سایش قائم ریل طبق راه آهن انگلیس

حداکثر سرعت (Km/h)	حداکثر مجاز سایش قائم قارچ ریل (mm)
بیش از ۱۶۰	۹
۱۶۰ تا ۱۲۰	۱۲
۱۲۰ تا ۸۰	۱۵
کمتر از ۸۰	۱۸

در راه آهن آلمان، حداکثر مجاز سایش قائم ریل در سرعت‌های بالای ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، ۱۲ میلیمتر می باشد [7].

۱۱- انواع مختلف تراورسها

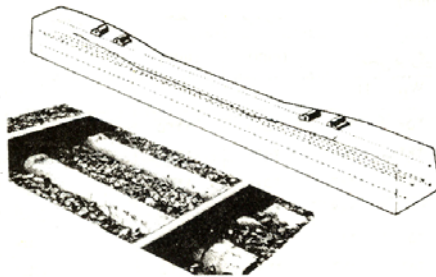
- **تراورس فولادی:** یک نوع پروفیل نورد شده با مقطعی به شکل \cap می باشد که دو انتهای آن برای بدست آوردن خمیدگی لازم و گیر کردن در بالاست آهنگری می گردد و بدین ترتیب پایداری جانبی خط نیز تامین می گردد.
- **تراورس چوبی:** از چوب درختان مختلفی مانند راش، بلوط، آزوبه، جارا و ... ساخته شده و جهت جلوگیری از خوردگی، آنرا با قطران ذغال سنگ اشباع می کنند. تراورسهای چوبی بدلیل وزن کم، مقاومت جانبی کمی داشته و برای حرکت قطارهای سریع السیر مناسب نمی باشند.
- **تراورس بتنی:** فن آوری بتن مسلح و بتن پیش فشرده باعث کاربرد دو نوع تراورس بتنی گردیده است [8]:
- **تراورس بتن مسلح دو بلوکی:** بدلیل تنش کمتر در زیر قسمت وسطی تراورس، می توان مصالح کمتری را در این قسمت بکار برد. به همین دلیل در این نوع از تراورسها، بتن قسمت میانی با یک میله فولادی جایگزین شده است که آنهم به منظور حفظ عرض خط می باشد.
در شکل ۹ خصوصیات هندسی تراورس U-41 با وزن ۲۶۰ کیلوگرم که در خط TGV فرانسه با سرعت ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت، بکار رفته است نشان داده شده است.



شکل ۹: تراورس بتن مسلح دو بلوکی U-41 راه آهن فرانسه (مورد استفاده در خطوط گروههای UIC 1,2 و سرعت‌های تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت)

تراورسهای دو بلوکی وزن زیاد مقاومت جانبی رضایتبخشی را برای خط بوجود آورده و سرعت‌های زیاد را امکانپذیر می سازند. عرض خط را در محدوده مجاز نگه داشته و عمر زیادی دارند. نیاز به بالاست با ضخامت و مقاومت زیاد دارند. توزیع نیروها و انعطاف پذیری آنها از نوع چوبی کمتر است و در هنگام نصب آنها باید از اتصالات ارتجاعی استفاده شود.

- **تراورس تک بلوکی بتنی پیش تنیده:** این تراورسها از نظر وزنی از نوع دو بلوکی سبکتر بوده بنابراین مقاومت جانبی کمتری دارند و باید روی بالاست با ضخامت و مقاومت بالا نصب شوند.



شکل ۱۰: تراورس تک بلوکی بتنی پیش تنیده

در جدول ۶ نمونه هایی از کاربرد این نوع از تراورسها نشان داده شده است:

جدول ۶: کاربرد تراورس تک بلوکی بتنی پیش تنیده در خطوط مختلف

کاهش بار محوری (ton)	حداقل شعاع قوس (m)	حداکثر سرعت قطار (Km/h)	نوع ریل	فاصله تراورسها (mm)	کشور
24.5	200	160	53-60 Kg/m	550-600	استرالیا
22.1	350	250	S54-UIC60	600-650	آلمان
22.1	485	180	UIC60	600	ایتالیا
16.4	1200	210	50.4-60.8 Kg/m	590	ژاپن
26.5	350	200	R50- R65- R70	500-643	روسیه
22.1	150	160	47-48 Kg/m	700	آفریقای جنوبی
24.5	400	200	Bs113A	650-700	انگلیس
32.1	610	200	65-69 Kg/m	610	آمریکا

۱۲- ضخامت بالاست

ضخامت بالاست بر اساس سرعت و تناژ خط محاسبه می شود [9].

جدول ۷: ضخامت بالاست بر اساس راه آهن انگلستان

ضخامت بالاست (میلیمتر)	تناژ سالیانه خط (میلیون تن)	سرعت خط (کیلومتر بر ساعت)
۳۸۰	هر مقدار	۱۶۰ تا ۲۰۰
۳۸۰	بیشتر از ۱۲	۱۶۰ تا ۱۲۰
۳۰۰	۲ تا ۱۲	۱۶۰ تا ۱۲۰
۲۳۰	کمتر از ۲	۱۶۰ تا ۱۲۰
۳۰۰	بیشتر از ۱۲	۱۲۰ تا ۸۰
۲۳۰	کمتر از ۱۲	۱۲۰ تا ۸۰

۱۳- نیروهای جانبی خط

نیروهای جانبی خط به دو جزء استاتیکی و دینامیکی تقسیم می شوند [10].

- **نیروی جانبی استاتیکی:** این نیرو بصورت نیروی ناشی از شتاب غیر متعادل گریز از مرکز و نیروهای رانندگی در قوسها تعریف شده و از رابطه نیمه تجربی زیر محاسبه می شود:

$$H_s = \frac{P.NT}{1500} \quad (5)$$

که در آن P بار محوری بر حسب تن و NT اگر قطار روی خط مستقیم باشد بیانگر انحراف جانبی و اگر روی قوس باشد بیانگر کمبود بر بلندی (Cant) می باشد.

- **نیروی جانبی دینامیکی:** این نیرو بعنوان نیروی دینامیکی اضافی که بدلیل انواع خرابیهای خط یا وسیله نقلیه ریلی بوجود می آید تعریف شده و از رابطه نیمه تجربی زیر محاسبه می شود:

$$H_d = \frac{P.V}{1000} \quad (6)$$

که در آن P بار محوری بر حسب تن و V سرعت قطار بر حسب کیلومتر بر ساعت می باشد.

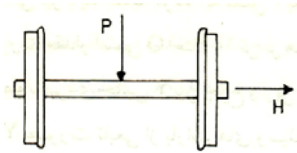
بنابراین نیروی کل جانبی خط از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$H = H_s + H_d \quad (7)$$

۱۴- مقاومت جانبی خط

مقاومت جانبی خط به نوع تراورس و نگهداری خط بستگی دارد. به عنوان مثال در خطوط با تراورسهای بتن مسلح دو بلوکی که تعمیر و نگهداری با ابزار مکانیکی صورت می گیرد از رابطه نیمه تجربی زیر بدست می آید:

$$L = 1.5 + \frac{P}{3} \quad (8)$$



شکل ۱۱: نیروهای قائم و جانبی وارده بر چرخ

در صورتیکه نیروی جانبی از مقاومت جانبی خط افزایش یابد ($H > L$)، خروج از خط اتفاق خواهد افتاد [10].

۱۵- حرکت وسیله نقلیه ریلی در قوس و منحنی انتقالی

۱۵-۱- قوس و منحنی افقی

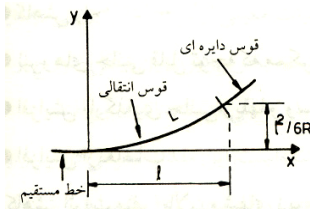
بر اساس فیزیک مقدماتی بر وسیله نقلیه ای که با سرعت V در قوسی با شعاع R حرکت می کند، نیروی گریز از مرکز $F = mV^2/R$ وارد می شود که باعث مشکلات زیر خواهد شد:

- کاهش راحتی مسافران

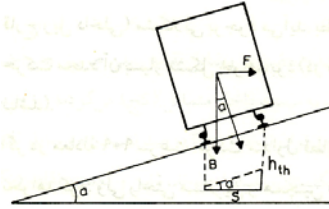
• افزایش نیروهای جانبی وارده بر خط و در نتیجه سایش چرخ و ریل و افزایش احتمال خروج از خط

از آنجائیکه هدف افزایش سرعت سیر قطارها می باشد، جهت حل مشکل اول باید بین خط مستقیم و قوس دایره ای به شعاع R از یک قوس انتقالی استفاده نمود که شعاع آن بتدریج از مقدار بینهایت (مربوط به خط مستقیم) تا مقدار R (مربوط به قوس دایره ای) تغییر نماید تا از وارد آمدن ضربه به مسافران جلوگیری شود. در مهندسی راه

آهن در اغلب راه آهن های دنیا از سهمی درجه سه یا کلوئوئید استفاده می شود (شکل ۱۲). جهت حل مشکل دوم در قوس ها بریلندی ریل خارجی نسبت ریل داخلی را افزایش می دهند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: بریلندی تئوری



شکل ۱۲: سهمی درجه سه

در عرض خط استاندارد با $S=1500$ مقدار تئوری بر بلندی از رابطه مقابل بدست می آید:

$$h_{th} = 11.8 \frac{V^2}{R} \quad (9)$$

در خطوط با ترافیک مختلط قطارهای تندرو مسافری و کندروی باری، این مقدار باید حالت بینابینی داشته باشد زیرا بریلندی کم باعث اعمال نیروی گریز از مرکز زیادی به قطارهای مسافری شده و بریلندی زیاد در قطارهای باری باعث افزایش سایش چرخ و ریل و در مواردی باعث عدم توانایی حرکت قطار متوقف شده می شود. این بریلندی را بریلندی واقعی (h) می نامند. جهت غلبه بر نیروی گریز از مرکز خنثی نشده بخاطر کمبود بریلندی، در بعضی از کشورها مثل انگلستان، اسپانیا، سوئد و ژاپن وسایل نقلیه طوری طراحی می شوند که بصورت اتوماتیک در قوسها به سمت داخل قوس متمایل شوند.

اختلاف بریلندی تئوری برای حداکثر سرعت با بریلندی واقعی را کمبود بریلندی h_d و اختلاف بریلندی واقعی و بریلندی تئوری برای حداقل سرعت را بریلندی اضافی h_e می گویند.

$$h_d = h_{th}(V_{max}) - h \quad (10)$$

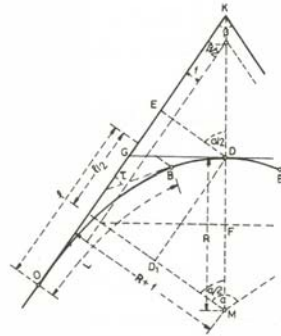
$$h_e = h - h_{th}(V_{min}) \quad (11)$$

جدول ۸: مقادیر حدی بریلندی و شتاب بر اساس UIC [11]

گروه ترافیکی		(I)		(II)		ترافیک ترکیبی (III)		(IV) ترافیک مسافری	
حداکثر سرعت V_{max} (Km/h)		۸۰ تا ۱۲۰		۱۲۰ تا ۲۰۰		۲۵۰ (سوئیس)		۳۰۰ (فرانسه)	
مقادیر حدی		عادی	حداکثر	عادی	حداکثر	عادی	حداکثر	عادی	حداکثر
بریلندی	h (mm)	۱۵۰	۱۶۰	۱۲۰	۱۵۰	۶۵	۸۵	۱۲۵	۱۸۰
کمبود بریلندی	h_d (mm)	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۲۰	۴۰	۶۰	۱۲۰	۵۰
بریلندی اضافی	h_e	۵۰	۷۰	۷۰	۹۰	۵۰	۷۰	۱۰۰	۱۱۰
کمبود بریلندی در زمان	h_d (mm/s)	۲۵	۷۰	۲۵	۷۰	۱۳	۱۳	۳۶	۳۰
شتاب جانبی خنثی نشده	b (m/s ²)	۰.۵۳	۰.۶۷	۰.۶۷	۰.۸۰	۰.۲۷	۰.۴۰	۰.۸۱	۰.۳۳

از قوس انتقالی در مواردی که شعاع قوس دایره ای بیش از ۳۰۰۰ متر باشد یا مقدار برابندی محاسبه شده عملاً صفر باشد، استفاده نمی شود. اگر طول قوس انتقالی L و طول تصویر آن روی امتداد مستقیم I باشد، مختصات آن که در مهندسی راه آهن بصورت سهمی درجه سه می باشد از رابطه مقابل بدست می آید:

$$y = \frac{x^3}{6Rl} \left[1 + \left(\frac{l}{2R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad (12)$$



شکل ۱۴: نمای مسطح قوس انتقالی (OB: سهمی درجه سه و BB': قوس دایره ای)

۱۵-۲- قوسهای انتقالی قائم

انتقال بین قسمتهای مختلف خط با شیبهای متفاوت به کمک یک قوس دایره ای به شعاع R_V انجام می شود. قوس انتقالی قائم در حالتیکه اختلاف شیبهای متوالی (اگر همجهت باشند) یا جمع آنها (اگر همجهت نباشند) کمتر از ۲.۵ در هزار باشد، لازم نبوده و در غیر اینصورت بر حسب متر از رابطه زیر که در آن سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت می باشد، بدست می آید:

$$R_V \cong \frac{V^2}{2} \quad (13)$$

در شرایط بحرانی تا نصف مقدار فوق قابل کاهش می باشد.

جدول ۹: شعاع قوس قائم بصورت تابعی از سرعت

شعاع (m)		سرعت (Km/h)
مقدار استثنائی	مقدار عادی	
۲۵۰۰	۵۰۰۰	$V < 100$
۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	$100 < V < 150$
۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	$150 < V < 200$

در محلهایی که قوس سهمی انتقالی افقی و تغییر شیب عرضی (برابندی) وجود دارد نباید تغییر شیب قائم انجام شود ولی در صورت لزوم با حداکثر شعاع برای قوس در نظر گرفته شود. توصیه AREA (انجمن مهندسی راه آهن آمریکا) استفاده از قوس انتقالی سهمی می باشد که در آن از رابطه زیر جهت محاسبه حداقل طول قوس استفاده می شود:

$$L = 30.5 \frac{A}{r} \quad (14)$$

که در آن A اختلاف شیب و نرخ تغییر شیب بصورت درصد لازم برای طول ۳۰.۵ متر می باشد که برای خطوط اصلی پیشنهاد موسسه AREA برای قوسهای محدب ۰.۱ و برای قوسهای مقعر ۰.۰۵ می باشد. برای خطوط فرعی مقدار r را می توان دو برابر در نظر گرفت.

رابطه فوق در اختلاف شیبهای کم که معمولاً در راه آهنهای سنگین و بین شهری وجود دارد مورد استفاده می باشد.

۱۶- نتیجه گیری

گسترش دامنه فعالیت انسانها و کمبود وقت انسان معاصر، نیاز به مسافرت با سرعتهای بالا را اجتناب ناپذیر نموده است. جهت دست یافتن به سرعتهای بالا علاوه بر طراحی خاص قطارها، خطوط ریلی نیز باید دارای ویژگیهایی باشند که می توان موارد زیر را برشمرد.

- در قطارهای سریع السیر به دلیل حرکات جانبی زیاد، گاباری بزرگتری نیاز است.
- زاویه نصب ریلها بر روی تراورسها، کاهش یافته به حالت قائم نزدیکتر می باشد.
- نیروهای دینامیکی ایجاد شده در خط بوسیله قطارهای سریع السیر بیشتر بوده و در نتیجه طراحی خط از نظر مقاومت و خستگی از خطوط عادی متفاوت خواهد بود.
- میزان سر و صدای ایجاد شده توسط قطارهای سریع السیر، زیاد بوده و کاهش آن مستلزم طراحی پیچیده تر وسیله نقلیه و استفاده از موانع صوتی در طول خط است.
- حد مجاز سایش ریل در خطوط پ سرعت کم بوده و بنابراین نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتر خواهد بود.
- در خطوط پر سرعت جهت ایجاد مقاومت جانبی بالاتر به تراورسهای سنگین تر و بالاست با ضخامت بیشتر احتیاج است.
- برای خنثی کردن نیروهای گریز از مرکز زیاد به قوسهایی با شعاع بزرگتر یا مقادیر برابندی بیشتر نیاز است. در خاتمه لازم به ذکر است که بیان جزئیات هر کدام از موارد فوق می تواند موضوع یک مقاله دیگر باشد.

۱۷- مراجع

- [1]. و.ا. پروفیلیدس، "مهندسی راه آهن: تئوری و کاربرد"، ترجمه و تدوین حسین قهرمانی و محسن حسینقلیان، چاپ دوم ۱۳۸۰، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات، ۱۳۷۷.
- [2]. Profillidis, "High - Speed Trains", Technika Chronika (Scientific Journal of Greek Engineers), Vol.5, No 3, 1985, Athens.
- [3]. "Study Of Optimum Rail Inclination And Gauge Related To Wheel Profiles Adapted To Wear", ORE, C116, RP 10, 1981, Utrecht.
- [4]. Desai, C., Siriwardane, H., "Numerical Models For Track Support Structures", ASCE, J.G.E.D., Vol.100, No GT3, 1982.
- [5]. Esveld C., "Spectral Analysis Of Track Geometry For Assessing The Performance Of Maintenance Machines", ORE, DT77, 1978, Utrecht.
- [6]. Zicha, J.H., "High Speed Rail Track Design", ASCE, Journal of Transp. Eng., Vol 115, No 1, 1989.
- [7]. Sperring, D., Squires, J., "Rail Wear and Associated Problems", British railways track course, 1983.
- [8]. "Twin Block Railway Sleepers", SATEBA, 1992, Paris.
- [9]. Profillidis, V., "The Mechanical Behavior of the Railroad Tie", ASCE, Journal of structural Eng. Div., 1995.
- [10]. "Effect of Train Speed on the Permissible Max. Value Of Load From Point Of View Of Track Displacement", ORE, C138, RP5, 1980, Utrecht.
- [11]. "Layout Characteristic For Lines Used By Fast Passenger Trains", UIC, 703R, 1989, Paris.