پایان نامه دکتری

مهندسی عمران - مهندسی زلزله

بررسی مدلسازی کمانش خطوط آهن تحت بارهای موثر

دانشجو: **مسعود خلیقی**

استاد راهنما: **دکتر فریدون اربابی**

سال ۱۳۹۰

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

تقدیم به همسر و فرزندانم

با سپاس و تشکر از کمکهای بی‌دریغ آقای دکتر فریدون اربابی ,استاد راهنمای ارجمند و دلسوز, که در تمام مراحل انجام این تحقیق با صبر و شکیبایی بنده را راهنمایی نمودند. همچنین از همسر, مادر و فرزندانم سپاسگزارم که در مشکلات یار و حامی بنده بودند.

چکیده:

در دنیای مدرن سیستم‌های ریلی شهری و بین شهری رُل مهمی در حمل و نقل افراد و بار دارند. مسائل مختلفی در طراحی و نگهداری این سیستم وجود دارد که از دیدگاه مهندسی سازه شامل مسائل استاتیکی و دینامیکی می‌شوند. موضوع این پایان‌نامه مربوط به مسائل استاتیکی خط آهن است که در تنش پایداری و نگهداری خط دخیل می‌باشند. درخطوط قدیمی راه‌آهن ریل از قطعات ۲۰ متری تشکیل شده بود و با اتصال بهم پیوسته می‌شد. اتصال قطعات ریل باعث افزایش هزینه نگهداری خط و صدمه به آلات نقاله می‌گردید. این سیستم نه تنها خط را به لحاظ سازه‌ای تضعیف می‌نمود بلکه باعث ایجاد صدا می‌شد. برای رفع این مشکل خطوط جوش شده پیوسته بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم جدید مشکلات قبلی را حل کرده ولی باعث ایجاد مسائل جدیدی نیز شده است. یکی از این مسائل ناپایداری خط است که ممکن است در اثر تغییر درجه حرارت, نیروهای محرک و ترمزگیری قطار و حتی زلزله باشد. زلزله, گرچه نیروی طولی زیادی در خط ایجاد نمی‌کند, بعلت کاهش قابل توجهی که در مقاومت جانبی خط بوجود می‌آورد می‌تواند مساله ساز باشد . علل دیگر ناپایداری صدمه دیدن قسمت‌های مقاوم خط مثل اتصالات ریل به تراورس و ضعف در بالاست است.

در این تحقیق برای بررسی نیرو و تغییرمکان خط و برآورد پایداری آن از مدل اجزاء محدود با یک المان ماکرو استفاده شده است. برای تحلیل خط با المانهای معمول تعداد بسیار زیادی المان ممکن است لازم شود. با توجه به سرعت و گنجایش رایانه‌های معمول ممکن است این کار امکان‌پذیر نباشد. بدین جهت یک المان ماکرو ریل توسعه داده شده که در عین اینکه رفتار خط را دقیقاً مدل می‌کند جایگزین چندین المان نیز می‌شود. صحت‌سنجی المان ماکرو با یک مدل سه بعدی انجام شده است. ماتریسهای سختی ارتجاعی و هندسی المان ماکرو با استفاده از روابط انرژی بدست آمده و معادلات تعادل سیستم با کمینه کردن انرژی کل سیستم حاصل شده است. با استفاده از المان ماکرو یک برنامه رایانه‌ای نوشته شده که با آن تنش, تغییرشکل و کمانش خط را می‌توان بررسی کرد. در این برنامه می‌توان بآسانی از المانهای دیگری نیز استفاده کرد.

با استفاده از برنامه مذکور می‌توان شرایط خط را بصورت پارامتری بررسی کرد. پارامترهای مختلفی در خط تاثیر گذارند از جمله اندازه و مشخصات ریل, اندازه و نوع تراورس و سختی پابندهای اتصال ریل به تراورس. اینها و برخی پارامترهای دیگر از جمله مقاومت بالاست و تغییرات آن در این تحقیق بررسی شده‌اند. بعلت اهمیت مساله پایداری

خط و رویداد مکرر آن در خطوط مختلف به این مساله در بررسی حاضر توجه مخصوص شده است. کمانش ممکن است طولی و یا جانبی باشد. پارامترهای موثر در کمانش علاوه بر مشخصات خط نیروهای ناشی از تغییر حرارت, نیروی محرک لوکوموتیو در شروع حرکت و نیروی ترمز قطار است. پس از بررسی اثر این پارامترها توصیه‌هایی برای نگهداری خط و جلوگیری از ضایعات آن شده است. در برخی موارد, بعلت تقارن, می‌توان نصف خط (یک ریل) را مدل کرد. در حالاتی که نیرو بصورت نامتقارن بر خط وارد می‌شود از مدل سه بعدی متشکل از المانهای ماکرو و المان تراورس-پابند می‌توان استفاده کرد. در برخی موارد فرم کمانش خط مشاهده شده با نتایج تحلیلهای معمول بر مبنای خط همگن انطباق ندارد. نشان داده شده است که فرم مشاهده شده بعلت ناهمگنی خط است. در اثر ناهمگنی کمانش در اثر نیروی کمتری از بار بحرانی خط همگن اتفاق می‌افتد.

واژه های کلیدی : ناپایداری خط آهن, مقاومت جانبی خط, زلزله, مدل ماکروی خط, خطوط جوش شده پیوسته

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	
فصل اول : لزوم و چهار چوب کلی پایان نامه	۱
فصل دوم: اجزاء راه‌آهن و مسائل معمول آن	۴
۲-۱- مقدمه	۵
۲-۲- اجزاء راه آهن	۵
اجزاء روسازی	۵
اجزاء زیرسازی	۶
خطوط پیوسته	۸
اجزاء قطار	۸
مسائل خط آهن	۹
فصل سوم: مروری بر گزارشهای فنی	۱۲
۳-۱- مقدمه	۱۳
تحقیقات در مورد خط	۱۳
تحقیقات در مورد قطار	۲۰
تحقیقات در مورد اندرکنش خط و قطار	۲۳
فصل چهارم: مدلسازی خط	۲۷
۴-۱- مقدمه	۲۸
۴-۲- مدلهای خط	۲۸
راه حل بسته	۲۸
مدلسازی با روش اجزاء محدود معمول	۳۳
مدل حاضر	۳۵
المان ماکرو خط آهن	۳۵
ماتریسهای سختی و هندسی	۳۹
معادلات تعادل	۴۳
تبدیل به مختصات کلی	۴۴
فصل پنجم: برنامه رایانه‌ای و صحت سنجی آن	۴۶
۵-۱- مقدمه	۴۷

۵-۲- صحت سنجی برنامه رایانه ای	۴۷
تیر بر بستر الاستیک	۴۷
کمانش طولی ستون	۴۸
کمانش جانبی-پیچشی تیر	۵۰
فصل ششم: نیروهای ناشی از حرارت و زلزله در خط	۵۳
۶-۱- مقدمه	۵۴
مدل رایانه‌ای	۵۴
۶-۲- نیرو های محوری ناشی از تغییرات حرارت	۵۶
۶-۳- نیروهای محوری ناشی از زلزله با استفاده از مدل رایانه‌ای	۵۸
فصل هفتم: بررسی پارامتری پایداری خط آهن	۶۰
۷-۱- مقدمه	۶۱
۷-۲- مقاومت جانبی خط	۶۱
۷-۳- کمانش طولی خط	۶۲
محاسبه باربحرانی و طول کمانش خط همگن با روش ریتز	۶۲
اثر ناهمگنی خط در شکل کمانش مشاهده شده	۶۴
خط تضعیف شده و اثر حرارت	۶۷
محاسبه بار بحرانی با برنامه توسعه یافته	۷۰
۷-۴- کمانش جانبی- پیچشی خط	۷۵
مدل خط با و تراورس	۷۶
مقاومت در مقابل کمانش با لحاظ کردن اثر پابندها	۸۰
کاهش تنش	۸۲
مثال عددی	۸۳
فصل هشتم: نتایج و پیشنهادات	۸۷
۸-۱- جمع بندی نتایج	۷۷
۸-۲- پیشنهادات	۸۹
مراجع	۹۱
پیوست ۱	۱۰۰
پیوست ۲	۱۱۳
چکیده انگلیسی	۱۱۸

فهرست اشکال	
عنوان	**صفحه**
شکل ۲-۱- خط آهن و اجزاء آن	۷
شکل ۳-۱- مدل پیوسته بر بستر الاستیک	۱۷
شکل۳ -۲- مدل پیوسته بر تکیه گاههای مجزا	۱۷
شکل ۳-۳- ریل بر تکیه گاه مجزا با مدلسازی جرم بالاست	۱۸
شکل ۳-۴- مدل المان محدود	۱۸
شکل ۳-۵- مثالهایی از مدل عرضی خط	۱۹
شکل۴-۱- نیروهای مفروض اعمالی بر ریل در صفحه جانبی خط	۲۹
شکل۴-۲– مدل تحلیلی برای پاسخ جانبی خط و تاثیر سختی دورانی پابند بر تنش‌های ریل	۳۰
شکل۴-۳ – وضعیت تغییرشکل خط قبل و بعد از کمانش	۳۱
شکل۴-۴- توزیع نیروی محوری فشاری قبل و بعد از کمانش خط	۳۱
شکل۴-۵– مقاومت طولی در مقابل تغییرمکان طولی خط	۳۲
شکل۴-۶- مقاومت جانبی در مقابل تغییرمکان جانبی خط	۳۲
شکل۴-۷- مقطع خط و مدل ارائه شده توسط اربابی	۳۶
شکل-۴-۸- شکل مقطع, محورهای مختصات و نیرو و تغییرمکانهای گرهی در مدل اربابی	۳۶
شکل۴-۳ - المان ماکروی خط	۳۷
شکل۵-۱ - تغییر مکان خط در جهت قائم و مقلیسه با فرمول (۵-۱)	۴۸
شکل (۵-۲) کمانش طولی ستون با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت	۴۹
شکل ۵-۳- شکل کمانش المان محدود و واقعی	۵۰
شکل ۵-۴- مقایسه بار بحرانی تیر تحت بار گسترده خطی	۵۱
شکل ۶-۱-. مدل خط برای اعمال شتاب زلزله	۵۵
شکل ۶-۲- رابطه بین نیرو و تغییر مکان برای مقاومت طولی و جانبی بالاست	۵۶
شکل۶-۳ - نیروی محوری ناشی از تغییرات درجه حرارت با استفاده از فرمول (۶-۳)	۵۷
شکل۶-۴ - نیروی محوری خط با انتهای گیردار و با شرایط مرزی ناشی از تغییرات درجه حرارت	۵۸
شکل۶-۵- نیروی ناشی از زلزله طبس در مدل شکل (۶-۱)	۵۹
شکل ۷-۱- رابطه نیرو-تغییرمکان تراورس در جهت جانبی	۶۱
شکل ۷-۲- تغییرات بار بحرانی با مقاومت جانبی خط	۶۴
شکل ۷-۳- کمانش خط در نیوزلند- شدت زلزله ۶/۳- سال *۱۹۸۷*	۶۵

شکل ۷-۴- مود کمانش خط مشاهده شده	۶۵
شکل ۷-۵- کاهش بار بحرانی با کاهش مقاومت جانبی در قسمتی از خط	۶۶
شکل ۷-۶- ضعف مقاومت در ابتدا (خط چین) و وسط ناحیه کمانش(خطوط پیوسته)	۶۷
شکل۷-۷– اثر زلزله و تغییر حرارت در ظرفیت کمانش- UIC54	۶۸
شکل ۷-۸- کاهش بار بحرانی برای دو حالت شکل کمانش سینوسی و مشاهده شده (شکل ۷-۳	۶۹
شکل ۷-۹- کاهش بار بحرانی با کاهش مقاومت جانبی در قسمتی از خط و نیروهای ناشی از حرارت ($\kappa_{\circ}$=10 kg/cm)	۶۹
شکل ۷-۱۰- کاهش بار بحرانی با کاهش مقاومت جانبی در قسمتی از خط و نیروهای ناشی از حرارت ($\kappa_{\circ}$=4 kg/cm)	۷۰
شکل ۷-۱۱- تعداد و طول المانهای مناسب برای محاسبه باربحرانی و طول المان (L=20 m و k= 8 kg/cm)	۷۱
شکل۷-۱۲- بار بحرانی و طول کمانش خط	۷۲
شکل ۷-۱۳- شکل کمانش خط با مقاومت جانبی ثابت	۷۲
شکل-۷-۱۴- تغییرات بار بحرانی با کاهش مقاومت جانبی تعداد ثابتی از المانها (k= ۸ kg/cm)	۷۳
شکل ۷-۱۵- تغییرات مقاومت در مقابل کمانش با کاهش مقاومت جانبی به مقدار $(1-\alpha)$ در طول معینی ازخط (k= ۸ kg/cm)	۷۴
شکل ۷-۱۶- شکل کمانش با کاهش مقاومت در ناحیه میانی	۷۴
شکل ۷-۱۷- تغییرات مقاومت در مقابل کمانش جانبی-پیچشی در مقابل مقاومت جانبی و تغییرات λ	۷۵
شکل- ۷-۱۸- بار بحرانی کمانش برای خط مستقیم و خط در قوس	۶۹
شکل- ۷-۱۹- خط با مدلسازی ریل و تراورس	۷۶
شکل- ۷-۲۰- المان تراورس با مدل مقاومت پیچشی پابند	۷۷
شکل (۷-۲۱)- المان تراورس- پابند	۷۷
شکل- ۷-۲۲- اثر سختی پیچشی جانبی پابند بر بار بحرانی کمانش	۸۱
شکل- ۷-۲۳- اثر کاهش مقاومت جانبی خظ برمقاومت در مقابل کمانش- با و بدون مدل نمودن تراورسها	۸۲
شکل ۷-۲۴– نمونه‌اهایی از منحنی تیپ کمانش خط ناشی از افزایش درجه حرارت	۸۳
شکل۷- ۲۵- مدل اجزاء محدود سه بعدی لیم و سانگ- مقطع عرضی و طولی خط	۸۴

فهرست جداول	
عنوان	**صفحه**
جدول ۵-۱- بار بحرانی توسط برنامه رایانه ای برای کمانش جانبی و مقایسه با نتایج فرمول بسته	۵۲
جدول ۴-۱- مشخصات ریلها و تراورسهای بررسی شده	۵۵
جدول-۷-۱– مشخصات خط مدل لیم	۸۴
جدول-۷-۲– مشخصات ریل مدل لیم	۸۵
جدول-۷-۳– مشخصات تراورس مدل لیم	۸۵
جدول۷-۴ -– *نیروی محوری کمانش برنامه TRAN با نتایج لیم*	۸۶
جدول۷-۵ - *حرارت حداقل کمانش برنامه TRAN با نتایج لیم*	۸۶
جدول۷-۵ -– *حرارت حداقل کمانش برنامه TRAN با روش کر*	۸۶

فصل اول

لزوم و چهارچوب کلی پایان نامه

در کشورهای اروپایی خطوط ریلی از دیر باز استخوان بندی سیستم حمل و نقل را تشکیل میداده است. مصرف کم سوخت و حرکت در خطوط خصوصی که از ترافیک جلوگیری می‌کند از مزایای استفاده از این سیستم است. در ایران نیز اخیراً به این مزایا توجه شده تا جایی که قرار است حدود پانزده هزار کیلومتر به ده هزار کیلومتر خط موجود در پانزده سال اضافه شود (سند چشم انداز ۲۰ ساله). مسائل مربوط به راه‌آهن را می‌توان بطور کلی به دو گروه تقسیم کرد: مسائل مربوط به استفاده از سیستم و برنامه‌ریزی و مسائل مربوط به ساخت و نگهداری خط. گروه اول بیشتر به مسائل مدیریت مربوط می‌شود و گاهی هم کارهای نسبتاً فنی ایجاب می‌کند مثل نصب حساسگر که در موقع زلزله قطارها را متوقف کند. گروه دوم یعنی مسائل مربوط به ساخت و نگهداری خط کاملاً فنی هستند و برخی از آنها, و نه تنها ساختمانهای مربوط به راه‌آهن, مسائل سازه‌ای هستند. این گروه دوم را هم می‌توان به مسائل مربوط به خط و قطار تقسیم کرد.

هدف از این تحقیق بررسی برخی مسائل مربوط به روسازی خط است. مسائل زیرسازی بیشتر به مکانیک خاک مربوط می‌شود و بجز اثر آنها بر روسازی در اینجا مورد توجه نیستند. البته روسازی هم که شامل ریل و تراورس, اتصال آنها و بالاست می‌شود هر کدام مشخصات خود را دارند. در اینجا اندرکنش این اجزاء مطالب مورد بحث هستند.

با وجود مطالعات زیادی که در دو دهه اخیر در مورد خط‌آهن انجام شده, بررسی کاملی در باره اثر زلزله بر خط صورت نگرفته است. گرچه اثر حرارت و زلزله بر روی کمانش طولی خط مشابه هم هستند ولی در زمینه کمانش خط بعلت تغییرات حرارت تحقیقات زیادی شده در حالی که تحقیقات در مورد اثر زلزله بسیار معدود است. ترکیب اثر تغییر دما و زلزله یکی از موارد مورد نظر است. مساله دیگری که بررسی دقیقتر لازم دارد شکل کمانش خط است. در اکثر بررسی‌ها شکل کمانش سینوسی فرض می‌شود. مشاهدات عینی مبین این است که شکل کمانش خط‌آهن در برخی موارد فرمی متفاوت دارد. در اثر حرکت قطار بارهای عرضی به سر ریل وارد می‌شود که احتمال کمانش جانبی-پیچشی ریل را زیاد می‌کند. اثر توامان نیروهای قائم و عرضی بر روی کمانش جانبی نیز مساله‌ای است که بررسی لازم دارد.

ترتیب فصول این این رساله به شرح زیر است. پس از کلیاتی که در فصل حاضر گذشت در فصل دوم اجزاء راه‌آهن و مسائل مربوط به آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل سوم به مروری بر مطالعات گذشته پرداخته می‌شود. فصل چهارم مربوط به مدلسازی خط‌آهن, بخصوص توسعه یک المان ماکرو می‌شود. روشهای تحلیلی و عددی مدلسازی خط نیز بررسی می‌شود. ماتریسهای سختی و هندسی برای المان ماکرو نیز بدست آمده و معادلات تعادل سیستم ارائه می‌شود. در فصل پنجم برنامه رایانه‌ای, که در محیط نرم‌افزار Mathcad توسعه یافته, و صحت‌سنجی آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل ششم نیروهای محوری ایجاد شده در اثر تغییر حرارت و زلزله و تاثیر آنها بر پایداری خط بررسی می‌گردد. یک مدل سه بعدی رایانه‌ای برای محاسبه نیروی زلزله نیز

بررسی می‌شود. در فصل هفتم بررسی ناپایداری خط, به صورت پارامتری, بررسی می‌شود. در این بررسی بطور خاص تاثیر ناهمگنی زیرسازی در شکل کمانش لحاظ می‌شود. همچنین با یک مثال عددی نتایج برنامه TRAN با نتایج دیگران مقایسه می‌شود. فصل هشتم خلاصه نتایج و پیشنهادات برای ادامه کار این رساله است. جزئیاتی که بعلت طولانی بودن امکان گنجاندن در متن را ندارند در پیوست آمده‌اند. در پیوست یک توسعه ماتریسهای سختی و هندسی برای المان ماکرو و نیروهای مربوطه آمده است. در این پیوست همچنین جزئیات محاسبه انرژی المان ماکرو تحت نیروهای جانبی گسترده و متمرکز, که در ماتریسهای هندسی وارد می‌شوند,در پیوست ۲ ارائه می‌شود.

فصل دوم

اجزاء راه‌آهن و مسائل معمول آن

۲–۱– مقدمه

بیش از یک قرن است که بالاست بعنوان یک بستر ارتجاعی راه‌آهن بکار می‌رود. با این وجود هنوز روش مدون و جامعی جهت تحلیل و طراحی این سیستم ارائه نگردیده است. پیچیدگی رفتار خطوط بالاستی و انحصاری و تجاری شدن بسیاری از نتایج تحقیقات از جمله مواردی است که طی سالهای اخیر طراحی خط را با مشکل روبرو ساخته است. شناخت دقیقتر خطوط بالاستی اطلاع از اجزاء و رفتار آنها را ایجاب می‌نماید.

۲–۲– اجزاء راه‌آهن

اجزاء راه‌آهن شامل دو گروه کلی روسازی و زیرسازی هستند[1]. اجزاء روسازی ریل, تراورس صفحه بین ریل و تراورس و قطعه اتصال آنها را شامل می‌شود. زیر سازی را نیز می‌توان در دو قسمت بالاست و بستر بررسی کرد. روسازی خط بارهای قطار را تحمل کرده و به زیر سازی منتقل می‌کند. در ادامه راجع به اجزاء مذکور بیشتر بحث می‌شود.

اجزاء روسازی

ریل[1] علاوه بر تحمل بار چرخهای لوکوموتیو و بوجی ها[2] چرخهای قطار را نگه داشته و ضمن انتقال نیروهای وارده به تراورس آنها را در مسیر هدایت می‌کند وظایف دیگر ریل توزیع نیروهای طولی ناشی از شتاب و ترمز گرفتن قطار, ایفای نقش رسانای الکتریکی در خطوط راه‌آهن برقی, تامین یک سطح هموار جهت حرکت وسایل نقلیه ریلی است. بجز سیستم مونوریل در سیستم های ریلی همیشه دو ریل موازی وجود دارد. در سیستم راه‌آهن هر کشور این فاصله ثابت است. در گذشته ریلها از قطعات بطول ۲۰ متر تشکیل می شد ولی چون نقاط انقطاع باعث ضربه دائمی و شروع خرابی بود اکنون بیشتر از ریلهای متداوم استفاده می‌شود. مزایا و معایب این نوع ریل آن در ادامه بررسی شده است.

[1] Rail
[2] bogie

صفحه زیر ریل[3] در قطارهای برقی, مثل مترو که برق را از ریل می گیرند, برای عایق کاری و نیز ضربه گیری بکار میرود. در بیشتر راه‌آهن‌های بین شهری, بخصوص برای تراورس چوبی, ریل َ روی صفحه فلزی مخصوصی می نشیتد که با میخها یا قطعه ای که به اتصال مثبت معروف است به تراورس متصل می گردد. میخها کله نامتقارن دارند و در هر تراورس دو میخ در قسمت شانه داخلی پایه ریل و یکی در شانه خارجی نصب می شود. این میخها تا آخر کوبیده نمی شوند تا حرکات کم ریل, که همیشه در موقع حرکت قطار ایجاد می‌شود, باعث بیرون آمدن آنها نشود. فقط وقتی ریل بخواهد دوران زیاد کند میخها در گیر شده و از این حرکت جلو گیری می‌کنند. به این جهت این میخها را اتصال غیر فعال می گویند. در سالهای اخیر اتصالات بهتری ابداء شده که همیشه با ریل در تماس هستند. به این علت به این نوع اتصال, اتصال فعال یا مثبت گفته می‌شود.

نقش اصلی سیستم اتصال ریل به تراورس ثابت نگه داشتن ریل بر روی تراورس و جلوگیری از جابجایی و دوران آن می باشد. علاوه بر آن انتقال نیرو به تراورس و کاهش شدت ارتعاشات ناشی از عبور قطار وظیفه اتصال است. در قطارهای برقی در زیر اتصال یک عایق الکتریکی قرار می‌گیرد. اتصال باید سختی ارتجاعی کافی داشته باشد. اتصال ریل به تراورس از لحاظ نحوه برقراری اتصال و میزان صلبیت ممکن است انواع مختلفی داشته باشد. برای تراورسهای چوبی و فولادی مدل اتصال صلب است. در این نوع از اتصال ریل توسط میخ یا پیچ مخصوص به تراورس متصل می شود. اتصالات ارتجاعی ممکن است با و یا بدون صفحه زیر ریل باشد. معمولاً اتصال ارتجاعی برای سرعت های بالاتر از ۸۰ کیلومتر بر ساعت و در خطوط سریع السیر بکار می‌روند.

تراورس[4] محل استقرار ریلها است و فاصله آنها را ثابت نگه می‌دارد. تراورس همچنین تنش های ناشی از بار وارده به ریل را کاهش داده و به بالاست منتقل می‌کند. اصطکاک بین تراورس و لایه بالاست باعث ایجاد سختی طولی و عرضی خط می‌شود. در مواردی شیب عرضی زیر ریل لازم است. این کار با شیب دادن تراورس عملی می‌شود. تراورس ممکن است از چوب، بتن مسلح، بتن پیش تنیده و حتی فلز باشد. از بدو ساخت راه‌آهن تراورسهای چوبی بوده‌اند. در اواسط قرن نوزدهم تراورسهای فلزی در جاهایی که چوب خوب در دسترس نبود بعنوان جایگزین تراورسهای چوبی مطرح گردید. تراورسهای فولادی پروفیل نورد شده U شکل وارونه هستند. تراورس بتنی در ایران بعلت گرانی فولاد می‌تواند گزینه مناسبی باشد. تراورسهای بتنی یک و یا دو تیکه هستند. تراورس یک تیکه تیر بتنی (مسلح یا پیش‌تنیده) با ابعاد و هندسه طراحی شده می‌باشد. تراورسهای دو تیکه از دو بلوک بتنی مسلح و یک عضو واسطه فولادی تشکیل می‌شوند. این نوع تراورس بیشتر در خطوط بدون بالاست (دال بتنی) برای قطارهای شهری بکار می‌رود. به دلیل ترک خوردن بتن تحت بارهای دینامیکی قطار بتن پیش‌تنیده برای تراورس متناسب‌تر است. در سالهای اخیر تراورس کامپوزیت (از انواع چوب و فلز بازیافتی, پلیمر, پلاستیک یا سرامیک), متشکل از چند ماده کاربرد پیدا کرده است. در مواردی, مثل داخل ایستگاهها یا داخل تونل که به جای تعدادی تراورس یک دال بتنی بکار می‌رود, خط نیاز به بالاست ندارد و هزینه آن کمتر است.

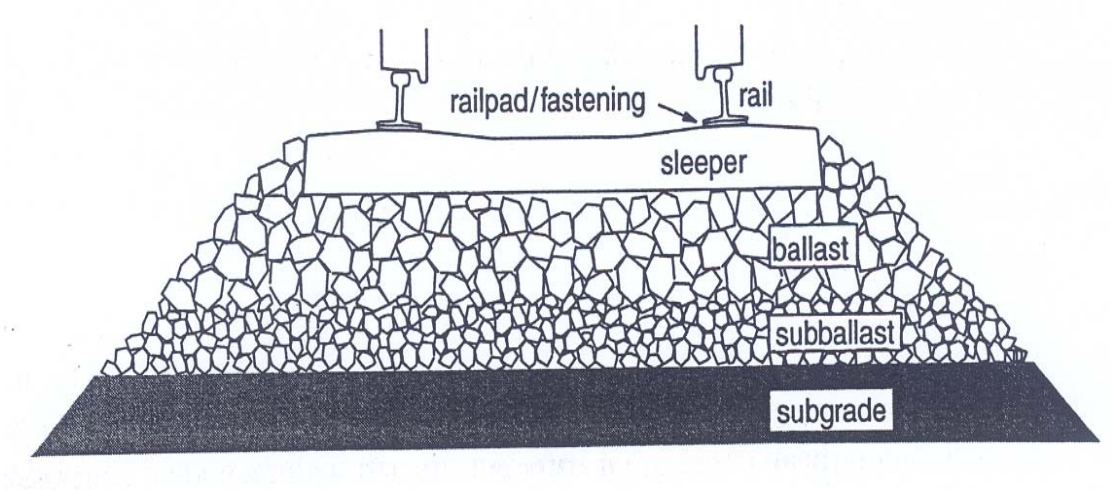
[3] Railpad
[4] Travers

اجزاء زیرسازی

بالاست[5] قشری از سنگ شکسته به ضخامت متوسط ۳۰ سانتیمتر است که در بین تراورسها و لایه بستر اجرا می‌شود. وظیفه بالاست ایجاد یک بستر ارتجاعی برای انتقال بار و مستهلک کردن ارتعاشات قطار و همینطور زهکشی خط می‌باشد. زهکشی باعث کاهش تورم خط ناشی از یخ زدگی بستر شده و از رشد نباتات و گیاهان جلوگیری می‌کند. لایه بالاست شدت تنش‌های اعمال شده به لایه بستر را کاهش می‌دهد تا از محدوده مجاز بستر تجاوز نکند. برای جلوگیری از اختلاط مصالح لایه بالاست با بستر از یک لایه زیر بالاست[6]، استفاده می‌شود که دانه‌های ریزتر از بالاست دارد.

بستر یا زیرسازی[7] شامل اساس و زیراساس می‌شود. وظیفه زیرسازی تامین سطحی پایدار برای تحمل بارهای انتقال یافته از بالاست و زیربالاست است. در صورتی که خط بر روی ترانشه بنا شده باشد زیرسازی همان خاک محل است. ولی وقتی خط بر روی خاکریز بنا شده است زیرسازی متشکل از خاکهای منتقل شده به محل است. برای هدایت آب باران معمولاً این لایه زیرسازی در دو طرف شیب دارد. زیراساس در صورتی بکار گرفته می‌شود که مصالح اساس کیفیت مناسب نداشته باشد.

شکل (۱-۱) اجزاء خط و لایه های آن را نشان میدهد.



شکل ۲-۱- خط آهن و اجزاء آن[1]

[5] Ballast
[6] Subballast
[7] Subgrade