الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی رفتار اسلب‌تراک‌های بتنی درجا و پیش‌ساخته‌ی راه‌آهن تحت اثر رفتار غیرخطی خاک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری

سید حسین حسینی

استاد راهنما

دکتر مرتضی مدح‌خوان

استاد مشاور

دکتر عباس اسلامی‌حقیقت

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – راه و ترابری

آقای سید حسین حسینی

تحت عنوان

بررسی رفتار اسلب‌تراک‌های بتنی درجا و پیش‌ساخته‌ی راه‌آهن تحت اثر رفتار غیرخطی خاک

در تاریخ ۹۲/۱۱/۰۳ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مرتضی مدح‌خوان
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر عباس اسلامی‌حقیقت
۳- استاد داور	دکتر محسن ابوطالبی
٤- استاد داور	دکتر سید مهدی ابطحی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

تشکر و قدردانی

سپاس پروردگارم را که نکو پایان داد این نامه را...

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه آقای دکتر مرتضی مدح‌خوان که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم‌پرور نمودند و همواره راهنما و راه‌گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده‌اند.

بر خود لازم می دانم از زحمات استاد گرامی آقای دکتر عباس اسلامی حقیقت که مشاوره‌ی این پایان نامه را به عهده داشته و در پیشبرد این تحقیق زحمات فراوانی کشیده اند ، کمال سپاس و تشکر را نمایم.

از ممتحن مدعو، جناب آقای دکتر محسن ابوطالبی و هم‌چنین از جناب آقای دکتر سید مهدی ابطحی که داوری پایان نامه را به عهده داشتند و با بازخوانی آن نکات ارزشمندی را یادآور شدند، تشکر می‌کنم.

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر و خانواده‌ی بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه‌نوش جام تعیلم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن‌ها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

در خاتمه لازم می دانم از کمک های بی دریغ سرکار خانم مهندس سهیلا فروغی و سرکار خانم مریم قاری و سایر دوستان و عزیزانی که به نوعی من را در انجام این پایان نامه یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی به عمل آید.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

اگر شایسته باشد تقدیم به

پدر و مادرم . . .

آنان که موهایشان سپید شد تا من رو سپید شوم . . .

فهرست مطالب

چکیده ۲

فصل اول ۲

مقدمه ای بر خطوط اسلب تراک ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ کیفیت روسازیهای راه آهن ٤

۱-۲-۱ خطوط بالاستی ٤

۱-۲-۲ خطوط بدون بالاست یا با بالاست کم ٥

۱-۳ خطوط اسلب تراک بتنی ٦

۱-۳-۱ مزایای روسازی های بتنی ۸

۱-۳-۲ معایب خطوط بتنی ۹

۱-٤ مقایسه هزینه های خطوط بالاستی و بدون بالاست ۹

۱-٤-۱ هزینه های ساخت ۹

۱-٤-۲ هزینه های بهره برداری ۹

۱-٥ اجرای خطوط بتنی ۱۰

۱-٥-۱ اجرای سیستم های اسلب تراک درجا ۱۰

۱-٥-۲ دال بتنی پیش ساخته ۱۰

۱-٥-۳ سیستم ترکیبی ۱۱

۱-٦ بررسی سیستم های جدید خطوط بدون بالاست ۱۱

۱-٦-۱ مقدمه ۱۱

۱-٦-۲ سیستم پکت PACT ۱۲

۱-٦-۳ سیستم استدف فرانسه ۱۳

۱-٦-٤ سیستم خط زوبلین و رهدا ۱٤

۱-٦-٥ سیستم بلوکی مستقل بنگاه بین المللی سونویل ۱٥

۱-٦-٦ سیستم IPA در ایتالیا ۱٦

۱-٦-۷ سیستم والو ۱٦

۱-٦-۸ سیستم ریل مدفون در هلند ۱٦

۱-٦-۹ سیستم خط شینکانسن ۱۷

۱-۷ خطوط بدون بالاست در پل ها ۱۸

۱-۸ آثار محیطی (صدا و ارتعاش) در خطوط بدون بالاست ۱۸

۱-۸-۱ راه حل های عمده کاهش صدا و ارتعاشات خط ۱۸

۱-۹ مروری بر فصل های آینده ۱۹

فصل دوم ۲۰

مروری بر تاریخچه ی مطالعات انجام شده ۲۰

۲-۱ مقدمه ۲۰

۲-۲ تاریخچه ی مطالعات ۲۰
۲-۳ ارتباط موضوع با کارهای قبلی و هدف از این تحقیق ۳۵
فصل سوم ۳۶
رفتارشناسی خاک و معرفی مدل های اندرکنش خاک و سازه ۳۶
۳-۱ مقدمه ۳۶
۳-۲ مدل های رفتاری خاک ۳۷
۳-۲-۱ خاک در حالت الاستیک ۳۷
۳-۲-۲ مدل ویسکوالاستیک خطی و الاستوپلاستیک خاک ۳۸
۳-۲-۳ نظریه ی خمیری خاک ها ۳۹
۳-۳ مدل های اندرکنش ۳۹
۳-۳-۱ اندرکنش غیرخطی خاک و سازه ۴۰
۳-٤ تحلیل اندرکنش سازه و خاک ٤۱
۳-٤-۱ روش محیط پیوسته با دیدگاه اجزاء محدود و المان مرزی ٤۱
۳-٤-۲ روش المان های ماکرو ٤۱
۳-٤-۳ روش وینکلر ٤۲
۳-۵ انتخاب مدل اندرکنش ٤۳
۳-٦ مروری بر مطالعات مبتنی بر روش های وینکلری ٤۳
۳-٦-۱ ضریب عکسالعمل بستر و عوامل مؤثر بر آن ٤٤
۳-۷ محاسبه ی سختی پی قرار گرفته روی خاک ٤۵
۳-۸ اصلاح مدل وینکلر ٤۸
۳-۸-۱ روش کنترل تنش های مجاز ٤۸
۳-۸-۲ روش فنرهای مزدوج ٤۸
۳-۸-۳ روش فنرهای مزدوج مجازی ٤۹
۳-۹ سختی های دینامیکی پی های سطحی ۵۰
۳-۱۰ جمع بندی فصل ۵۱
فصل چهارم ۵۲
تشریح مدل تیر بر فونداسیون غیرخطی وینکلر ۵۲
٤-۱ مقدمه ۵۲
٤-۲ مطالعات انجام شده بر روی رفتار فونداسیون های سطحی قرار گرفته روی خاک ۵۳
٤-۳ مدل سازی غیرخطی اندرکنش خاک و سازه ۵۵
٤-۳-۱ تشریح مدل تیر بر فونداسیون غیرخطی وینکلر (BNWF) ۵۵
٤-۳-۲ مزایای مدل BNWF ۵٦
٤-٤ رفتار مصالح خاک ۵۷
٤-٤-۱ مصالح Q-z Simple ۵۹

٤-٤-٢ مصالح T-z Simple ٥٩
٤-٥ پارامترهای مورد نیاز برای مدل BNWF ٦٠
٤-٥-١ تعیین نوع خاک ها ٦٠
٤-٥-٢ تعیین ظرفیت باربری فونداسیون ها ٦٣
٤-٥-٣ تعیین سختی قائم و جانبی فنرهای وینکلر ٦٤
٤-٥-٤ فاصله و نحوه ی آرایش فنرهای قائم ٦٥
٤-٥-٥ میرایی ٦٧
٤-٥-٦ ظرفیت کششی ٦٨
٤-٥-٧ تعریف پامتر Z_{50} ٦٨
٤-٦ مدل سازی فونداسیون وینکلر در ANSYS ٦٨
٤-٧ جمع بندی فصل ٦٩
فصل پنجم ٧٠
مدل سازی و تحلیل نتایج با در نظر گرفتن رفتار خطی خاک ٧٠
٥-١ مقدمه ٧٠
٥- ٢ معرفی اجمالی نرم افزار Ansys ٧١
٥-٣ آشنایی با روال کلی نرم افزار ٧١
٥-٤ المان های مورد استفاده در Ansys ٧١
٥-٤-١ المان های لازم برای مدل سازی بتن و آرماتور: ٧١
٥-٤-٢ سایر المان های به کار برده شده در آنالیز ٧٣
٥-٥ معیار شکست حاکم بر رفتار بتن در نرم افزار Ansys ٧٥
٥-٦ پارامترهای مورد نیاز برای مدل سازی اجزاء محدود بتن آرمه ٧٥
٥-٧ بارگذاری در نرم افزار ٧٧
٥-٨ صحت سنجی ٧٨
٥-٨-١ تحقیق باروس و فیگوراس در خصوص دال های قرار گرفته بر بستر ارتجاعی ٧٨
٥-٨-٢ تست آزمایشگاهی بر روی خط اسلبتراک ساخته شده توسط TTC ٨١
٥-٩ مدل سازی و آنالیز دال های راه آهن ٨٥
٥-٩-١ بارگذاری خطوط ٨٥
٥-٩-٢ ترکیب بارگذاری ٨٦
٥-٩-٣ عرض خط ٨٨
٥-١٠ نتایج ٨٨
٥-١٠-١ مدل سازی روسازی (شامل ریل، پابندها و دال بتنی) در نرم افزار ٨٨
٥-١٠-٢ مدل سازی زیرسازی خط (خاک بستر) ٨٩
٥-١٠-٣ تحلیل سازه ای دال تحت بارگذاری قطار ٩٠
٥-١٠-٤ بررسی رفتار و عملکرد اسلب تراکهای راه آهن ٩٠
٥-١٠- ٥ تحلیل سیستم دال های پیش ساخته ٩١

۵-۱۰- ٦ سیستم اسلب تراک بتنی درجا ۹۸
۵-۱۱ مقایسه نتایج با تحقیقات انجام گرفته ی مشابه ۱۰۳
جمع بندی فصل ۱۰۵
فصل ششم ۱۰٦
مدل سازی و تحلیل نتایج با استفاده از مدل تیر بر بستر غیرخطی وینکلر ۱۰٦
٦-۱ مقدمه ۱۰٦
٦-۲ مدل سازی دال بتنی ۱۰٦
٦-۳ مدل سازی فنرهای پابند ۱۰۷
٦-٤ مدل سازی آرماتورهای دال ۱۰۷
٦-۵ تعیین نوع خاک و خواص آن ۱۰۸
٦-٦ بارگذاری ۱۱۰
٦-۷ انجام آنالیز غیرخطی ۱۱۱
٦-۸ بررسی نتایج تحلیل ۱۱۱
٦-۸-۱ سیستم دال های درجا ۱۱۳
٦-۸-۲ سیستم دال های پیش ساخته ۱۱۹
٦-۸-۳ طراحی آرماتور اسلب تراک ۱۳۱
۷-۸-٤ نتایج تحلیل غیرخطی بتن ۱۳۲
٦-۹ مقایسه ی نتایج آنالیز در حالت رفتار خطی و غیرخطی خاک ۱۳۸
جمع بندی فصل ۱٤۰
فصل هفتم ۱٤۱
خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات ۱٤۱
۷-۱ خلاصه ۱٤۱
۷-۲ پیشنهادات ۱٤٦
مراجع ۱٤۷

چکیده

هدف از ایجاد ساختار خط در راه‌آهن، فراهم کردن امکان حرکت ایمن و اقتصادی قطار است. این امر نیازمند این است که خط به عنوان یک مسیر پایدار با نظم افقی و قائم مناسب عمل کند. ازآنجا که خط در معرض بارهای دینامیکی وارده از طرف قطار است، لذا هر یک از اجزای سیستم خط باید در پاسخ به بارهای ترافیکی به نحو مناسبی به وظایف خود عمل کند. در این بین خاک بستر زیر اسلب-تراک به عنوان تکیه‌گاه، نقش مهمی را در تنش‌ها و تغییرمکان‌های قائم ایفا می‌کند و این تغییرشکل‌های قائم از جمله مواردی است که باید در خطوط اسلب تراک بتنی به آن توجه داشت است؛ چراکه می‌تواند ایمنی حرکت را به مخاطره بیاندازد و سروصدای زیادی ایجادکند. بنابراین درآنالیزها ارزیابی دقیق این تغییرشکل‌ها مهم است. با توجه به نیاز مهندسین به ارزیابی سریع از میزان تنش‌ها و تغییر-شکل‌های روسازی بتنی در سیستم قطارهای سریع‌السیر، لازم است که تحلیل‌هایی انجام شود تا اثر نوع خاک و ابعاد دال بتنی را در میزان این تنش‌ها و تغییرشکل‌ها نشان دهد. این تاثیر در این تحقیق با انجام یک مطالعه‌ی پارامتریک روی نوع بتن، ابعاد اسلب‌تراک و انواع خاکها (ازخاک خیلی سست تا خاک متراکم) انجام شده است. ولی از آن جا که در اکثر تحقیقات رفتار خاک را با فنرهای خطی وینکلر مدل‌سازی می‌شود، لازم است که در مدل‌سازی، رفتار غیرخطی خاک در نظرگرفته شود تا بتوان اثر تغییرشکل‌های غیرخطی خاک را در طراحی اسلب‌تراک بررسی نمود. برای نیل به این هدف برای مدل‌سازی خاک در بخش اول نتایج از فنرهای وینکلر خطی و المان combin14 و در بخش دوم از مدل BNWF (تیر بر بستر غیر ارتجاعی وینکلر) و المان combin39 استفاده گردیده است. این مدل اثر ابعاد (طول و عرض و ضخامت) و شکل دال را در سختی خاک منظور کرده و منحنی رفتاری خاک را به صورت غیرخطی ارائه می‌دهد.

در این تحقیق مجموعه‌ی روسازی (شامل ریل‌ها، پابندها و اسلب‌تراک) و زیرسازی خط(خاک بستر) با به کارگیری المان‌های مناسب در نرم‌افزار Ansys مدل شده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که نوع بتن، رفتار خاک و ابعاد (طول، عرض و ضخامت) اسلب تراک بتنی سه عامل مهم در تعیین میزان تنش‌ها (نیروها و لنگرهای خمشی) و تغییرمکان‌های بتن می‌باشند. براساس نتایج به دست آمده، مقادیر تنش‌ها و تغییرشکل‌ها در راستای عرضی نسبت به راستای طولی دال قابل ملاحظه‌تر است و لنگرهای عرضی منفی باعث ترک-خوردگی دال می‌شود؛ لذا در ادامه‌ی تحقیق هدف بر این بوده که به گونه‌ای بتوان مقادیر لنگرهای مثبت و منفی داخلی دال را تا حدود زیادی به هم نزدیک کرد تا افزایش باربری اسلب‌تراک را به همراه داشته باشد و در نهایت طراحی بهینه‌تر انجام شود. با توجه به نتایج به دست آمده، در دو حالت دال بتنی پیش‌ساخته و درجا، مقدار۲/۴ متر (در حالت رفتار خطی خاک) و مقدار۲/۳ متر (در حالت رفتار غیر-خطی) به عنوان عرض بهینه‌ی دال به دست آمد. درادامه‌ی این مطالعه، تاثیر رفتار خاک، ضخامت و طول پیوستگی دال، در مقادیر لنگرهای خمشی بررسی شد که با توجه به نتایج عددی به دست آمده در خاک‌های تقریبا متراکم، مقدار طول ۴/۸ و ضخامت ۲۰ سانتی-متر برای دال جوابگوی بارهای وارده از طرف قطار خواهد بود. در قسمت پایانی این تحقیق نحوه‌ی تغییرات بار ترک‌خوردگی و بار گسیختگی نهایی دال برحسب نوع خاک بستر و مقاومت فشاری بتن برای دال به عرض های ۲، ۲/۳ و ۲/۵ به دست آمده است.

کلید واژه‌ها: اسلب‌تراک، دال بتنی، فنر وینکلر، رفتار غیرخطی، مدل BNWF، بار ترک‌خوردگی، بار گسیختگی نهایی

فصل اول
مقدمه‌ای بر خطوط اسلب‌تراک[1]

۱-۱ مقدمه

روسازی راه‌آهن شامل مجموعه‌ی ریل و پابندها، دال بتنی، دوراهه‌ها، تقاطع‌ها و بستر می‌باشد که برای عبور و مرور وسایل نقلیه نظیر لکوموتیوها و واگن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. عموما به این مجموعه خط‌آهن نیز می‌گویند. هدف از ایجاد خط، انتقال بارهای وارده از وسایل نقلیه به زیرسازی است. انتقال و جابجایی بار مطابق اصل افت تنش و به صورت لایه به لایه انجام می‌گیرد. حداکثر جابجایی تنش بین ریل و چرخ به وجود می‌آید که به تدریج و در لایه‌های پایین‌تر از مقدار آن کاسته می‌شود. فشاری که در زیر آخرین لایه به روسازی وارد می‌شود می‌باید در محدوده‌ی تنش مجاز بستر قرار داشته باشد.

برای این‌که خط بتواند وظایف خود را به خوبی انجام دهد و عملکرد آن در حد امکان اقتصادی باشد، رعایت شرایط زیر ضروری است:

الف) تمام اجزای خط می‌بایست بر مبنای سرعت و بار محوری مجاز، طراحی شده و دارای ابعاد کافی برای تحمل بارهای ترافیکی باشند تا ایمنی کافی برای عبور وسایل نقلیه فراهم گردد.

ب) شکل صحیح هندسی خط، چه تحت بار و چه بدون بار، همواره باید حفظ شود؛ یعنی خط باید پایداری جانبی و قائم کافی در برابر بارهای وارده را دارا باشد.

پ) عبور از روی خط به راحتی صورت گیرد و توجه کافی به راحتی مسافرین بشود. بنابراین تعبیه عناصری برای کاهش ارتعاشات و صدای ایجاد شده در اثر عبور وسایل نقلیه تا حد مجاز ضروری است.

ت) تعمیر و نگهداری خط در طول عمر آن، آسان و کم هزینه باشد.

---

[1] Slab Track

با توجه به ضرورت‌هایی که در بالا به آن اشاره شد، می‌توان به طور خلاصه عوامل مؤثر بر طرح روسازی خط را به صورت زیر دسته بندی نمود:

۱- کیفیت روسازی (مخصوصا در سرعت های بالا)

۲- هزینه‌ها (شامل هزینه های طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری)

۳- زمان و سهولت اجرا

۴- بار محوری مجاز مسیر

۵- تناژ بار عبوری

۶- سرعت مجاز

۷- راحتی سفر و شرایط محیطی

۸- وضعیت زیرسازی

که در ادامه مختصرا در مورد نوع روسازی و هزینه‌های مربوط به آن توضیحاتی آمده است.

۱-۲ کیفیت روسازی‌های راه‌آهن

روسازی راه‌آهن به عنوان یکی از پارامترهای اساسی برای خطوط راه‌آهن از همان ابتدای پیدایش راه‌آهن از اهمیت خاصی برخوردار بوده است. به طورکلی روسازی خطوط راه‌آهن به دو صورت بالاستی[1] و بدون بالاست[2] اجرا می‌شود.

۱-۲-۱ خطوط بالاستی

این خطوط شامل لایه‌ی بالاست، لایه‌ی زیر بالاست، لایه‌ی سابگرید و خاک بستر می‌باشد.

- لایه بالاست

بستر بالاست از یک لایه درشت‌دانه‌ی غیرفشرده تشکیل شده که در نتیجه اصطکاک داخلی بین دانه‌ها می‌تواند تنش‌های تراکمی قابل توجهی را جذب نماید؛ ولی قادر به جذب تنش‌های کششی نیست. قدرت تحمل بستر بالاست در جهت قائم قابل توجه است، ولی در جهت جانبی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌باشد. ضخامت بستر بالاست باید طوری باشد که بار در حد مجاز و به طور یکنواخت بر بستر وارد شود. علاوه بر وظیفه‌ی توزیع بار و ایجاد مقاومت جانبی، تسهیل عمل زه‌کشی آب‌های سطحی خط، حفظ هندسه خط و ایجاد مکان تصحیح آن نیز از وظایف دیگر بالاست می‌باشد [۱].

شکل۱-۱ نمونه‌ای از خطوط بالاستی

- لایه زیربالاست

زیربالاست لایه‌ی میانی بالاست و لایه‌ی سابگرید است. هدف از ایجاد این لایه فراهم کردن یک سطح هموار و تمیز، ایجاد یک لایه با نفوذپذیری کم در سطح خاکریز و در نتیجه محافظت خاکریز از نفوذ آب باران و برف، پخش و تعدیل بار انتقال یافته از لایه بالاست به خاکریز اصلی، محافظت از خاکریز درمقابل یخ‌زدگی ایجاد بستر مقاوم در مقابل سوراخ‌شدگی و ایفای نقش فیلتر بین مصالح لایه سابگرید و بالاست می‌باشد. این لایه تقریبا نقشی شبیه لایه‌ی زیراساس در روسازی آسفالتی بر عهده دارد و باید دارای کیفیت لازم در راستای ایفای تمام

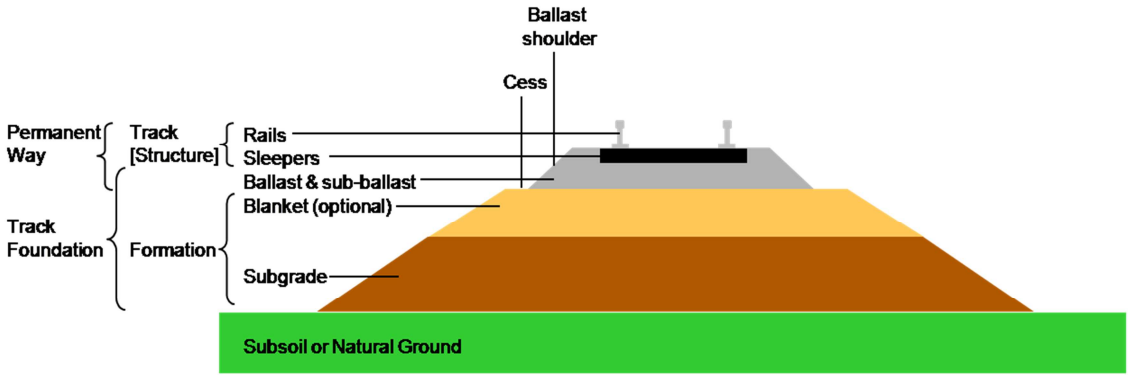
[1] Ballast
[2] Non-Ballast

وظایف فوق‌الذکر باشد. تراکم مصالح در این لایه، حداقل برابر ۱۰۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده اختیار می-گردد.

- لایه سابگرید

نقش این لایه، به حداقل رساندن مقادیر تنش منتقل شده از لایه‌ی زیربالاست به بستر، کنترل تغییرشکل بدنه‌ی خاکریز و تحمل ارتعاشات حاصل از عبور قطار سریع‌السیر و مقاومت در مقابل عمق نفوذ یخبندان است. این لایه که در واقع قسمتی از خاکریز است، ضخامتی در حدود ۲۰۰ سانتی‌متر یا بیشتر بسته به مقدار سرعت طرح، نوع روسازی، جنس مصالح در دسترس و شرایط آب‌وهوایی دارد. قسمت سطحی لایه‌ی سابگرید که از مشخصات بهتری در مقایسه با بخش زیرین آن برخوردار است را لایه سابگرید منتخب می‌نامند.

ضخامت لایه سابگرید منتخب بسته به عمق یخبندان و کیفیت مصالح تحتانی در حدود ۳۰ الی ۵۰ سانتیمتر بوده و تراکم آن معمولا در حد تراکم لایه زیربالاست(۱۰۰ درصد) و یا حداقل ۹۸ درصد انتخاب می‌گردد.

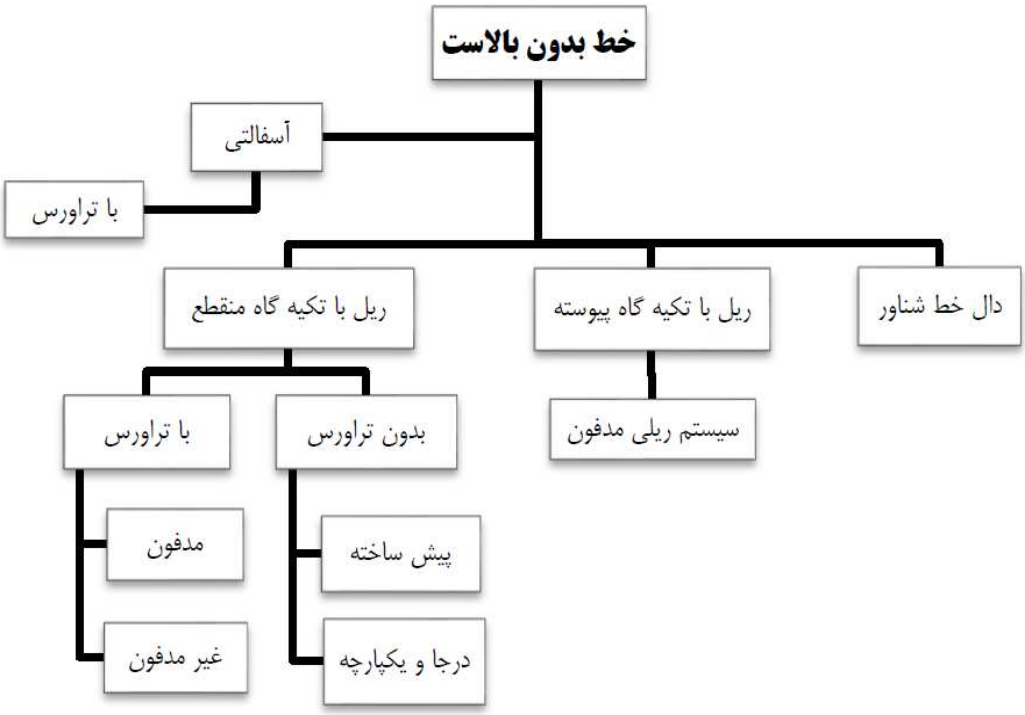


شکل ۱-۲ ساختار لایه‌های خطوط بالاستی

۱-۲-۲ خطوط بدون بالاست یا با بالاست کم[1]

خطوط بدون بالاست شامل انواع خطوط دال بتنی، دال آسفالتی و یا بستر فولادی جانشین بالاست در خط می‌باشدکه دال‌های بتنی یا به صورت پیش‌ساخته و یا در محل به طور پیوسته ریخته می‌شوند، ولی دال‌های آسفالتی معمولا به صورت متراکم و پیوسته اجرا می‌شوند. بسترهای فولادی نیز عمدتا بر روی شاه‌تیرهای پل‌های فلزی اجرا می‌شوند [۲ تا ۵]. شکل ۱-۳ طبقه بندی این خطوط را نشان می‌دهد.

[1] Ballastless Track



شکل ۱-۳ طبقه‌بندی خطوط بدون بالاست [۶].

از آن‌جا که موضوع این تحقیق متمرکز بر روی روسازی‌های بتنی است؛ لذا در ادامه به بررسی خطوط اسلب-تراک بتنی می‌پردازیم.

۱-۳ خطوط اسلب‌تراک بتنی

با توجه به فراگیرشدن روسازی‌های بتنی، در تمام نقاط دنیا روش‌های گوناگونی برای اجرای آن وجود دارد که در هرکشور با توجه به امکانات و توسعه‌یافتگی آن‌ها اجرا می‌گردد [۷]. در این سیستم، ریل‌ها مستقیما بر روی دال یا بلوک‌های بتنی قرار می‌گیرند. هم‌چنین ممکن است در بعضی حالات سیستم ریل در داخل دال مدفون باشد [۸].

اجرای سیستم اسلب‌تراک در ایران به دلیل جدید بودن، هنوز گسترش چندانی پیدا نکرده است و اغلب در خطوط مترو و چند نقطه از راه‌آهن اجرا شده است. جدول۱-۱ انواع روش‌های اجرای خطوط اسلب‌تراک بتنی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱ خطوط اسلب تراک بتنی [۷]

تکیه گاه پیوسته ریل		تکیه گاه ناپیوسته ریل			
		بدون تراورس		با تراورس یا بلوک بتنی	
تکیه گاه‌های پیوسته و	ریل مدفون	دال‌های یکپارچه درجا	دال‌های پیش ساخته بتنی	تراورس‌های تعبیه شده در بالای بستر آسفالتی – بتنی	تراورس‌ها یا بلوک‌های مدفون شده در بتن
COCON TRACK ERL	روسازی خط در خطوط سبک گذرگاه‌ها خط و	روسازی خط برای ابنیه و سازه‌ها سیستم PACT در انگلستان	خطوط شینکانسن در ژاپن خط IPA در ایتالیا		خطوط زوبلین و رهدا در آلمان

شکل ۱-۴ انواع سیستم‌های دال بتنی [۹]

شکل ۱-۵ نمونه‌های خطوط بتنی اجرا شده

۱-۳-۱ مزایای روسازی‌های بتنی

الف) کاهش ضخامت بستر که خصوصا در داخل تونل‌ها می‌تواند منجر به کاهش حجم حفاری و ایجاد صرفه اقتصادی در طرح گردد.

ب) امکان ایجاد هندسه‌ی دقیق در زمان اجرا و کاهش نیاز به تنظیم‌های مجدد.

پ) نیاز کمتر به نگهداری و بازسازی در طول دوران بهره‌برداری در مقایسه با بستر بالاستی که مکررا نیاز به نگهداری و بازسازی داشته و با افزایش عمر سازه هزینه‌های آن افزایش می‌یابد.

ت) افزایش عمر مفید سازه[1]

ث) بیشتر بودن مقاومت برشی دال‌های بتنی در حرکت جانبی در برابر شتاب جانبی در پیچ‌ها در مقایسه با بستر بالاستی. این مزیت اولا امکان افزایش سرعت قطار را فراهم کرده و ثانیا مشکل به‌هم خوردن هندسه‌ی ریل (که در مورد بستر بالاستی وجود دارد) تقریبا مرتفع شده و هندسه سیستم در دراز مدت با رواداری قابل قبولی بدون تغییر می‌ماند.

[1] Service Life

ج) حذف مشکل صدمه به ریل و چرخ‌ها به دلیل پرتاب ذرات بالاست در سرعت‌های بالا که با استفاده از سیستم روسازی بتنی کاملا مرتفع می‌گردد.

چ) از بین رفتن مشکل پرشدگی بالاست با ریزدانه در مناطق کویری که منجر به شکستن تراورس‌ها[1] می‌گردد.

ح) ارتقاء ایمنی در حرکت قطار و کاهش آلودگی صوتی

خ) سختی جانبی زیاد و کاهش ریسک کمانش

۱-۳-۲ معایب خطوط بتنی

در این سیستم‌ها تا زمانی که بتن مقاومت کافی پیدا نکند، به مسدود کردن خط نیاز است. هزینه‌ی اولیه ساخت زیاد، نیاز به بستر بسیار مناسب، انعکاس بیشتر صدا در هوا و انتقال ارتعاشات از دال بتنی به سازه‌های مجاور، نیاز به دقت بسیار بیشتر در نصب اولیه‌ی خط، مشکل بودن تصحیح تراز خط در هنگام وقوع نشست زیاد بستر، هزینه و زمان بسیار بیشتر برای تعمیر و بازسازی در اثر خروج از خط از جمله معایب این سیستم به شمار می‌رود.

۱-۴ مقایسه هزینه‌های خطوط بالاستی و بدون بالاست

۱-۴-۱ هزینه‌های ساخت

بستر با دال بتنی ازگران‌ترین انواع بسترسازی می‌باشد. براساس تجربیات گذشته، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری متوسط خطوط بتنی تقریبا ۳ برابر بستر بالاستی متعارف است. این هزینه درتونل‌ها در هرکیلومتر تقریبا ۱/۲ برابر و در پل‌ها به حدود ۳/۸ برابر افزایش می‌یابد.

در ۴۹٪ خط سانیو و ۸۳٪ خط توهوکو از اسلب‌ترک استفاده شده است. هزینه‌ی ساخت قسمت بدون بالاست در خط سانیو نسبت به قسمت بالاست‌دار ۱۸٪ در خاکبرداری و ۲۴درصد در خاکریزی بیشتر است[۱۰]. در راه‌آهن انگلستان هزینه‌ی ساخت خطوط بدون بالاست ممتد ۳۰٪ بیش از هزینه ساخت خط بالاست‌دار می‌باشد. اما این هزینه‌های اضافی، از طریق کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری در یک دوره ۵ تا ۷ ساله بازگشت داده می‌شود [۱۱].

۱-۴-۲ هزینه‌های بهره‌برداری

بالاست به عنوان یکی از اجزای مهم روسازی بتنی راه‌آهن در عملکرد خطوط ریلی نقش به سزایی را ایفا می‌کند.اکثر فعالیت‌های تعمیر و نگهداری خطوط ریلی به دلیل وجود این لایه بوده و عمده‌ی هزینه‌های نگهداری صرف اصلاح عیوب ناشی از این لایه می‌شود. این عملیات به ویژه در تونل‌ها و پل‌ها که محدودیت فضا وجود دارد بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و باعث انسداد خط برای زمان‌های طولانی می‌شود.

مطابق با مطالعاتی که در سال ۱۳۸۳ انجام شد، حدود ۶۰ درصد فعالیت‌های نگهداری خطوط بالاستی به طور مستقیم مرتبط با مصالح بالاست می باشد. در دوران بهره‌برداری و در دراز مدت با توجه به نیاز کمتر به نگهداری، در زمانی در حدود ۱۰ سال، اختلاف در هزینه‌ی سرمایه‌گذاری جبران می‌شود.

---

[1] Slippers