بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس خوارزمی

رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مقایسه و انتخاب روش مناسب بهسازی زیرسازی خطوط موجود شبکه راه آهن شمال شرق به منظور ارتقاء سرعت

نگارنده : رضا محبی

استاد راهنما

دکترحسینی

شهریور ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده پردیس خوارزمی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا محبی

تحت عنوان:

مقایسه و انتخاب روش مناسب بهسازی زیرسازی خطوط موجود شبکه راه آهن شمال شرق به منظور ارتقاء سرعت

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم اثر:

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به: آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه ی راهم بود.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهنسال عنایت بفرما .

تقدیر و تشکر

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر سید مهدی حسینی که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند ; تقدیر و تشکر نمایم.

(و یزکیهم و یعلمهم الکتاب و الحکمه).

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

همچنین از همسر عزیز و دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمود تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب ، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم ; سپاسگزاری نمایم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم

اقرارنامه

اینجانب رضا محبی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته خـاک و پـی دانشـکده پـردیس خـوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت راهنمائی دکتر سید مهدی حسینی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.**

چکیده

هدف از انجام این تحقیق مقایسه روش‌های بهسازی زیرسازی خطوط موجود شبکه راه‌آهن شمال شرق کشور به‌منظور ارتقاء سرعت است. همچنین با توجه به‌ضرورت توسعه حمل‌ونقل عمومی در ایران و ارتقاء سرعت در شبکه راه‌آهن سرتاسری کشور، اصلاح اشکالات زیرسازی خطوط موجود، از نکات کلیدی به‌منظور رسیدن به این هدف است. لذا این تحقیق به بررسی این اشکالات و راهکارهایی در جهت اصلاح آن پرداخته است.

روش کار : به‌منظور آشنایی با حمل‌ونقل سریع ریلی، به بررسی مفاهیم، خصوصیات و نیازمندی‌های خطوط پرسرعت و تاریخچه آن در ایران و کشورهای دیگر پرداخته‌شده است.

ضوابط زیرسازی راه‌آهن پرسرعت با استفاده از دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع‌السیر (نشریه شماره ۳۹۴) که مبتنی بر منابع و مدارک اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) و آیین‌نامه‌ها مای معتبر دنیا نظیر AREMA, با در نظر داشتن معیارهای تجربی رایج در کشور ارائه‌شده است.

مکانیسم‌های مختلف خرابی در زیرسازی خطوط راه‌آهن با ارائه تصویر و دلایل ایجاد شرح داده‌شده است

روش‌های ارزیابی بستر خطوط راه‌آهن با استفاده از روش‌های آزمایش برجا، آزمایشگاهی و ژئوفیزیکی موردبررسی قرارگرفته است.

روش‌های مقاوم‌سازی زیرسازی خطوط موجود راه‌آهن همراه با مختصر شرح اصول روش‌ها و مقایسه روش‌ها ازنظر دامنه کاربرد و اصول فنی ارائه‌شده است.

بهسازی زیرسازی خطوط راه‌آهن سریع‌السیر مالزی همراه با نگاهی دقیق بر طراحی، اجرای روش‌های بهسازی، استفاده از آزمایش‌های باربری صفحه و ابزار گذاری‌های میدانی برای اندازه‌گیری تأثیرگذاری روش‌های بهسازی زمین به‌عنوان مطالعه موردی موردبررسی قرارگرفته است

مطالعات موردی انجام‌شده در خطوط راه‌آهن شمال شرق محور گرمسار (ایستگاه یاتری) – ایستگاه نقاب به‌منظور شناسایی نقاط بحران‌ساز جهت ارتقاء سرعت و راهکارهای منطبق با امکانات موجود در کشور به‌منظور رفع آن ارائه‌شده است.

سوابق تاریخی نحوه استفاده از تکنیک‌های بهسازی در خطوط راه‌آهن کشورهای آلمان، استرالیا، کشورهای اسکاندیناوی، ایالات‌متحده آمریکا و مالزی ارائه‌شده است.

نتیجه‌گیری: مقاوم‌سازی زیرخاک زیرخط آهن موجود و هم‌زمان با آن حفظ عملیات قطار کار بسیار مشکلی است. هم‌چنین رسیدن به دو هدف تثبیت کامل خاک و به حداقل رساندن تأثیر آن بر هندسه خط آهن به‌طور هم‌زمان نیز بسیار سخت است . در این تحقیق روش‌های مقاوم‌سازی شرح داده‌شده از روش‌های اصلی اخیر به‌حساب می‌آیند که موجب کاهش نشست، مشکلات پایداری و ارتعاشی

مربوط به راه‌آهن می‌شوند. در بسیاری از موارد تثبیت و بهسازی خاک به ابزارها و ماشین‌آلات پیمانکاران بستگی دارد آنان روش‌هایی را ابداع می‌کنند که مناسب با شرایط ژئوتکنیکی آن ناحیه (کشور) و هم‌چنین امکانات آنان سازگاری داشته باشند. جایگزینی ارتعاشی با ستون‌های سنگی قابل‌استفاده در انواع مختلف خاک‌ها از رس‌های نرم تا ماسه‌های سست بوده و به کمک آن المان‌های تسلیح‌کننده قوی‌تر باقابلیت فشردگی کمتر و مقاومت برشی بالا ایجاد می‌شوند. علاوه بر بهبود مشخصات مقاومت و تغییر شکل، ستون‌های سنگی خاک برجا را متراکم می‌کنند، سبب زهکشی سریع اضافه فشار آب منفذی تولیدشده می‌شوند، تحکیم را سرعت می‌بخشند و نشست‌های پس از ساخت را به حداقل می‌رسانند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها متعدد بارگذاری و صفحات نشست نشان داد که ملزومات عملکرد دقیق پروژه خط آهن جدید برآورده گردید. بهسازی خاک به روش اختلاط عمیق خشک خاک قابل‌استفاده در انواع مختلف خاک‌ها از رس‌های نرم تا ماسه‌های سست بوده و به کمک آن المان‌های تسلیح‌کننده قوی‌تر باقابلیت فشردگی کمتر و مقاومت برشی بالا ایجاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی:
بهسازی، سرعت، خطوط راه اهن، نشست، زیرسازی

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱ کلیات ۲

۱-۲ بیان مسئله ۵

۱-۳ اهداف و محدوده مطالعه ۵

فصل دوم ۷

مروری بر متون فنی و سوابق تاریخی ۷

مقدمه : ۸

۲-۱ حمل و نقل سریع ریلی ۸

۲-۲ قطار سریع ۸

۲-۳ نیازمندیهای خطوط پرسرعت ۸

۲-۴ خصوصیات کلی خط پرسرعت از لحاظ طراحی ریل و قطار ۹

۲-۵ نیازمندیهای سازه خطوط پرسرعت ۹

۲-۶ تاریخچه قطار سریع السیر و سوابق تاریخی و تکنیک های بهسازی در خطوط راه آهن کشورهای دیگر ۱۰

۲-۷ تکنیکهای بهسازی زیرسازه خطوط موجود راه آهن ۱۰

۲-۸ اختلاط عمیق خاک به روش خشک ۱۳

۲-۹ ضوابط زیرسازی راه آهن سریع السیر ۱۸

۲-۹-۲-۱ بخشهای مختلف خاکریز ۱۹

۲-۹-۴-۱ مصالح زیربالاست ۲۴

۲-۹-۴-۲ مصالح لایه سابگرید ۲۶

۲-۹-۴-۳ مصالح خاکریز باربر ۲۶

۲-۹-۵-۱ انتخاب مقطع تیپ خاکریزها از لحاظ پایداری ۲۷

۲-۹-۵-۲ بارگذاری و ترکیب بار به منظور بررسی پایداری: ۲۸

۲-۹-۵-۳ روشهای تحلیل پایداری ۲۸

۲-۹-۵-۴ مقادیر پارامترهای خاک: ۲۹

۲-۱۰ مکانیزم خرابی در زیرسازه ۳۵

۲-۱۰-۱-۱ تغییر شکل پلاستیک تجمعی ۳۵

۲-۱۰-۱-۲ نشست تحکیمی ۳۶

۲-۱۰-۱-۳ یخ زدگی ۳۶

۲-۱۰-۱-۴ فرسایش با پمپاژ گل ۳۶

۲-۱۰-۲-۱ شکست برشی افزایشی ۳۷
۲-۱۰-۲-۲ شکست برشی توده‌ای ۳۸
۲-۱۱ کلیات ۳۹
۲-۱۲ اندازهگیری عملکرد بستر ۳۹
۲-۱۳ آزمون های آزمایشگاهی ۴۰
۲-۱۴ آزمونهای برجا ۴۲
۲-۱۵ روش‌های ژئوفیزیکی ۵۲
۲-۱۶ سوابق تاریخی نحوه استفاده از تکنیکهای بهسازی در خطوط راه آهن کشورهای دیگر ۵۵

فصل سوم:

مطالعات موردی رفع معایب زیرسازی درخطوط راه آهن شمال شرق کشورجهت ارتقاء سرعت۸۳

۳-۱ مقدمه ۸۴
۳-۲ محور گرمسار- نقاب ۸۴
۳-۲-۱-۱ مشخصات فنی زیرسازی خطوط موجود ۸۵
۳-۲-۱-۲اثر افزایش سرعت بر خاکبرداری ها ۸۸
۳-۲-۱-۳اثر افزایش سرعت بر خاکریزها ۹۰
۳-۲-۱-۴تحلیل باربری سطح نهایی خاکریز در برابر افزایش بار وارده از روسازی ۹۲
بررسی موردی و آزمایش های انجام شده کیلومتر ۳۸۱ تقاطع امام آباد ۹۳
۳-۲-۲-۱ دسته بندی ترانشه ها از نظر سیستم پایداری ۱۰۳
۳-۲-۲-۲ دسته بندی ترانشه ها از نظر جنس زمین ۱۰۳
۳-۲-۲-۳دسته بندی ترانشه ها از نظر شکل ظاهری مقطع ۱۰۴
۳-۲-۲-۴ترانشه های موجود در مسیر گرمسار -نقاب ۱۰۴
۳-۲-۷-۱ رفع خرابی های ناشی از نشست ۱۱۹
۳-۲-۷-۲ تعیین بخشهایی از مسیر که از لحاظ زیرسازی موجود مشکل افزایش سرعت دارد ۱۲۰
۳-۲-۷-۳ وضعیت زیرسازی کیلومتر ۴۸۱ واقع در اداره کل راه آهن شمال شرق ۱۲۵
۳-۲-۷-۴ وضعیت ترانشه کیلومتر 246 راه آهن شمال شرق ۱۲۷
۳-۲-۷-۵ سایر معایب مشاهده شده در طول بازدید و ارائه راهکار و تکنیک پیشنهادی ۱۲۷
۳-۲-۷-۶ عمده مشکلات این محور ۱۲۸
۴-۲-۷-۷- ارائه راهکار درخصوص زیرسازی خط محور گرمسار – نقاب ۱۲۹
۲-۴-۷-۸رفع خرابیهای ایجاد شده ناشی از آسیب دیدگی خاکریز ۱۲۹
۳-۳ جمع بندی و نتیجه گیری ۱۴۲

فصل چهارم ۱۴۳

نتیجه گیری و توصیه ها ۱۴۳

۴-۱ نتیجه گیری ۱۴۴
منابع و مراجع ۱۴۸

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱) نمایش شماتیک اجرای اختلاط خشک خاک در عمق..... ۱۳

شکل (۲-۲) نمونه ای از دیوارهای مهار شده سپری فولادی در ترکیب با برمهای تثبیت کننده خاکریز:.....۱۵

(الف) اصول تکنولوژی، و (ب) عکس دیوار در محلی از ویتموسن، سوئد.....۱۵

شکل (۲-۳) قاعده دال تخت بتنی بر روی شمع.....۱۵

شکل (۲-۴) نمونه میخ کوبی خاک– با احترام به دانشگاه بیرمنگام انگلستان.....۱۶

شکل(۲-۵) مقطع تیپ خاکریزها و بخشهای مختلف آن.....۲۰

شکل (۲-۶) نمودار دانه بندی پیشنهادی برای مصالح زیربالاست (اندازه ذرات به میلیمتر) .۲۵

شکل (۲-۷) امواج حاصل از عبور قطار که از ۲/۵ تا ۵ متر زیر سطح سابگرید می رسد..... ۳۰

شکل(۲-۸) استفاده از روشهای تثبیت خاک در بخش سابگرید.....۳۲

شکل(۲-۹) اجرای لایه بتن آسفالتی در سطح خاکریز.....۳۲

شکل(۲-۱۰)استفاده از بهسازی در لایه های خاک و اجرای دال باربر زیرلایه زیربالاست ۳۳

شکل(۲-۱۱) استفاده از روسازی بتنی با سختی کافی..... ۳۳

شکل(۲-۱۲)نمونه های روشهای اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پلها..... ۳۵

شکل(۲-۱۳)تغییرشکل پلاستیک تجمعی.....۳۶

شکل(۲-۱۴) شکست برشی افزایشی بستر..... ۳۷

شکل (۲-۱۵) لغزش خاکریز..... ۳۸

شکل (۲-۱۶) آزمون برش پرهای(Seling and Waters, 1994).....۴۳

شکل (۲-۱۷) الف)دیاگرام آزمون بارگذاری صفحه که نشان دهنده اندازههای گوناگون موجود صفحهها می باشدب) آزمون بارگذاری صفحه که در زیر یک کامیون(WSDOT) اجرا میشود.....۴۳

شکل (۲-۱۸) آزمون نفوذ استاندارد با نمونهگیر دوکفهای(Selig and Waters, 1994).....۴۴

شکل(۲-۱۹) مخروط CPTU معمولی سه مکان ممکن برای اندازهگیری فشار حفره ای

نشان میدهد..... ۴۵
(Selig and Waters, 1994)..... ۴۵
شکل ۲-۲۰ نفوذسنج پاندا(LCPC and CETE, 2007)..... ۴۶
شکل ۲-۲۱ دیلاتومتر تخت(Marchetti, 1980)..... ۴۷
شکل ۲-۲۲ LWFD در لایه بستر خط در اتریش استفاده میشود..... ۴۷
شکل ۲-۲۳ پورتانسمتر(LCPC)..... ۴۸
شکل ۲-۲۴ دستگاه آزمایش DyStdFiT..... ۴۹
شکل ۲-۲۵ دستگاه GPR مجهزبه سیستم های آنتن بر روی درزین ریلی CRAB..... ۵۲
شکل ۲-۲۶ ابزار کنترل سیستم چندالکترودی در حین بررسی میدانی..... ۵۳
شکل ۲-۲۷ ابزار لرزه ای مورد استفاده در حین اندازه گیری میدانی..... ۵۴
شکل (۲-۲۸) نقشه نشان دهنده محل‌هایی که بهسازی زمین برای خطوط راه‌آهن آلمان بسمت برلین انجام شده‌است..... ۵۵
شکل (۲-۲۹) (چپ) عکس نشان دهنده ۳ دستگاه ویبراتور که در حال انجام بهسازی زمین برای سیستم قطاری ICE تندرو می‌باشند. (راست) نمایی از قطار ICE تندرو با سرعت ۲۵۰ kmph بر..... ۵۶
شکل (۲-۳۰) خاکریز راه‌آهن تندرو بر بستر صلب با استفاده از روش جایگزینی ارتعاشی... ۵۷
شکل (۲-۳۱) بهسازی خاک با استفاده از ستون‌های سنگی در خاکریز Schonhausen..... ۵۸
شکل (۲-۳۲) پروفیل خاک و نتایج قبل و بعد از CPT در خاکریز Schonhausen..... ۵۸
شکل (۲-۳۳) بهسازی خاک با استفاده از ستون‌های سنگی نیمه دوغابی در خط تندرو هامبورگ-برلین..... ۵۹
شکل (۲-۳۴) تجهیزات جایگزینی ارتعاشی نصب شده بر روی واگن راه‌آهن بمنظور عملیات بهسازی زیرسازی خط راه‌آهن در حال بهره برداری..... ۶۱
شکل (۲-۳۵) نقشه اسکاندیناوی (نقاط موقعیت‌هایی را که بهسازی زمین با استفاده از DSM خشک در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۲ انجام شده‌است را نشان می‌دهد)..... ۶۱
شکل (۲-۳۶) نصب ستون‌های سیمان-آهک برای تثبیت خاک مجاور مسیر راه آهن..... ۶۳
شکل (۲-۳۷) شکل نمونه که جزئیات روش آزمایش FOPS را نشان می‌دهد..... ۶۳

شکل (۲-۳۸) عملیات نصب و نگهداری در محل..... ۶۶
شکل (۲-۳۹) نمونه‌ای از مقطع عرضی نشان دهنده روش نگهداری و سیستم نگهبان T-WALL..... ۶۸
شکل (۲-۴۰) نمونه عکس نشان دهنده اجرای تزریق دوغاب خاکستر سرباره/آهک ۶۹
شکل (۲-۴۱) نتایج آزمون‌های نفوذ مخروط قبل و پس از بهسازی..... ۶۹
شکل (۲-۴۲) عکس‌های ریل قبل و پس از بهسازی..... ۷۰
شکل (۲-۴۳) عملکرد دوغاب ریزی فشاری برای خاکریز راه آهن..... ۷۲
شکل (۲-۴۴) نقشه مالزی نشان دهنده محل‌هایی است که بهسازی زمین انجام شده‌است.. ۷۲
شکل (۲-۴۵) مقطع عرضی نشان دهنده دیوار ترانشه ای جدا کننده و ستون‌های سنگی زیر مسیر..... ۷۳
شکل (۲-۴۶) مقطع عرضی نشان دهنده دیوار خاکی مسلح، خط KTM موجود مجاور و روش بهسازی زمین..... ۷۴
شکل (۲-۴۷) عملیات جایگزینی ارتعاشی در طول خط راه‌آهن KTM در Gurun برای کارخانه کود سازی Petronas Kedah..... ۷۵
شکل (۲-۴۸) aنمونه برپا سازی برای تراکم ارتعاشی در طول هم تراز راه آهن..... ۷۶
شکل (۲-۴۸) b نمونه نتایج آزمون CPT قبل و بعد از تراکم..... ۷۶
شکل (۲-۴۹) مسیر راه‌آهن در میان جنگل پس از تمیزسازی محل و ساخت جاده دسترسی در CH 34000..... ۷۷
شکل (۲-۵۰) آزمون بارگذاری صفحه با استفاده از جرثقیل زنجیری بعنوان عکس العمل برای آزمون‌های تا ۵۰..... ۷۸
شکل (۲-۵۱) نمونه نتایج CPT در محل انجام عملیات جایگزینی ارتعاشی..... ۷۹
شکل (۲-۵۲) نمای شماتیک بهسازی میانه مسیر به منظور اتصال خط آهن موجود..... ۸۰
شکل (۲-۵۳) تصویر عملیات جایگزینی ارتعاشی به منظور اتصال مسیر موجود..... ۸۰
شکل (۲-۵۴) طرح بهسازی جاده گذرنده از روی خاکریزهای خط آهن..... ۸۱
شکل (۲-۵۵) شمای عملیات بهسازی..... ۸۲
شکل(۳-۱) نمایی از مقاطع تیپ زیرسازی مربوط به سال ۱۳۳۰..... ۸۶

شکل ۳-۲ مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها از ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۷..... ۸۹
شکل ۳-۳ مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها بعد از سال۱۳۵۷..... ۸۹
شکل ۳-۴ مقطع تیپ خاکریزها از ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰.....۹۱
شکل ۳-۵ مقطع تیپ خاکریزها ازسال ۱۳۵۰ تا۱۳۵۷.....۹۱
شکل ۳-۶ مقطع تیپ خاکریزها بعد از سال ۱۳۵۷.....۹۲
شکل(۳-۷) نمایی از دستگاه حفاری حین عملیات حفاری.....۹۶
شکل ۳-۸ محل حفاری گمانه بر روی عکس هوایی.....۹۶
شکل(۳-۹) منحنی تغییرات اعداد اصلاح نشده SPT در گمانه های ماشینی.....۹۷
شکل (۳-۱۰) منحنی تغییرات سرعت امواج تراکمی و برشی با عمق در داخل گمانه.....۹۹
شکل (۳-۶) مشخصات ترانشه های مسیر را به تفکیک نواحی نشان می دهد..... ۱۰۵
شکل(۳-۵)مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها از 1306 تا1357 .....۱۰۶
شکل (۳-۶) مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها بعد از سال۱۳۵۷..... ۱۰۷
شکل (۳-۷) مقطع تیپ خاکریزها از 1306 تا1350 ..... ۱۰۸
شکل (۳-۸) مقطع تیپ خاکریزها ازسال 1350 تا1357 .....۱۰۹
شکل (۳-۹) مقطع تیپ خاکریزها بعد از سال1357 .....۱۰۹
شکل (۳-۱۰) بیرون زدن تجهیزات سر چاهی به علت نشست زمین اطراف ایستگاه امروان ۱۱۶
شکل(۳-۱۱) ترک های ایجاده شده در پوسته زمین بر اثر فرونشت ایستگاه گرداب..... ۱۱۷
شکل(۳-۱۲) ترک های ایجاده شده در پوسته زمین بر اثر فرونشت ایستگاه آزادور..... ۱۱۷
شکل(۳-۱۳) کج شدگی و شکست بلوک سیمانی جدار چاه (حومه روستای بکران)..... ۱۱۸
شکل(۳-۱۴) عدم احداث کانال در داخل ۱۲۰
شکل (۳-۱۵) نشست و رانش زیرسازی خط در بلاک.....۱۲۰
شکل(۳-۱۶) ترکهای طولانی در خاکریز خط.....۱۲۰

شکل (۳-۱۷) وجود ترک در زیرسازی بلاک..... ۱۲۱
شکل (۳-۱۸) روان آب ها و شکل (۳-۱۹) جمع شدن روان آب ها..... ۱۲۱
شکل(۳-۲۰)ترک خوردگی در زمینهای اطراف خط ۱۲۲
شکل(۳-۲۱) نشست کنار خط و پای خاکریز در..... ۱۲۲
شکل(۳-۲۲) نشست و رانش و گسیختگی خاکریز خط ۱۲۲
شکل (۳-۲۳)ریزشی بودن ترانشه مشرف به خط..... ۱۲۲
شکل(۳-۲۴) نشست زمین در کیلومتر ۴۸۱ ..... ۱۲۳
شکل (۳-۲۵) ترکها و حفره های عمیق ایجاد شده در نزدیکی..... ۱۲۳
شکل(۳-۲۶) ترک ایجاد شده درخاکریز مابین میاندره..... ۱۲۳
شکل (۳-۲۷)نمایی دیگر از ترکهای موجود دیوار بوجود آمده..... ۱۲۳
شکل (۳-۲۸) شکاف ایجاد شده در زیرسازی..... ۱۲۴
شکل (۳-۲۹) آسیب دیدگی دیوار هدایت آب مربوط به پل ۴ نشست..... ۱۲۴
شکل (۳-۳۰) وضعیت نامناسب زیرسازی در خاکریز..... ۱۲۴
شکل (۳-۳۱) ضعیت زیرسازی در قبل و بعد از پل..... ۱۲۴
شکل(۳-۳۲) نمایی ازبالا دست محور..... ۱۲۶
شکل(۳-۳۳) محدوده اطراف خط آهن و شرایط ترکهای کنار آن..... ۱۲۶
شکل (۳-۳۴) بخشهایی از ترک خوردگی که توسط..... ۱۲۶
خاک پر شده است..... ۱۲۶
شکل(۳-۳۶) ترکهایی که در زیر بالاست مشخص می باشد..... ۱۲۶
شکل(۳-۳۸) ایستگاه ابریشم..... ۱۳۱
شکل (۳-۴۱) پاشش آهک..... ۱۳۱
شکل(۳-۴۲) آب پاشی و میکس خاک..... ۱۳۱
شکل(۳-۴۳)استفاده از تجهیزات آلمانی و متراکم کردن..... ۱۳۱
شکل(۳-۴۶) آزمایش تراکم..... ۱۳۲
شکل(۳-۴۷) نصب تراورزها..... ۱۳۲
شکل(۳-۴۸) نصب ریل..... ۱۳۲

شکل(۳-۵۰)پخش بالاست ۱۳۳

شکل(۳-۵۲) کروکی ابعاد درواسیون قابل احداث در کنار خط.....۱۳۴

شکل (۳-۵۳) نحوه اتصال دو نوع خط بالاستی و بدون بالاست به یکدیگر..... ۱۳۸

شکل (۳-۵۴) استفاده از دال بتنی برای افزایش سختی خط بالاستی.....۱۳۹

شکل (۳-۵۵) نمونه روش های اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پل ها.....۱۴۱

شکل (۳-۵۶) کروکی اجرای منطقه انتقال بین خط و پل..... ۱۴۲

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) شرح مختصر و اصول روش های مقاوم سازی خاک..... **۱۱**

جدول(۲-۲) مقایسه بهسازی خاک های دانه ای سست با ویبراتورهای عمیق [۳۴]..... **۱۶**

جدول (۲-۲) دسته های کیفی خاک..... **۲۳**

جدول (۲-۳) تعیین ظرفیت مقامت سطح زیر سازی خط..... **۲۴**

جدول (۲-۴) مقادیر حداقل ضریب اطمینان در مقابل لغزش در مورد خاکریزها [۱]..... **۲۹**

جدول ۲-۵ قابلیت کاربرد آزمایشهای استاندارد برجا برای پارامترها و شرایط گوناگون خاک..... **۵۱**

جدول (۲-۶) فهرست انتخابی از روش‌های بهسازی زمین و شالوده اجرا شده در پروژه‌های راه‌آهن در U.S.A..... **۶۵**

جدول(۳-۱) جایگزینی مصالح مناسب در کف ترانشه ها بر اساس مشخصات کامپساکس..... **۸۷**

جدول(۳-۲) تاریخ احداث خطوط محور گرمسار-نقاب..... **۸۸**

جدول (۳-۳) پارامترهای مربوط به نوع زمین و میزان خطر لرزه خیزی (استاندارد2800)..... **۹۵**

جدول(۳-۴) مشخصات و مختصات محلی حفاری یک گمانه ماشینی حفاری شده..... **۹۵**

جدول (۳-۵) سرعت امواج تراکمی و برشی و پارامترهای دینامیکی آزمایشات لرزهای درگمانه..... **۹۹**

جدول (۳-۶) محاسبه سرعت متوسط موج برشی در داخل گمانه..... **۱۰۰**

جدول (۳-۷) خلاصه نتایج و طبقه بندی خاک بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و آیین نامه..... **۱۰۱**

جدول (۳-۸) فهرست آزمایشهای آزمایشگاهی..... **۱۰۱**

جدول (۳-۹) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لایه خاک مورد مطالعه..... **۱۰۲**

فصل اول

مقدمه

الذی جعل لکم الارض مهدا و سلک لکم فیها سبلا و انزل من السماء ماء فاخرجنا به ازواجا من نبات شتی

سوره طه –آیه ۵۳

همان خدایی که زمین را آسایشگاه شما قرارداد و در آن راهها برای روابط و سفر و حوائج خلق پدید آورد و هم از آسمان آب نازل کرد تا به آن آب آسمانی انواع نباتات مختلف از زمین برویانیدیم .

۱-۱ کلیات

یکی از ابعاد مهم توسعه درهمه جوامع توجه به توسعه اقتصادی است. شایدبه همین دلیل نخستین برداشتی که عمدتا از واژه توسعه به ذهن می آید، توسعه به معنا و مفهوم اقتصادی آن باشد . توسعه و پیشرفت اقتصادی همواره یکی از مهمترین دغدغه های بشر بوده و به اعتقاد اغلب کارشناسان سنگ بنای هر تحول و توسعه دیگری است .

در قرآن مجید نیز به توسعه اقتصادی توجه ویژه ای شده است به نحوی که بر اساس آیات الهی نه تنها پیشرفت های اقتصادی و علمی و فنی درشکل گیری تمدنها نقش داشته است. بلکه براین نکته تأکید گردیده که یکی ازمسئولیتها و وظایف انسان در زمین به عنوان خلیفه الهی و اشرف مخلوقات آبادانی زمین و استعمارآن است .

خداوند متعال در آیه ۶۱ سوره هود به صراحت به این وظیفه و مسئولیت جامعه بشری درقبال زمین اشاره می کند و می فرماید :

هوانشاکم من الارض واستعمرکم فیها

او شمارا از زمین آفرید و شما را برای آبادانی زمین برگماشت.

یکی ازمولفه ها وعناصر اصلی توسعه اقتصادی راه و ترابری است به این معنا که ایجاد و توسعه راه ها امنیت آنها و بهره گیری از ابزار و تجهیزات مناسب حمل و نقل نه تنها نقش بنیادین و اساس در توسعه اقتصادی دارد بلکه راهها در ابعاد دیگر توسعه نیز نقش مستقیم و سازنده ای دارند.زیرا بدون

راهها امکان معاملات تجاری ، تبادلات فرهنگی سفرها و انتقال داده ها و یافته ها ازسرزمینی به سرزمین دیگر فراهم نخواهد شد. در آیات بسیاری از قرآن کریم نیز به مسئله راه ها و ترابری به عنوان یک نعمت توجه داده شده و از مردمان خواسته شده است که خداوند را بدان شکر و سپاس گویند .

در حال حاضر،با رشد شهرهای بزرگ وافزایش سفرهای بین شهری و درون شهری لزوم ایجاد سامانه های حمل و نقل همگانی با ظرفیت و عملکرد بالایی که دارای مشخصات عملکردی بالایی بوده و بتوانند حجم بالایی از مسافر و بار را جابه جا کنند بیشتر شده است .

سامانه هایی همچون قطارهای مسافربری مترو، اتوبوسهای سریع السیر و ... قابلیت جابجایی حجم بالایی از مسافر را دارا هستند . این سامانه ها به دلیل سرعت و قابلیت اطمینان بالا مورد استقبال ویژه مسافران قرارگرفته و به دلیل استفاده قابل توجه توسط عموم جوامع مطلوبیت سامانه ها ی حمل و نقل عمومی را افزایش داده اند مطلوبیت بالای سامانه حمل و نقل همگانی باعث می شود این سامانه ها بتوانند با خودروهای شخصی رقابت کرده و کمک قابل توجهی به کاهش حجم ترافیک و تبعات منفی ناشی ازآن شوند . بنابراین بالا بردن دامنه استفاده و مطلوبیت سامانه های حمل و نقل عمومی برای جلوگیری از رشد بی رویه استفاده از خودروهای شخصی ضروری است و باید مورد توجه مسئولین و متولیان این حوزه قرار گیرد .

توسعه حمل و نقل ریلی با تکیه بر افزایش سرعت و بار محوری در سالهای اخیر با پیشرفت قابل ملاحظه ای روبرو بوده است.درکناراین دو عامل،سازگاری قابل ملاحظه این سیستم حمل ونقل با محیط زیست, توان رقابتی قابل توجهی را برای این سیستم در مقایسه با سایر سیستم های حمل و نقلی ایجاد نموده است. اما در عین حال توسعه خطوط ریلی جدید و یا بازسازی و بهسازی خطوط قدیمی گاها با چالش های قابل ملاحظه ای روبرو است که در این میان می توان به برآورده نمودن الزامات بهره برداری با دیدگاه باربری و نشست اشاره نمود. همان گونه که می دانیم زیرسازی قسمتی از راه آهن می باشدکه همانند پی نواری وظیفه تحمل و انتقال بارهای وارده از مجموعه ناوگان باری و

مسافری رابه زمین طبیعی بر عهده دارد. یکی از اقدامات موثر در افزایش سرعت قطارها ,ایجادبستری مناسب جهت اعمال بار محوری راه آهن به آن است. تا کنون بهسازی زیرسازی در خلال عملیات بازسازی خطوط به دلیل عدم توانائی اجرای آن در زمان های مورد انتظار بخش بهره برداری راه آهن که معمولا از ۸ ساعت در روز فراتر نمی رود,صورت نمی گرفت ودر حال حاضر با توجه به ضروت افزایش سرعت و بار محوری قطارها این مهم را غیرقابل اجتناب نموه است . این مساله در خصوص بستر های سست دانه ای وبستر های ریز دانه اهمیتی ویژه می یابد. از این رو در ادبیات فنی مهندسی ژئوتکنیک راهکار های مختلفی بمنظورارزیابی بستر خطوط راه آهن ارائه گریده است که این راهکارها در قالب استفاده از روشهای آزمایشگاهی ,آزمایشات برجا و ژئوفیزیکی طبقه بندی گردیده است .همچنین بمنظور بهسازی و پایدار سازی بستر راهکارهای مختلفی ارائه شده است. این راه حل ها بطور کلی به دو دسته روشهای تثبیت مکانیکی و شیمیائی تقسیم بندی می شوند. بکار گیری همگی این روشها در خصوص خطوط راه آهن تحت بهره برداری با محدودیتهایی روبرو است و لیکن روشهای بهسازی و تثبیت قابل کاربرد در این شرایط ,بکار گیری روشهایی همچون تزریق و تزریق تحت فشار، ستون های سنگی، ریز شمع ها، تراکم ارتعاشی به روش شناوری، اختلاط عمیق، و.. محدود می شوند. دامنه بکارگیری این روش ها در تثبیت بستر راه آهن در کشورهای مختلف متفاوت است. بطور مثال در بخشی از شبکه راه آهن موجود در کشور آلمان مانندخط هامبورگ – برلین و هانوفر –برلین بمنظور دو خطه نمودن مسیر موجود از تزریق برای بهسازی و مقاوم سازی بستر استفاده گردید .در نمونه دیگری در بخشی از خطوط راه آهن اتریش که دارای کیفیت ضعیف بوده است از اجرای ستون های سنگی بین تراورسها برای تقویت زمین استفاده گردیده است. در کشور آمریکا نیز در خط راه آهنCSXدر جرجیا که بر روی چاه فاضلاب قرار گرفته بود بمنظور تثبیت بستر از تزریق تراکمی استفاده شده است. این تحقیق به مقایسه روش های مختلف ارزیابی بستر خطوط راه آهن,پیش بینی مشکلات آتی همراه با مقایسه تکنیکهای مختلف بهسازی زیرسازه خطوط ریلی موجود به منظور ارتقاء

سرعت ازنظر دامنه کاربرد,اثر بخشی و ویژگی های فنی ,الزامات طراحی و اجرا و می باشد.

۱-۲ بیان مسئله

به منظورارتقاء خطوط ریلی موجود بهبود شرائط زیرسازه با استفاده از تکنیکهای بهسازی خاک باید اجرا گرددولیکن سه مسئله , باعث پیچیده شدن این موضوع می‌گردد.

اولا،شناخت خرابیهای ناشی از افزایش سرعت در زیرسازه خطوط ریلی ایجاد می شود ضروری است که در زیرسازه کمی از مشخصات خطوط ریلی رفتارخاک در نزدیکی شمع در زمان نصب شمع و پس از اتمام عملیات نصب وجود دارد. این تأثیرات پیچیده می‌بایست مورد مطالعه قرارگیرند تا بتوان یک یک مدل‌رفتاری مناسب را تهیه و یا انتخاب کرد و نتایج را با شبیه سازی های عددی اثبات کرد.

مسئله دوم،شناخت نحوه بررسی زیرسازه با استفاده ازروشهای آزمایشگاهی, درجا و ژئوفیزیکی و و دستیابی به خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح زیرسازه در عمق تاثیر تنش ناشی از حرکت قطارو پیش بینی مشکلاتی که در آینده به منظور ارتقاء خطوط با آن روبرو می شویم می باشد.

مسئله سوم،درک تکنیکهای مختلف بهسازی و مقایسه آنهااز نظر دامنه کاربرد,اثر بخشی و ویژگی های فنی ,الزامات طراحی و اجرا و می باشد.

فهم بهتر رفتار زیرسازه در زمان ارتقاء سرعت باعث پیش‌بینی بهتر مشکلاتی می گردد که در آینده با آن روبرو می شویم.همچنین بمنظور جلوگیری از این مشکلات تکنیکهای بهسازی خاک زیرسازه مفید و اثر بخش می باشد و باعث کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری در آینده می گردد.

۱-۳ اهداف و محدوده مطالعه

هدف اصلی از انجام این مطالعه،مقایسه تکنیکهای مختلف بهسازی زیرسازه خطوط ریلی موجود به منظور ارتقاء سرعت ازنظر دامنه کاربرد,اثر بخشی و ویژگی های فنی ,الزامات طراحی و اجرا

و می باشد. بسیاری از روش های امروزی مقاوم سازی خاکهای زیرسطحی در عبور و مرورقطارها در شبکه راه آهن اختلال ایجاد می کنند و آن را به تعویق می اندازند. این مطالعه ،محدود به تکنیکهائی می باشد که بهسازی به صورتی اجرا شود که کمترین تاثیر را بر تردد قطارها داشته باشد یا حداقل تاثیر کمی بر آن داشته باشد.

فصل دوم

مروری بر متون فنی و سوابق تاریخی

مقدمه :

در این فصل قطار سریع و نیازمندی‌های آن وتکنیکهای بهسازی زیرسازی و ضوابط آن و روشهای مختلف ارزیابی عملکرد زیرسازه ارائه می‌گردد .

۲-۱ حمل و نقل سریع ریلی

حمل و نقل ریلی را وقتی سریع می نامند که ۲ مشخصه زیر را دارا باشد:

۱. قطارهای سریع السیر مانند قطارهای TGV[۱] فرانسه که روی خطوط معمولی با سرعت بالا حرکت می کند.

۲. خطوط سریع السیر

۲-۲ قطار سریع

عمده نظرات در تعریف قطار سریع، سرعت قطار را بیشتر از ۱۶۰ کیلومتر در ساعت دانسته اند و برخی آن را تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت می دانند.

۲-۳ نیازمندیهای خطوط پرسرعت

داشتن پی پایدار برای مسیر نخستین و ضروری‌ترین نیازمندی برای اجرای قطارهای پرسرعت است. بدین منظور لازم است ناحیه تحت مطالعات ژئوتکنیکی و جغرافیایی تفصیلی قرار گیرد. همچنین لازم است مطالعات هیدرولیکی و آبی برای طراحی پل‌ها، تونل‌ها و خاکریزها انجام شود. طراحی جامع خاکریز نیازمند ضریب اطمینان کافی درمقابل گسیختگی شیب,گسیختگی عمیق وگسیختگی ظرفیت باربری است وعلاوه بر این، نشست باید بصورت بلندمدت تثبیت شود تا بالاترین استاندارد برای هندسه خط حفظ شود. در صورتی که مسیر طراحی‌شده از نواحی زلزله‌خیز عبور می‌کند، نیاز است

---

۱ - نام قطار های پر سرعت فرانسه ، نسل جدید آنها با نام AGV است

که اقدامات ویژه‌ای به‌منظور جلوگیری از روان‌سازی انواع سازند خاک در هنگام زلزله انجام شود. بالاست[1] نیز باید استاندارد بسیار بالایی را دارا باشد.

۲-۴ خصوصیات کلی خط پرسرعت از لحاظ طراحی ریل و قطار

نظر به سرعت بالا در حین عبور قطار از روی ریل خصوصاً پیچ ها ، وضعیت آن ناپایدار است . لذا برای دست یابی به پایداری ریل و قطار نیاز است طول قوسهای حداقل ۳۰۰۰متر ارتقا داده شود ، تعداد چرخهای لکوموتویو زیاد و با قدرت وسرعت بالا (عموماً به صورت برقی) نیروی محرکه را ایجاد کنند ، شیب ریل ها بین ۲ نقطه مشخص با توجه به سرعت بالا از حد مجاز بیشتر نباشد . به طور خلاصه می توان این خصوصیات را به ۳ دسته تقسیم نمود .

الف- قوسهای مسطح ب- بار محوری کم ، طول کوتاه وکشش پرقدرت قطارها

ج- شیب زیاد برای به حداقل رساندن طول مسیر بین دو نقطه قابل‌قبول باشد

۲-۵ نیازمندیهای سازه خطوط پرسرعت

۱.مقاومت برشی کافی با فراهم‌کردن خاک مناسب و متراکم‌سازی

۲.کنترل نشست در طول دوره سرویس‌دهی

۳.حداقل مقادیر مدول‌های بستر خط ($45\ Mpa <$ در زیر بالاست)

۴.عمق تأثیردینامیکی بار چرخ

۵.حفظ دقیق تلورانس خط

۶.محدودسازی نشست تفاضلی در سرویس دهی(SNCF[2] ۳۰ میلی‌متر در ۳۰ متر، مالزی ۱۰ میلی-متر در ۱۰ متر)

---

۱ - بالاست لایه‌ای از مصالح سنگی شکسته با قطر متوسط ۲۰تا۶۰ میلی‌متر است که مجموعه تراورس‌ها و ریل بر روی آن قرارگرفته

۲ - آیین نامه راه آهن کشور فرانسه

۷. طرح آزمایش بازرسی ITP[1]؛ آزمایش اطمینان میدانی

۲-۶ تاریخچه قطار سریع السیر و سوابق تاریخی و تکنیک های بهسازی در خطوط راه آهن کشورهای دیگر

افتتاح اولین خط در سال۱۹۶۴ به نام شین کانسن بوده و تا سال۱۹۸۱ با سرعت کمی پیشرفت کرده تا در فرانسه با عنوان TGV کم کم شروع به فراگیری نمود و هم اکنون سرعت قطارها هر روزه در حال افزایش است تنها در اروپا تا سال۲۰۰۵ در مجموع ۸۹۹۶ کیلومتر از این خط مورد بهره برداری قرار گرفتند.

ژاپن با رکورد ۸۰۰۰ کیلومتر خط سریع السیر و ۱۴۰۰ میلیارد نفر کیلومتر جابجایی مسافر تا سال ۱۹۹۶ رکوردار بوده است و فرانسه نیز توسعه یافته ترین شبکه ریلی سریع به نام TGV را در اروپا دارد. که همگی جهت ارتقاء سرعت در برخی نقاط با مشکلاتی روبرو بوده اند هر کدام با تکنیکی نسبت به حل مشکل اقدام نموده اند که لازم است به عنوان پیش نیاز تکنیکها به طور خلاصه شرح داده شود.

۲-۷ تکنیک‌های بهسازی زیرسازه خطوط موجود راه آهن

۲-۷-۱ کلیات

جهت مقاوم سازی خاک های زیر سطحی ۲ راه وجود دارد

۱. مسدود کردن خط و برداشتن تراورس ها و بالاست (شن و ماسه های اطراف خط آهن) و بعضاً خاکبرداری و خاکریزی که به دلیل قطع درآمد، هزینه زیادی را متحمل خواهیم شد به طور مثال درصد هزینه های پروژه تثبیت خاک به روش ستونهای آهکی سیمانی در لدزگارد سوئد به این شرح

---

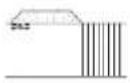
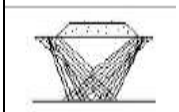
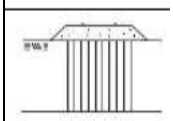
۱ - آزمون و بازرسی (inspection and test plan) همانطور که از عنوانش پیداست، مدرکی است که فعالیتهای سازنده، پیمانکار و بازرس شخص ثالث را بطور خلاصه مشخص نموده است

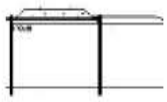
است.

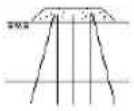
ستونهای آهکی – سیمانی =۱۶٪ بررسی طرح۲۱٪ مدیریت پروژه ۷٪ پی ریزی ۳۳٪ هزینه های خط و مسدودی آن ۲۳٪ [۴۹]

۲. تثبیت لایه های زیرین بدون متوقف کردن عبور و مرور که به طور خلاصه در جدول زیر برخی اصول و روش های رایج بیان شده است.

جدول (۲-۱) شرح مختصر و اصول روش های مقاوم سازی خاک

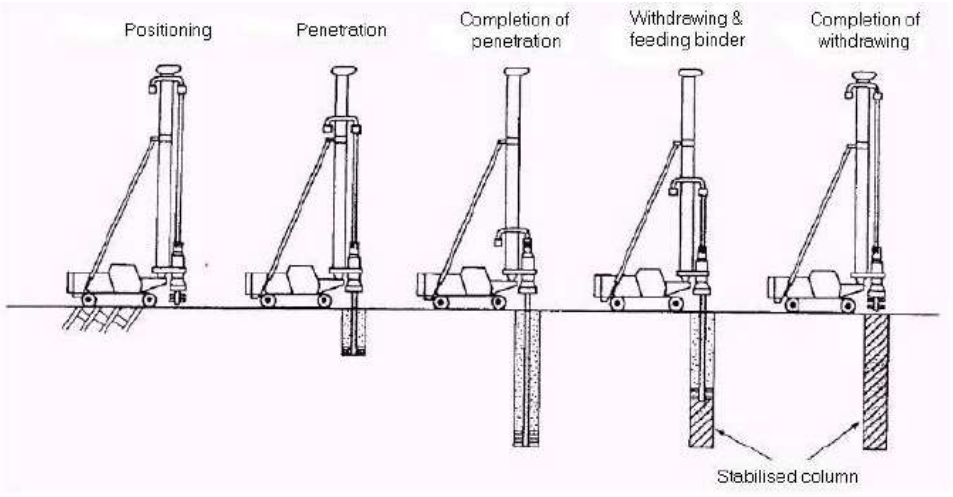
کاهش نشست پی	افزایش پایداری	خاکهای مناسب	بدون تأثیر برعبور و مرور اجرا می شود	قاعده	روش	طرح
	×	روش مرطوب: بیشتر خاکهای نرم؛ روش خشک: خاکهای ریزدانه نرم	بله	خاک محل مورد نظر را با مواد سیمانی جهت تشکیل ترکیب عمودی مخلوط می کند	الف) اختلاط عمیق کنار خاکریز راه آهن	
×	×	روش مرطوب: بیشتر خاکهای نرم؛ روش خشک: خاکهای ریزدانه نرم	بله	خاک مورد نظر را با مواد سیمانی جهت ایجاد ترکیب مورب سخت در زمین مخلوط می کند	الف) اختلاط عمیق مورب در زیر خاکریز نصب شده است	
×	×	روش مرطوب: بیشتر خاکهای نرم؛ روش خشک: خاکهای ریزدانه نرم	خیر(بله، در صورتیکه هنگامیکه عبورومرور صورت نمی گیرد انجام شود)	خاک محل مورد نظر را با مواد سیمانی جهت تشکیل ترکیب عمودی مخلوط می کند	الف) اختلاط عمیق، داخل خط آهن و خاکریز نصب شده است	
×	×	اکثر خاکها	بله، مگر اینکه پایین خاکریز نصب شده باشد)	خاک محل مورد نظر را جهت تشکیل ترکیب عمودی می ساید و با مواد	ب) روش تزریق دوغاب با فشار بالا	همانند سه شکل بکار رفته برای اختلاط عمیق

				سیمانی مخلوط می کند		
	×	خاک رس	بله	مواد متراکم شده در مجاور خاکریز ایجاد می شود. دیوارهای تیغه موجب مقاومت در برابر حرکتهای افقی می شوند.	پ) برمهای پایدار کننده، به تنهایی یا در ترکیب با دیوارهای انکر شده	
×	×	حفره های خاکهای دانه ای	بله	دوغاب کمی به داخل زمین پمپ می شود که این کار خاک را جابه جا و متراکم کرده و یا فضاهای خالی را با سنگ پر می کند.	ت) تزریق تراکمی	
×	×	انواع خاکها	خیر(بله، اگر هنگامیکه عبور و مرور صورت نمی گیرد انجام شود)	قراردادن پایه نصب شمع ها بر روی دو طرف ریل و دال های پیش ساخته ای که در فواصل کوتاهی از توقف عبور و مرور بر روی شمع ها ثابت شده اند.	ث) دال بتنی بر روی شمع ها	
	×	انواع خاکها	خیر (بله، اگر هنگامیکه عبور و مرور صورت نمی گیرد انجام شود)	میخ کوبی خاک میان تراورس ها	ج) میخ کوبی خاک	

×	×	خاک های دانه ای(تراکم ارتعاشی) انواع خاکها (روشهای دیگر)	خیر(بله، اگر هنگامیکه عبور و مرور صورت نمی گیرد انجام شود)	تراکم خاک، انتقال بار به لایه های مناسب تر از طریق اصطکاک یا یاتاقان	چ) تراکم ارتعاشی- جایگزینی ارتعاشی (ستونهای سنگی)- ستونهای سنگی تزریقی- ستونهای بتنی ارتعاشی)	

۲-۸ اختلاط عمیق خاک به روش خشک

روش اختلاط خشک خاک در عمق (DSM)[۱]، روش توسعه داده شده ستون سیمان-آهک می‌باشد [۱۸]این یک حالت بهسازی خاک شامل اختلاط مقدماتی و مکانیکی خاک برجا و خاک‌های سست با مواد مرکب سیمانی نظیر آهک، سیمان یا ترکیبی از هر دو با نسبت های مختلف می‌باشد. مخلوط خشک با رطوبت درون خک بهسازی با مقاومت برشی بیشتر و تراکم پذیری کمتر را نتیجه می دهد.



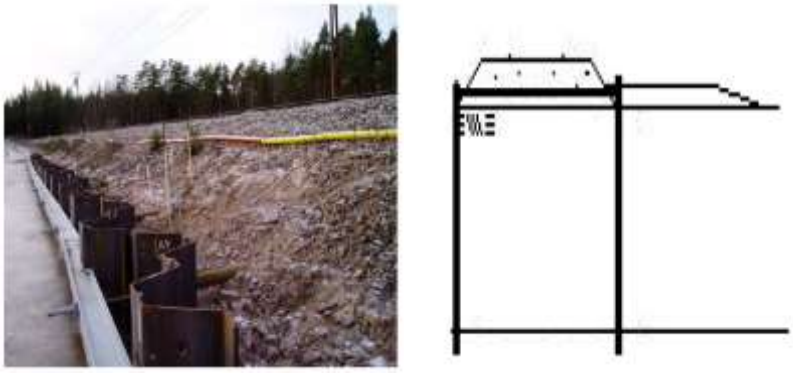
شکل (۲-۱) نمایش شماتیک اجرای اختلاط خشک خاک در عمق

[۱] Dry Deep Soil Mixing

این روش ابتدا برای کاهش نشست و افزایش مقاومت برشی و ظرفیت باربری توده خاک مرکب مـورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین می‌تواند در شرایطی که کاهش ارتعاشات ضروری است مورد اسـتفاده قرار گیرد. بعنوان مثال ارتعاشات ناشی از قطارهای تندرو می‌تواند بـا اسـتفاده از روش DSM خشـک کاهش داده شود تا عملکرد مناسبی‌ازسیستم ریلی حاصل شـود. فعالیـت هـای گسـترده در مؤسسـه ژئوتکنیکی سوئد انجام شـده‌اسـت و خواننـده بـرای جزئیـات بیشـتر بـه Broms (1999), Swedish Gotechnical…(1997) Holm et. al. (2002) ارجاع داده می‌شود.

۲-۸-۱دیوارهای انکر شده در ترکیب با برمهای پایدارکننده

اغلب برم های پایدارکننده مجاور خاکریز راه آهن ساخته می شوند تا از این طریق مقاومت خاکریز در مقابل گسیختگی پایداری را افزایش دهند. برم های پایدارکننده از مواد متراکم در متراژ کم تشـکیل شده اند و ارتفاع آن ممکن است ۱ تا ۲ متر باشد. استفاده از برم ها , روشی کارامد در افزایش پایداری بوده، و هزینه های آن اغلب با روش های دیگر در رقابت است. اما اشکال اصلی این روش این است که نشست ها یا اثرات ارتعاشی را کاهش نمی دهد. در واقع، در صورت به کارگیری برم ها نشست هـای خاکریز راه آهن ممکن است افزایش یابد. برای کاهش این اثر منفی می توان بـرم هـا را بـا دیوارهـای مستقر در امتداد خاکریز راه آهن ترکیب کرد. شکل (۲-۲) نمونه ای از دیوارهای سـپری فـولادی را که برای پایداری خاکریز به کار رفته اند را نشان می دهد. این دیوارها ممکن است به عنوان مثـال بـه صورت دیوارهای شمعی باشند که با استفاده از شمع های بتونی، فولادی یا چوبی ساخته مـی شـوند. سپرهای فولادی هم چنین به صورت دیوارهای دیافراگمی نیز مورد استفاده قرار می گرفتند. مصاالحی که برای ساختن دیوارهای باربر مورد استفاده قرار می گیـرد بـه شـرایط ژئـوتکنیکی، بـار و موقعیـت جغرافیایی پروژه بستگی دارد.



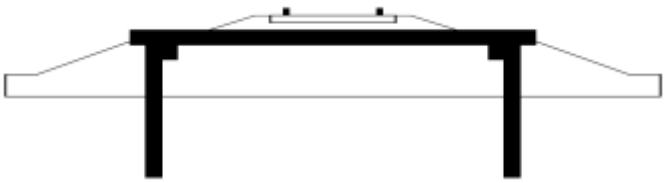
(ب) (الف)

شکل (۲-۲) نمونه ای از دیوارهای مهار شده سپری فولادی در ترکیب با برمهای تثبیت کننده خاکریز:

(الف) اصول تکنولوژی، و (ب) عکس دیوار در محلی از ویتموسن، سوئد

۲-۸-۲دال بتنی بر روی شمع ها

مزیت این روش این است که پایه ها و تیرهای طولی از پیش در دو طرف خط آهن نصب مـی شـوند، بدون اینکه اختلالی در عبور و مرور ایجاد کند. پس از تعویق کوتاه مدت سیر قطارها که عموما هنگام شب رخ می دهد، صفحه های پیش ساخته روی پایه ها قرار داده می شوند و سپس خط آهن مجـددا برای تردد قطارها باز می شود.. شکل (۲-۳)قاعده کلی صفحه بتنی بر روی شمع را نشان می دهد.

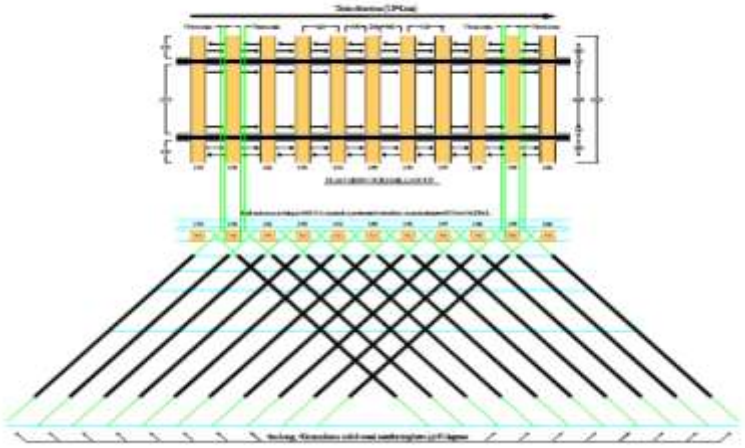


شکل (۲-۳) قاعده دال تخت بتنی بر روی شمع

۲-۸-۳میخ کوبی خاک

میخ های خاکی از داخل خط راه آهن و از میان فاصله بین تراورس ها به زیر زمین کوبیده می شوند. نمونه ای از میخ کوبی آزمایشی خاک در شکل(۲-۴) نشان داده شده است. میخ هـای خـاکی را مـی توان از میان بالاستها در تمام شیب ها و موقعیتها نصب کرد.. این تکنیک بسیار ساده و مـوثر اسـت و اختلال بسیار اندکی در تراز خط آهن ایجاد می کند. پس از استقرار میخ ها باید حفره ها را مجددا پر

کرد. این روش در مقایسه با روش های دیگری که شرح داده شد نسبتا ارزان بوده و بازده بالایی دارد. این روش و کارایی آن به توسعه و بررسی بیشتری نیاز دارد.



شکل (۲-۴) نمونه میخ کوبی خاک– با احترام به دانشگاه بیرمنگام انگلستان

جدول(۲-۲) مقایسه بهسازی خاک های دانه ای سست با ویبراتورهای عمیق [۳۴]

	نوع خاک متناسب	روش کار	معایب	محاسن	شکل
تراکم ارتعاشی	دانه ای نسبتاً تمیز (ریزدانه ۱۰الی۱۵٪) نظیر شن و ماسه	ویبراتور به وسیله جهت آب در خاک نفوذ می کند و به تدریج بیرون کشیده می شود و ستونی از خاک خوب تراکم شده را برجا می گذارد و حین تراکم سازی مصالح اضافی باید افزوده شود.	چون ممکن است تا۱۵٪ حجم کسر شود تا پایان اجرا عبور غیرممکن است	عدم استفاده از افزودنی در نتیجه صرفه اقتصادی	
جایگزینی ارتعاشی (ستون سنگی)	ماسه ای با ریزدانه زیاد>۱۵٪ خاک چسبنده مانند سیلت و رس	نصب ویبراتور عمیق در زمین نرم به ۲روش مرطوب(استفاده از جهت آب برای ایجاد حفره) و خشک(انرژی ویبراتور با یک نیروی رو به پائین) صورت گرفته و بعد از رسیدن به عمق مورد نظر در حین بالاکشیدن ویبراتور توسط سنگ متراکم در نهایت با قطر	تا پایان اجرا عبور غیرممکن	بهسازی ژئوتکنیکی از قبیل تراکم خاک بستر و افزایش دانسیته بهسازی کاهش نشست مقاومت برشی کاهش	

		۱۱۰۰mmتا۷۰۰mm پر می شوند.		گسیختگی افزایش توده از خاک تقلیل ارتعاشات زمینی تحکیم سریع خاک بستر	
ستونهای سنگی و دوغابی Cosc	خاک های نباتی یا هوازده که نمی توانند تکیه گاه جانبی خوبی باشند بالا بودن تراز آب زیرزمین	جهت پایداری جانبی ستونهای سنگی از دوغاب سیمان جهت بهم پیوستن سنگها و شن ها استفاده می شود. ویبراتور تا لایه سفت زمین پائین رفته و در آن حفره ای جهت پنجه تراکم ایجاد می کند و با دوغاب سیمان ستون مورد نظر را ایجاد کرده که ظرفیت باربری خارجی آن توسط آئین نامه طراحی شمع عمومی انجام می شود.	استفاده از مصالح افزودنی	سرعت اجرای بالا در زمین نرم	
ستونهای بتنی ارتعاشیVcc	آبرفتی ست نظیر خاک نباتی و رس نرم	بتن مستقیماً به نوک تحتانی جلوبرنده ویبراتور عمقی پمپاژ می شود تا ستون تشکیل شود.	هزینه بالا	ظرفیت باربری زیاد نشست کم (۲۵mm) با بزرگ کردن پایه و سرستون طول کم در نتیجه هزینه کاهش می یابد	

راه آهن سریع السیر در ایران :

پروژه راه آهن سریع السیر قم اصفهان به عنوان بخشی از طرح اتصال سریع السیر ریلی شهرهای گرمسار قم و اصفهان اولین پروژه ای است که در این راستا مطالعات آن تکمیل و عملیات اجرایی آن

آغاز گردیده است .

۲-۹ ضوابط زیرسازی راه آهن سریع السیر

۲-۹-۱ کلیات

راه آهن سریع السیر دو جنبه اساسی که یکی حصول اطمینان از حرکت ایمن قطار در سراسر طول خط و دیگری ایجاد شرایط شتاب قابل تحمل برای مسافرین و رعایت آسایش آنها است، مد نظر می باشد.

دستیابی به دو هدف مطلوب فوق الذکر، با کنترل و محدود کردن تغییر شکلهای ریل در اثر حرکت قطار و نشست های آنی و بلندمدت روسازی و زیرسازی ممکن می شود. از آنجا که حرکت یک جسم چند صد تنی با سرعت بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت با چرخهای فلزی بر روی خطوط آهنی، ارتعاشات خاصی را ایجاد می کند، لذا موضوع ایمنی قطار از محدوده مسائل استاتیکی خارج شده ودرحیطه مباحث ارتعاشات و رفتار دینامیکی ریل و بستر قرار می گیرد . در این خصوص صرف نظر از اندرکنش دینامیکی ریل، تراورس، بالاست و زیربالاست، موضوع اندرکنش دینامیکی روسازی و زیرسازی خطوط آهن و انتشار امواج در بستر روسازی نیز مطرح می گردد. این موضوع باعث شده تا ضوابط مربوط به زیرسازی خطوط آهن قطارهای سریع السیر با ضوابط زیرسازی خطوط معمولی متفاوت باشند.

۲-۹-۲خاکریزها

خاکریز خطوط راه آهن سریع السیر برای ارضاء شرایط زیر می بایست مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد:

الف- پایداری بستر و خاکریز آن در شرایط کوتاه مدت، در طول بهره برداری و در حین وقوع زلزله،

ب- بررسی نشست بدنه خاکریز و بستر در حالت استاتیکی در شرایط کوتاه مدت و دراز مدت و کنترل نشست کلی و نسبی درطول خط . لازم به ذکر است که بروز نشست های نسبی در طول ریل

باعث اعمال شتابهای ناگهانی به قطار و در نتیجه ایجاد خطر خروج قطار از خط و برهم زدن آسایش مسافرین می شود،

ج- کنترل تغییر شکل دینامیکی خاکریز و بستر در اثر ارتعاشات حاصل از عبور قطار

د- تامین بستری مناسب برای اجرای روسازی خط به منظور حفظ کیفیت روسازی و ایفای نقش مناسب آن در خطوط ریلی.

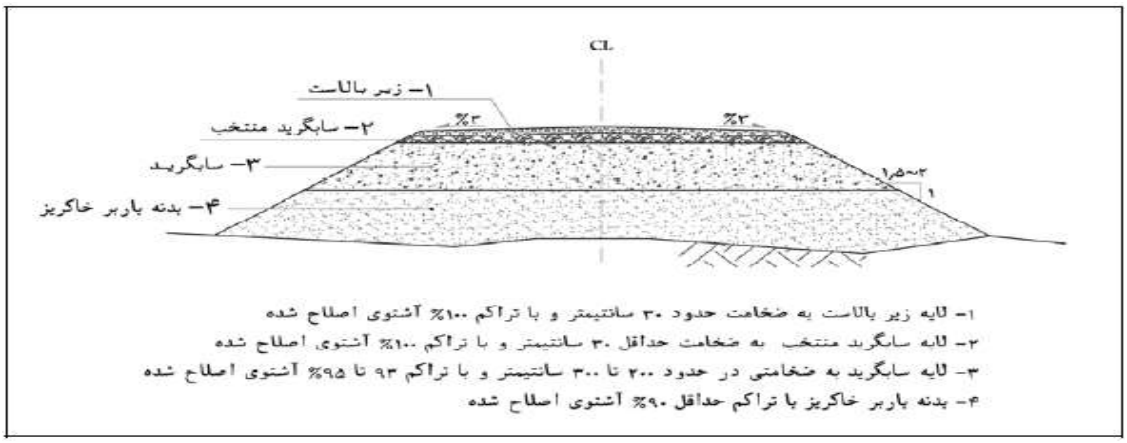
تمامی بررسی های یاد شده می بایست در فواصل نزدیک به هم (حتی در حد چندین متر) انجام گردد تا از یکنواختی شرایط در طول خط اطمینان حاصل شود ، به طوری که علاوه بر لحاظ نمودن این مسائل در طراحی، هنگام اجرای عملیات خاکریزی نیز علاوه بر بررسی شرایط واقعی بستر (با انجام آزمایشهای کنترل بستر)، تغییر تدریجی نوع مصالح مورد استفاده در خاکریزی در طول مسیر نیز مورد توجه قرار گیرد . بطور خلاصه، زیرساز ی باید به طریقی اجرا گردد که در نهایت سختی (بستر روساز ی) و نشست پذیری آن در طول مسیر تقریبا یکنواخت باشد.

بعنوان مثال خاکریزهای منتهی شونده به کوله پلها[1] و بستر زیر آنها، باید با مشخصاتی اجرا گردند که تغییر نشست پذیری خاکریز نسبت به پل (نشست استاتیکی کل) و نیز تفاوت سختی سطح بستر روسازی خط نسبت به عرشه پل بصورت تدریجی باشد.

۲-۹-۲-۱ بخشهای مختلف خاکریز

جسم خاکریز از چند بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از : بدنه باربر خاکریز , بخش سا بگرید و سطح آماده شده آن ولایه زیربالاست . نوع مصالح قابل استفاده و میزان تراکم مورد نیاز در هر یک از این بخشها متفاوتند . شکل(۲-۵) مقطع تیپ خاکریزی را درحالت کلی نمایش می دهد.

[1]-Approach Embankments



شکل(۲-۵) مقطع تیپ خاکریزها و بخشهای مختلف آن

توضیحات ارائه شده در بخش قبل ، تنها در خصوص وظایف و نقش هر یک از این قسمت های خاکریز می باشد و سایرمشخصات بخشهای مختلف خاکریزها (نظیر نوع مصالح قابل استفاده در هر بخش در حالت مطلوب) و نحوه طرح هر یک از آنها در ادامه بصورت مجزا ارائه شده است.

-لایه زیربالاست

زیربالاست لایه میانی بالاست و لایه سابگرید آماده شده است که هدف از ایجاد آن دستیابی به موارد زیر می باشد:

۱.فراهم کردن یک سطح هموار و تمیز

۲.فراهم کردن یک لایه با نفوذپذیری کم در سطح خاکریز و در نتیجه محافظت خاکریز از نفوذ آب باران و برف

۳.پخش وتعدیل بارانتقال یافته ازلایه بالاست به خاکریز اصلی

۴.محافظت از خاکریز درمقابل یخ زدگی

۵.ایجاد بستر مقاوم در مقابل سوراخ شدگی[۱] مصالح روسازی بر روی زیرسازی

۶.ایفای نقش فیلتر بین مصالح لایه سابگرید و بالاست

ضخامت این لایه بسته به نوع روسازی، سرعت طرح، ظرفیت باربری در سطح لایه سابگرید منتخب،

[۱]-Punching

شرایط آب و هوایی محیط و ... در حدود ۳۰ سانتیمتر (در روسازی بالاستی) و ۵۰ سانتیمتر (در روسازی بدون بالاست در شرایط ضعیف بودن بستر) است. این لایه تقریبا نقشی شبیه لایه زیراساس در روسازی آسفالتی بر عهده دارد و باید دارای کیفیت لازم در راستای ایفای تمام وظایف فوق الذکر باشد.

تراکم مصالح در این لایه، حداقل برابر ۱۰۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده اختیار می گردد. لازم است که این لایه حداقل ضریب ارتجاعی در بارگذاری دومEV2 معادل ۱۲۰ مگاپاسکال (۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) درسطح خود را داشته باشد.

-لایه سابگرید

نقش این لایه، به حداقل رساندن مقادیر تنش منتقل شده از لایه زیربالاست به بستر، کنترل تغییر شکل بدنه خاکریز و تحمل ارتعاشات حاصل از عبور قطار سریع السیر 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 آب و هوایی) دارد. قسمت سطحی لایه سابگرید که از مشخصات بهتری در مقایسه با بخش زیرین آن برخوردار است را لایه سابگرید منتخب می نامند.

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 ٪) و یا حداقل ۹۸ درصد انتخاب می گردد. حداقل ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم دراین لایه باید برابر ۸۰ مگاپاسکال باشد. میزان تراکم بخش تحتانی سابگرید، بسته به سرعت طرح در حالت متعارف برای سرعتهای کمتر و بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر درساعت بترتیب در حدود ۹۳ تا ۹۵ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده انتخاب می گردد. کلیه لایه های خاکریزی بخش سابگرید بایددارای حداقل ضریب ارتجاعی معادل ۶۰ (برای مصالح ریزدانه تر- QS2)یا ۸۰ مگاپاسکال (برای مصالح درشت دانه تر-QS3) باشند. لازم به تذکر است که برخی دستورالعملهای موجود در خصوص خطوط قطارهای سریع السیر، مقادیر تراکم را در

این بخش از لایه سابگرید در حدود ۹۰ درصد نیز قبول می کنند، لیکن ارضاء شرایط حداقل مقادیر ضریب ارتجاعی را الزامی بر می شمرند.

-بدنه باربر خاکریز

بدنه باربر خاکریز با فرض اینکه بارگذاری ارتعاشی ناشی از عبور قطار در لایه های بالایی خاکریز (لایه سابگرید) تحمل شده است، باید دو شرط عدم بروز ناپایداری و محدودیت نشست را ارضاء نماید . بطور کلی، پایداری در برابر لغزش و محدود کردن نشست خاکریز را می توان با هر نوع مصالحی با تغییر شیب شیروانی ها و یا اجرای شیب با پله های جانبی تامین کرد.

تراکم خاک در این بخش از خاکریز حداقل برابر ۹۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده است و وجود مقدار ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم حداقل معادل ۴۵ مگاپاسکال (در خاکهای چسبنده) و ۶۰ مگاپاسکال (در خاکهای دانه ای) برای آن الزامی است.

-بستر خاکریز

بستر خاکریز (زمین زیر خاکریز) باید تمام شرایط مربوط به باربری، نشست پذیری و تغییر شکل پذیری را در حد لازم برای ساخت خاکریز دارا باشد . مقدار حداقل ضریب ارتجاعی خاک بستر در بارگذاری دوم می بایست حداقل معادل ۴۵ مگاپاسکال بوده و در عین حال نیز این بخش می بایست دارای نسبت تراکم حداقل ۹۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده باشد.

۲-۹-۳طبقه بندی سطح زیر سازی خط بر اساس ظرفیت استحکام

جهت طبقه بندی سطح زیر سازی خط لازم است موارد زیر را در نظر داشته باشیم

الف-تشخیص کیفیت انواع خاک هایی که در سطح زیر سازی وجود دارد.

ب-سپس تشخیص ظرفیت استحکام کل سطح زیر سازی خط : سطوح زیر سازی آماده و زیر خاک ها کیفیت خاک به دو عامل زیر بستگی دارد:

الف-خواص ژئوتکنیکی خاک که به دو بخش معدنی و آلی تقسیم می شوند:

خاک های معدنی براساس ۱- اندازه ذرات ۲- نرمینگی ۳- حساسیت نسبت به آب ۴- مواد

معدنی دسته بندی می شوند.

خاک های آلی از بقایای گیاهان و جانوران حاصل می شوند گروه های اصلی عبارتند از: روخاک، زغال نارس، لجن آلی

ب-شرایط هیدروژئولوژیکی محیط ، این شرایط ظرفیت استحکام خاک را مورد تأثیر قـرار مـی دهنـد ذیلاً چند جدول کاربردی به اختصار ارائه می گردد

جدول (۲-۲) دسته های کیفی خاک

QS_0= خاک های نامناسب QS_1= خاک ضعیف QS_2= خاک متوسط QS_3= خاک خوب

دسته کیفی خاک	نوع خاک طبقه بندی ژئو تکنیکی
QS۰	خاک های آلی خاک های نرم که دارای بیش از ۱۵٪ خاکه بوده [۱] و رطوبت بالایی دارند ، بنابراین جهت تراکم پذیری مناسب نیستند . خاک های THexotropic[1] (خاک رس زنده) خاک های دارای مواد محلول (مانند سنگ نمک یا سنگ گچ) خاک آلوده (مانند زائدات صنعتی خاک های مواد مرکب / آلی [2]
QS1 QS1	خاکهای دارای بیش از ۴۰٪ خاکه (غیر از خاک های طبقه بندی شده در ۰.۲) سنگ هایی که مستعد هوازدگی هستند. ماند : گچ با شکنندگی بالا و[۲۳] Pd < ۱/۷t/m خاک آهکدار سنگ رست هوا خورده
QS1[3]	سنگ های دارای ۱۵ تا ۴۰٪ خاکه [۳](به استثنای خاک های طبقه بندی شده در۰.۲) خاک هایی که نسبتا مستد هوازدگی هستند مانند گچ با شکنندگی کم و[۳] Pd < ۱/۷t/m سنگ رست هوا نخوده ۱/۵- سنگ نرم مانند Microdenal ۴۰< (MDE) آزمایش رطوبت Microdenal و آزمایش (LA) >۴۰

[۱] این درصدها از آنالیز توزیع اندازه ذره صورت گرفته با الکی به میزان عبور ۶۰ mm محاسبه شده اند این درصدها رو به پایین گرد شده اند (این محاسبات از خط آهنی به خط آهن دیگر اندکی متنافوت یم باشد) این اعداد ممکن است تا میزان ۵٪ در صورتی که تعداد کافی از نمونه ها برداشته شده باشد . افزایش یافته باشند .

[۲] برخی خطوط مشخص راه آهن گاهی اوقات این خاکها را جزو دسته کیفی QS1قرار می دهند.

[3] اگر شرائط هیدرولوژی و هیدرولیکی خوب باشند می توان این خاکها را در دسته کیفی QS2جای داد.

QS1[2]	1.2 – خاک های دارای ۵ تا ۱۵٪ خاکه[1] ۲.۲- خاک یکنواخت دارای کمتر از ۵٪ خاکه (۶> Cu) ۳.۲- سنگ نیمه ست مثلا. اگر ۴۰>LA >۳۰ و ۴۰>MDE >۲۵
QS1[3]	۳-۱- خاکهایی با درجه بندی خوب که دارای کمتر از ۵٪ خاکه باشند.[1] ۳.۲-سنگ های سخت مثلا اگر ۳۰>LA و ۲۵>MDE

جدول (۲-۳) تعیین ظرفیت مقامت سطح زیر سازی خط

P_1: سطح زیر سازی ضعیف P_2: سطح زیر سازی متوسط P_3: سطح زیر سازی خوب

نیازمندی های سطح زیر سازی آماده		دسته تحمل لازم برای سطح زیر سازی	دسته کیفی خاک ها
حداقل ضخامت e_r (m)	دسته های کیفی		
_ ۰.۰۵ ۰.۳۵ ۰.۵۰	Q QS1 QS2 QS3 QS3	P1 P2 P2 P3	QS1
_ ۰.۳۵	QS2 QS3	P2 P3	QS2
_	QS3	P3	QS3

۲-۹-۴مصالح مورد استفاده در خاکریز

مصالح مختلف بسته به دانه بندی آنها دارای مقاومت برشی و تغییر شکل پذیری مختلف بوده و بر این اساس طبقه بندی می گردند.

۲-۹-۴-۱ مصالح زیربالاست

مصالح باید خوب دانه بندی شده بوده و دارای دوام کافی براساس شاخصهای زیر باشد:

میکرودوال[1] در حضور آب کمتر از ۱۵ یا ۲۰

لوس آنجلس[2] کمتر از ۲۰ یا ۲۵

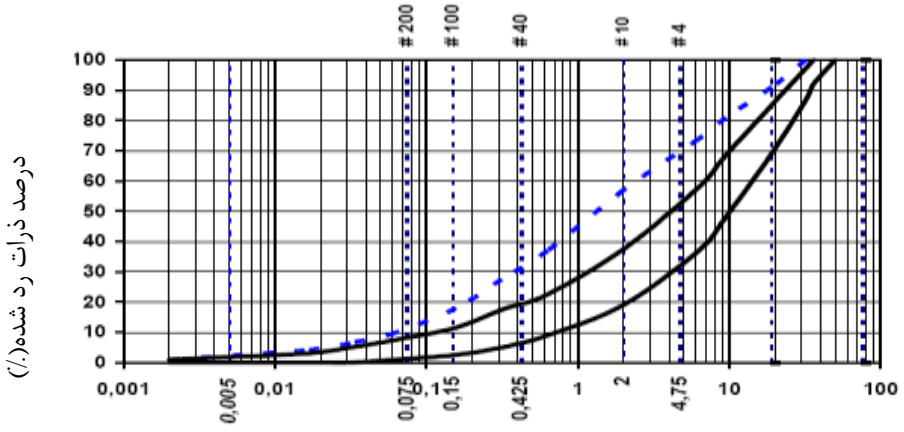
با به کاربردن یکی از روشهای زیر میتوان به این اهداف نائل شد:

۱-بکارگیری لایه زیربالاست از یک لایه شن ماسه دار دارای حدود ۲۰ درصد ماسه ریزدانه (اندازه ذرات کوچکتراز۰.۲میلیمتر

۲-اجرای لایه زیربالاست دو لایه ای شامل:

لایه پایینی متشکل از یک لایه مصالح فیلتر (ژئوتکستایلها می توانند نقش فیلتر را ایفا نموده و همزمان ظرفیت باربری را بهبودبخشند

در این نمودار منحنی خط پر، محدوده مصالح مناسب بوده و در نهایت پس از حمل، پخش و کوبیدن، مصالح میتوانند تا حد منحنی خط چین تغییر دانه بندی دهند . قابل توجه اینکه برخی از مشخصات فنی در مورد خطوط آهن قطارهای سریع السیر با رعایت تمام شروط لازم برای این لایه به منظور ایفای نقشهای آن (از جمله شرط فیلتر بودن در برابر لایه زیرین، نفوذ نکردن ذرات به داخل لایه بالاست و ..)، در شرایط آب و هوایی خشک مقدار ماکزیمم درصد ذرات ردشده از الک ۲۰۰ را تا حدود ۱۵ درصد و گاه حتی تا ۲۰ درصد مجاز میدانند.



شکل (۲-۶) نمودار دانه بندی پیشنهادی برای مصالح زیربالاست (اندازه ذرات به میلیمتر)

[1]-Microdeval

[2] -LosAngeles

۲-۹-۴-۲ مصالح لایه سابگرید

لایه سابگرید شامل ضخامتی از خاکریز است که باید از نظر استاتیکی پایدار بوده و تحت بارهای ارتعاشی ناشی از حرکت قطاردچار تشدید و در نتیجه تغییر شکل پیش رونده نشود . چنین مصالحی باید از رده بندیQS2 و ترجیحاً QS3 در صورت استفاده از مصالح QS2 به عنوان لایه سابگرید ، احداث لایه هایی با کیفیت بهترQS3 در بالای این بخش تحت عنوان لایه سابگرید منتخب ضروری است

۲-۹-۴-۳ مصالح خاکریز باربر

در حالت کلی مصالح مورد استفاده در بدنه تحتانی خاکریز باید حداقل الزامات بشرح زیر را برآورده سازند:

-سی.بی.آر اشباع خاک (CBR[1]):

سی.بی.آر اشباع خاک به روش(ASTM-D ۱۸۸۳)در حالتی که تا حد ۹۵ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده (AASHTO T۱۸۰یاASTM-D1557) متراکم شده باشد، نباید کمتر از ۴ درصد باشد.

-وزن مخصوص خاک:

وزن مخصوص خشک خاک در حالتی که با ۱۰۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده ASTM-D1557 کوبیده شده باشد، نباید از۱.۵۵تن بر متر مکعب کمتر باشد.

- مواد آلی خاک:

مقدار مواد آلی موجود درخاک نباید مطلقاً از ۵ درصد وزنی آن تجاوز کند .(AASHTO T-194)

-پلاستیسیته خاک :

خاکهای با دامنه خمیری بیشتر از ۲۰ جزو خاکهای با پلاستیسیته زیاد و خا کهای دارای دامنه خمیری بین ۶ تا ۲۰ جزو خاکهای با پلاستیسیته متوسط قلمداد میگردند. خاکهای دارای درصد قابل

[1]- California Bearing Ratio

توجهی از ذرات ریزدانه (بیش از ۴۰ درصد) بایدPI [1]کمتر از ۶ داشته باشند، مگر این که خلاف آن از سوی طراح به صورت کتبی برای مناطقی خاص مجاز دانسیته شود.

- قطر ذرات:

به طور عمومی قطر دانه ها نباید بیش از ۶۰ میلیمتر باشد. همچنین توصیه می شود کـه بزرگتـرین اندازه دانه ها کمتراز نصف ضخامت لایه باشد . استفاده از مصالح سـنگریزه ای فقـط در شـرایطی کـه کنترل تراکم و کیفیت آنها در سیستم آزمایشگاه محلی قابل انجام باشد، در بخشـهای تحتـانی مجـاز است . مصالح سنگریزه ای در هر حال باید به صورت خوب دانه بندی شـده بـوده وحفـرات خـالی در جسم خاکریز باقی نمانده در عین حال این مصالح نباید در طول زمان دچار فرسایش و نشست خزشی شوند.

۲-۹-۵پایداری خاکریزها در مقابل لغزش:

۲-۹-۵-۱ انتخاب مقطع تیپ خاکریزها از لحاظ پایداری

شیب شیروانی خاکریزها بسته به نوع مصالح و شرایط بارندگی و لرزه خیزی منطقـه در حـد ۲ بـه ۳ (قائم به افقی) تا۱به۲(قائم به افقی) متعارف است. در مناطق زلزله خیز، معمـولا حـد نهـایی ارتفـاع بدون بخش شیبدار جانبی برای خاکریزها در حدود۸الی۹متر بدست می آید و خاکریزهای مرتفع تـر، حتی در صورت مناسب بودن شرایط زمین طبیعی، باید یک پله جـانبی بعـرض حـدود ۳ تـا۵.۳ متـر داشته باشند . در هر صورت، به منظور کنترل مقدار تغییر شکل خزشی جسم خاکریز، اکیـداً توصـیه می گردد که ارتفاع خاکریزها در مرتفع ترین وضعیت به۱۵ متر محدود گردند و یـا بگونـه ای ایجـاد شوند تا مسائلی دراثر بروز چنین تغییر شکلهایی دربدنه خاکریز ایجاد نگردد.

پایداری خاکریزها، علاوه بر هندسه خاکریز و پارامترهای مقاومتی آن، تابع شرایط زمین بستر اسـت ، لذا در مواجهه با شرایط بسترمتفاوت همواره حالات مختلفی بروز می کنند که بررسی های خاص خود را می طلبند. درحالتی که بستر خاکریز از مصالح دارای مقاومت برشی مناسـب تشـکیل شـده باشـد، تمامی دایره های لغزش محتمل از بدنه خاکریز عبور نموده و وارد بستر خاکریز نمـی شـوند . دراین

[1] -Plastic Index

حالت، حصول پایداری با اعمال شیبهای شیروانی یکنواخت و یا متغیر در ارتفاع خاکریز، میسرخواهد بود. درحالتی که بستر خاکریزی از حدی ضعیف تر باشد، دایره های محتمل لغزش داخل زمین بستر گسترش یافته و مقادیر ضرایب اطمینان مربوط به پایداری خاکریز به شدت تحت الشعاع قرارمی گیرند. در مواجهه با زمینهای ضعیف، در صورتی که زمین به شدت سست نباشد، استفاده از سطوح پله دار پایدار کننده جانبی می تواند باعث طولانی شدن مسیر دوایر لغزش و در نتیجه افزایش ضریب اطمینان گردد . لیکن در مواجهه با زمینهای بسیار سست که در آنها شرط باربری بستر اقناع نشده باشد، استفاده از روشهای پایدارسازی خاص (بهسازی، پیش تحکیمی، تراکم عمیق و ...) یا تسلیح خاک ضروری است. برای ارائه یک طرح بهینه در مورد تیپ کلی خاکریزهای مسیر، در گام اول فرض می شود که زمین بستر خاکریز سخت بوده و مقطع خاکریز بر این اساس بدست می آید. سپس در بخشهای مختلف مسیر بسته به شرایط از سطوح پله دار جانبی پایدار کننده یا شیبهای مختلف خاکریزی استفاده میگردد.[۳۶]

۲-۹-۵-۲ بارگذاری و ترکیب بار به منظور بررسی پایداری:

بارهای وارده= وزن خاکریز+ سربار مرده+ سربار زنده+ بارگذاری زلزله

(بار زنده قطار سریع مسافری $4/5\ ton/m^2$)

۲-۹-۵-۳ روشهای تحلیل پایداری

روشهای مبتنی بر تعادل حدی	دایره لغزش فلنیوس گوه لغزشی ساده کولمن روش ساده یا اصلاح شده قطعات بیشاپ	استفاده از سانتریفوژ	
روشهای عددی	تحلیل اجزا محدود[۱] تفاضل محدود[۲] المانهای مجزا[۳]	روشهای آماری	تحلیل سطح گسیختگی (دایره ای یا نامنظم)

[1] .Finite Element Method

[2] .Finite Differnce Method

[3] .Discrete Element Method

۲-۹-۵-۴ مقادیر پارامترهای خاک:

برای تحلیل پایداری خاکریزها، لازم است مقادیر پارامترهای طراحی بدنه خاکریز و تمام لایه های بستر تا عمقی که دوایر لغزش و یا گوه های گسیختگی در بستر گسترش می یابند، بدست آیند که شامل پارامترهای بدنه و بستر خاکریز می باشند. در ذیل به برخی روشهای آزمایش برجا و آزمایشگاهی و ژئوفیزیکی اشاره می شود

جدول (۲-۴) مقادیر حداقل ضریب اطمینان در مقابل لغزش در مورد خاکریزها

وضعیت بارگذاری	شرایط عادی	شرایط زلزله	شرایط بهره‌برداری
پارامترهای طراحی (در خاکریز و خاک بستر آن)	پارامترهای کوتاه مدت	پارامترهای کوتاه مدت	پارامترهای بلند مدت
مقادیر حداقل ضرایب اطمینان	۱/۳	۱/۱	۱/۴ تا ۱/۵ [1]

۱- مقدار ضریب اطمینان در حالت بهره‌برداری در اغلب مراجع برابر ۱/۵ توصیه شده است.

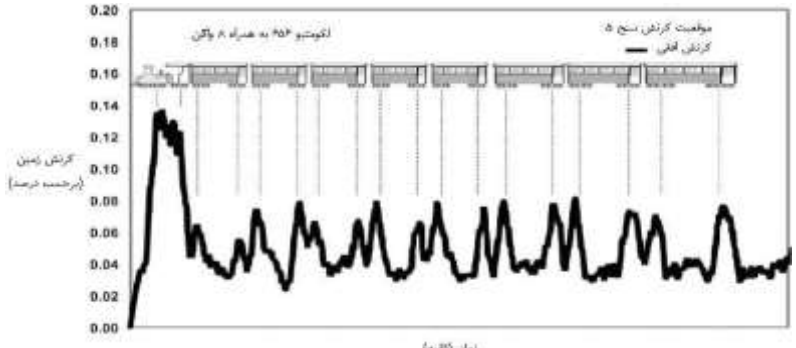
۲-۹-۶نشست پذیری بستر خاکریز

نشست خاکریز پدیده ای است که بسته به نوع خاک می تواند به صورت آنی (ارتجاعی)، بلند مدت (تحکیمی) و یا ثانویه رخ دهد .درخاکهای دانه ای نشست از نوع آنی و در خاکهای ریزدانه (چسبنده)، نشست نهایی حاصل جمع نشست ارتجاعی، دراز مدت و ثانویه است.

۲-۹-۷پاسخ دینامیکی خاکریز در اندرکنش با روسازی

حرکت قطار سریع السیر بر روی خطوط آهن بسته به نوع بوژی واگنهای آن منجر به اعمال بارگذاری سیکلیک به هر نقطه ازخط ریلی می گردد طول موج تغییر شکل قائم ریل تحت این بار نوسانی تقریبا برابر فاصله بوژی واگنها (دو بوژی نزدیک به هم از دو واگن مجاور یکی فرض شده اند) از یکدیگر بوده و فرکانس آن برابر حاصل تقسیم سرعت سیر قطار به فاصله مرکز تا مرکز دسته بوژی ها است

در همین زمینه بر مبنای اندازه گیری های میدانی انجام شده، فرکانس تغییر شکلهای حاصله در ریل از رابطه زیر بدست می آید:



شکل (۲-۷) امواج حاصل از عبور قطار که از ۲/۵ تا ۵ متر زیر سطح سابکرید می رسد

سرعت حدی : سرعتی که با تجاوز از آن، تشدید دینامیکی در زیرسازی ایجاد می شود، به عنوان سرعت حدی خط نامیده می شود. سرعت در قطارهای عادی معمولاً کمتر است ۱۳۰km/h است در قطارهای سریع که سرعت بیشتر از ۱۷۰km/h است با توجه به ایجاد نوعی تشدید دینامیکی در جسم خاکریز و بستر در پی خاک رفتار غیرخطی بروز می دهد. از جمله اثرات: خستگی ریل، نشست پیش رونده، تغییر شکل لایه بالاست و تغییر باربری خط است.

۲-۹-۸معرفی روشهای بررسی دینامیکی بستر

براساس مطالعات تئوریک انجام شده در خصوص تغییر شکلهای دینامیکی خاک در اثر حرکت قطارهای سریع السیر، توسط کنی ،کری لاو و دایرمن و متریکین ، مشخص گردیده که سرعت حدی سیر قطار با سرعت انتشار موج سطحی در زمین رابطه مستقیم دارد.[۳۶]

یکی از ساد ه ترین روشها، روش کنی 1952می باشد که مبتنی بر حل مساله تیر پیوسته بر روی بستر ارتجاعی است، که در آن ریل به صورت تیر در نظر گرفته شده و مجموعه بالاست، زیربالاست و خاک زیر آن با فنرهای وینکلر ، جایگزین می گردد، سپس با حل معادله دیفرانسیل حاکم، مقدار سرعت حدی قطار محاسبه می شود. برخی از محققین رابطه کنی را با منظور کردن کل مجموعه روسازه و خاکریز زیر آن بعنوان یک تیر ارتجاعی متکی بر روی زمین زیر خاکریز که با فنرهای وینکلر جایگزین شده اند، نیز بکار گرفته اند.

۲-۹-۹ضوابط طراحی دینامیکی خاکریزها

براساس تحقیقات انجام شده، حد سرعتی معادل ۶۰ درصد سرعت حدی، تغییر شکلها قابل برگشت بوده و این حد را می توان سرعت حد پایین برای شرایط خاص تحلیل انجام شده دانست . در این

خصوص، لازم است که خاکریز و روسازی (بصورت توأم) برای سرعتی طرح گردند که بیشتر از ۶۰ ٪ سرعت حدی آنها نباشد . به عبارت دیگر مجموعه خاکریز و روسازی آن از لحاظ دینامیکی باید برای حدود ۱.۷ برابر سرعت طرح، طراحی گردند

تغییر شکل پذیری سطح ریل (که تابع سختی بستر آن است)، تأثیر قابل توجهی بر مسائل تعمیر و نگهداری و آسایش مسافر ین دارد. تغییر شکل پذیری در این بخش، با نشست نسبی یا انحرافهای خط متفاوت است . حرکت بر روی ریلهای فلزی متکی بر بستر صلب باعث تشدید ارتعاشات و لرزش ها در روسازی (بالاست یا دال بتنی) و ایجاد خستگی در آنها می گردد . از طرف دیگر، تغییر شکل پذیری زیاد نیز در خود ریل نوعی فرسودگی و خستگی را بدنبال دارد . از اینرو مقدار تغییر شکل ارتجاعی ریل اثر قرارگیری چرخ با نیروی ۲۰۰ کیلونیوتن به مقادیر زیر محدود می گردد:

سرعت کمتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت: نشست ارتجاعی بین۱تا ۲.۲ میلیمتر

سرعت بین ۱۶۰ تا ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت (قطار سریع السیر) : نشست ارتجاعی بین۱.۵تا ۲ میلیمتر

۲-۹-۱۰ تمهیدات خاص برای تأمین سرعت حدی در شرایط نامناسب

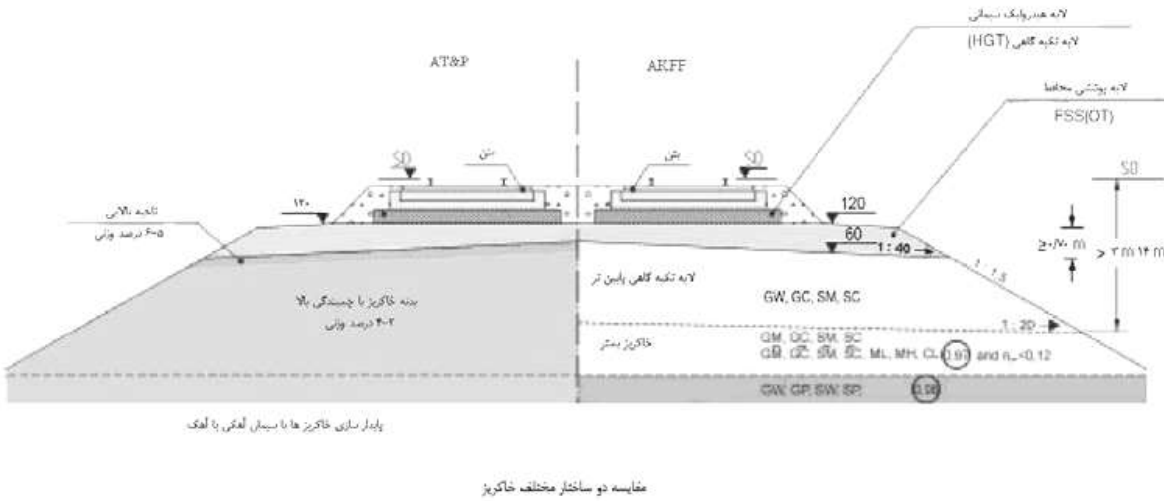
گاهی تأمین سرعت حدی مورد نظر در طرح، با توجه به محدودیتهای موجود در مجموعه زیرساز ی و روساز ی ممکن نیست . از جمله این حالات، می توان به شرایط ساخت خاکریزهای کوتاه با ارتفاع کمتر از ۲/۵متر بر روی زمینهای نه چندان مناسب ازنوع QS1 یا QS2 و یا شرایط ساخت روسازی در کف ترانشه های خاکی فاقد مشخصات لازم، اشاره کرد.

در چنین حالاتی، تمهیداتی خاص به شرح زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

- جایگزین کردن مصالح سست و نامناسب بستر با مصالح مناسب

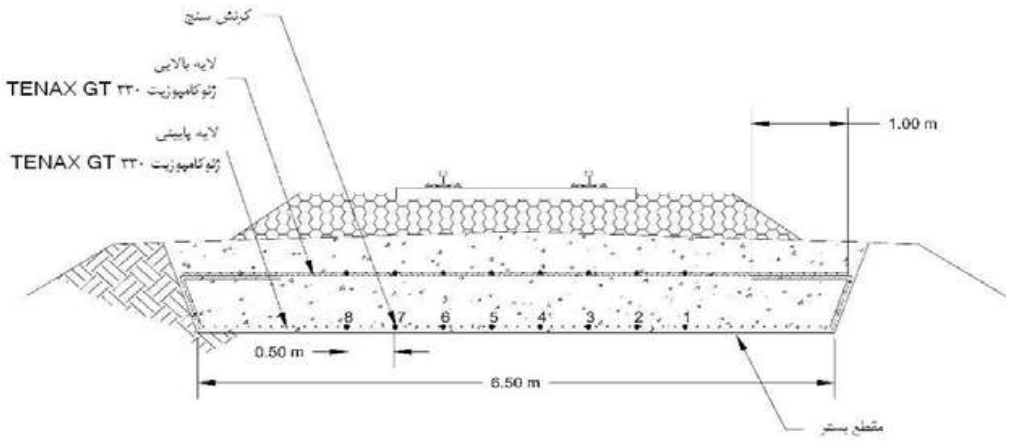
- استفاده از روشهای بهسازی بر روی مصالح خاکریزی به منظور بهبود مقادیر تغییر شکل پذیری دینامیکی خاکهای نامناسب شکل(۷.۲)

-اجرای یک یا چند لایه بهسازی شده با سیمان یا استفاده از روشهای تسلیح خاک (ژئوتکستایلها، ژئوگریدها و ...) در بستر خاکریز.



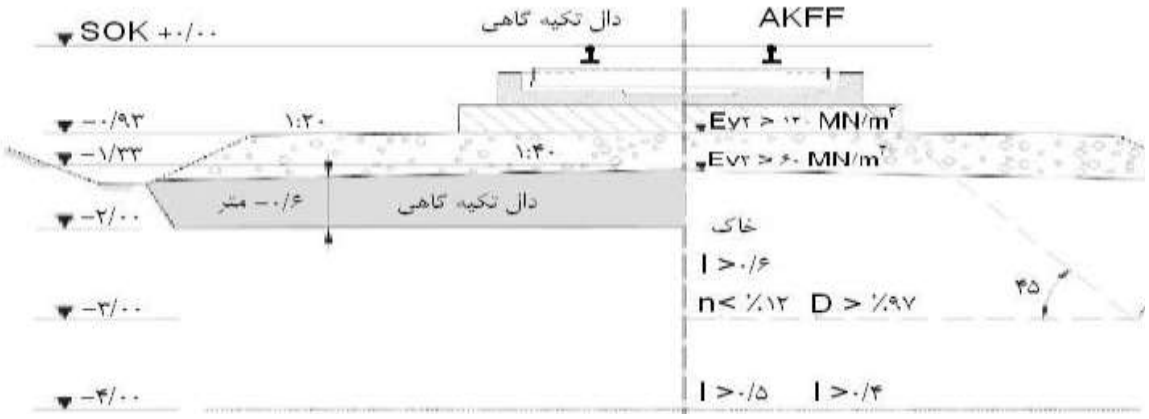
شکل(۲-۸) استفاده از روشهای تثبیت خاک در بخش سابگرید

-استفاده ازدال بتن مسلح به ضخامت حدود ۱۵تا۲۰سانتیمتردرسطح خاکریزوزیرلایه بالاست (شکل ۸.۲)



شکل(۲-۹) اجرای لایه بتن آسفالتی در سطح خاکریز

-استفاده ازروشهای تسلیح خاکریز (ژئوتکستایلهاو..) یا تثبیت خاک در زیرلایه زیربالاست.شکل(9.2)

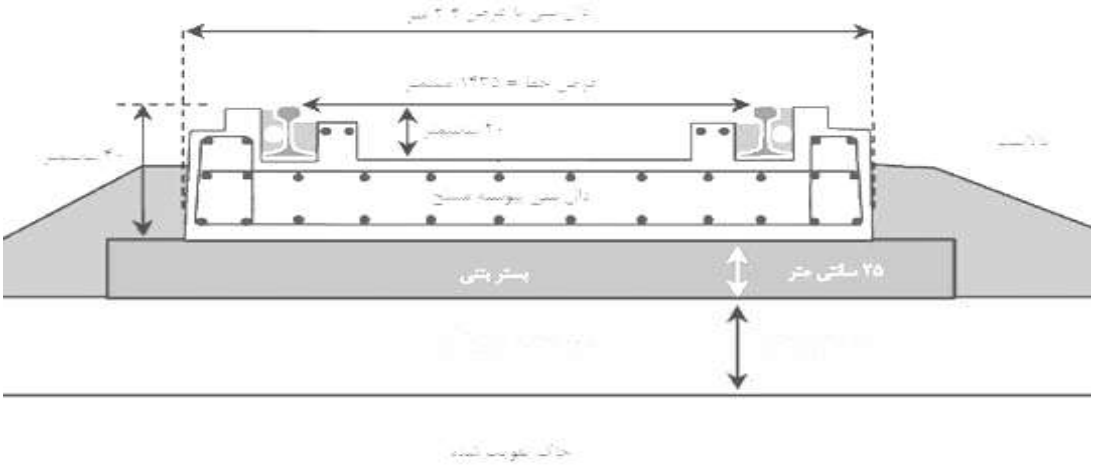


شکل(۲-۱۰)استفاده از بهسازی در لایه های خاک و اجرای دال باربر زیرلایه زیربالاست

-بالا بردن خط پروژه در صورتی که ضعف ناشی از بستر خاکریز باشد و امکان افزایش تراز خط پـروژه و ساخت خاکریز با مصالح مناسب با رعایت محدودیت نشست وجود داشته باشد.

- استفاده از یک تیر جعبه ای شکل با سختی قابل توجه (شبیه عرشه پلهای بزرگ) بـر روی زمـین، در راستای تقویت سختی روسازی و بهبود رفتار دینامیکی مجموعه ریل و زیرسازی آن,

-تغییر طرح روسازی به حالت بدون بالاست (روسازی بتنی) با سختی کافی(شکل۲.۱۰)



شکل(۲-۱۱) استفاده از روسازی بتنی با سختی کافی

-اجرای سازه خاکریز بر روی شمعهای کوتاه یا ستون های خاک بهسازی شده با سیمان (آهک) که در سطح خود دارای یک لایه خاک مسلح با ژئوگریدها هستند.

خاکریزهای منتهی شونده به پلها

رفتار خاکریزهای منتهی شونده به پلها، به دو دلیل در هنگام بهره برداری اهمیت می یابد. دلیل اول،

خوب متراکم نشدن این بخش از خاکریز بدلیل عدم امکان کوبیدن آن با غلتکهای سنگین و دلیل دوم ، تفاوت ذاتی سختی خاکریز با سختی و تغییر شکل پذیری پل که می تواند دلیل کافی برای ایجاد رفتار دینامیکی متفاوت در زیرساز ی خط در فاصله ای کوتاه باشد برای مرتفع ساختن این مسئله، لازم است که میزان نشست پذیری و تغییر سختی از محل خاکریز به پل بصورت تدریجی انجام گردد.

اختلاف نشست

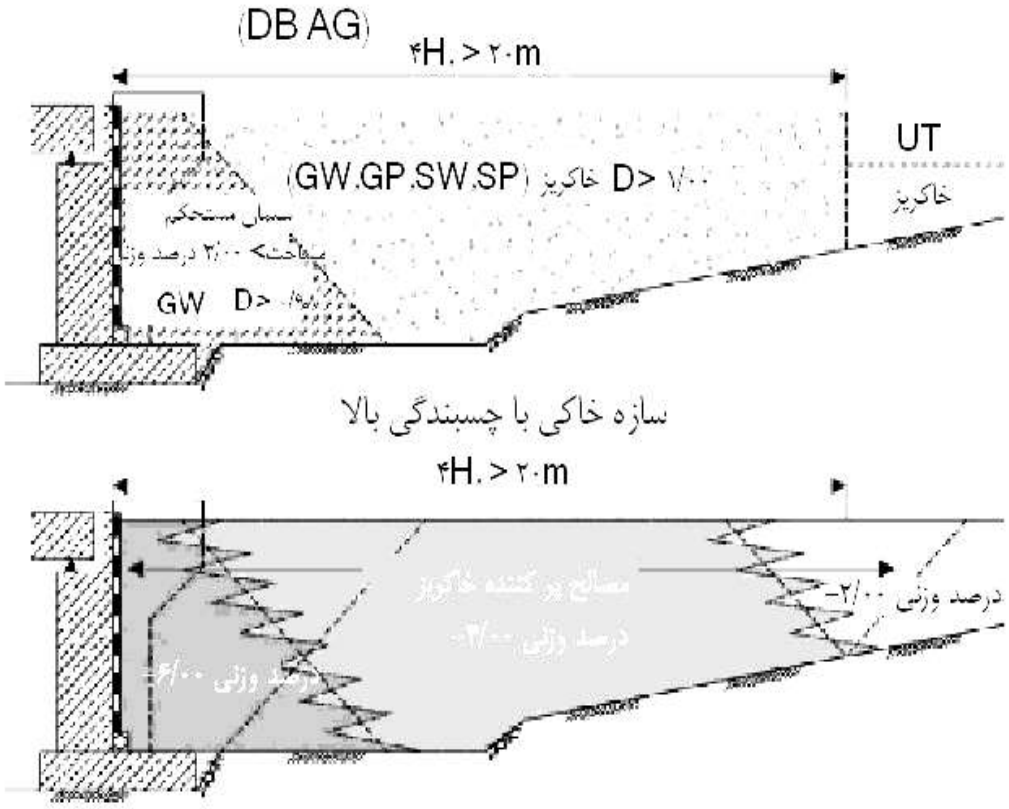
با توجه به محدودیت نشست در پل همواره بین خاکریز و سازه پل نشست نسبی مورد انتظاراست. در صورت درشت دانه بودن خاک، این اختلاف نشست در زمان اجرا مرتفع می شود. لیکن در حالتی که زمین محل دارای نشست دراز مدت تحکیمی (خاکهای ریزدانه اشباع شده) باشد، این اختلاف نشست قابل توجه می گردد.

از آنجا که همواره مقدار نشست پی پلها به دلیل مسائل سازه ای محدود می گردد، لذا تنها چاره حذف نشست تدریجی خاکریزها تسریع در روی دادن آن است . در این شرایط، دو راه حل موجود استفاده از زهکشهای قائم در جهت تسریع روند وقوع نشست یا حذف نشست با روشهای بهسازی عمیق، با اجرای ستونهای خاک -سیمانی و یا شمع کوبی زیر خاکریز می باشند . در اینگونه موارد باید توجه داشت که باید تغییر سختی خاکریز و یا نشست پذیری آن به طور تدریجی صورت گیرد . لذا لازم است تا با بکارگیری روشهای بهسازی یا هر روشی که سختی خط را تغییر می دهد، این تغییر منحنی بصورت تدریجی در طول مسیر شروع شده درحد ۲۰ متری یا ۳ تا ۴ برابر ارتفاع کوله) و در نزدیکی کوله پل به حد نهایی خود (در حدود سختی پل) برسد.

اختلاف سختی بدنه خاکریز

به منظور تغییر تدریجی سختی در جسم خاکریز، از طرح های مختلفی شامل تغییر و جنس مصالح پرکننده یا بهسازی آنها با سیمان و یا تسلیح مصالح استفاده می گردد. طول خاکریز ورودی و یا خروجی پل ، بسته به سرعت طرح تعیین می گردد. این طول در سرعت طرح ۱۶۰ کیلومتر در ساعت برابر حداکثر مقادیر سه برابر ارتفاع کوله یا ۱۵ متر بوده و در سرعت طرح۲۵۰ کیلومتر در ساعت

برابر بیشترین مقدار ، چهار برابر ارتفاع کوله یا۲۰ متر است .



شکل(۲-۱۲)نمونه های روشهای اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پلها

۲-۱۰ مکانیزم خرابی در زیرسازه

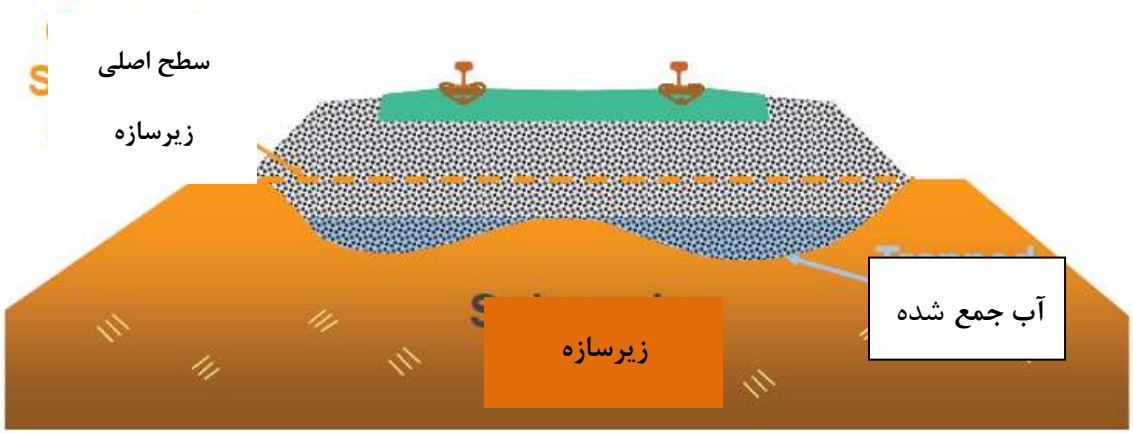
زیرسازه سطحی است که ساختار ریل بر روی آن بنا می‌شود. وظیفه اصلی آن ایجاد یک پی پایدار برای لایه بالاست است. زیرسازه منشأ نشست متفاوت ریل است که در ادامه بررسی می‌شود:

۲-۱۰-۱تغییر شکل پلاستیک در زیرسازه

۲-۱۰-۱-۱ تغییر شکل پلاستیک تجمعی

تحکیم تصاعدی خاک در خاک‌های نرم منجر به تغییر شکل پلاستیک بیش از اندازه می‌شود. علاوه بر این، در یک محیط متشکل از لای و ماسه ریز اشباع از آب، بارگذاری مجدد ممکن است منجر به یک جابجایی بزرگ شود که به آن روان‌گرایی گویند. این پدیده در نهایت منجر به نشست خواهد شد.

برداشتن و تعویض لایه های زیرسازه می‌تواند یک رویکرد اصلاحی باشد.



شکل(۲-۱۳)تغییرشکل پلاستیک تجمعی

۲-۱۰-۱-۲ نشست تحکیمی

وزن خاکریز در خاک‌های ریزدانه اشباع منجر به افزایش تنش استاتیکی خاک و نشست می‌شود. همچنین، تغییر محتوای رطوبت در خاک‌های بسیار پلاستیک از طریق افت رطوبت (انقباض) یا افزایش رطوبت (آماس) منجر به نشست زیرسازه می‌شود. نشست بیش از حد زیرسازه ممکن است منجر به تغییرات غیرقابل قبول در هندسه ریل شود.

۲-۱۰-۱-۳ یخ زدگی

ظرفیت باربری خاک یخ زده با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد. انجماد دوره ای در خاک‌های مستعد انجماد باعث برآمدگی و نرم‌شدگی می‌شود که معمولا در تناوب زمستان/بهار رخ می‌دهد. دمای انجماد در داخل خاک، منبع آب، و یک خاک مستعد انجماد، عوامل اصلی دخیل در این مسئله هستند. طی دوره نرم‌شدگی حاصل از ذوب، تغییر شکل‌های شدید پلاستیک ممکن است منجر به تغییر سریع هندسه ریل و خسارت پرشتاب به اجزای ریل شود.

۲-۱۰-۱-۴ فرسایش با پمپاژ گل

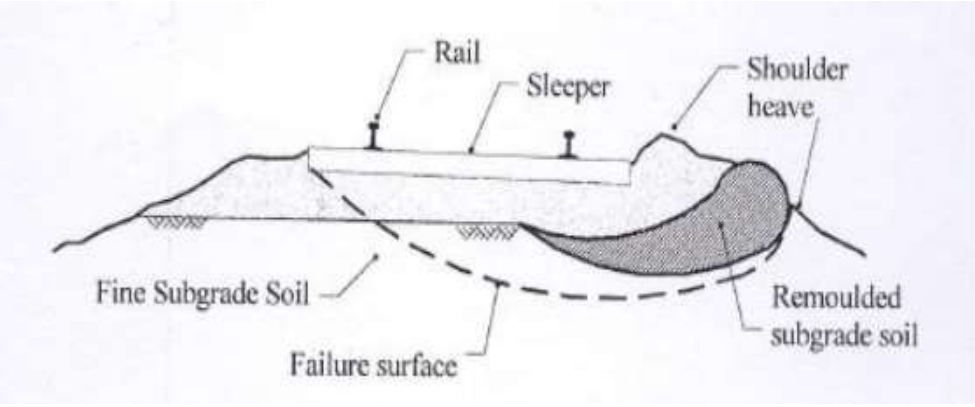
در شرایطی که محتوای آب در سطح زیرسازه زیاد باشد، خاک روان‌شده و آب به دلیل تنش بالا در سطح تماس بالاست و بستر به سمت بالا حرکت می‌کنند. چنین شکستی معمولا همراه با مواد ریزدانه

سخت مانند رس و سنگ نرم خواهد بود. پمپ شدن ممکن است منجر به از دست رفتن مهار جـانبی ریل و امتداد ریل شود. می‌توان با قرار دادن یک لایه پوشش عایق بین بالاست و لایه بستر از شکست پمپی جلوگیری کرد.

۲-۱۰-۲ شکست برشی در بستر

۲-۱۰-۲-۱ شکست برشی افزایشی

در خاک‌های بستر ریزدانه و یا در خاک‌هایی با محتوای آب بالا که با تنش‌های بالای مکـرر در بسـتر همراه می‌شوند، شکست برشی افزایشی ممکن است به صورت فشردگی در سطح بستر، بالاآمـدگی در کناره‌ها و یا گودشدگی در محل اتصالات آشکار شود. این فرآیند در انگلستان بـا نـام (μ & HVV + HDYH) شناخته می‌شود. این پدیده به این سبب رخ می‌دهد کـه تـنش قـائم در لایـه‌هـا در حالـت بارگذاری شده بزرگتر از تنش افقی قبل از جابجا شدن مواد بستر است. استفاده از سیستم های تزریق مانند تزریق سیمان به عنوان یک راه علاج این مسئله شناخته شده‌اند. در مـواردی کـه خـاکریزهـای مرتفع زیرسازه تشکیل شده از خاک نرمی با ضخامت بـیش از ۵ متـر باشـد، اسـتفاده از سـتون‌هـای سنگی در دو طرف راه‌آهن توصیه می‌شود .



شکل(۲-۱۴) شکست برشی افزایشی بستر

۲-۱۰-۲-۲ شکست برشی توده‌ای

در نتیجه مقاومت ناکافی خاک به علت وزن قطارهـاو روسـازه، مـی‌تـوان شـاهد ناپایـداری شـیب در خاکریزهای مرتفع، مخصوصا در مواردی که با حجم زیاد آب مواجه هستیم، باشیم. این پدیده می‌تواند به طور مثال در مواقع بارش شدید باران و سیل‌ها، حتی در غیاب بارگذاری ناشی از قطارها رخ دهـد. بنابراین ویژگی‌های مقاومتی زیرسازه فـاکتور اصـلی ایمنـی درجلـوگیری از شکسـت برشـی تـوده‌ای محسوب می‌شود. تعویض مصالح پایینی شیب خاکریزها بایستی در نظر گرفته شود .

شکل (۲-۱۵) لغزش خاکریز

۲-۱۱ کلیات

علی‌رغم اهمیت ارزیابی عملکرد زیرسازه در طراحی خطوط راه‌آهن، تنها اطلاعات محدودی در این رابطه وجود دارد.از لحاظ تاریخی به زیرسازی توجه کمتری در قیاس با روسازی خط راه‌آهن شده است (Selig and Waters, 1994). زیرسازه راهی فراهم می‌کندکه روی آن تمام دیگر اجزای ساختار خط راه‌آهن قرار می‌گیرند و تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت نهایی خط و میزان نگهداری موردنیاز دارد.

حداقل بخشی ازدشواری درارزیابی زیرسازه این است که عوامل بسیار زیادی از جمله خصوصیات دسته‌بندی، مقدار رطوبت، مقاومت برشی، پارامترهای سختی و تراکم بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارند. همچنین زیرسازه بر اساس خصوصیات بارگذاری خط راه‌آهن باید کیفیت مشخصی داشته باشد. این خصوصیات شامل نوع حمل‌ونقل(باری یا مسافری)،سرعت قطار،بارهای محوری،آرایش قطار،شرایط چرخ،فاصله تراورس هاوشرایط ریل است.(Neidhart and Shultz, 2011)

۲-۱۲ اندازه‌گیری عملکرد بستر

زیرسازه راه‌آهن و عملکرد خاک در کل، تحت تأثیر دو ویژگی است: مقاومت و تغییرشکل.(Selig and Lutengger, 1991) مقاومت به خصوصیات مقاومت برشی خاک و مجازبودن فراتر رفتن مقاومت برشی در خاک از تنش برشی اعمالی اشاره دارد. این ویژگی اغلب با پارامترهای ظرفیت باربری و مقاومت برشی زه‌کشی‌نشده کمی می‌شود.

تغییرشکل به نشست(الاستیک و پلاستیک) درزیرسازه اشاره دارد. نشست الاستیک زیرسازه را می-توان به سادگی در هنگام عبور قطار باری سنگین دید. خط به سمت پائین تغییر شکل می‌دهد و با آزادشدن از باربه جای نخست برمی‌گردد. با این حال، مشاهده نشست های پلاستیک در لایه های بالاست، زیربالاست و نیز سابگرید که از حالت خطی خارج گشته و رفتار غیر خطی بخود می گیرد از لحاظ بصری سخت تر است . تمایز بین مقاومت و سختی(تغیرشکل به ازای بار معین) برای درک

طراحی نشست خط راه‌آهن مهم است. ظرفیت باربری شاخص عمومی مقاومت است، در حالیکه تغییرشکل الاستیک به ازای شدت بار اعمالی با مدول‌های خاکی نشان داده می‌شود. همچنین باید اشاره کنیم که لایه‌بندی زیرسازه ممکن است بر عملکرد خط تأثیر بگذارد.

یکی از علائق خاص تحقیقاتی درباره زیرسازه خط، آزمون‌های برجا و آزمایشگاهی برای تعیین مدول-های زیرسازه است. برنامه‌های طراحی زیرسازه خط مانند KENTRACK و GEOTRACK(Selig and Waters, 1994) نیازمند ورودی مدول‌های زیرسازه برای تحلیل ساختاری است. در KENTRACK[1] از المان تیر در روش اجزاء محدود برای مدلسازی تراورس و سازگاری آن با محیط الاستیک لایه-لایه برای تحلیل خط استفاده می شود .همچنین این نرم افزار برای تحلیل بسترهای تماماً دانه ای مورد استفاده قرار می گیرد. خروجی تنش ها و کرنش های بستر تنها می‌تواند به اندازه پارامترهای ورودی واقعی باشد. در واقع اغلب در چنین تحلیل‌هایی در می‌یابیم که کیفیت زیرسازه بر چرخه حیات کلی زیرسازه خط تأثیر می‌گذارد.(Rose and Konduri, 2006)

خصوصیات مقاومت و تغییرشکل در اندازه‌گیری عملکرد زیرسازه مهمند. سختی کل خط که سختی زیرسازه نیز بخشی ازآن است معمولاً در روش‌های طراحی زیرسازه خط برخی از کشورها از جمله ایالات‌متحده در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین برای آزمون زیرسازه از ابزارهائی جهت محاسبه مدول-های خاکی استفاده می شود .

۲-۱۳ آزمون های آزمایشگاهی

پیش از تعیین خصوصیات مقاومت و تغییرشکل خاک ضروری است که گام‌های آزمون‌های تعیین خصوصیات خاک را به منظور تعیین نوع خاکی که آزمایش و ارزیابی شده است انجام دهیم. آزمون-

[1] - این نرم افزار به منظور آنالیز و طرح روسازی بالاستی خطوط راه آهن توسط آزمایشگاه تحقیقات مهندسی ارتش ایالات متحده توسعه داده شد. Don Plotkin محقق اصلی بود

های آزمایشگاهی متعددی از جمله آزمون حدود اتربرگ(آزمون حد مایع(ASTM D423) و آزمون حد پلاستیک(ASTM D424)، آزمون میزان رطوبت(ASTM D2216)، و آزمون دانسیته مرطوب)، آزمون پروکتور(ASTM D698) و همچنین آزمون دانه بندی برای انجام اینکار استفاده می‌شود. این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی خاک، معمولاً بر اساس سیستم واحد طبقه‌بندی خاک، استفاده می‌شوند. کتابچه راهنمای مهندسی راه‌آهن AREMA(۲۰۱۰) گستره طبقه‌بندی‌های خاک و پایداری قابل پیش بینی آنها را برای کاربردهای زیرسازه راه‌آهن بیان می‌کند.

از لحاظ تاریخی، مقدار رطوبت, دارای پیامدهای عمده در عملکرد اکثر خاک‌ها و به ویژه زیرسازه خطوط راه‌آهن دانسته‌اند. میزان رطوبت محاسبه شده توسط آزمون برجا در هر محل بسیار متفاوت است. برای مثال مقاومت برشی خاک با افزایش میزان رطوبت خاک و فراتر رفتن از مقدار بهینه برای بسیاری از انواع خاک از هم می‌پاشد. آزمون‌های آزمایشگاهی خاک برای تعیین خصوصیات مقاومتی و تغییرشکل به اختصار در زیر نام برده شده است.

۱. آزمون مقامت فشاری تک محوره (ASTM D 2166) (در حقیقت محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده (uu) بدون فشار محصور کننده)

۲. برش مستقیم (ASTM D 3080) جهت خاک های تحکیم یافته، زهکشی شده، معمولاً خاک های چسبنده

۳. نسبت باربری کالیفرنیا (ASTM D 1883) CBR: مقایسه خاک با سنگ خرد شده خوب دانه بندی شده یعنی سنگ آهک کالیفرنیا ۱< ریزدانه CBR <۰ و ۵ < درشت دانه CBR < ۸ ۸< سنگ CBR

۴. سه محوری (ASTM D 285 , D 4767): پرکاربرد (تحکم یافته یا نیافته- زهکشی شده یا نشده می توان انجام داد)

۵. سه محوری با سلول مجزا (سه محوری واقعی) : سلول مجزا شکل از آزمون سه محوری است که

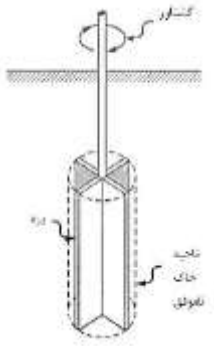
ممکن است پیامدهایی برای دست یافتن به درک بهتر از رفتار بستر راه آهن داشته باشد.

۲-۱۴ آزمون‌های برجا

در حالیکه بعضی از آزمون‌های آزمایشگاهی ممکن است برای خاک‌های بستر راه‌آهن مناسب باشند و روی آن انجام شوند، به نظر می‌رسد آزمون‌های برجا کاربرد بیشتری در صنعت راه‌آهن دارند. راه‌های جاده‌ای و خطوط راه‌آهن دغدغه‌های طراحی ژئوتکنیکی منحصربه‌فردی دارند که در آنها هر مایل از مسیر شرایط خاکی بسیار متفاوتی دارد. در روش استانداردشده طراحی بستر خط به منظور در نظر گرفتن این تغییرات، نمونه‌های متعددی برای آزمون‌های آزمایشگاهی در هر تغییر شرایط بستر موردنیاز است. این نمونه‌ها سپس به آزمایشگاه برده می‌شوند، آزمایش می‌شوند و نتایج به دست می آید. آزمون برجا با آزمایش وبه دست آمدن نتایج در محل آزمون،راهی برای کاهش هزینه و سختی-های آزمون آزمایشگاهی است. بعضی از آزمون برجا پیوسته، که یکی از علائق خاص در زمینه تحقیقات حمل‌ونقل است، در زیر نام برده می‌شوند.

۲-۱۴-۱آزمون برش پره‌ای صحرائی(FVT)(ASTM D2573)

آزمون برش پره‌ای از دستگاه استوانه ای ساده‌ای استفاده می‌کند که دارای پره‌های متصل است تـا بـا اعمال گشتاور اندازه‌گیری‌شده شکست برشی را در خاک بستر القا کند. گشتاور را می‌توان با دست یـا بصورت مکانیکی اعمال کرد. دستگاه برش پره‌ای در شکل (۲-۱۶) نشان داده شده است.

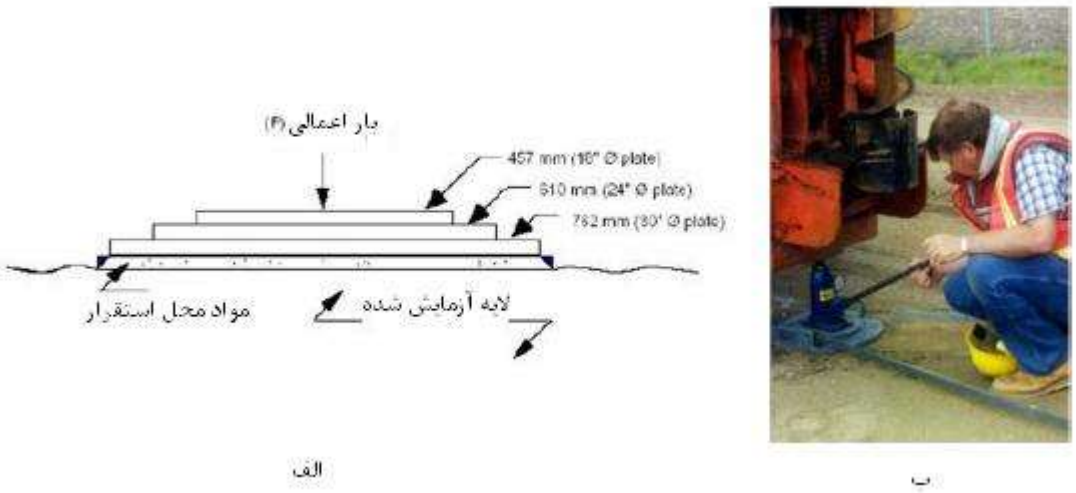


شکل (۲-۱۶) آزمون برش پره‌ای(Seling and Waters, 1994)

۲-۱۴-۲آزمون بارگذاری صفحه (PLT)(ASTM D1196)

شکل (۲-۱۷) الف تنظیمات آزمون استاندارد بارگذاری صفحه را نشان می‌دهد. جکی هیدرولیکی صفحه زیرسری فولادی را در خاک فشار می‌دهد. این جک با استفاده از کامیون، ماشین‌آلات یا بعضی وزنه‌های تعادل دیگر اعمال می‌شود تا محل جک ثابت شود.(نگاه کنید به شکل ۱۲.۳ ب) فشار اعمالی و انحراف سطح به منظور محاسبه مدول‌های واکنش بسترk ثبت می‌شوند.

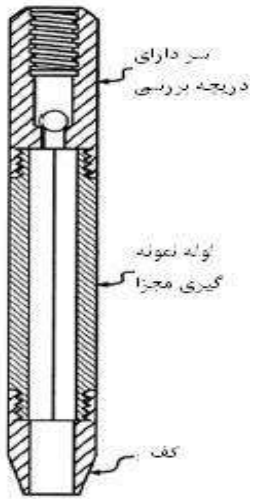
آزمون بارگذاری صفحه‌ای در طراحی خط راه‌آهن در اروپا و ژاپن به منظور تعیین سختی بستر استفاده شده‌اند.



شکل (۲-۱۷) الف)دیاگرام آزمون بارگذاری صفحه که نشان دهنده اندازه‌های گوناگون موجود صفحه‌ها می باشد) آزمون بارگذاری صفحه که در زیر یک کامیون(اجرا می‌شودWSDOT

۲-۱۴-۳آزمون نفوذ استاندارد(*SPT*)(*ASTM D1586*)

این آزمون موجود و پرکاربرد از لوله نمونه‌گیر دوکفه‌ای با دیواره ضخیم به قطر ۲ اینچ استفاده می‌کند تا نمونه‌های خاک را بگیرد و همچنین مقاومت در مقابل نفوذ را از طریق طبقه بندی خاک اندازه بگیرد. برای انجام این آزمون، حفره مته در مکان و به عمق دلخواه آزمون حفر می‌شود و نمونه‌گیر به داخل حفره می‌رود. نمونه‌گیر(۱۸ اینچ یا ۲۴ اینچ طول دارد) در بازه‌های زمانی بعدی با استفاده از وزنه ۱۴۰ پوندی که از ارتفاع ۳۰ متری پرتاب می‌شود۶ اینچ حرکت می‌کند.(نگاه کنید به شکل ۱۳.۳) مقدار N یا مقاومت استاندارد نفوذ مجموع تعداد ضربات موردنیاز برای حرکت یک فوتی نمونه‌گیر است. این فوت برابر با ۱۲ اینچ آخر نمونه‌گیر۱۸ اینچی یا۱۲ اینچ وسط نمونه‌گیر ۲۴ اینچی است. فرمول‌های تجربی بی‌شماری مقادیر N را معادل ظرفیت باربری، مقاومت برشی زه‌کشی‌نشده، زوایای اصطکاک و پارامترهای خاک قرار داده‌اند. با این حال، همبستگی‌ها اغلب مختص سایت/خاک است.(Selig, 1991)



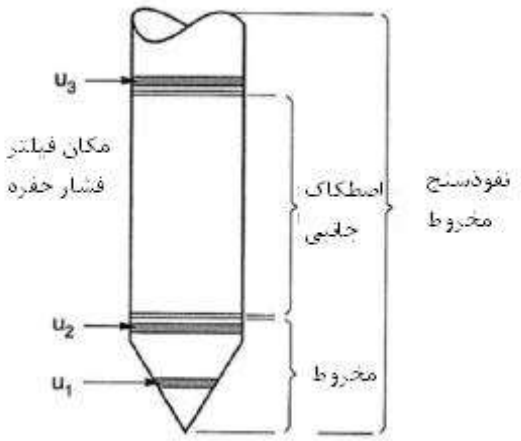
شکل (۲-۱۸) آزمون نفوذ استاندارد با نمونه‌گیر دوکفه‌ای(Selig and Waters, 1994)

۲-۱۴-۴آزمون نفوذ مخروط(CPT/CPTU)(ASTM D3441/D5778)

CPT یا آزمون نفوذ مخروط یک متد برجا برای تعیین خصوصیات خاک است. مخروط در انتهای

میله قرار می‌گیرد و با نرخی ثابت، معمولا ۲۰ میلی‌متر بر ثانیه، به داخل زمین نفوذ می‌کند. در هنگام فشار مخروط, مقاومت در برابر نفوذ اندازه گرفته می‌شود. این مقدار در واقع با اندازه‌گیری نیروی موردنیاز برای نگه‌داشتن نرخ ثابت نفوذ و تقسیم آن بر مساحت سطح مخروط بدست می‌آید.

اصطکاک جانبی یا اصطکاک در مقابل نفوذ نیز اندازه گرفته می‌شود. در CPTU یا «آزمون piezocone» فشار آب حفره ای موجود در خاک نیز با استفاده از فیلتر پوروس و ترانسفورماتور فشار اندازه‌گیری می‌شود.(نگاه کنید به شکل ۲-۱۹)



شکل(۲-۱۹) مخروط CPTU معمولی سه مکان ممکن برای اندازه‌گیری فشار حفره ای نشان می‌دهد

(Selig and Waters, 1994**)**

۲-۱۴-۵نفوذسنج پاندا DPL

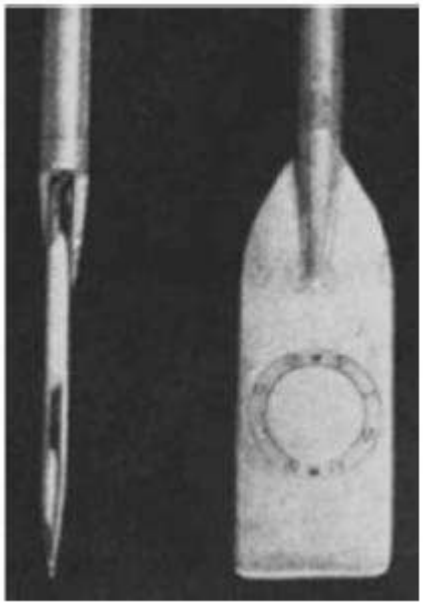
کاربرد نسخه دستی و به تازگی ایجادشده آزمون نفوذ مخروط دینامیکی که نفوذسنج پاندا خوانده می‌شود در ارزیابی بستر خط راه‌آهن افزایش یافته است. پاندا نفوذسنج دینامیکی سبک‌وزنی است که در فرانسه ایجاد شد. این نفوذسنج شامل میله‌ای با مخروط ۲، ۴ یا ۱۰ سانتی‌متر مربعی در انتهای آن است. این میله با استفاده از انرژی متغیر و دستی فراهم شده از یک چکش به درون زمین حرکت می‌کند. هر زمان که بر میله ضربه زده می‌شود، انرژی ضربه و عمق نفوذ با استفاده از واحد پذیرش

مرکزی کوچکی اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۲-۲۰ تنظیمات استاندارد نفوذسنج پاندا را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۲۰ نفوذسنج پاندا(LCPC and CETE, 2007)

۲-۱۴-۵دیلاتومتر تخت(ASTM D6635)

قطر تخت دستگاه تیغه‌شکل فولادی است که دارای غشا فولادی در یک طرف است.(نگاه کنید به شکل ۲-۲۱) این دستگاه با استفاده از تجهیزات نفوذ یا کامیون در داخل زمین حرکت می‌کند. غشا در فاصله‌های ۲۰ سانتی‌متری با استفاده از گاز فشرده‌شده پر از باد می‌شود. فشار موردنیاز برای شروع حرکت غشا و همچنین فشار موردنیاز برای حرکت مرکز آن به اندازه۱میلی‌متر از پره ثبت می‌شوند. پروفیل ۳۰ متری را می‌توان در۲ ساعت بدست آورد.(Marchetti, 1980) نتایج حاصل از آزمون دیلاتومتر با پارامترهای ژئوتکنیکی گوناگون از جمله مدول‌های برشی کرنش کوچک، و نسبت بیش تحکیمی (OCR) همبسته بوده است. ثابت شده است که شاخص مصالح ID بدست آمده از آزمون همچنین با توزیع اندازه دانه به خوبی همبسته بوده است. برای بحث بیشتر به (Marchetti, 1980 و Sully and Campanella,1989) رجوع کنید.



شکل ۲-۲۱ دیلاتومتر تخت(Marchetti, 1980)

۲-۱۴-۶دستگاه افت‌وخیزسنج ضربه‌ای(FWD) و دستگاه افت‌وخیزسنج ضربه‌ای سبک(LFWD)(ASTM D ۴۶۹۴)

FWD و LFWD دو دستگاهی هستند که برای اندازه‌گیری سختی سطح استفاده می‌شوند. روش‌کار آزمون شامل انداختن وزنه‌ای معلوم از ارتفاعی معلوم روی سطح و اندازه‌گیری تغییرشکل در فواصل شعاعی مختلف از نقطه بارگذاری است.(نگاه کنید به شکل ۲-۲۲)

شکل ۲-۲۲ LWFD در لایه بستر خط در اتریش استفاده می‌شود

۲-۱۴-۷پورتانس‌متر[۱]

پورتانس‌متر ابزار پیوسته پیشرفته مدرنی است که برای آزمایش مدول‌های خاک بستر استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۲-۲۳ می‌بینید، چرخ لغزان پورتانس‌متر در طول آزمایش پشت دستگاه کشیده می‌شود. نیروهای معین و تغییرشکلهای های اندازه‌گیری‌شده(برای بدست آوردن مقادیر k) به عنوان نقاط داده به منظور تعیین سختی بستر استفاده می‌شوند. نتایج پورتانس‌متر برای آزمون بارگذاری صفحه‌ای دینامیکی کالیبره شده است. مدول‌های E_{V2} از مقدار k با استفاده از معادله ۹ تعیین می‌شود.(LCPC and CETE,2007(2))

$$EV2 = 5.26 * k \qquad (9)$$

که در آن k: مدول‌های واکنش بستر به kN/mm E_{V2}: مدول‌ها به Mpa

شکل ۲-۲۳ پورتانس‌متر(LCPC)

[۱]-Portancemeter

۲-۱۴-۸ DyStaFiT(آزمون صحرائی پایداری دینامیکی)

DyStaFiT قادر به تولید بار استاتیکی و دینامیکی سیکلی قطار است که بصورت مستقیم بـر بسـتر فشار می‌آورد. مقیاس برجا ۱:۱ اندازه گیری واضح تری در مقایسـه بـا آزمـون هـای آزمایشـگاهی بـا مقیاس کوچکتر برای عملکرد بستر است.(Neidhart and Shulz, 2011)

دستگاه آزمون می‌تواند تعداد کل چرخه‌های بار پیش‌بینی شده در طول دوره عمر بسترخط را فقط در دو روز شبیه‌سازی کند.

شکل ۲-۲۴ دستگاه آزمایش DyStdFiT

جدول ۲-۵ قابلیت کاربرد آزمایش‌های استاندارد برجا برای پارامترها و شرایط گوناگون خاک

آزمایش برجا	خصوصیات سایت		پارامترهای خاک						نوع خاک				
	تعیین نوع خاک	تعیین پروفیل	فشار حفره ای (u)	اصطکاک داخلی مؤثر	مقاومت برشی زه-کشی‌نشده	مدول‌های برشی کرنش کوچک	مدول‌های الاستیک	نسبت بیش تحکیمی (OCR)	دانه‌ای	شنی	لای	خاک‌رس نرم تا متوسط	خاک‌رس متوسط تا سفت
آزمایش نفوذ استاندارد(STP)	**	*							*	**	**	**	**
افت و خیز سنج ضربه ای(FDP)	*	*				**				*	*	**	**
آزمایش بارگذاری صفحه (PLT)					*	**			*	*	**	**	**
برش پره‌ای(FVS)	*				**							**	*
انبساط‌سنج(DMT)	*	**		*	*	*		*		**	**	**	**
آزمون نفوذ مخروط(CPT)						*		*		**	**	**	**
خصوصیات اضافی در صورت CPTU			**	*									

*** قابلیت کاربرد دارد**

**** قابلیت کاربرد زیادی دارد**

۲-۱۵ روش‌های ژئوفیزیکی

بررسی ژئوفیزیکی مبتنی بر مشاهدات تغییرات در میادین فیزیکی می باشد. روش های ژئوفیزیکی به گروه های ذیل تقسیم می شوند:

الف.روش های ژئوالکتریک ، روش های لرزه ای ، گرانی سنجی ب.بررسی مغناطیسی

ج.روش های فیزیک هسته ای (رادیومتری)

روش های ژئوفیزیکی منتخب :

GPR.۱ (رادار ژئولوژیکی)

رادار نفوذکننده در زمین،یک تکنیک الکترومغناطیسی برای کاوشهای زیر سطحی است که بطور سترده در بررسی وضعیت آبهای زیرزمینی ، مشخصات لایه روسازی و زیرسازی راه،کشف حفرات زیرزمینی و .... کاربرد دارد.

شکل ۲-۲۵ دستگاه GPR مجهزبه سیستم های آنتن بر روی درزین ریلی CRAB

۲.ترسیم پروفیل مقاومتی

این روش مبتنی است بر اندازه گیری مقاومت الکتریکِ سنگ ها. آرایهٔ سنجش اولیه با استفاده از دو الکترود پتانسیل داخلی و دو الکترود جریان خارجی مشخص می شود (پروفیل مقاومت متقارن – SRP).برای تشخیص رساناهای ظریف (باریک) ، یک الکترود جریان با دور اضافی مورد استفاده قرار می گیرد (پروفیل مقاومت ترکیبی- CRP).

۳.اندازه گیری های (مقاومت) چند الکترودی

روش مبتنی است بر اندازه گیری مقاومت الکتریک سنگ ها. در این حالت ، اندازه گیری با استفاده از یک کامپیوتر ادامه می یابد، که سیستم عامل آن اجازۀ اتصال داخلی ده ها تـا صـدها الکتـرود را مـی دهد. داده های اندازه گیری شده ثبت می شوند و بانک اطلاعاتی جامع و گسترده ای از مقاومت های ظاهری مربوط به نقاط در محدوده مطالعاتی به مرور تولید می شوند. بانک اطلاعـاتی مقاومـت هـای ظاهری به میزان بیشتری تفسیر می شود که منجر به یک مدل تفسیر قابل اعتماد از شرایط مقاومـت با سطح بسیار بالاتر اطمینان در مقایسه با پروفیل مقاومت می شود.

شکل ۲-۲۶ ابزار کنترل سیستم چندالکترودی در حین بررسی میدانی

۴.لرزشهای ضربه ای

اندازه گیری لرزه ای مبتنی است بر مشاهدۀ انتشار امواج الاستیک. ضربه های لرزه ای اغلب با ضربات چکشی زمین لرزه ای بر روی لایه برانگیخته می شوند (زمین لرزه های ضربه ای). بـرای مـواردی بـا عمق نفوذ بیش از سی متر، مواد منفجره اغلب به عنوان منبع ضربات زمین لرزشی مورد استفاده قرار می گیرند (زمین لرزۀ دینامیک). به عنوان یک منبع از ضربات زمین لرزشی ویبراتور نیـز مـی توانـد مورد استفاده قرار گیرد که قادر به تحریک فرکانس های مختلف در یک طیف فرکانس وسیع اسـت (زمین لرزه های لرزشی).

شکل ۲-۲۷ ابزار لرزه ای مورد استفاده در حین اندازه گیری میدانی

۵-گرانش سنجی

اندازه گیری مبتنی است بر مشاهدهٔ بسیار دقیق تغییرات گرانش. برای انجام اصلاحات توپوگرافیک ، لازم است تا به طور همزمان به تسطیح (ترازبندی) دقیق پرداخته شود. کارها در پروفایل ها (خطوط پیمایشی) و نیز در یک شبکه پیش می روند. اجسام یکپارچه همچون ارزیابی های سنگ های جامد نشان دهندهٔ ناهنجاری های مثبت هستند. نقایص جرم (همانند حفرات ، افزایش تخلخل واسطه) نشانگر گونه ای ناهنجاری منتجهٔ منفی هستند. یک ویژگی مشخصهٔ اندازه گیری های گرانش گراف هایی با مسیر مقادیر گرانش تصحیح و اندازه گیری شده و یا مدل های گرانش تفسیر هستند. مدل ها نشان دهندهٔ توزیع اندازه گیری شدهٔ جرم به شیوه ای هستند که بهترین تطابق را با مقادیر اندازه گیری شده داشته باشد.

۲-۱۶ سوابق تاریخی نحوه استفاده از تکنیکهای بهسازی در خطوط راه آهن کشورهای دیگر

۲-۱۶-۱ سوابق تاریخی از آلمان و استرالیا

بدنبال وحدت مجدد آلمان درسال ۱۹۹۰ و مقدمه سیستم خطوط راه‌آهن تندرو در این کشور، شبکه راه‌آهن مسیرموجود به برلین, نیازمند ارتقاء مجدد بود. از این کار به عملیات بهسازی گسترده زمین یاد می‌شود. روش‌های ارتعاشی عمیق در موقعیت‌های متعددی انجام شد. نقشه شکل ۲-۲۸ موقعیت‌ها/محل‌هایی که عملیات بهسازی زمین انجام شده‌است را نشان می‌دهد. شکل ۲-۲۹ عکس‌های محل را نشان می‌دهد که نشان دهنده ۳ دستگاه ویبراتور است که در حال انجام عملیات بهسازی زمین برای سیستم قطاری ICE آلمان می‌باشد و نمایی از قطار ICE تندرو با سرعت ۲۵۰ kmphبر روی ستون‌های سنگی را نشان می‌دهد.

شکل (۲-۲۸) نقشه نشان دهنده محل‌هایی که بهسازی زمین برای خطوط راه‌آهن آلمان بسمت برلین انجام شده‌است

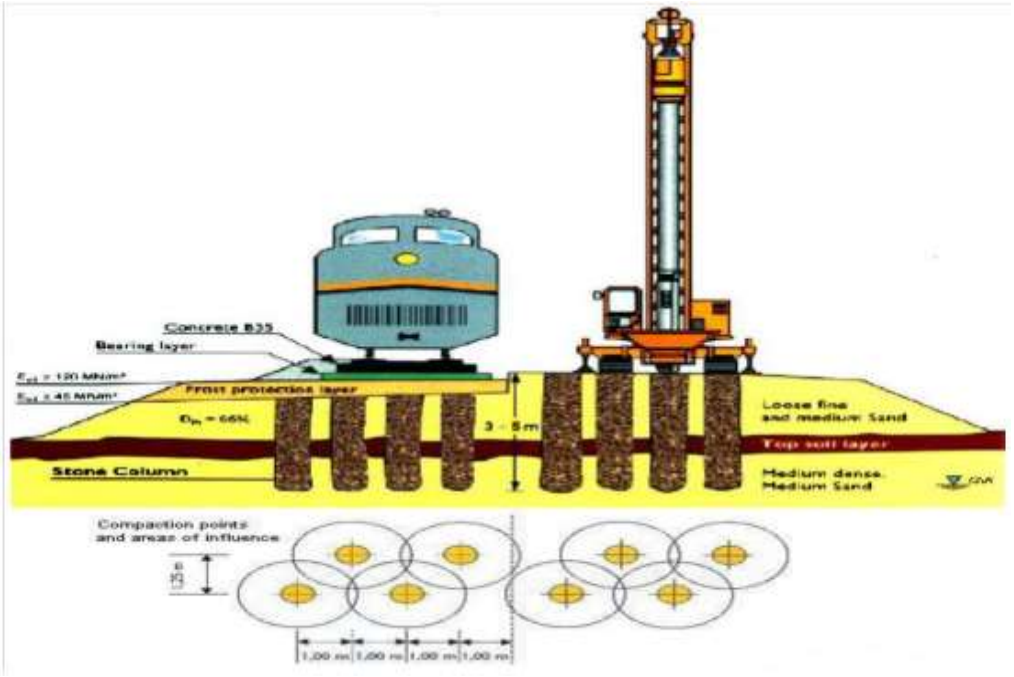
شکل (۲-۲۹) (چپ) عکس نشان دهنده ۳ دستگاه ویبراتور که در حال انجام بهسازی زمین برای سیستم قطاری بر **km h** تندرو با سرعت ICE۲۵۰باشند. (راست) نمایی از قطار تندرو میICE

۲-۱۶-۲ خط تندرو هامبورگ-برلین: ایستگاه *Wittenberge* (جایگزینی ارتعاشی)

خاک زیرین بستر با۶km امتداد, در عملیات گسترده مسیر هامبورگ-برلین در نزدیکی ویتنبرگ با استفاده از روش جایگزینی ارتعاشی (ستون‌های سنگی) بهسازی شد. بهسازی برای ارتقاء خط موجود معمولی به خط تندرو واقع بر بستر صلب ضروری بود (به Sondermann 1996 مراجعه شود).

بدنبال عملیات بررسی خاک، عملیات تراکم با استفاده از تجهیزات ویژه و بکار بردن بالاست اضافی انجام شد. یک لایه ۴ ردیفه از ستون‌های سنگی با فواصل افقی ۲m $_{c/c}$[۱] و فواصل قائم ۱.۲۵ m $_{c/c}$در یک الگوی مثلثی شکل نصب شد. ستون‌ها در اعماق ۳ متری و ۷ متری نصب شدند. قطر ستون ها بین 0.6mو 0.8mمتغیر است. نمای شماتیک مقطع عرضی و نمای از بالای نقشه بهسازی در شکل ۲ نشان داده شده‌است.

[۱] c/c فاصله مرکز به مرکز



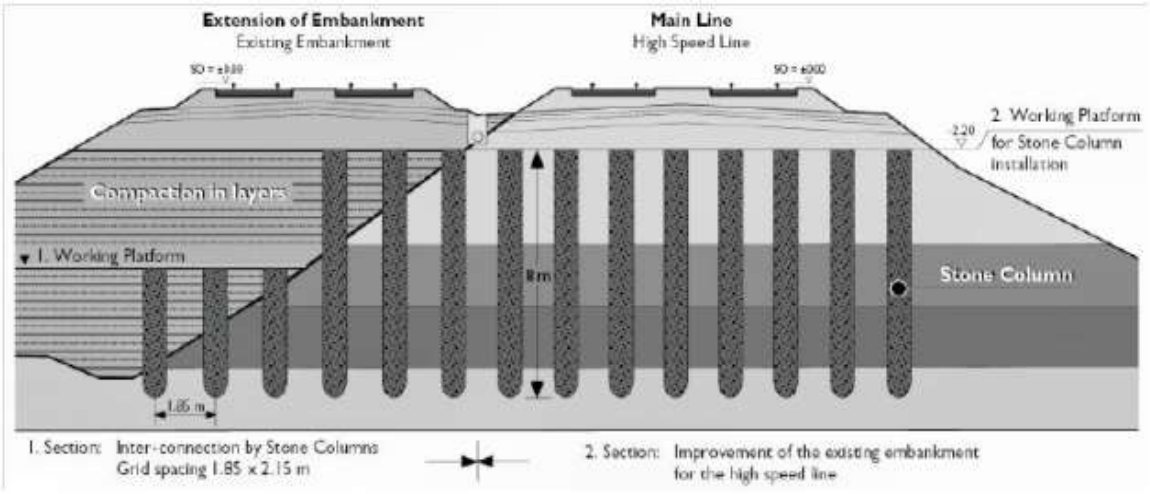
شکل (۲-۳۰) خاکریز راه‌آهن تندرو بر بستر صلب با استفاده از روش جایگزینی ارتعاشی

در طی عملیات بهسازی خاک، جهت ثبت ارتعاش ها در اعماق بین ۲ متر و ۳ متر، اندازه‌گیری‌ها با استفاده از ژئوفون ها انجام شد. ارزیابی نتایج نشان داد که تغییر شکل های پیش بینی شده خاک ناشی از ارتعاشات حاصل از قطارهای تندرو پیشتر در طی نصب ستون‌های سنگی اتفاق افتاده است وسرعت نواسانات سیستم راه‌آهن بسیار کمتر از مقداری است که برای عملیات بهسازی خاک وجود دارد. حتی در حین عملیات نصب در نزدیکی خط راه‌آهن در حال بهره برداری (با سرعت حداکثر ۱۲۰km h)، تغییر مکان های قائم ریل ها کمتر از ۳mm بود و تغییر مکان های قابل صرف نظر کردن بود.

۲-۱۶-۳ خط تندرو هانوفر-برلین: ایستگاه خاکریز *Schonhausen* (جایگزینی ارتعاشی)

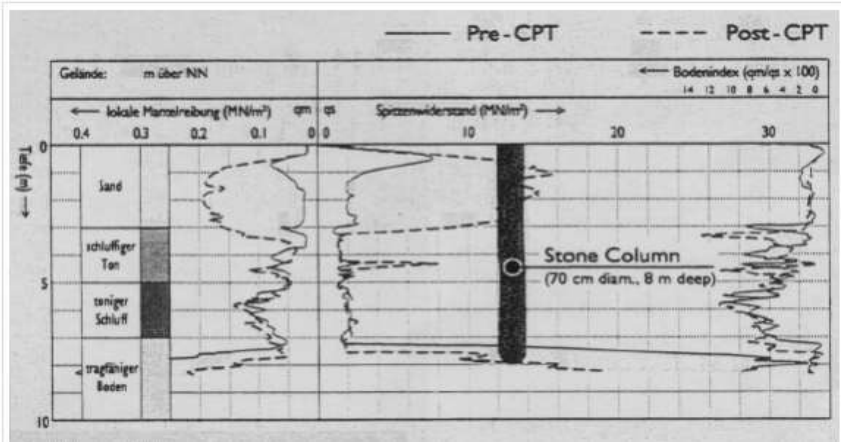
یک مقطع خط تندرو Hannover-برلین بین Homerten و Stendal در نزدیکی پل Elbe بر سیستم بستر صلب ساخته شده‌است. به دلیل مسیر دو طرفه خط تندرو، خاکریز Schonhausen در قسمت شرقی پل Elbe تعریض شده‌است. خاکریز قدیمی توسط ستون‌های سنگی در یک شبکه مستطیلی با

فواصل ۱.۸۵ m $_{c/c}$ ×۲.۱۵m از داخل به خاکریز گسترش یافته متصل شده‌اند که در شکل ۲-۳۱ نشان داده شده‌است.



شکل (۲-۳۱) بهسازی خاک با استفاده از ستون‌های سنگی در خاکریز Schonhausen

پروفیل خاک در مقطع خاکریز Schonhausen همراه با نتایج قبل و پس از آزمون نفوذ مخروط در شکل ۲-۳۲ نشان داده شده‌است. نتایج بررسی خاک نشان می‌دهد که مقاومت نوک در ۳ متر بالایی لایه ماسه‌ای بطور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت، همچنین در لایه های سیلتی رس دار نرم تا عمق ۷ متر، مشاهده شد که مقاومت نوک همانطور که انتظار می رفت با مقادیر قبل از بهسازی یکسان نمی‌باشد.

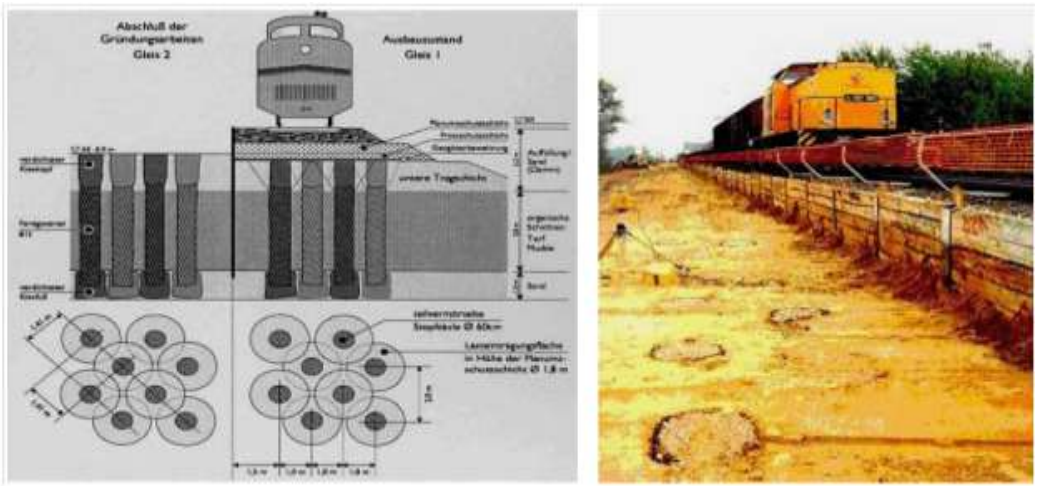


شکل (۲-۳۲) پروفیل خاک و نتایج قبل و بعد از CPT در خاکریز Schonhausen

در مقطع دیگر خاکریز، ستون‌های سنگی بمنظور متراکم کردن خاک سست و بهبود مقاومت برشی برای پایداری شیروانی نصب شدند. در هر دو خط ۸۲۰۰۰ ستون سنگی بر اساس ارتفاع خاکریز با طول‌های متغیر بین ۶ m و ۱۲m، نصب شدند.

۲-۱۶-۴ خط تندروهامبورگ-برلین: ایستگاه *Vi et zni t z-Fr i esack* (ستون‌های سنگی دوغابی)

خاک بستر زیر خط تندرو هامبورگ-برلین در ایستگاه Vietznitz-Friesack در منطقه Havellander Luchs ساخته شده از لنزهای خاک نباتی در بین لایه های ماسه‌ای یافت شد. بررسی ها خاک در ساختگاه نشان داد که یک لایه ماسه‌ای به ضخامت ۲ متر در سطح بر روی یک لایه آلی به ضخامت ۲ متر از خاک نباتی قراردارد پس از آن لایه های ماسه‌ای متراکم وجود دارند. بمنظور اتصال لایه های آلی خاک نباتی، ستون‌های سنگی دوغابی برای انتقال بارهای ترافیکی به لایه های عمیق تر مورد استفاده قرار گرفت. پروفیل خاک همراه با نقشه طرح بهسازی در شکل ۲-۳۳ نشان داده شده‌است.



شکل (۲-۳۳) بهسازی خاک با استفاده از ستون‌های سنگی نیمه دوغابی در خط تندرو هامبورگ-برلین

ستون‌های نیمه دوغابی به قطر ۰.۶m در یک الگوی لوزوی با فواصل جانبی $_{c/c}$ ۱.۴۱ m نصب شدند. بالا و پایین ستون ها در لایه های ماسه‌ای تنها با ستون ها تشکیل شدند, درحالیکه در لایه های آلی ستون‌های دوغابی نصب شدند. در طی عملیات نصب, ریل های در حال بهره برداری مجاور همانطور

که در عکس بالا نشان داده شده‌است، با استفاده از دیوارهای شمعی نگهداشته شدند.

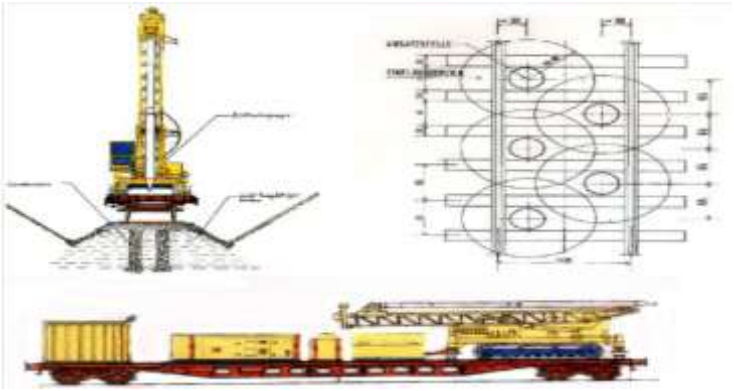
اندازه‌گیری‌های گسترده نظیر اندازه‌گیری‌های ارتعاش بمنظور آزمودن رفتار بلند مدت سیستم شالوده برای قطار های تندرو انجام شد. نتایج چنین اندازه‌گیری‌هایی اثبات کرد که، این روش‌های ترکیبی ستون‌های نیمه دوغابی در بهسازی شرایط خاک نامطلوب بسیار مؤثر است.

۲-۱۶-۵ خط راه‌آهن استرالیا در نزدیکی Hollenegg (جایگزینی ارتعاشی در زیر خط راه‌آهن در حال بهره برداری)

خط راه‌آهن Graz - Wies - Eibiswald یکی قدیمی ترین خطوط راه‌آهن در استرالیا است. این خط‌آهن در نیمه دوم قرن نوزدهم ساخته شد. مصالح بستر استفاده شده در آن زمان در محل در دسترس بودند و در برخی بخش ها خاکریزی کم کیفیت بود. این سبب ایجاد مشکلات سرویس پذیری و تکرار عملیات نگهداری و تعمیرمسیر در طی دوره بهره برداری شد. بررسی‌های ژئوتکنیکی آشکار ساخت که دقیقاً چند متر بالایی زیر ریل ها از خاک‌های سست تشکیل شده بودند که نیازمند متراکم سازی بودند.

روش جایگزینی ارتعاشی بعنوان راه حلی اقتصادی انتخاب شد که تداوم بهره برداری از خط راه‌آهن در طی عملیات بهسازی زمین فراهم می کرد. هیچ نیازی به برداشتن ریل ها و بالاست وجود نداشت. عملیات در مدت زمانی که خط در شب مسدود بود انجام می گرفت. برای این منظور، دستگاه های ارتعاشی اصلاح شده ویژه که در بردارنده تمام تجهیزات اضطراری لازم بود بر بالای یک واگن راه‌آهن نصب شده بود (شکل ۲-۳۴ را ملاحظه نمایید).

همانطور که در نقشه زیر نشان داده شده‌است، ستون ها بین تراورس ها نصب شدند. سنگ توسط ریل به منطقه عملیات منتقل شد. این امر, امکان جابجایی ماشین آلات و مصالح را در انتهای نوبت کاری فراهم می آورد.



شکل (۲-۳۴) تجهیزات جایگزینی ارتعاشی نصب شده بر روی واگن راه‌آهن بمنظور عملیات بهسازی زیرسازی خط راه‌آهن در حال بهره برداری

۲-۱۶-۶ سوابق تاریخی از اسکاندیناوی

در طی سال ها بیش از ۸۰ مورد عملیات بهسازی زمین برای پروژه های راه‌آهن با استفاده از روش اختلاط خشک خاک در عمق (روش ستون سیمان-آهک) در اسکاندیناوی اجرا شده‌است. عملیات شامل تثبیت خاک‌های نرم بوده است و ستون ها نیز در سالهای اخیر برای کاهش ارتعاشات نصب شده‌اند. مورد آخر بدلیل افزایش بیش از معمول قطارهای تندرو در اسکاندیناوی، با سرعت‌های حدود ۲۰۰ km/h به روشی ضروری‌تبدیل شده‌است. نقشه اسکاندیناوی درشکل ۲-۳۵ نشان داده شده‌است، نقطه ها در نقشه موقعیت‌های بهسازی زمین برای مسیرهای راه‌آهن که در دوره سالهای بین ۲۰۰۰-۲۰۰۲ انجام شده‌است را نشان می‌دهد.

شکل (۲-۳۵) نقشه اسکاندیناوی (نقاط موقعیت‌هایی را که بهسازی زمین با استفاده از DSM خشک در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۲ انجام شده‌است را نشان می‌دهد)

بیش از۱۲۰۰۰کیلومتر خطی از ستون ها در طی‌دو دهه اخیر توسط LCM Markteknik (شرکت تابعه Keller و Peab) در اسکاندیناوی نصب شده‌است. بیش از ۳۵٪ این عملیات برای راه آهن بوده است. در ادامه سابقه تاریخی یکی از پروژه‌ها آورده شده‌است.

۲-۱۶-۷ خط Lekarekulle-Frillesås (روش ستون سیمان-آهک)

مسئولان راه‌آهن سوئد مسیرهای‌راه‌آهن یک طرفه را برای خط WestCoast (Vastkustsbanan) به مسیرهای دوطرفه گسترش داده‌اند.کارفرما نتیجه‌گرفت‌که خاک زیرین بستر یک مقطع ۱/۵km ازراه‌آهن موجود در Frillesas، سوئد، نیاز به تثبیت دارد. مطلوب ترین گزینه برای تثبیت روش ستون سیمان-آهک انتخاب شد.

گزارش بررسی‌های زمین لایه بالایی را از خاک آلی یا خاکریز و لایه ماسه و قشر خشک را در زیر آن نشان داد. لایه ماسه در حدود۱ متر بود و قشر خشک حدود۱-۳ متر ضخامت داشت. زیر این لایه, رس سیلتی ماسه دار که بر یک لایه خاک اصطکاکی‌که روی سنگ واقع شده بود قرار داشت و عمق تا خاک سفت در حدود ۱۲ متر بود. نتیجه حاصله رس با حساسیت متوسط است و دانسیته آن با افزایش عمق، افزایش می یابد. قشر خشک محتوی ۲۰-۴۵٪ آب است، درحالیکه رس محتوی آب حدود ۳۰-۶۵٪ دارد. رس با ۲۰kPa به میزان کمی بیش تحکیم یافته بودو مقاومت برشی رس بین ۹۰-۱۰kpa متغیر بود.

در ادامه عملیات بررسی خاک و آزمایش های مخلوط ستون سیمان-آهک، نتیجه گرفته شد که ۳۲۶۰ ستون سیمان-آهک (۵۰/۵۰)، با قطر۶۰۰mm، در فواصل 1.5m در یک آرایش شبکه مستطیلی، و در طول کل ۳۴کیلومتر خطی باید نصب شوند. ستون ها تا رسیدن به زمین سفت طراحی شدند. نمونه‌ای از تصویری که عملیات اجرایی را نشان می‌دهد در شکل ۲-۳۶ ارائه شده‌است.

شکل (۲-۳۶) نصب ستون‌های سیمان-آهک برای تثبیت خاک مجاور مسیر راه آهن

آزمون‌ها با استفاده از روش FOPS[1] بر ۲۰ ستون انجام شد. یک کاوشگر در زیر ابزار اختلاط نصب شد و سیم کاوش برای آزمایش معکوس ستون در شمع-Keller قرار داده می‌شود که در شکل ۲-۳۷ نشان داده شده‌است. نتایج بازبینی نشان داد که جابجایی های قائم مسیر موجود ناچیز هستند.

شکل (۲-۳۷) شکل نمونه که جزئیات روش آزمایش FOPS را نشان می‌دهد

۲-۱۶-۸ سوابق تاریخی از U.S.A.

گسترش زیرساخت‌های‌راه‌آهن تاریخچه زیادی در ایالت متحده آمریکا دارند. در سراسر این تاریخچه،

[1] FOPS(Fall over protective structure) آزمونهای استاندارد در برابر سقوط اجسام

مهندسین بواسطه وجود مسائل پیچیده ژئولوژیکی با دشواری‌ها و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ترافیک ریلی موجود مواجه شده‌اند. ارتقاء راه‌آهن غالباً برای تحمل افزایش ترافیک مسافربری و باربری، اتومبیل‌های باری یا قطارهای تندرو ضروری است. علاوه بر این، مسائلی مرتبط با زمین لغزه‌ها یا آب بردگی ریل‌های واقع بر دامنه کوه، فعالیت منجلاب‌ها و تثبیت تراکم پذیری و خاک‌های مستعد روانگرایی وجود دارد. تمامی این موارد پر هزینه هستند و غالباً نیازمند قطع وسیع ترافیک حاضر می‌باشند.

تعدادی از روش‌های بهسازی و بازسازی درجای محل که ثابت شده مقرون به صرفه بوده و با حداقل زمان قطع ترافیک ریلی می توانند بسرعت اجرا شوند، توسط Hayward Baker (شرکت Keller Group) در ایالت متحده پیشنهاد گردید. جدولی که در ادامه آورده شده‌است ,عملکرد روش‌های مختلف بهسازی زمین اجرا شده در محل‌های ساختگاه در ایالت متحده را ارائه می‌دهد. برای جزئیات بیشتر خواننده به Pengelly (2000) ارجاع داده می‌شود. برخی از جزئیات این سوابق تاریخی در بخش‌های بعدی ارائه شده‌اند.

جدول (۲-۶) فهرست انتخابی از روش‌های بهسازی زمین و شالوده اجرا شده در پروژه‌های راه‌آهن در U.S.A.

Technique	Site Location	Purpose
Vibro Replacement	LACTC Flyover, Los Angeles SFM Rail yard, San Francisco	Densification of loose silty sands Mitigation of liquefaction potential
Deep Soil Mixing	Alameda Corridor, Los Angeles	Stabilisation of in-situ soils
Lime/Flyash Injection	Santa Fe Railroad, St. Joseph, MO	Subgrade stabilisation
Compaction Grouting	Union Pacific (UP) Railroad, Kansas CSX Railroad, Georgia Union Pacific Embankment Tunnel, Longview, Texas	Filling of voids in the shale Avoidance of sinkhole formations Densification of soil mass
Jet Grouting	Tilford Tunnel, Atlanta, Georgia Charles Street Bridge, , Rhode Island Union Pacific Storm Drain Tunnel, Ft. Worth, Texas	To replace the existing support To increase the slope stability To stabilise the soil mass
Chemical Grouting	West River Bridge, New Have, Connecticut Claremont Detention Basin, Albuquerque, New Mexico	Stabilisation of granular soils Solidification of sandy soils
Mini Piles	Canton Viaduct, Canton, Massachusetts Straight Creek Bridge, Tazewell, Tennessee	To form load bearing elements To form a deep foundation system
Anchors	Embankment slide, Green Bottom, West Virginia	To form an earth retention system

۲-۱۶-۹روگذر *LACTC* لس آنجلس، کالیفرنیا (جایگزینی ارتعاشی)

.بعنوان بخشی از ارتقاء خط راه‌آهن San Bernardino Commuter، کمیسیون حمل و نقل ملی لس آنجلس (LACTC)،نیازمند افزودن روگذر در امتدادسمت‌راست مسیر خط آهن موجود Southern Pacific بود. بررسی‌های خاک انجام شده در این مناطق دو مقطع با ماسه سست را آشکار ساختند. مقادیر Nحاصل از آزمایش SPT ، نشان داد که این ماسه ها دارای تعداد ضربات‌کمی‌هستند که

میانگین آن برای عمق ۱۵ فوت، تا ۶ می‌باشد. Flyovers جدید از پنل های پیش ساخته بتنی ساخته خواهند شد. بدلیل نزدیکی flyovers به خطوط ریلی در حال فعالیت موجود و طبیعت در هم فشرده منطقه، روش متداول برداشتن و جایگزینی خاک گزینه مناسبی نبود. جایگزینی ارتعاشی برای نصب ستون‌های سنگی انتخاب شد که می‌توانند توده خاک را مسلح کنند و همچنین خاک بین ستون ها را متراکم کنند.

ستون‌های سنگی با فواصل مرکزی ۹فوت تا عمق ۱۵ فوت نصب شدند. بدلیل طبیعت حساس خط ریل فعال و سایر سازه‌های مجاور، بررسی ارتعاشات انجام شد. عکس‌های نمونه عملیات نصب و بازبینی را در شکل ۲-۳۸ نشان می‌دهند. سرعت حداکثر ذرات در فواصل بیش از ۵ فوت دورتر از ویبراتور کمتراز ۲inches/sec نگهداشته شد. پس از نصب ستون‌های سنگی، آزمون‌های نفوذ مخروط الکتریکی برای بازبینی بهسازی خاک‌ها انجام شد. دانسیته نسبی لازم برابر ۸۰٪ در تمام مناطقی که ستون سنگی نصب شده بود، بدست آمد.

شکل (۲-۳۸) عملیات نصب و نگهداری در محل

۲-۱۶-۱۰پل راه‌آهن New Rancocas Creek: نیوجرسی (ستون‌های بتنی ارتعاشی)

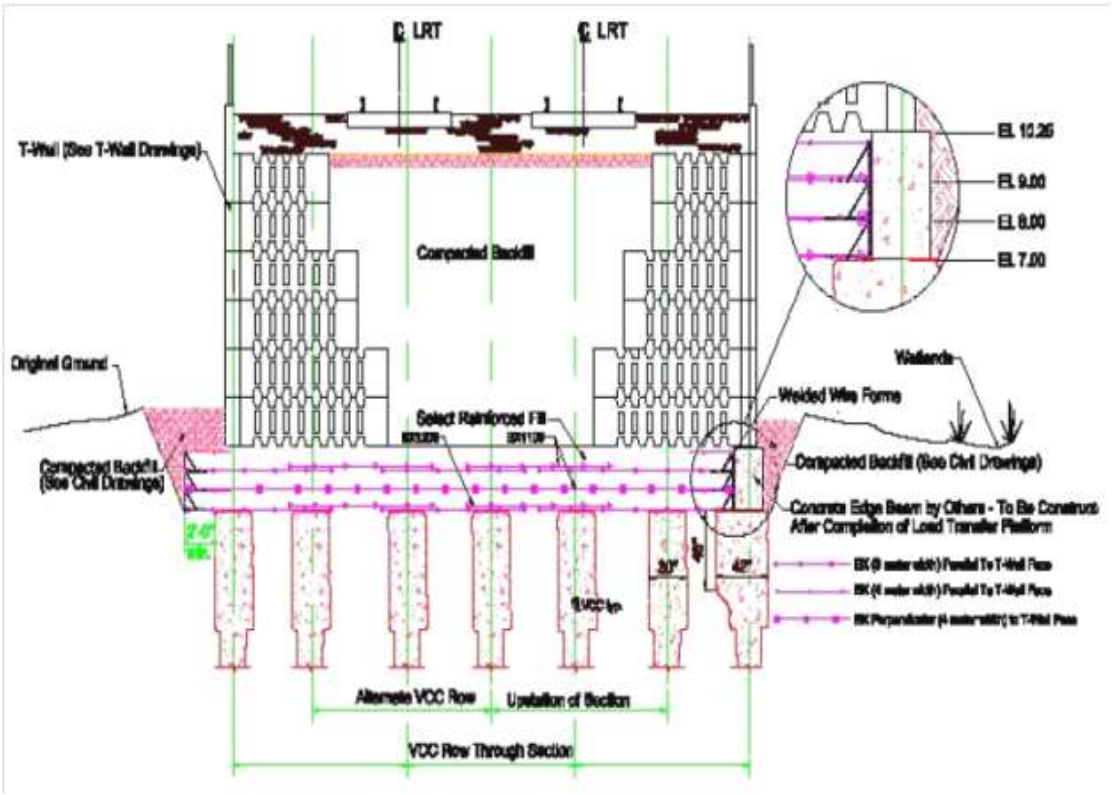
پل راه‌آهن new Rancocas Creek یکی از بزرگترین سازه‌ها برای خط ریلی سبک است که از

Camden تا Trenton از طریق نیوجرسی در راستای ساحل شرقی رودخانه Delaware گسترده شده‌است. بعنوان بخشی از این پروژه، خاکریز با سیستم دیوار نگهبان لازم است ساخته شود تا جایگزین خاکریز زمین قدیمی در مسیر جنوبی به پل Rancocas باشد. بر مبنای ارزیابی سیستم‌های دیوار نگهبان متعدد، سیستم دیوار نگهبان T-WALL انتخاب شد.

بررسی‌های خاک بستر در محل نشان دادکه پروفیل خاک تا عمق ۸ فوتی شامل ماسه های سیلت دار است که با سیلت های آلی و نباتی تا عمق ۲۵ فوتی ادامه می یابد، و بدنبال آن ماسه های سیلتی تا عمق ۴۰ فوت وجود دارد. نتایج تحلیل نشست‌روش پیشنهادشده حداکثر نشست 24 inches را در هنگامی که زمین بهسازی نشده بود نشان داد. اینچنین انتظار می رفت که مدت نشست بدلیل تداوم تراکم خاک‌های نباتی سال‌های بسیاری طول بکشد، که این امر ضرورت بهسازی خاک بستر موجود را اثبات کرد.

در میان روش‌های متعدد بهسازی زمین، ستون‌های بتنی ارتعاشی (VCC)[1] بدلیل مزایای سرعت بالای ساخت و سختی بهتر اجزاء انتخاب شد. VCC با فواصل ۷ الی ۹ فوت در یک الگوی مثلثی شکل به تعداد کل ۶۲۵ ستون در مدت زمان کمتر از ۳ هفته نصب شد. روش ساخت برای مدت زمان ارتعاش بیشتر در بالا و پایین ستون ها اجرا شد تا قسمت های بالایی و پایه به اندازه ۳۰inches گسترده تر شود. یک سکوی انتقال بار مسلح سازی شده بوسیله ژئوسنتتیک با ضخامت ۳ فوت در بالای VCC قرار داده شد تا بارهای قائم را از سیستم دیوار نگهبان به VCC منتقل کند. نمونه‌ای از مقطع عرضی نشان دهنده روش نگهداری، انتقال بار سکو و سیستم نگهبان T-WALL در شکل ۲-۳۹ نشان داده شده‌است. نشست محاسبه شده در آزمون بار ستون تک تحت ۱۵۰٪ بار طراحی حدود ۰.۴۶ inches بود که نشان می‌دهد VCC معیار لازم برای ظرفیت فشاری طراحی برابر 200kips را تأمین می‌کند.

[1] Vibro Concrete Columns ستون سنگی تزر یقی با بتن



شکل (۲-۳۹) نمونه‌ای از مقطع عرضی نشان دهنده روش نگهداری و سیستم نگهبان T-WALL

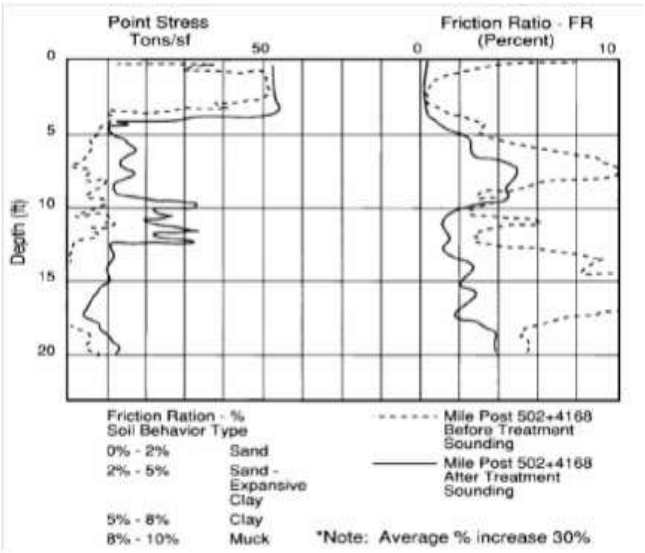
۲-۱۶-۱۱ راه‌آهن *Sant a Fe* (تزریق خاکستر سرباره/آهک)

راه‌آهن Santa Fe بشدت متحمل تغییرات مسیر مکرر است. علت این مشکل, نشست بستر راه در نزدیکی ایستگاه Joseph, Missouri می‌باشد. بررسی‌های خاک با استفاده از آزمایش نفوذ مخروط الکتریکی آشکار ساخت که خاک‌های بسیار ضعیف در اعماق ۱۸ الی ۲۰ فوت همراه با مصالح بالاستی اشباع شده در آب وجود دارند.

تزریق دوغاب خاکستر سرباره/آهک به عنوان راه حل بلند مدت برای پر کردن ترک ها، صفحات ضعیف، منافذ و مصالح بالاست انتخاب شد. آزمون‌های نفوذ مخروط این امکان را برای مهندسین فراهم می آورد تا دقیقا محل‌های مشکل دار تعیین شوند و مقدار دوغاب کافی برای موقعیت‌ها به دقت بدست آید. بر مبنای یافته‌های آزمون، برنامه تزریق برای نفوذ به عمق ۲۰ فوت و برای پرشدن خلل و فرج طراحی شد. نمونه تصویر نشان دهنده اجرای تزریق دوغاب خاکستر سرباره/آهک در شکل

۲-۴۰ نشان داده شده‌است. عملیات بدون برداشتن ریل و بالاست انجام شد. نتایج آزمون‌های نفوذ مخروط قبل و پس از بهسازی ترسیم و در شکل ۲-۴۱ نشان داده شده‌اند. نمونه عکس‌های نشان دهنده هم ترازی های مسیر قبل و پس از بهسازی در شکل ۲-۴۲ نشان داده شده‌است.

شکل (۲-۴۰) نمونه عکس نشان دهنده اجرای تزریق دوغاب خاکستر سرباره/آهک



شکل (۲-۴۱) نتایج آزمون‌های نفوذ مخروط قبل و پس از بهسازی

شکل (۲-۴۲) عکس‌های ریل قبل و پس از بهسازی

۲-۱۶-۱۲راه‌آهن CSX، جورجیا (تزریق تراکمی)

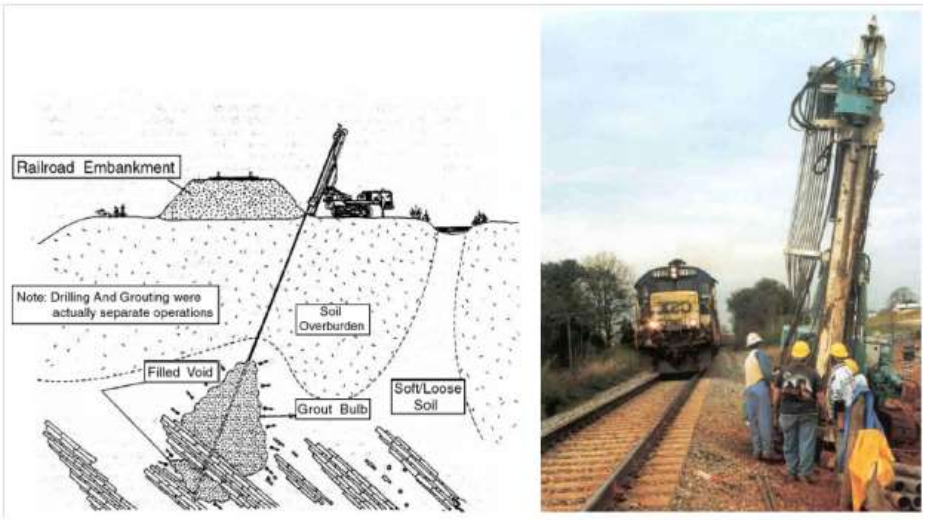
یک راه‌آهن به طول اصلی 1500 ftدر شمال جورجیا در یک میدان ژئولوژیکی مستعد فعالیت (karst)[۱] قرار گرفته است. در نیمه آخر سال ۱۹۸۰، تکرار فعالیت منجلاب بشدت افزایش یافت که به ترکیب شرایط خشکی، افت تراز آب زیرزمینی در مجاورت توده، و فعالیت طبیعی منجلاب همراه با توپوگرافی karst نسبت داده شد. تکرر و شدت فعالیت های karst سبب کاهش سرعت قطارها (از ۶۰mphبه۱۰mphتقلیل یافت) و تعمیر و نگهداری بصری ۲۴ ساعته شد. اگرچه تکرار فعالیت منجلابی جدید بعد از توقف فعالیت توده، کاهش یافت، باقیمانده منجلاب ابتدا هنگامیکه سطح تراز آب زیرزمینی پایین رفت، شروع به ظاهر شدن کرد. برای کاهش خطر نشستها که ترافیک راه‌آهن را می‌تواند به خطر اندازد، مالکان روش تزریق تراکمی را بعنوان اقتصادی ترین روش انتخاب کردند، که

[۱] کارست منطقه ای آهکی که تمام جویبارهای آن بصورت مجراهای زیرزمینی در آمده و سطح آن کاملا خشک و برهنه باشد

از لحاظ فنی امکان پیش بینی اندازه ها فراهم است.یک مزیت دیگر این است که در طی عملیات, ریل در حال بهره برداری باقی می ماند.

برنامه دوغاب ریزی برای پر کردن هرگونه منفذ در سطح بالایی سنگ طرح ریزی شد که یک حفـاظ دوغابی را در سطح مشترک سنگ/خاک تشکیل می‌دهد و خاک‌هـای سـربار سسـت شـده را متـراکم می‌کند. دوغاب ریزی در طول ۸۵۰ فوت در منطقه بهسازی انجام شد. حفره های دوغاب با زاویـه‌ای حفر شدند که از گوشه شرقی مسیر شروع می‌شود تا سطح سنگ آهک را درست در زیر خط مرکـزی مسیر قطع کند، که در شکل ۲-۴۳ نشان داده شده‌است. لوله گذاری برای نفوذ حداقل پـنج فـوت در سطح بالایی بستر سنگی پیش برده شد. حفاری بررسی و ثبت وقایع شد تا نواحی خاک سسـت/نرم و یا محل حفرات شناسایی شود. مناطق دوغاب در شبکه متوالی اولیه/ثانویه تزریق شدند، مناطق سـوم جاییکه حفره های ثانویه با شرایط سخت شدگی مواجه نشدند مشخص شده و دوغـاب ریـزی شـدند. حفره های اولیه در فواصل مرکزی ۲۰ فوت حفر شدند و حفـره هـای ثانویـه در فواصـل ۱۰ فـوتی از حفره های اولیه حفر شدند. چنانچه فشاری مشاهده نشود، برای سه فوت اولیه بالای سنگ، دوغاب در ۳ یارد مکعب در هر فوت لوله‌گذاری‌ها پمپاژ می‌شود.

بعنوان نتیجه برنامه دوغاب ریزی، فعالیت های منجلابی متوقف شد که امکان را فراهم کرد که سرعت قطارهاافزایش یابدو نگهداری تمام مدت متوقف شود. تا به امروز، مسیر بطور رضایت بخشی به فعالیت ادامه می‌دهد ((Brill and Hussin (1992).



شکل (۲-۴۳) عملکرد دوغاب ریزی فشاری برای خاکریز راه آهن

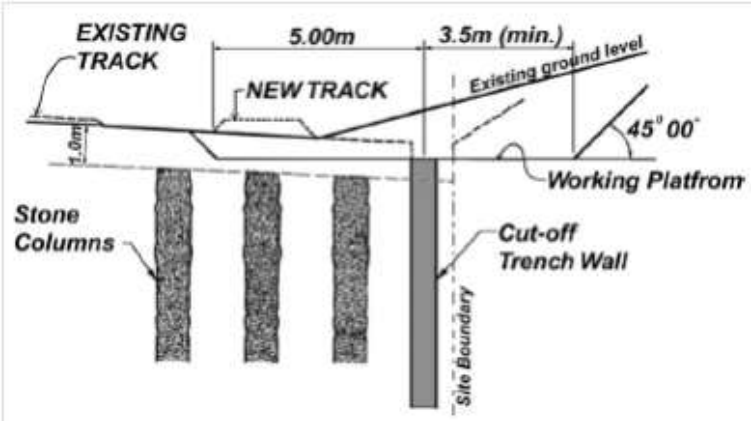
۲-۱۶-۱۳ سوابق تاریخی از مالزی

گسترش زیرساخت‌های راه‌آهن در مالزی به اوایل قرن بیستم بر می گردد. پیشرفتهای اخیر مجامع صنعتی ساخت خطوط دیگرراه‌آهن را جهت حمل و نقل مواد خام و محصولات نهایی ضرورت می بخشد. شکل ۲-۴۴ نقشه مالزی را با موقعیت‌هایی که بهسازی زمین توسط Keller (M) Sdn. Bhd انجام شده‌است را نشان می‌دهد. جزئیات این عملیات در سوابق تاریخی زیر تشریح شده‌است.

شکل (۲-۴۴) نقشه مالزی نشان دهنده محل‌هایی است که بهسازی زمین انجام شده‌است.

۲-۱۶-۱۴ مسیر KTM: Sungei Besi, Kuala Lumpur *(۱۹۹۲)* (جـایگزینی ارتعاشـی، دیوار ترانشه ای جدا کننده)

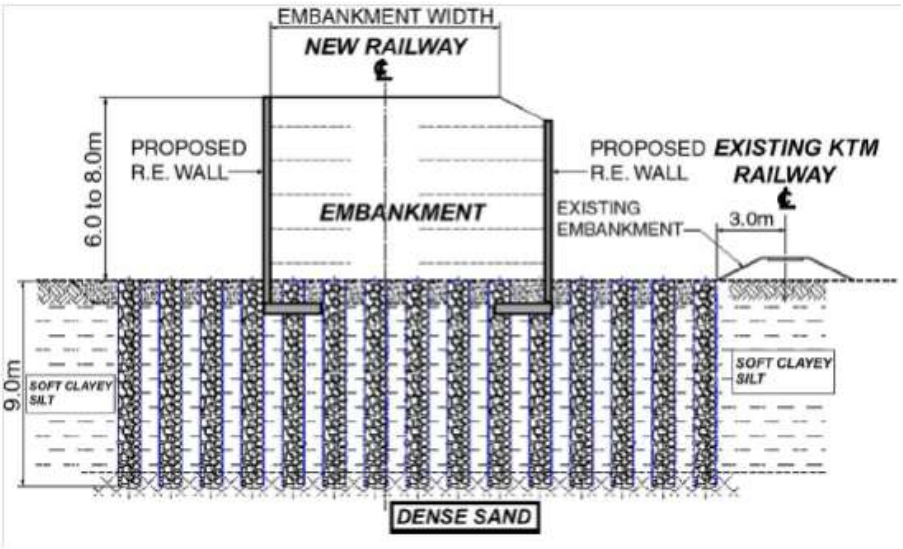
وجود تغییرات زیاد در تراز آب زیر زمینـی ناشـی از فعالیـت هـای معـدن قلـع در عمـق در نزدیکـی Sungei Besi، بین Salak South و Serdang در Kuala Lumpur، مالزی، منجر به فرسایش و امکان کاهش مصالح خاکی زیر مسیرKTM موجود می‌شود. این امرسبب نشست تدریجی مسیر می‌شود کـه منجر به کاهش سرعت قطار شده و ضـرورت تعمیـر و نگهـداری‌هـای بـه صـورت ثابـت مـی گردنـد. خاک‌های محل از لایه های متناوب ماسه سیلت دار سست و سیلت‌های رس دار نرم تشکیل شده‌است که بیشتر از فعالیت های معدن قلع تا اعماق حدود ۱۲mناشی می‌شوند. این بر روی لایه های متراکم سنگ آهک قرار گرفته است. عملیات بهسازی زمین به شکل دیوار ترانشـه‌ای جداکننـده در مجـاورت مسیر بمنظور توقف جریان آب از مسیر و تثبیت خاک قرار گرفته در زیر مسیر با استفاده از جایگزینی ارتعاشی انجام شده‌است. شکل ۲-۴۵ مقطع عرضی روش بهسازی را نشان می‌دهد. تعداد کـل ۳۹۰۰ ستون سنگی به قطر ۰.۸۵m حداکثر تا عمق ۱۲ mاجرا شـدند. سـتون‌هـا در یـک شـبکه مثلثـی بـا فواصلm ۲.۱ نصب شدند.



شکل (۲-۴۵) مقطع عرضی نشان دهنده دیوار ترانشه ای جدا کننده و ستون‌های سنگی زیر مسیر

۲-۱۶-۱۵ خط کارخانه کود سازی Petronas Kedah در (۱۹۹۷) Gurun (جایگزینی ارتعاشی)

ساختمان Petronas Kedah fertilizer plant در سال ۱۹۹۷ در نزدیکی Gurun در شمال مالزی با ساخت خط راه‌آهن ویژه که خط راه‌آهن اصلی KTM[1] را به کارخانه کود سازی متصل می‌کند، تکمیل شد. پروفیل طولانی خط راه‌آهن نیازمند ساخت خاکریزهایی با ارتفاع متغیر بین۲m تا ۸mمی‌باشد. نزدیکی خط KTM امکان استفاده از شیروانی‌های زمین را نمی‌دهد لذا از دیوار خاکی مسلح استفاده شد (شکل ۲-۴۶ را ملاحظه نمایید). حضور سیلت های رس دار بسیار نرم (SPT N=۰الی2) تا اعماق ۹.۰ متر مشکلاتی را برای پایداری دیوار و نشست‌های اضافی ایجاد کردند.



شکل (۲-۴۶) مقطع عرضی نشان دهنده دیوار خاکی مسلح، خط KTM موجود مجاور و روش بهسازی زمین

جایگزینی ارتعاشی با استفاده از روش اجرا بصورت خشک از کف برای بهسازی خاک‌های سست مورد استفاده قرار گرفت. در کل ۱۸۰۰۰lin.m. ستون سنگی به قطر ۱mبا استفاده از دو دستگاه ویبراتور Keller نصب شد. شکل۲-۴۷ دو دستگاه ویبراتور را در حالیکه قطار KTM در حرکت است، در حال

[1] شبکه اصلی خطوط راه آهن دولتی مالزی (کی‌تی‌ام)

کار در زمین مقابل را نشان می‌دهد.

شکل (۲-۴۷) عملیات جایگزینی ارتعاشی در طول خط راه‌آهن KTM در Gurun برای کارخانه کود سازی **Petronas Kedah**

۲-۱۶-۱۶ خط راه‌آهن Kertih به Kuantan (۲۰۰۰-۲۰۰۱):(تـراکم ارتعاشـی و جـایگزینی ارتعاشی)

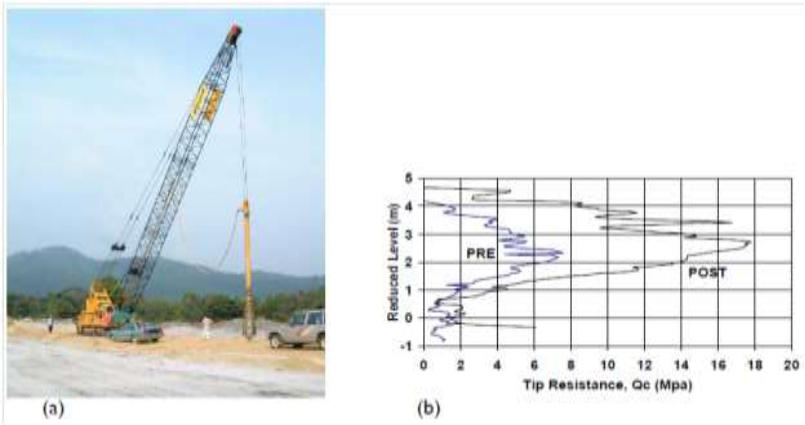
گسترش کارخانجات پتروشیمی در ساحل شرقی مالزی, ساخت خط راه‌آهن اختصاصی بین Kertih و Kuantan را توسط Petronas ضروری ساخت.

خاک‌های امتداد مسیر از ماسه های سست در طول نواحی سـواحلی تـا خـاک‌هـای ریزدانـه حسـاس (سیلت‌ها و رس ها) و همچنین خاک‌های شدیداً آلی در جنگل های داخلی و منـاطق بـاتلاقی متغیـر است. عمق خاک سست/نرم بین ۳ و۱۴ متر متغیر است. تعداد کل ۲۵۳ آزمونCPT پیش از بهسازی انجام شد (با نرخ۱CPTدر هرsq.m ۱۰۰۰ منطقه بهسازی) تا تصویر واضحی از شرایط خاک در طـول ۱۰km مسیر هم تراز با راه‌آهن بدست آید.

جاییکه خاک‌ها ماسه نسبتاً تمیز بودند، تراکم ارتعاشی برای متراکم کردن خاک‌های سست انجام شد.

نتایج تراکم با استفاده از آزمون‌های CPT پس از تراکم و آزمون‌های بارگذاری صفحه بررسی شد. شکل ۲-۴۸-a نمونه‌ای از برپا کردن جرثقیل و ویبراتور عمیق را که تراکم ارتعاشی را انجام می‌دهند، نشان می‌دهد. در بیشتر حالات، تراکم تنها تا اعماق ۳ متری (تراکم ارتعاشی سطحی) بعنوان طرح الزامی انجام شد.

شکل ۲-۴۸-b نمونه‌ای از نتایج آزمون CPT قبل و بعد از تراکم در لایه خاک ماسه‌ای را نشان می‌دهد. روش تراکم ارتعاشی امکان تراکم مؤثر خاک‌های دانه‌ای را حتی در اعماق کم ۳ متری فراهم آورد و مقاومت نوک بیش از ۱۰MPa را نشان داد. در کل حدود ۳۵۰۰m از مسیر با استفاده از تراکم ارتعاشی بهسازی شد.



شکل (۲-۴۸) **a** نمونه برپا سازی برای تراکم ارتعاشی در طول هم تراز راه آهن

شکل (۲-۴۸) **b** نمونه نتایج آزمون **CPT** قبل و بعد از تراکم

جاییکه سیلت های آلی و چسبنده نرم و رس ها (SPT N=0, CPT Q_c=200-300 kPa) تا اعماق ۸ الی ۱۴ متر یافت شدند، جایگزینی ارتعاشی با استفاده از روش اجرا بصورت مرطوب از بالا مورد استفاده قرار گرفت. مسیرها غالباً از میان جنگل های انبوه با شرایط خاک باتلاقی عبور می‌کند. ۰.۵ متر بالایی خاک اساساً پوشش گیاهی تجزیه شده بود. درخت ها، بوته ها و مواد تجزیه شده ابتدا زدوده شد و یک جاده دسترسی در مجاورت مسیر راه‌آهن ساخته شد (عکس را در شکل ۲-۴۹

ملاحظه نمایید). یک روکش ماسه‌ای به ضخامت۱متر قرار داده شد تا محوطه تثبیت شده ای را شکل دهد. در مناطق باتلاقی که خاک بالایی بسیار نرم بود، رویه ماسه‌ای باید ضخیم تر ریخته می شد.

شکل (۲-۴۹) مسیر راه‌آهن در میان جنگل پس از تمیزسازی محل و ساخت جاده دسترسی در CH 34000.

بمیزان ۸ عدد تجهیزات نصب ستون سنگی به روش مرطوب به مدت ۱۸ ماه برای بهسازی طول کل 3800m از مسیر راه‌آهن به روش جایگزینی ارتعاشی مورد استفاده قرار گرفت. عملیات در ۱۲ محل مختلف انجام شد و مواد و ماشین آلات کارخانه از میان جنگل منتقل شد و گه گاهی عوارض تپه‌ای زمین نگرانی اصلی بود.

۸۵ .Nrs آزمون بارگذاری صفحه انجام شد تا نتایج نشست و تراکم ارتعاشی مورد آزمایش قرار گیرد. جاییکه بارهای آزمون ۵۰ تن یا کمتر بود، عکس العمل توسط جرثقیل زنجیری موجود در محل تأمین شد (شکل ۲-۵۰را ملاحظه نمایید).

شکل (۲-۵۰) آزمون بارگذاری صفحه با استفاده از جرثقیل زنجیری بعنوان عکس العمل برای آزمون‌های تا ۵۰

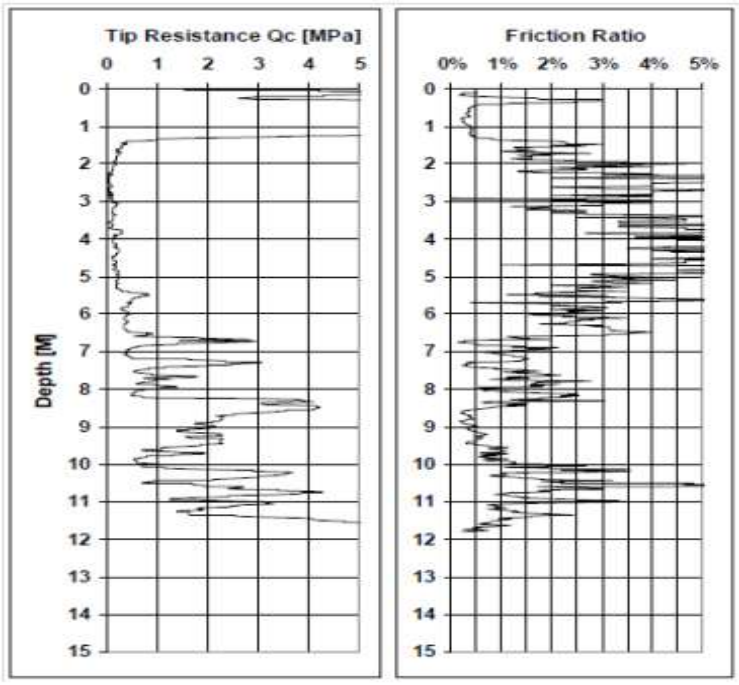
۲-۱۶-۱۷ پروژه دوخطه Ipoh – Rawang (۲۰۰۳-۲۰۰۱) (جایگزینی ارتعاشی)

مالزی در حال ایفای نقشی کلیدی در برنامه‌ریزی و هماهنگی خط آهن Trans-Asia بین Kunming در چین و سنگاپور می‌باشد. انتظار می‌رود این مسیر با طول حدود ۵۵۰۰ کیلومتر به پیشرفت و توسعه اقتصادی کشورهایی مانند چین، ویتنام، لائوس، برمه، کومبودیا، تایلند، مالزی و سنگاپور کمک کند. پروژه دوخطه Ipoh – Rawang که درحال ساخت می‌باشد بخشی از خط آهن Trans-Asia به طول حدود ۱۵۰ کیلومتر را تشکیل می‌دهد.

مسیر دوخطه جدید تقریباً همسو با مسیر تک خطه کنونی بوده و در بسیاری از نقاط با هم یکی می‌شوند. با این حال، شیب بیشتر مورد نیاز برای مسیر جدید باعث گردید تا ارتفاع خاکریزی‌ها افزایش یابد.

فعالیت‌های معدنی در امتداد مسیر Ipoh – Rawang که در گذشته به شکل وسیعی انجام می شده‌است به شدت بر شرایط خاک منطقه تأثیر گذاشته است. بیش از ۲۰۰ آزمایش CPT برای شناسایی خاک مسیر انجام شد. خاک منطقه ترکیب بسیار متغیری از ماسه سست و لای و رس نرم تا عمق ۶ متر و در بعضی موارد خاص تا ۲۴ متر می‌باشد. شکل ۲-۵۱ نمونه‌ای از نتایج CPT مربوط به محلی که یک لایه ۱.۵ متری ماسه بر روی لای رس دار بسیار نرم (Qc حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰

کیلوپاسکال) تا عمق ۶.۵ قرار دارد را نشان می‌دهد. پس از این عمـق متناوبـاً لایـه‌هـای ماسـه و لای حضور دارند.



شکل (۲-۵۱) نمونه نتایج **CPT** در محل انجام عملیات جایگزینی ارتعاشی

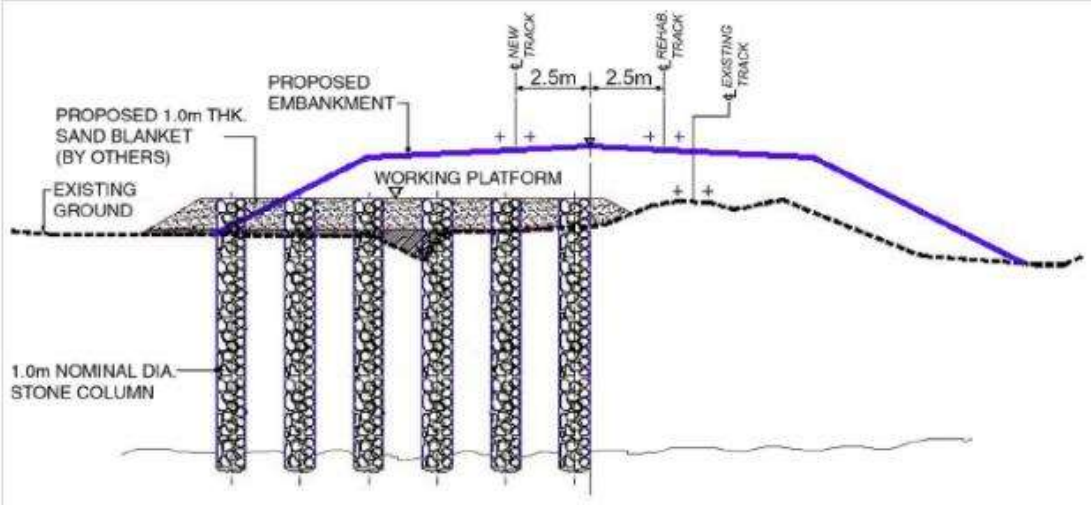
جایگزینی ارتعاشی به عنوان روشی دقیق و اقتصادی برای بهسازی اینگونـه خـاک‌هـا و دسـتیابی بـه مشخصات ذکر شده انتخاب گردید.

بهسازی مسیر اصلی

بهسازی به منظور اتصال مسیر موجود به مسیر اصلی صورت گرفت. یک سکوی ماسه‌ای به ضخامت۱ متر اجرا گردید که از روی آن ستون‌های سنگی تا عمق مورد نظر (بین۸ تا۱۸ متر) اجرا شدند. ارتفاع خاکزیر از۲تا۱۱متر متغیر بود.

جایگزینی ارتعاشی نیز برای نقاطی که حفاری و جایگزینی خاک‌های نامرغوب تا عمق۳تا۴ مترگزینـه اصلی طراحی بود انجام گرفت. جایگزینی ارتعاشی لزوم حفاری عمیق برای اتصال مسیرهای موجود و خطر مرتبط با آنها را حذف می‌نمود. همچنین مشخص گردید که وقتی هزینه حفاری سازه نگهبان در

محاسبات وارد شود این روش اقتصادی‌تر می‌باشد. شکل ۲-۵۲ بهسازی نیمه مسیر به این روش را نشان می‌دهد. هرجا که نیاز باشد خاک زیر مسیر احیا شده را می‌توان بعدها، زمانیکه قطار به مسیر جدید انتقال پیدا کرد، بهسازی نمود.



شکل (۲-۵۲) نمای شماتیک بهسازی میانه مسیر به منظور اتصال خط آهن موجود

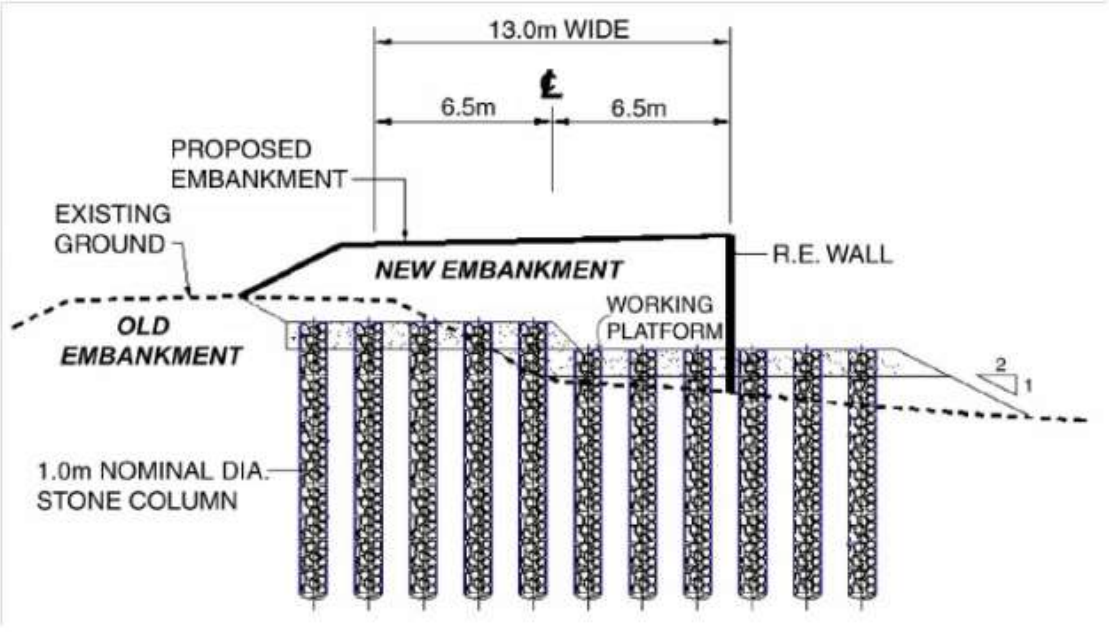
هرجا که مسیر جدید از مسیر موجود جدا گردید، کل مقطع در یک فاز بهسازی می گردد. شکل ۲-۵۳ شمای بهسازی کل مقطع را نشان می‌دهد. عکس موجود در این شکل عملیات جایگزینی ارتعاشی در امتداد مسیر موجود را نشان می‌دهد.

شکل (۲-۵۳) تصویر عملیات جایگزینی ارتعاشی به منظور اتصال مسیر موجود

در مجموع، عملیات جایگزینی ارتعاشی در۲۳ نقطه مختلف بـه طـول مجموعـاً ۶.۷۶ کیلـومتر انجـام گرفت. نقاط اغلب بسیار نزدیک به مسیر موجود بودند (تقریباً در فاصله ۲ متری) و کمترین اختلالـی در عبور و مرور قطارها بوجود نیاوردند.

جاده گذرنده از روی خاکریزهای خط آهن

دوخطه کردن مسیر موجود نیازمند افزایش دهانه های پل بود که در بسیاری موارد منجر بـه احـداث پلی جدید برای اتصال پل های موجود بهم می گردید. خاکریزهای هدایت کننده به سمت پل هـا بـه ارتفاع حداکثر۱۲متر می رسیدند و اغلب به کمک دیواره های نگهبان مسلح تقویت می شـدند. شـکل ۲-۵۴ طرح بهسازی خاکریز جدید متصل کننده خاکریزهـای موجـود را نشـان مـی‌دهـد. جـایگزینی ارتعاشی در محل ۴ پل در مساحت ۴۸۰۰۰ مترمربع انجام گرفت.



شکل (۲-۵۴) طرح بهسازی جاده گذرنده از روی خاکریزهای خط آهن

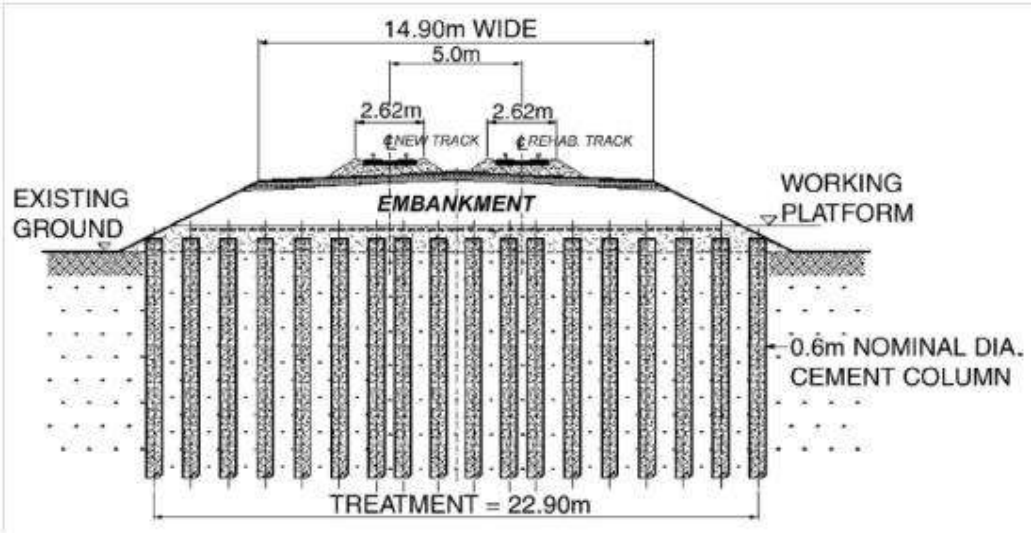
۲-۱۶-۱۸ پروژه دوخطه Ipoh – Rawang (اختلاط عمیق خشک خاک)

به عنوان بخشی از پروژه ساخت مسیر دوخطه برقی Ipoh – Rawang، ۸۰۰ متر از طول مسیر که بـر روی خاک‌های نرم قرار داشت به کمک روش اختلاط عمیق خشک خـاک (DSM خشـک) بهسـازی

گردید. منطقه بهسازی مابین CH 341,650 و CH 342,450 نزدیک شهر Serendah قرار داشت. در این منطقه، ارتفاع خاکریزها بین ۱.۵تا ۳ متر و عرض آنها بین ۲۰ تا ۲۵ متر متغیر بود.

نتایج تحقیقات ژئوتکنیکی نشان داد که ۵ متر اول خاک محل از لای رس دار نرم با مقاومت نوک حدود ۲۰۰ کیلوپاسکال که متناظر با مقاومت برشی ۱۰تا ۱۵ کیلوپاسکال می‌باشد تشکیل شده‌است. پس از آن حدود۱.۵متر ماسه لای دار با مقاومت نوک ۳ مگاپاسکال قرار دارد. زیر این لایه متناوباً لایه های لای رس دار نرم و ماسه لای دار سست تا عمق حدود۱۱متر قرار دارند و پس از آن لایه های ماسه‌ای متراکم وجود دارند. سطح آب زیرزمینی حدود۱متر زیر سطح زمین می‌باشد.

ستون‌های سیمانی با قطر۰.۶ متر برای رسیدن به مقاومت برشی زهکشی نشده طراحی۲۵۰ کیلوپاسکال زیر ریل و۱۵۰کیلوپاسکال در باقی نواحی اجرا گردیدند. فاصله مرکز تا مرکز شبکه ستون ها (مربع/مستطیل) بین۱تا۱.۳متر زیر ریل ها و۱.۴تا۱.۵ متر در باقی نواحی زیر خاکریز متغیر بود. ستون ها از پاشنه تا پاشنه خاکریز و تا رسیدن به لایه های ماسه متراکم زیرین با عمق۷تا ۱۴متر اجرا گردیدند. در شکل ۲-۵۵ مقطع عرضی خاکریز و نحوه بهسازی بطور شماتیک نشان داده شده‌اند.



شکل (۲-۵۵) شمای عملیات بهسازی

فصل سوم:

مطالعات موردی رفع معایب زیرسازی در خطوط راه آهن شمال شرق کشور جهت ارتقاء سرعت

۳-۱ مقدمه

این فصل شامل مطالعات موردی در خصوص بررسی نقاط بحران ساز درزیرسازی خطوط راه آهن شمال شرق محور گرمسار-نقاب بمنظور ارتقاء سرعت و ارائه راهکارهای منطبق با امکانات موجود درکشور بمنظوررفع آن می باشد.

۳-۲ محور گرمسار- نقاب

۳-۲-۱ بررسی شرایط موجود زیرسازی در محور گرمسار – نقاب

زیرسازی خطوط آهن مجموعه ای از سازه های خاکی می باشد که ذیل قشرهای روسازی خط آهن قرار گرفته و بستری ثابت و پایدار در برابر بارهای وارده از سوی بخش روسازی را فراهم می نماید . در شرایط عمومی زیرسازی خطوط راه آهن صرفنظر از موقعیت پلها به دو بخش خاکبرداری و خاکریزی تقسیم می شود که رفتار خاکریزهای منتهی به پلها به دو دلیل در هنگام بهره برداری اهمیت می یابد .نخست عدم تراکم مناسب این بخش از خاکریز به دلیل عدم امکان کوبیدن آن با غلطک های سنگین و سپس تفاوت سختی خاکریز با سختی و تغییر شکل پذیری پل.

افزایش سرعت سیر با افزایش ضریب ضربه دینامیکی و بار وارده که نهایتاً می بایست از طریق زیرسازی به زمین منتقل گردد،میتواند شرایط بهره برداری از زیرسازی را تغییر داده و وضعیت جدیدی را پدید آورد .جهت مطالعه افزایش سرعت ضروری است مشخصات زیرسازی موجود خطوط مورد توجه و بررسی قرارگیرد این موضوع شامل مطالعه مشخصات فنی زیرسازی خطوط ساخته شده در مسیر مورد نظر و نیز مشخصات فعلی موجود حاضرجهت بهسازی زیرسازی خطوط بمنظور بررسی اثر افزایش سرعت بر ناپایداری زیرسازی میتوان موضوع را دربخش خاکبرداری ها و خاکریزها بصورت مجزا مورد مطالعه قرار داد .همچنین با در نظر گرفتن زیرسازی در دو بخش یکی قشرهای نزدیک به سطح سابگرید و در تماس مستقیم با روسازی و دیگری قشرهای زیرین میتوان بحث را به

صورتی ترکیبی مطالعه نمـود .در خـاکبرداری هـا کـف ترانشـه بعنـوان یـک بسـتر بـرای روسـازی (قشرهایی که مستقیماً درتماس با روسازی قرار می گیرند) ایفای نقش مـی نمایـد .بنحویکـه کـف ترانشه بصورت عرضی در حدود ۵ تا ۶ متر درفاصله میان جدار ه های دوطرف ترانشه که خـود در وضعیتی پایدار قرار دارند واقع گردیده است .لازم به توضیح است که افزایش سرعت و متعاقـب آن ضریب ضربه که سبب افزایش بارمحوری استاتیکی می گردد صرفاً بر وضعیت بارگذاری کف ترانشه موثر بوده و تاثیری بر وضعیت پایداری جداره ترانشه ندارد .در خاکریز ها، بخش فوقانی خـاکریزی بعنوان قشری که در تماس مستقیم با روسازی قرار دارد مورد توجه می باشد و علاوه بر این پایداری کلی و نیز تغییر شکل پذیری کلی خاکریز می تواند از افزایش ضریب دینامیکی بعنوان بار زنده وارد بر زیرسازی (خاکریزی) متاثر گردد.

لذا بر اساس توضیحات فوق، روند انجام مطالعات حاضر به شرح ذیل ارائه خواهد شد:

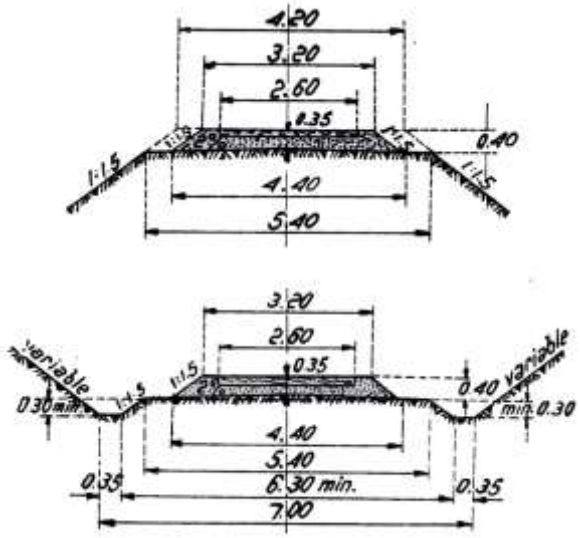
- مطالعه تاریخچه خطوط راه آهن شمالشرق و مشخصات فنی زیرسازی درمقـاطع زمـانی مختلـف اجرای خطوط آهن موجود و در حال ساخت
- مطالعه بارگذاری مورد نظر در مطالعه زیرسازی خطوط موجود و نیز استاندارد بارگذاری خطوط در حال ساخت
- مطالعه اثر افزایش سرعت بر خاکبرداری ها
-مطالعه اثر افزایش سرعت بر خاکریزها

۳-۲-۱-۱ مشخصات فنی زیرسازی خطوط موجود

بخشی از خطوط آهن ایران در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۷ و بخش دیگـر در سـالهای بعـد از انقـلاب ساخته شده است.

اولین مرحله مربوط به مجموعه خطوطی است که طـی سـالهای ۱۳۰۶ شمسـی تـا حـدود ۱۳۵۰ ساخته شده اند .در این دوره کف ترانشه ها با عرض ۵.۴ متر(لبه تا لبه بستر قرار گرفتـه میـان دو

کانال زهکشی طرفین کف ترانشه) و بدون مشخصات فنی مشخص جهت اجزای خاک بصورت لای های و یا ایجاد تراکم خاص در کف ترانشه اجرا شده است .البته در ترانشه های با کف سنگی شرایط بستر مناسب بوده ولی در مواجهه با کف ترانشه هایی از جنس رس و لای در شرایط اشباع گزارشی دال بر اجرای لایه ای خاص موجود نیست و اظهارات مهندسان قدیمی کشور نیز موید این مطلب است که همین مصالح به احتمال بسیار زیاد در زیرلایه بالاست قرار گرفته اند .در همین دوره خاکریزها به صورت دست ریز(Dumping) و حتی بدون رعایت ضخامت لایه ها اجرا و تراکم مشخصی در خاکریز ایجاد نگردیده است .البته به نقل ازبرخی مهندسان به نظرمیرسد که در مواردی کوبش خاک با دست (تخماق) انجام گرفته است .در همین زمینه حتی نقشه هایی موجود است که نشان میدهد که نشست خاکریز کوبیده نشده متشکل از مصالح مختلف، چه کسری از کل ارتفاع خاکریز می باشد و بر مبنای این نقشه ها عوامل اجرایی همواره ارتفاع خاکریز را اندکی بیشتر از حد مقرر درنقشه ها میساختند تا پس از بروز نشست به سطح تراز دلخواه برسد .این موضوع در اظهارات مهندسان باسابقه کشور نیز به چشم می خورد .در شکل ۳-۱ نمایی از مقطع تیپ خاکریزها و خاکبرداری های این دوره مربوط به سال ۱۳۳۰ ارائه شده است.



شکل(۳-۱) نمایی از مقاطع تیپ زیرسازی مربوط به سال ۱۳۳۰

مرحلهٔ بعدی تغییرات اعمال شده طی سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ می باشد که در شمال شرق کشور نبوده. در این دوره نیز دستورالعمل مشخصی در مورد اجرای کف ترانشه ها و خاکریزها به چشم نمی خورد لکن رویه عملی مبنی بر اینکه بخش زیرین خاکریز) زیر عمق یک متر نسبت به سطح سابگرید به صورت دست ریز(Dumping) وبخش بالایی آن در چهار لایه ۲۵سانتیمتری کوبیده شود مبنای کار بوده است .از میزان تراکم این لایه ها اطلاعی در دست نیست اما بر اساس اطلاعات حاصله استنتاج می گردد که در این فاصله زمانی احتمالاً کف ترانشه های خاکی نیز متراکم می گردید .ضمن اینکه در این مرحله اجرای لایه ای از مصالح دانه ای در سطح سابگرید در دستور کار قرار نداشته است. از حدود سال ۱۳۵۷ تاکنون همزمان با ورود مشخصات جدید کامپساکس ایران در راه آهن، زیرسازی خطوط آهن با مشخصات بسیار متفاوتی نسبت به گذشته اجرا شده است در این مرحله بستر کف ترانشه های خاکی براساس میزان CBR (*آزمایش CBR* یا نشانه باربری کالیفرنیا جهت تعیین ظرفیت باربری خاکهای زیر پی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد) مصالح بستر ترانشه اجرا گردیده و در مواجهه با خاکهای با CBR کمتر از ۱۰ ، مطابق با مندرجات جدول ذیل اقدام به جایگزینی مصالح مناسب بجای مصالح کف ترانشه شده است .جدا از ضابطه انتخاب نوع مصالح، حتی درصورت مناسب بودن مصالح کف ترانشه، این مصالح تا عمق ۰.۳ متر با تراکم ۹۸ ٪ کوبیده شده است.

جدول(۳-۱) جایگزینی مصالح مناسب در کف ترانشه ها بر اساس مشخصات کامپساکس

CBRخاک بستر ترانشه و یا بالای خاکریزی	**CBR>10**	**2< CBR<3**	**2< CBR<3**	**2< CBR<3**
ضخامت قشر تقریبی جایگزین(**m**)	0	0.15	0.3	0.45

خاکریزهای این دوره دارای درصد تراکم (براساس آزمایش تراکم اصلاح شده مطابق استاندارد

ASSHTO T۱۸۰ – ۷۵) به شرح ذیل می باشد.

-قشرهای به عمق بیش از۱ متر با تراکم ۹۰ درصد

- قشرهای به عمق بین ۰.۳تا۱متر با تراکم ۹۵ درصد

- قشرهای به عمق بین ۰تا۰.۳متر با تراکم ۹۸ درصد

در همین زمینه مصالح مورد مصرف در خاکریز می بایست دارای وزن مخصوص خشک و CBR بیش از۱.۵۵تن بر متر مکعب و ۲ درصد باشد .اگرچه در شرایطی که خاکریز از مصالح با CBR کمتر از ۱۰ ساخته می شود ضروری است در رسیدن به سطح سابگرید بسته به میزان عدد CBR، قشر تقریبی از مصالح با CBR بیش از ۱۰ در بالای خاکریز اجرا گردد .ضخامت این قشر تقریبی براساس جدول فوق انتخاب می گردد .در همین مشخصات آمده است که در صورت ریزدانه بودن خاکریز لازم است قشری از مصالح مناسب از جنس شن و ماسه بین بالاست و قسمت فوقانی خاکریز(مصالح ریزدانه) اجرا گردد.

همان گونه که در جدول (۲-۶) ملاحظه می گردد، بخشهایی از مسیر در فاصله سال های ۱۳۱۷ تا ۱۳۵۰ احداث گردیده است که با توجه به مطالب ذکر شده نوع زیرسازی آن هنگام ساخت دارای شرایط نوع اول می باشد.

جدول(۳-۲) تاریخ احداث خطوط محور گرمسار-نقاب

ردیف	نام محور	سال آغاز ساخت	سال بهره برداری	طول مسیر	ملاحظات
۱	گرمسار – شاهرود خط اول	۲۴اسفند۱۳۱۶	۱۳۲۰	۳۱۵	تعطیلی بدلیل جنگ جهانی دوم
۲	شاهرود- نقاب خط اول	۱۳۲۶	۱۳۳۶	۲۲۶	
۳	گرمسار – نقاب خط دوم	۱۳۶۹	۱۳۸۱	۵۴۱	

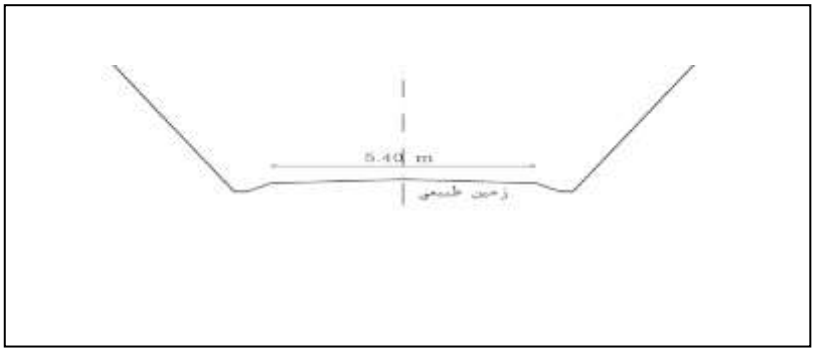
۳-۲-۱-۲اثر افزایش سرعت بر خاکبرداری ها

چنانچه پیشتر بصورت گذرا اشاره گردید، بخشی از کف خاکبردار یها بعنوان بستر روسازی تلقی

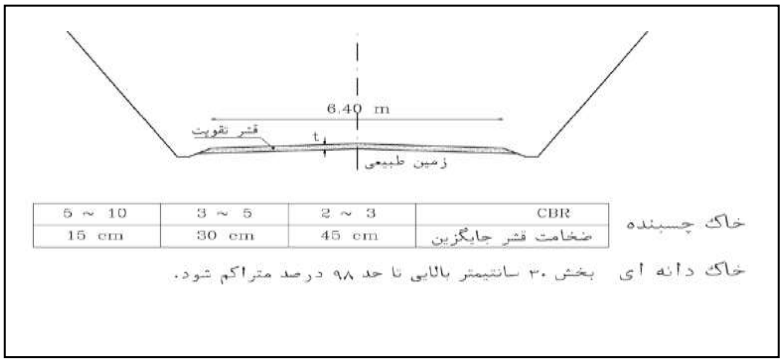
شده و ناگریز بایستی شرایط باربری لازم در سطح تماس با روسازی(قشر بالاست) را داشته باشد مقاطع عمومی اجرای کف ترانشه به شرح زیر قابل معرفی می باشد.

-کف ترانشه ها در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۷ دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم آن نیز معادل همان تراکم محلی زمین (بدون کوبش لایه ها)می باشد .لذا CBR بستر زمین ممکن است هر مقداری از ۱ تا ۱۰۰ باشد .در این مقاطع لای های از جنس مصالح دانه ای بین بالاست و بستر ترانشه وجود ندارد.

-کف ترانشه ها در سالهای ۱۳۵۷ به بعد، در همه زمانها دارای قشری از مصالح دانه ای بین بالاست و کف ترانشه است و مصالح بستر ترانشه در شرایطی که CBR کمتر از ۱۰ داشته اند، مطابق مندرجات جدول ۳+۲) ارائه شده با مصالح دارای CBR بیشتر از۱۰ جایگزین شده اند.



شکل ۳-۲ مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها از ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۷



شکل ۳-۳ مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها بعد از سال۱۳۵۷

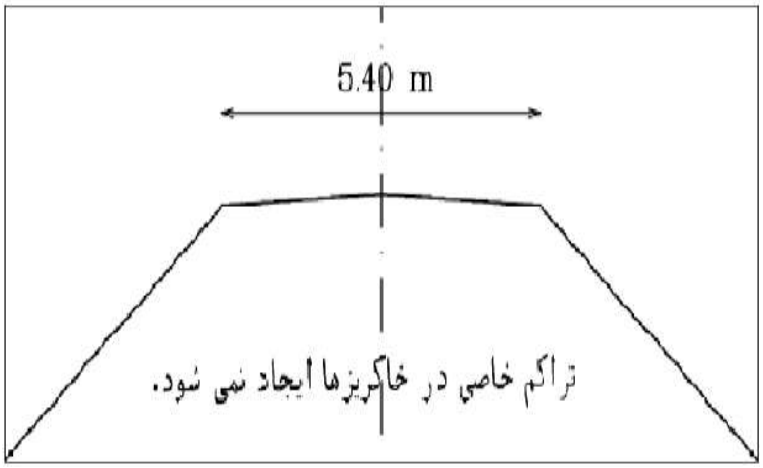
۳-۲-۱-۳اثر افزایش سرعت بر خاکریزها

کنترل خاکریزها نیز مانند خاکبرداری ها از دو جنبه مورد توجه خواهد بود .یکی کنترل سطح نهایی خاکریز که بعنوان بستر روسازی مورد بهره برداری قرار می گیرد و دیگری کنترل شرایط کل جسم خاکریز که از نظر نشست و پایداری آن حائز اهمیت است .خاکریزهای موجود در خطوط راه آهن کشور در سه مقطع زمانی پیش از ۱۳۵۰ ، ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ و بعد از ۱۳۵۷ با شرایطی متفاوت ساخته شده اند که مشخصات آنها به شرح ذیل می باشد.

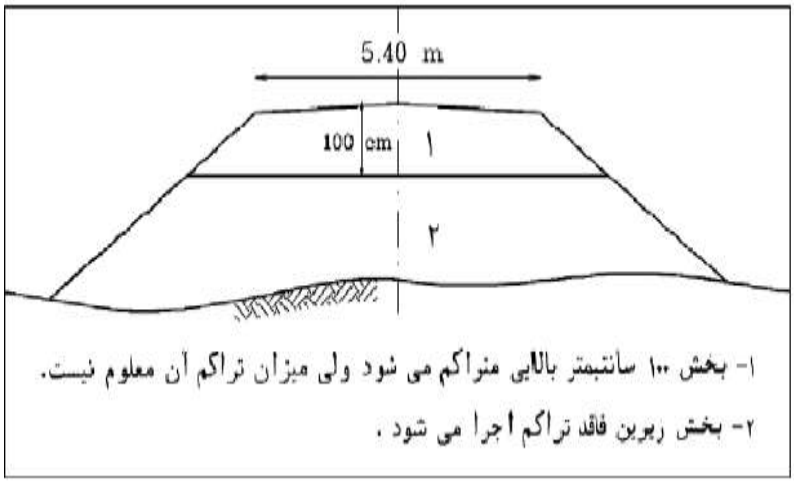
-سطح تمام شده خاکریزهای مورد ساخت در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰ دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم خاک با -سطح تمام شده خاکریزهای مورد ساخت در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰ دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم خاک با غلطک نیز انجام نشده است .همچنین بکارگیری مصالح دانه ای نیز در بالای سطح خاکریز در دستورالعملها مشاهده نمی گردد .عرض بالای خاکریز۵.۴مترمی باشد.

-در خاکریزهای ساخته شده بین سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ اگرچه بکارگیری مصالح دانه ای در سطح بالایی خاکریزمورد نظر نبوده، لکن متراکم نمودن خاک در چهار لایه ۲۵ سانتیمتری در بخش بالایی خاکریزها گزارش شده است .عرض خاکریزها در این زمان نیز در حدود متر۵.۴ بوده است.

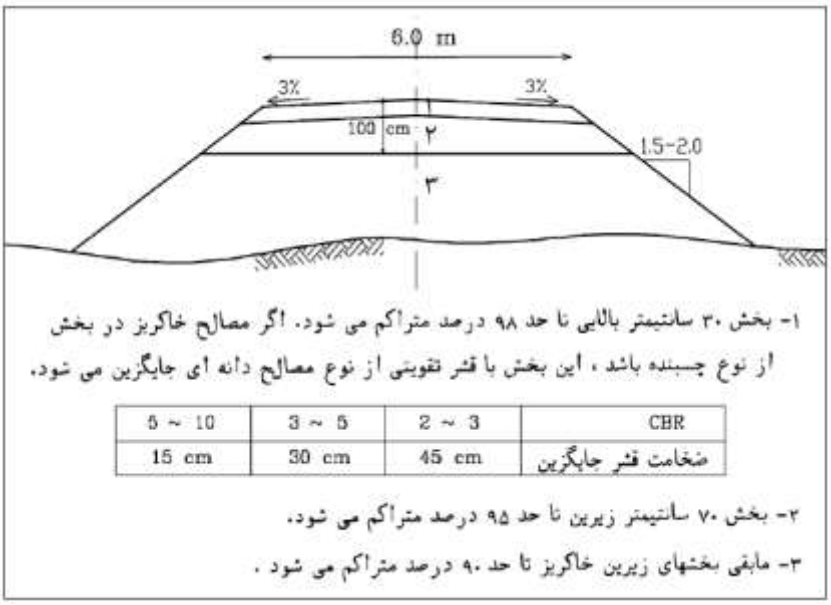
-خاکریزهای بعد از سال ۱۳۵۷ با تراکم خاک از سطح زمین طبیعی همراه بوده که بطور مفصل در بخشهای پیش اشاره شده و در ادامه به اختصار آمده است .در سطح بالایی این خاکریزها اگرچه لایه زیربالاست اجرا نشده ولی در صورت ریزدانه بودن مصالح خاکریز اصلی، لایه ای از مصالح منتخب در سطح خاکریز اجرا شده است که ضخامت آن براساس جدول ۳-۲ قابل تعیین است .همچنین استفاده از مصالح با CBR کمتر از ۲ درصد در خاکریزها مجاز نبوده است .عرض خاکریزها در این مرحله زمانی عمدتاً در حدود ۶ متر بوده است . با توجه به توضیحات ارائه شده در بخشهای پیش، مقاطع تیپ هر یک از سه نوع خاکریز مختلف اجرا شده مطابق شکل های زیر می باشد.



شکل ۳-۴ مقطع تیپ خاکریزها از ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰



شکل ۳-۵ مقطع تیپ خاکریزها ازسال ۱۳۵۰ تا۱۳۵۷



شکل ۳-۶ مقطع تیپ خاکریزها بعد از سال ۱۳۵۷

۳-۲-۱-۴تحلیل باربری سطح نهایی خاکریز در برابر افزایش بار وارده از روسازی

بررسی میزان باربری خاک در سطح نهایی خاکریز که بعنوان بستر روسازی قلمداد می شود، کاملاً مشابه کف ترانشه می باشد .بحث تکمیلی در این زمینه در مورد خاکریزها به شرح زیر است:

-باربری بستر روسازی در خاکریزهای اجرا شده پیش از سال ۱۳۵۰ مشابه باربری کف ترانشه ها بوده و تفاوتی از این بابت متصور نیست.

-باربری بستر روسازی در خاکریزهای اجرا شده بین سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ ، اگرچه به ظاهر مشابه خاکریزهای پیش ازسالهای ۱۳۵۰ است .لکن نظر به متراکم شدن خاک در بخش یک متر بالایی، هرچند که کنترل خاصی روی میزان تراکم صورت نگرفته است، قاعدتاً می بایست شرایط نسبتاً بهتری در بخشهای بالایی این خاکریزها حاکم باشد .در همان سالها استفاده از مصالح Base و Sub Base در راهسازی مرسوم بوده و مهندسان تا حدودی در نزدیکی سطح سابگرید سعی در بکارگیری مصالح دان های داشته اند و لذا می توان انتظار داشت که در سطح خاکریزها حداقل CBR اجرا شده در حدود۴باشد .لذا در این باره وجود حالت بسیار وخیم مصالح با CBR، ۲ تا ۳

در سطح بالایی خاکریز اندکی بعید به نظر می رسد.

-باربری سطح بالایی خاکریهای اجرا شده بعد از سال ۱۳۵۷ کاملاً شبیه باربری کف ترانشه ها که در بخش پیش ارائه شده می باشد.

بررسی موردی و آزمایش های انجام شده کیلومتر ۳۸۱ تقاطع امام آباد

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در استان سمنان شهرستان دامغان بخش مرکزی دهستان دامن کوه واقع شده است این روستا با ارتفاع ۱۱۷۰ متر از سطح دریا در مختصات ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۹ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد.

در قسمتهای شمالی منطقه مورد مطالعه مجموعه توالیهای سازندهای الیکا ، شمشک ، دلیچای ، لار و سنگهای کرتاسه بالایی مربوط به دوران مزوزوئیک با ضخامتهای قابل توجهای مشاهده می شوند.

منطقه مورد مطالعه در واقع مرز مناطق ساختاری البرز – ایران مرکزی در بخش مرکزی – خاوری کمربند کوهستانی البرز است.

شهرستان دامغان نیز در استان سمنان در یک چاله مستقل زمین ساختی واقع شده که شمال آن را کوههای البرز و جنوب آن را دشت کویر (قسمتی از بزرگترین نمکزار ایران و جهان) فرا گرفته است.

قسمت اعظم منطقه دامغان از دشت وسیعی که دارای شیب همگرا و بسیار ملایم ۱٪ به سمت جنوب میباشد تشکیل شده است که منطقه مورد مطالعه نیز به هیمن دشت واقع شده است.

در منطقه مورد مطالعه بخصوص در کوهستانهای شمالی دامغان گسلهای متعددی با سمت جنوب غربی- شمال شرقی وجود دارد که رعایت حریم آن درایجاد ساختمانها و دیگر تأسیسات به خاطر احتمال وقوع زلزله لازم است. از گسلهای اصلی و فعال منطقه میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

گسل طرود:

این گسل فشاری و دارای ۱۲۰ کیلومتر طول و مسبب زمین لرزه ۱۲ فوریه ۱۹۵۳ میلادی است. این گسل در منتهی الیه شمالی کویر بزرگ و در قسمت جنوب شاهرود وجود دارد

گسل میامی:

این گسل از شمال کویر نمک میگـذرد و بـا رونـد تقریبـاً خـاوری – بـاختری حـد جـدا کننـده زون بینالود(البرز خاوری) از ایران مرکزی است((درویش زاده ۸۳ –۱۳۸۲) و مرز جنوبی گستره زمـین ساختی البرز را مشخص میسازد

گسل عطاری یا سمنان:

این گسل در شمال سمنان واقع است. در واقع گسل سمنان به صورت چند گسل موازی هم و با روند شمال شرق - جنوب غرب است فاصله این گسل تا روستای امام آباد ۳ کیلومتر میباشد.

گسل شاهوار:

راندگی شمال بسطام و گسله فشاری شاهوار احتمال وقوع زلزله در این ناحیه را ممکن میسازد

گسلهای شاهرود و طزره

گسلهای شاهرود و طزره دو گسل راستاخیز چپگرد واقع در البرز خاوری هستند که به سیستم گسلی شاهرود تعلق دارند. (گسل راندگی طزره شاخهای از گسل رانده شاهرود در ناحیه ده ملا است)

گسل آستانه

برای نخستین بار بربریان (۱۳۶۳) در شمال غربی دامغان و در مجاورت جاده آستانه به فولاد محله

گسل دامغان

گسل کواترنر دامغان که از ۱۰ کیلومتری شمال شهر دامغان و از فاصله ۷/۵شمال روستای امـام آبـاد (منطقه مورد مطالعه) میگذرد

بر اساس نتایج آزمایش لرزهای درون گمانهای محل پروژه و بر اساس آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله) استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش ۴زمین ساختگاه پروژه که در آن سرعت موج برشی متوسط در فاصله ۳۰ متری در عمق زمین کمتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه میباشد، در رده تیپ III قرار میگیرد ،. لذا نسبت شتاب مبنای طراحی در محل مورد مطالعه مطابق با استاندارد مذکور ag =۰.۳۵g می باشد

پارامترهای مربوط به نوع زمین و میزان خطر لرزه خیزی در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول (۳-۳) پارامترهای مربوط به نوع زمین و میزان خطر لرزه خیزی (استاندارد۲۸۰۰)

نوع زمین	T_0	T_S	S	S_0
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۷۵	۱/۱

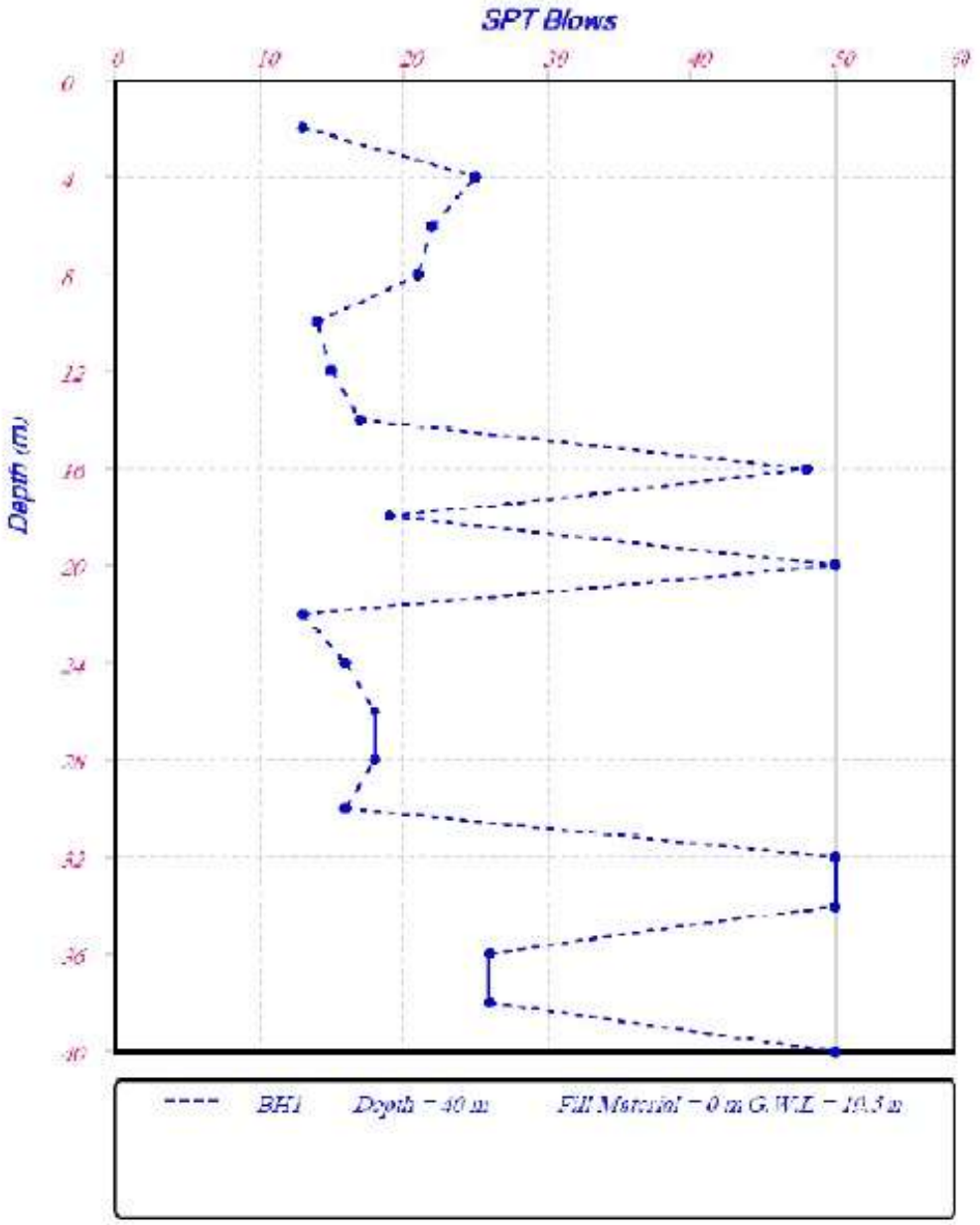
جدول(۳-۴) مشخصات و مختصات محلی حفاری یک گمانه ماشینی حفاری شده.

Borehole	Drilling Method	Depth (m)	X (m)	Y (m)
BH1	Coring	40.00	280372	4009551

شکل(۳-۷) نمایی از دستگاه حفاری حین عملیات حفاری

شکل ۳-۸ محل حفاری گمانه بر روی عکس هوایی

آزمایش ضربه و نفوذ استاندارد SPT



شکل(۳-۹) منحنی تغییرات اعداد اصلاح نشده **SPT** در گمانه های ماشینی

آزمایش ژئوفیزیکی لرزه ای درون گمانه ای :

جهت انجام این مطالعات از وسایل و تجهیزات زیر استفاده شده است:

الف - دستگاه لرزه نگار ABEM RAS۲۴

ب – ژئوفون های سه مولفه ای درون گمانه ای

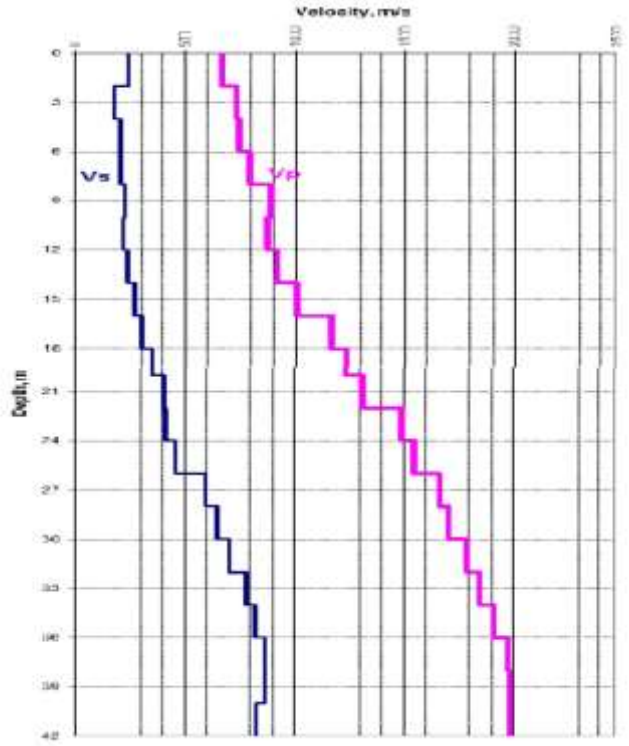
ج- پتک، الوار و ورق برای تولید امواج تراکمی و برشی

نتایج آزمایشات لرزهای در گمانه

در شکل (۳-۱۰) منحنی تغییرات سرعت امواج تراکمی و برشی با عمق ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این گمانه چند لایه فیزیکی بر اساس تغییرات سرعت امواج لرزهای قابل تفکیک است .جنس مصالح عمدتا رس و لای است. در این مصالح با افزایش عمق دانسیته و سرعت امواج لرزهای افزایش می یابد. سرعت امواج لرزه ای و پارامترهای دینامیکی آزمایشات لرزهای (مدول الاستیک یانگ(E) و مدول برشی(G) خاک و مدول بالک (K)نسبت پواسون) برای لایه های مختلف محاسبه و در جدول شماره ۳-۵ نشان داده شده است. در جدول شماره ۳-۶ محاسبه سرعت متوسط موج برشی و درشکل شماره ۳-۱۰ منحنی تغییرات سرعت امواج تراکمی و برشی با عمق ارایه شده است .

جدول (۳-۵) سرعت امواج تراکمی و برشی و پارامترهای دینامیکی آزمایشات لرزهای درگمانه

نسبت پواسون	مدول بالک Mpa	مدول برشی Mpa	مدول یانگ Mpa	سرعت موج S m/sec	سرعت موج P m/sec	چگالی gr/cm3	عمق m
0.42	623	101	287	243.5	667.7	1.7	0-2
0.47	828	51	149	175.0	736.5	1.65	2-4
0.46	863	69	202	201.7	749.5	1.7	4-6
0.47	994	69	203	201.6	799.5	1.7	6-8
0.47	1228	86	253	225.2	888.9	1.7	8-10
0.47	1192	81	237	218.2	874.3	1.7	10-12
0.47	1314	93	272	233.4	919.6	1.7	12-14
0.46	1566	121	353	266.4	1007.8	1.7	14-16
0.47	2182	156	456	298.1	1168.6	1.75	16-18
0.46	2394	217	633	352.5	1238.5	1.75	18-20
0.45	2637	292	846	408.7	1315.2	1.75	20-22
0.46	3500	295	862	410.8	1491.6	1.75	22-24
0.45	3694	370	1074	459.7	1546.9	1.75	24-26
0.43	4119	646	1843	599.3	1663.5	1.8	26-28
0.41	4213	762	2155	650.5	1704.4	1.8	28-30
0.41	4540	909	2557	710.7	1787.6	1.8	30-32
0.39	4679	1102	3066	782.5	1848.2	1.8	32-34
0.39	5225	1293	3584	825.1	1912.5	1.9	34-36
0.38	5530	1445	3988	872.1	1981.1	1.9	36-38
0.38	5536	1451	4003	873.8	1982.9	1.9	38-40
0.39	5738	1308	3648	829.8	1984.4	1.9	40-42



شکل (۳-۱۰) منحنی تغییرات سرعت امواج تراکمی و برشی با عمق در داخل گمانه

جدول (۳-۶) محاسبه سرعت متوسط موج برشی در داخل گمانه

Depth m	Vs m/sec	Tickness m	Time sec	Σtime sec	Σtickness m	Vs-mean m/sec
0-2	243.5	2	0.008213	0.008213	2	243.5
2-4	175.0	2	0.011431	0.019644	4	203.6
4-6	201.7	2	0.009914	0.029558	6	203.0
6-8	201.6	2	0.009922	0.03948	8	202.6
8-10	225.2	2	0.00888	0.04836	10	206.8
10-12	218.2	2	0.009167	0.057527	12	208.6
12-14	233.4	2	0.008568	0.066095	14	211.8
14-16	266.4	2	0.007507	0.073602	16	217.4
16-18	298.1	2	0.006708	0.08031	18	224.1
18-20	352.5	2	0.005673	0.085984	20	232.6
20-22	408.7	2	0.004894	0.090878	22	242.1
22-24	410.8	2	0.004868	0.095746	24	250.7
24-26	459.7	2	0.004351	0.100097	26	259.7
26-28	599.3	2	0.003337	0.103434	28	270.7
28-30	650.5	2	0.003075	0.106508	30	281.7
30-32	710.7	2	0.002814	0.109323	32	292.7
32-34	782.5	2	0.002556	0.111879	34	303.9
34-36	825.1	2	0.002424	0.114303	36	315.0
36-38	872.1	2	0.002293	0.116596	38	325.9
38-40	873.8	2	0.002289	0.118885	40	336.5
40-42	829.8	2	0.00241	0.121295	42	346.3

جمع بندی و نتیجه گیری

برای استفاده از آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) سرعت متوسط موج برشی در ساختگاه مورد مطالعه بر اساس رابطه ارایه شده در بخش آیین نامه ها محاسبه گردیده است. محاسبات در جدول شماره ۱۱ ارایه شده است. در شکل ۱۹ ، نمودار سرعت متوسط موج برشی با عمق برای گمانه های مورد نظر رسم شده است.

سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری برای گمانه حدود ۲۸۱ متر بر ثانیه تعیین شده است. بنابراین محل مورد مطالعه در این گمانه بر اساس آزمایش های لرزه نگاری انجام شده نوع زمین**III** می باشد بر اساس آیین نامه **NEHRP** محدوده مورد مطالعه گمانه در رده D خاک سفت قرار می گیرد

در جدول شماره ۳-۷ خلاصه ای از نتایج مطالعات لرزه ای به همراه طبقه بندی خاک آورده شده است

جدول (۳-۷) خلاصه نتایج و طبقه بندی خاک بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و آیین نامه

شماره گمانه	**Vs(m/s) 30m**	طبقه بندی بر اساس ایین نامه ۲۸۰۰ ایران	طبقه بندی بر اساس **NEHRP** ایین نامه
۱	۲۸۱	**III**	**D**

آزمونهای آزمایشگاهی

بر روی نمونه های اخذ شده از محل بر حسب نیاز آزمایشهای آزمایشگاهی مطابق استاندارد AASHTO،ASTM وBS به شرح جدول شماره ۳-۸ انجام گرفته است:

جدول (۳-۸) فهرست آزمایشهای آزمایشگاهی

نوع آزمایش	مشخصات استاندارد
آزمایش دانه بندی کامل خاک	ASTM D421 , D 422
آزمایش تعیین حدود روانی و خمیری	ASTM D 4318
آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک	ASTM D 2216
آزمایش تعیین وزن مخصوص طبیعی	ASTM C 127, C 128
آزمایش تعیین نفوذپذیری	ASTM D2434, AASHTO T 215
آزمایش برش مستقیم	ASTM D 3080
آزمایش تراکم به روش اصلاح شده	T-180 AASHTO
آزمایشهای شیمیایی	BS 812

جدول (۳-۹) خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لایه خاک مورد مطالعه

مشخصات	واحد	شن رس و لای دار همراه با ماسه	ماسه رس و لای‌دار	لای رس دار با پلاستیسیته کم	رس لای دار با پلاستیسیته کم
طبقه بندی Unified		GM	SM	ML	CL
زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده(φ_d)	Degree	۳۲-۳۸	۲۸-۳۴	۲۴-۳۰	۲۴-۳۰
ضریب چسبندگی زهکشی شده (c_d)	kg/cm^2	۰/۱۵ - ۰/۰۵	۰/۱۵ - ۰/۰۵	۰/۱۵ - ۰/۰۵	۰/۲ - ۰/۱۰
مدول ارتجاعی خاک (E) *	kg/cm^2	۶۰۰ -۴۰۰	۴۰۰ - ۲۰۰	۳۰۰ - ۱۰۰	۳۰۰ - ۱۰۰
ضریب تحکیم (Cc)	-	-	-	-	۰/۲۰-۰/۱۵
ضریب تحکیم (Cs)	-	-	-	-	۰/۰۴۰-۰/۰۲
نسبت بیش‌تحکیمی (OCR)	-	-	-	-	۱-
نسبت پواسون (μ) *	-	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۴
دانسیته خشک(γ_d)	gr/cm^3	۲/۰۵ ۱/۹۵	۲/۰۰ ۱/۸۵	۱/۸۰ ۱/۶۰	۱/۸۰ ۱/۶۰
وزن مخصوص دانه‌های جامد (Gs) *	-	۲/۶۵	۲/۶۵	۲/۷	۲/۷
ضریب اصطکاک بین خاک و بتن *	Degree	0.7φ	0.7φ	0.7φ	0.7φ
نفوذپذیری	cm/s	e (-۵) - e (-۳)	e (-۵) - e (-۴)	e (-۶) - e (-۵)	e (-۶) - e (-۵)

۳-۲-۲بررسی ترانشه های محور گرمسار - نقاب

ترانشه ها جزو کارهای خاکی محسوب می گردند و از این دید جزوابنیه فنی محسوب نمی گردند . لیکن از آنجا که گاه در محل ترانشه ها برای حصول پایداری کافی از طریق اجرای سازه های نگهبان، مهارهایی ازنوع پیچ سنگ، دیوارهای پوششی و ... اجرا می شوند در این گزارش به طبقه بندی ترانشه ها پرداخته شده است .ترانشه ها از نظر سیستم پایداری به دو دسته خودپایدار و پایدار شده مصنوعی، از نظر جنس زمین به دو گروه ترانشه های سنگی و ترانشه های خاکی طبقه بندی می شوند .همچنین از نظر شکل ظاهری مقطع به دو دسته ترانشه های متقارن و یکطرفه دسته بندی می شوند. طبقه بندی ترانشه ها

از لحاظ پایداری: ۱- خود پایدار ۲-پایدار شده مصنوعی

از لحاظ جنس زمین: ۱- ترانشه های سنگی ۲- ترانشه های خاکی

از لحاظ شکل ظاهری: ۱- ترانشه های متقارن ۲- ترانشه های یک طرفه

۳-۲-۲-۱ دسته بندی ترانشه ها از نظر سیستم پایداری

از منظر سیستم پایداری، ترانشه ها را می توان بصورت زیر دسته بندی نمود:

الف-ترانشه های خودپایدار بصورت طبیعی

ترانشه هایی که در شرح بهره برداری با شیب پایدار و ایمن خود برداشت شده اند و در این راستا هیچ سازه پایداری کننده ای برای آنها اجرا نشده است را ترانشه های خود پایدار می نامند .منظور از پایداری ترانشه، استقامت آن در برابر لغزش کلی است .گاه ترانشه های خود پایدار بعلت فرسایش سطحی مصالح در جداره ترانشه دچار اضمحلال تدریجی می گردند که این موضوع با ناپایداری کلی ترانشه متفاوت است.

ب- ترانشه های پایدارشده بصورت مصنوعی

در صورتیکه اجرای ترانشه با شیب پایدار طبیعی آن به هر دلیل میسر نباشد، اجرای تمهیدات پایدار کننده بر روی ترانشه لازم است .از جمله اقدامات پایدار کننده می توان اجرای پیچ سنگها (Rock bolt[۱] ، مهارهای کششی عمیق، مهارهای فشاری در جلوی ترانشه، دیوارهای سخت کننده در جلوی ترانشه و ... اشاره نمود.

۳-۲-۲-۲ دسته بندی ترانشه ها از نظر جنس زمین

ترانشه ها به لحاظ جنس مورد حفر به دو دسته به شرح زیر قابل دسته بندی هستند:

الف- ترانشه های سنگی

چنانچه از نام آنها مشخص است این ترانشه ها در زمین های سنگی حفر شده اند .سنگها از نظر ثبات مشخصات آنها با گذشت زمان می توان به دو دسته فرسایش پذیر و غیر قابل فرسایش پذیر تقسیم نمود .سنگهایی از قبیل شیل، مارن، شیست، سنگ آهک مارنی و ... از جمله سنگهای

[۱] پیچ سنگها یکی از سیستم های نگهداری جهت استحکام بخشیدن به شیبها،دیوارها وتونلها هستند و توانسته تا حد زیادی از خطرات ریزش قطعه سنگ ها جلوگیری نماید

فرسایش پذیر و سنگهایی مانند بازالت، دولومیت، ماسه سنگ و ... از دسته سنگهای غیرقابل فرسایش می باشند .فرسایش پذیری سنگها را براحتی می توان از میزان واریزه های پای ترانشه و تغییر شرایط ظاهری سنگ برش خورده تشخیص داد.

ب- ترانشه های خاکی

ترانشه ها مورد حفر در مصالح خاکی را ترانشه های خاکی می نامند .بطور عمومی، مصالح خاکی دارای مشخصات مقاومتی کمتری نسبت به مصالح سنگی هستند و از اینرو به شیبهای کمتری اجرا می شوند.

۳-۲-۲-۳دسته بندی ترانشه ها از نظر شکل ظاهری مقطع

ترانشه ها از نظر شکل عمومی مقطع در یک دید کلی به دو دسته تقسیم می شوند:

-ترانشه های یکطرفه که فقط یک سمت مقطع زمین در زمین برش خورده اند .این ترانشه ها در شرایط حفر ترانشه در زمینهای دارای شیب عرضی ایجاد می گردند.

-ترانشه های دو طرفه که در دو سمت محور خود در زمین حفر شده اند.

بر اساس شکل عمومی دیواره ترانشه، می توان انواع زیر را متصور بود:

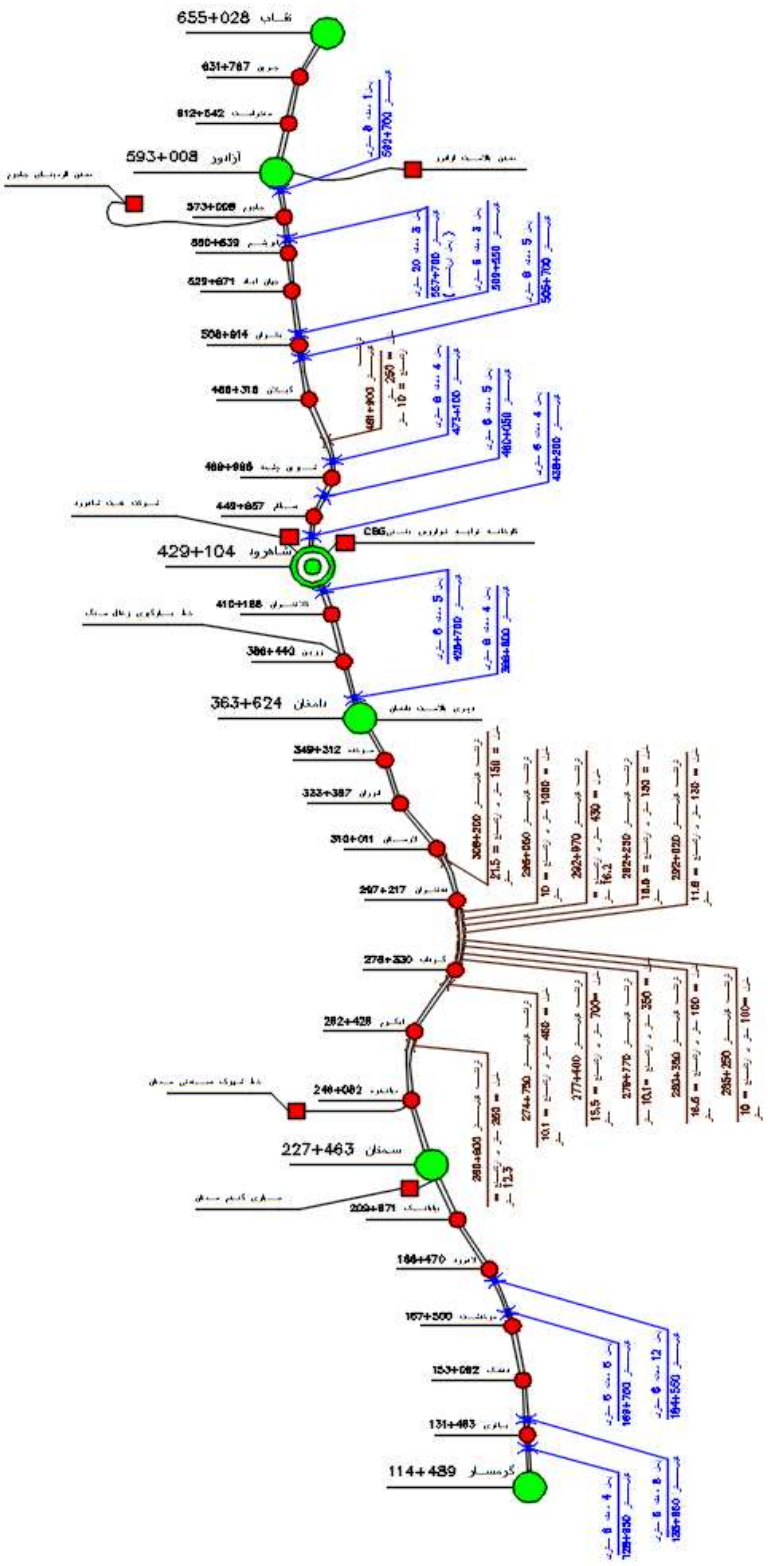
-ترانشه های با شیب برش یکنواخت در تمام ارتفاع خود

-ترانشه های دارای پله های عقب نشینی(بنام برم)که با هدف افزایش پایداری ترانشه و نیز کنترل قطعات ریزش کننده از بخشهای بالاترایجاد شده اند.

۳-۲-۲-۴ترانشه های موجود در مسیر گرمسار -نقاب

شکل (۳-۶) مشخصات ترانشه های مسیر را به تفکیک نواحی نشان می دهد.

مطابق اطلاعات جمع آوری شده طویلترین ترانشه در مسیر گرمسار - نقاب ، ترانشه واقع در بلاک گرداب هفنخوان کیلومتر۴۰۰+۲۷۷با طول ۷۰۰ متر می باشد . همچنین مرتفع ترین ترانشه در



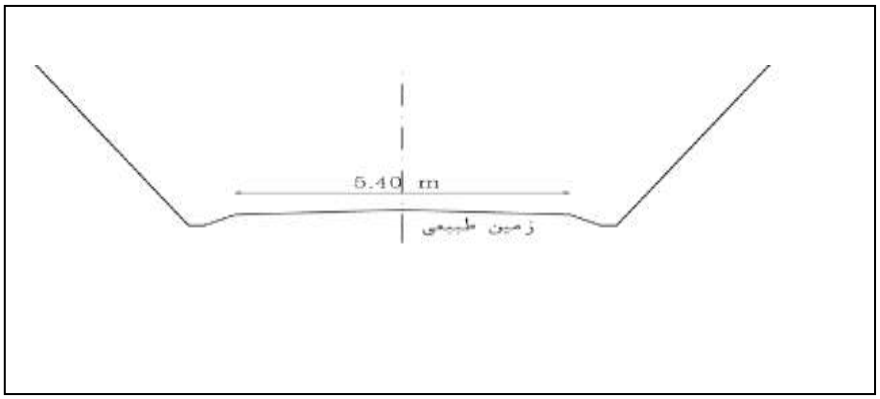
شکل (۳-۶) مشخصات ترانشه های مسیر را به تفکیک نواحی نشان می دهد

۳-۲-۳ اثر افزایش سرعت بر خاکبرداری ها

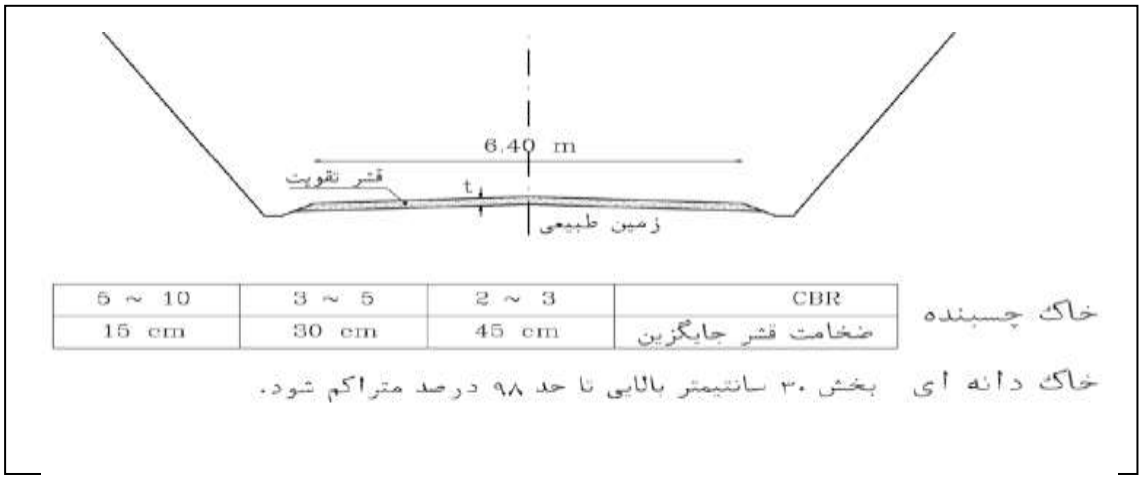
چنانچه پیشتر بصورت گذرا اشاره گردید، بخشی از کف خاکبرداریها بعنوان بستر روسازی تلقی شده و ناگریز بایستی شرایط باربری لازم در سطح تماس با روسازی(قشر بالاست) را داشته باشد مقاطع عمومی اجرای کف ترانشه به شرح زیر قابل معرفی می باشد.

-کف ترانشه ها دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم آن نیز معادل همان تراکم محلی زمین (بدون کوبش لایه ها)می باشد .لذا CBR بستر زمین ممکن است هر مقداری از ۱ تا ۱۰۰ باشد .در این مقاطع لای های از جنس مصالح دانه ای بین بالاست و بستر ترانشه وجود ندارد.

-کف ترانشه ها در سالهای ۱۳۵۷ به بعد، در همه زمانها دارای قشری از مصالح دانه ای بین بالاست و کف ترانشه است و مصالح بستر ترانشه در شرایطی که CBR کمتر از ۱۰ داشته اند، مطابق مندرجات جدول(۳-۸) ارائه شده در بخش پیش(با مصالح دارای CBR بیشتر از۱۰) جایگزین شده اند.



شکل(۳-۵)مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها از **۱۳۰۶** تا**۱۳۵۷**



شکل (۳-۶) مقطع تیپ زیرسازی برای کف ترانشه ها بعد از سال۱۳۵۷

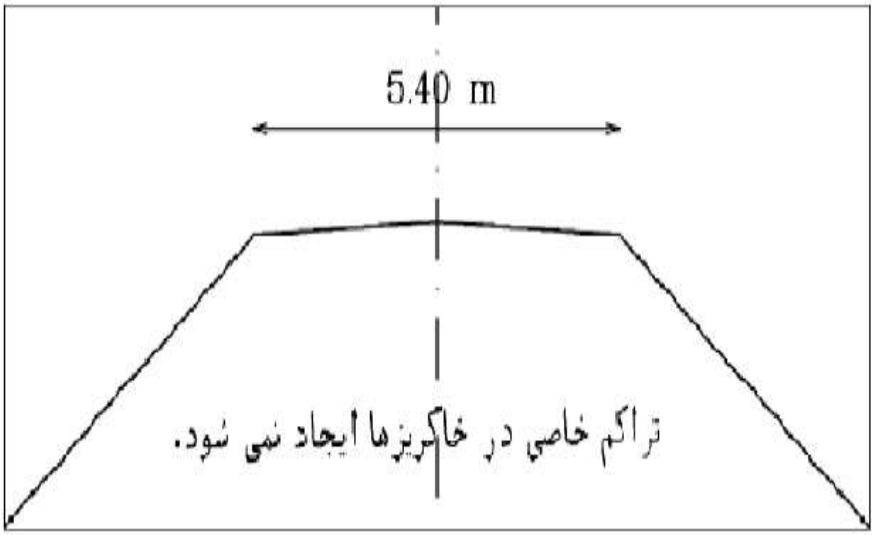
۳-۲-۴ اثر افزایش سرعت بر خاکریزها

کنترل خاکریزها نیز مانند خاکبرداری ها از دو جنبه مورد توجه خواهد بود .یکی کنترل سطح نهایی خاکریز که بعنوان بستر روسازی مورد بهره برداری قرار می گیرد و دیگری کنترل شرایط کل جسم خاکریز که از نظر نشست و پایداری آن حائز اهمیت است .خاکریزهای موجود در خطوط راه آهن کشور در سه مقطع زمانی پیش از ۱۳۵۰ ، ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ و بعد از ۱۳۵۷ با شرایطی متفاوت ساخته شده اند که مشخصات آنها به شرح ذیل می باشد.

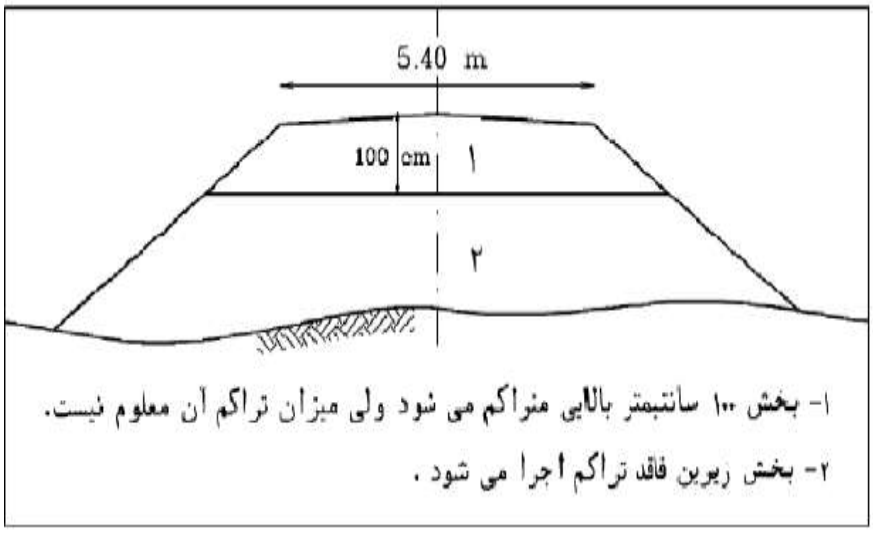
-سطح تمام شده خاکریزهای مورد ساخت در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰ دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم خاک با -سطح تمام شده خاکریزهای مورد ساخت در سالهای ۱۳۰۶ تا ۱۳۵۰ دارای قشری تقویتی نبوده و تراکم خاک با غلطک نیز انجام نشده است .همچنین بکارگیری مصالح دانه ای نیز در بالای سطح خاکریز در دستورالعملها مشاهده نمی گردد .عرض بالای خاکریز۵.۴مترمی باشد.

-در خاکریزهای ساخته شده بین سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ اگرچه بکارگیری مصالح دانه ای در سطح بالایی خاکریزمورد نظر نبوده، لکن متراکم نمودن خاک در چهار لایه ۲۵ سانتیمتری در بخش بالایی خاکریزها گزارش شده است .عرض خاکریزها در این زمان نیز در حدود متر۵.۴ بوده است.

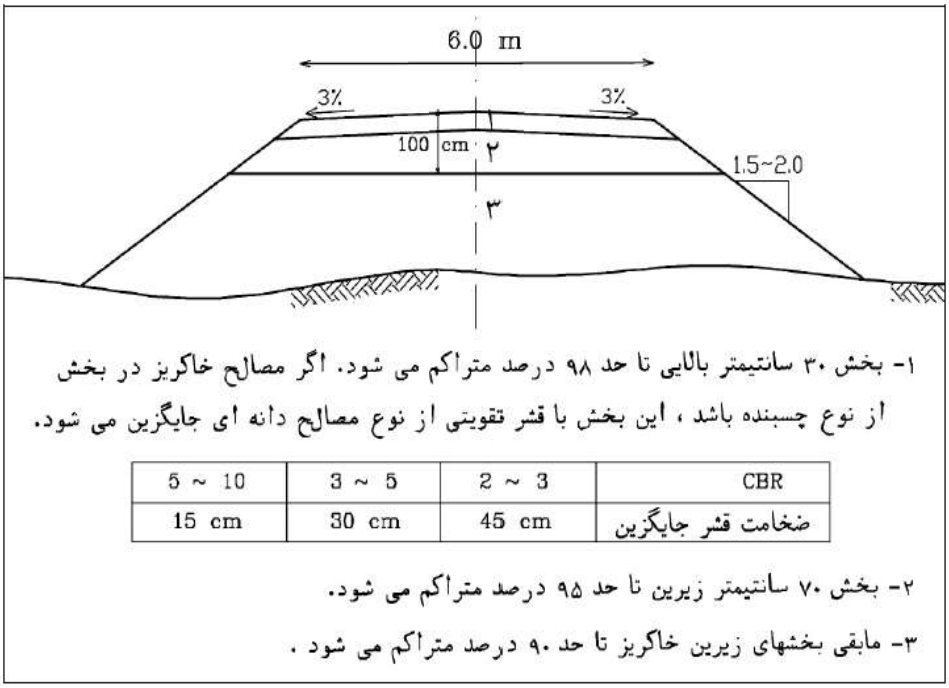
-خاکریزهای بعد از سال ۱۳۵۷ با تراکم خاک از سطح زمین طبیعی همراه بوده که بطور مفصل در بخشهای پیش اشاره شده و در ادامه به اختصار آمده است .در سطح بالایی این خاکریزها اگرچه لایه زیربالاست اجرا نشده ولی در صورت ریزدانه بودن مصالح خاکریز اصلی، لایه ای از مصالح منتخب در سطح خاکریز اجرا شده است .همچنین استفاده از مصالح با CBR کمتر از ۲ درصد در خاکریزها مجاز نبوده است .عرض خاکریزها در این مرحله زمانی عمدتاً در حدود ۶ متر بوده است . با توجه به توضیحات ارائه شده در بخشهای پیش، مقاطع تیپ هر یک از سه نوع خاکریز مختلف اجرا شده مطابق شکل های زیر می باشد.



شکل (۳-۷) مقطع تیپ خاکریزها از **۱۳۰۶** تا**۱۳۵۰**



شکل (۳-۸) مقطع تیپ خاکریزها ازسال **۱۳۵۰** تا**۱۳۵۷**



شکل (۳-۹) مقطع تیپ خاکریزها بعد از سال**۱۳۵۷**

۳-۲-۵ تحلیل باربری سطح نهایی خاکریز در برابر افزایش بار وارده از روسازی

بررسی میزان باربری خاک در سطح نهایی خاکریز که بعنوان بستر روسازی قلمداد می شود، کاملاً مشابه کف ترانشه می باشد .بحث تکمیلی در این زمینه در مورد خاکریزها به شرح زیر است:

-باربری بستر روسازی در خاکریزهای اجرا شده پیش از سال ۱۳۵۰ مشابه باربری کف ترانشه ها

بوده و تفاوتی از این بابت متصور نیست.

-باربری بستر روسازی در خاکریزهای اجرا شده بین سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۷ ، اگرچه به ظاهر مشابه خاکریزهای پیش ازسالهای ۱۳۵۰ است .لکن نظر به متراکم شدن خاک در بخش یک متر بالایی، هرچند که کنترل خاصی روی میزان تراکم صورت نگرفته است، قاعدتاً می بایست شرایط نسبتاً بهتری در بخشهای بالایی این خاکریزها حاکم باشد .در همان سالها استفاده از مصالح Base و Sub Base در راهسازی مرسوم بوده و مهندسان تا حدودی در نزدیکی سطح سابگرید سعی در بکارگیری مصالح دان های داشته اند و لذا می توان انتظار داشت که در سطح خاکریزها حداقل CBR اجرا شده در حدود۴ باشد .لذا در این باره وجود حالت بسیار وخیم مصالح با CBR، ۲ تا ۳ در سطح بالایی خاکریز اندکی بعید به نظر می رسد.

-باربری سطح بالایی خاکریهای اجرا شده بعد از سال ۱۳۵۷ کاملاً شبیه باربری کف ترانشه ها که در بخش پیش ارائه شده می باشد.

۳-۲-۶ بررسی قوسهای موجود

با توجه به سرعت زیاد و احتمال خروج از خط در قوسهایی که شعاع آن زیر ۳۰۰۰ متر است و عدم اصلاح با ایجاد دور (چرخاندن ریل به سمت مرکز قوس) لذا می بایست کلیه قوسهای با شعاع کمتر از مقدار مذکور را اصلاح کرد

شرح کلیه قوسها در طول خط از گرمسار تا نقاب ، طول قوس و کیلومتر مذکور در جدولی به طور خلاصه بیان شده :

ردیف	کیلومتر شروع	کیلومتر پایان	طول قوس	شعاع قوس	T	شیب	فراز	چپگرد یا راستگرد
۱	۱۱۴+۸۴۰	۱۱۵+۶۷۵	۸۳۴.۶	۱۵۰۰	۴۲۷.۸۶		۶.۵	L
۲	۱۲۷+۰۵۱	۱۲۷+۶۶۵	۶۱۳.۶	۲۰۰۰	۲۴۲.۹۱	۰	۰	R
۳	۱۳۴+۴۲۰	۱۳۵+۰۹۲	۶۷۴.۴	۲۰۰۰	۳۴۰.۶۷	۷.۷		R
۴	۱۴۲+۰۶۶	۱۴۲+۶۴۴	۵۷۷.۷	۲۰۰۰	۲۹۱.۳۷	۳		L
۵	۱۵۸+۳۸۳	۱۵۸+۶۹۶	۳۱۳.۰۵	۲۰۰۰	۱۵۶.۸۲	۵		R
۶	۱۶۸+۳۹۷	۱۶۹+۱۴۰	۴۷۲.۳	۲۰۰۰	۳۷۹.۱۹		۹.۷	L
۷	۱۷۲+۸۱۲	۱۷۳+۵۴۳	۷۳۰.۴۲	۱۵۰۰	۳۷۲.۶		۸.۷	R
۸	۱۷۴+۵۶۶	۱۷۵+۱۹۳	۶۲۶.۸۶	۲۰۰۰	۳۱۶.۰۲		۸	R
۹	۱۷۵+۸۶۶	۱۷۶+۵۶۲	۶۹۶.۵	۲۰۰۰	۳۰۰.۲۴		۹.۷	R
۱۰	۱۷۷+۱۵۳	۱۷۷+۴۴۶	۲۹۳.۳۲	۲۰۰۰	۱۴۶.۸۷		۵	R
۱۱	۱۷۸+۳۹۹	۱۷۹+۰۲۹	۶۳۰.۷۸	۱۰۰۰	۳۲۶.۲۸		۴&۹.۴	L
۱۲	۱۷۹+۶۱۳	۱۸۰+۰۰۱	۳۸۷.۷۶	۲۰۰۰	۱۹۴.۴۹		۹	R
۱۳	۱۸۱+۰۹۲	۱۸۱+۵۰۱	۴۰۸.۷	۲۰۰۰	۲۰۵.۰۶	۰	۹.۷	L
۱۴	۱۸۱+۹۰۴	۱۸۲+۴۸۵	۵۸۱.۲۶	۱۰۰۰	۲۹۹.۱	۰	۰	L
۱۵	۱۸۳+۵۴۶	۱۸۳+۹۳۷	۳۹۰.۵۲	۱۰۰۰	۱۹۷.۷۹		۹.۴	R
۱۶	۱۸۷+۶۱۵	۱۸۸+۱۱۷	۵۰۲.۶۶	۱۰۰۰	۲۵۶.۷۶		۷	R
۱۷	۱۸۸+۷۶۶	۱۸۹+۰۱۶	۲۵۰.۴۶	۱۰۰۰	۱۲۵.۸۹	۲.۲	۰	L
۱۸	۲۰۷+۶۳۴	۲۰۸+۰۶۱	۴۲۴.۷۳	۱۰۰۰	۳۱۶.۶۶	۰	۰	R
۱۹	۲۲۰+۹۰۷	۲۲۱+۱۶۹	۲۶۱.۲۲	۲۰۰۰	۱۳۰.۷۹		۱۰	L
۲۰	۲۲۴+۵۱۵	۲۲۴+۶۹۵	۱۸۰.۳۵	۲۰۰۰	۹۰.۲۴	۰	۰	L
۲۱	۲۲۶+۴۱۷	۲۲۶+۷۶۷	۳۵۰	۲۰۰۰			۲	L
۲۲	۲۲۸+۱۸۴	۲۲۸+۵۲۹	۳۴۵	۱۰۰۰		۰	۰	L
۲۳	۲۳۹+۵۱۸	۲۳۹+۷۷۷	۲۵۹.۴۸	۲۰۰۰	۱۲۹.۹۲		۱۳	L
۲۴	۲۴۲+۶۱۴	۲۴۳+۰۹۶	۴۸۲	۱۵۰۰			۱۴	L
۲۵	۲۴۳+۷۳۳	۲۴۴+۰۹۰	۳۵۵.۱۸	۱۰۰۰	۱۷۹.۴۸		۱۳.۲	R
۲۶	۲۴۵+۰۹۴	۲۴۵+۶۴۱	۵۴۷.۶۹	۷۰۰	۲۸۸.۷۳		۱۳	L
۲۷	۲۴۶+۴۳۶	۲۴۶+۷۷۵	۳۳۹.۱۳	۱۰۰۰	۱۷۱.۱۲		۱۱.۴	R
۲۸	۲۴۷+۹۰۲	۲۴۸+۲۸۰	۳۷۷.۵۷	۲۰۰۰	۱۸۹.۳۵		۱۴.۷	R
۲۹	۲۴۹+۷۸۰	۲۵۰+۳۹۶	۶۱۶.۰۸	۷۰۰	۱۸۵.۷۲		۱۴	L

۳۰	۲۵۰+۶۸۷	۲۵۰+۹۱۸	۲۳۱.۱۶	۱۰۰۰	۱۱۶.۱		۷	R
۳۱	۲۵۱+۷۳۹	۲۵۲+۲۷۳	۵۳۴.۵۷	۸۰۰	۲۷۷.۶۸		۶.۲	R
۳۲	۲۵۲+۳۳۲	۲۵۲+۶۰۴	۲۷۲.۱۷	۱۸۰۰	۱۳۶.۳۹		۴.۷	L
۳۳	۲۵۳+۱۹۵	۲۵۳+۳۹۱	۱۹۶.۰۶	۲۰۰۰	۹۸.۱۱		۹.۲	R
۳۴	۲۵۳+۹۷۶	۲۵۴+۲۸۹	۳۱۳.۰۶	۲۰۰۰	۱۵۶.۸۲		۱۵	L
۳۵	۲۵۴+۵۸۴	۲۵۵+۱۸۴	۵۹۹.۶۷	۱۰۰۰	۳۰۹.۱۵		۱۴.۴	L
۳۶	۲۵۵+۲۴۵	۲۵۵+۸۷۳	۶۲۸.۱	۱۰۰۰	۳۲۴.۸		۱۲.۷۲& ۱۴.۴	R
۳۷	۲۵۵+۸۷۳	۲۵۶+۳۸۰	۵۰۷.۱	۱۰۰۰	۲۰۹.۱۳		۱۴.۴	R
۳۸	۲۵۷+۱۳۳	۲۵۷+۳۵۲	۲۱۹	۲۰۰۰			۵	L
۳۹	۲۵۸+۰۴۷	۲۵۸+۳۶۱	۳۱۴.۵۷	۱۰۰۰	۱۶۸.۳۸		۲	R
۴۰	۲۵۸+۷۵۵	۲۵۹+۴۷۲	۷۱۷.۱۳	۷۰۰	۳۹۳.۸۱		۳.۴	L
۴۱	۲۶۰+۲۵۸	۲۶۰+۹۲۹	۶۷۰.۷۳	۷۰۰	۳۶۳.۶۲		۱۵	R
۴۲	۲۶۲+۷۵۳		۲۷۵	۷۰۰				R
۴۳	۲۶۵+۲۳۹	۲۶۶+۴۷۴	۱۲۳۴.۸۴	۱۵۰۰			۱۵	L
۴۴	۲۶۸+۷۳۶	۲۷۰+۲۷۷	۱۰۶۰.۷۹۷	۱۵۰۰				R
۴۵	۲۷۰+۴۸۹	۲۷۱+۹۲۵	۹۵۵.۵۵۳	۱۵۰۰	۷۵۲.۲۱۷		۱۵	L
۴۶	۲۷۳+۹۵۳	۲۷۶+۰۳۱	۲۴۳۷+۹۵۸	۲۵۰۰	۱۳۲۵/۷۴۶		۱۵	R
۴۷	۲۷۸+۶۵۳	۲۸۱+۰۹۵	۲۴۴۱.۵۳	۴۰۰۰	۱۲۶۱.۱۹۵		۱۴.۹۵	L
۴۸	۲۸۴+۳۷۰	۲۸۶+۰۷۵	۱۷۰۵.۲۶۴	۴۰۰۰	۸۶۵.۷۸۵		۱۴.۹۵	R
۴۹	۲۹۱+۴۵۵	۲۹۱+۹۶۷	۵۱۱.۲۸۵	۱۰۰۰۰	۲۵۵.۶۹۸	۱۴.۸۶		L
۵۰	۲۹۲+۴۶۱	۲۹۳+۳۸۳	۹۲۲.۱۲	۱۵۰۰	۴۶۷.۴۰۵	۰	۰	R
۵۱	۲۹۳+۴۸۷	۲۹۴+۰۱۵	۱۳۸۵.۸۱۱	۱۲۵۰		۱۴		L
۵۲	۲۹۴+۰۱۵	۲۹۵+۴۰۱	۱۳۸۵.۸۱۱	۱۲۵۰	۱۰۷۲.۳۱۸	۱۴		L
۵۳	۲۹۸+۳۵۶	۲۹۹+۲۹۴	۹۳۷.۹۰۱	۸۰۰۰	۴۶۹.۴۸۸	۱۵	۲.۱۱	R
۵۴	۳۰۰+۲۹۰	۳۰۱+۲۲۲	۹۳۱.۱۳۳	۶۰۰۰	۴۶۶.۵۰۳	۷.۱		L
۵۵	۳۰۲+۳۷۸	۳۰۴+۱۲۱	۱۷۴۲.۶۱۴	۲۰۰۰۰	۸۷۱.۸۵۹	۱۵		R
۵۶	۳۰۸+۲۳۴	۳۰۹+۵۴۴	۱۳۰۹.۹۵	۱۵۰۰	۶۷۹.۴۴۵	۶.۳		L
۵۷	۳۱۲+۲۶۹	۳۱۳+۶۱۹	۱۱۱۰.۴۵۷	۳۰۰۰	۶۸۴.۰۴۲	۳&۱۲		R
۵۸	۳۱۶+۴۵۹	۳۱۷+۲۷۰	۵۷۰.۸۱۶	۳۰۰۰	۴۰۶.۹۶۵	۹		R
۵۹	۳۱۸+۳۰۷	۳۱۸+۷۷۰	۴۶۳.۴۸	۴۰۰۰	۲۳۲	۱۴.۷۳۷		L
۶۰	۳۲۰+۷۷۶	۳۲۱+۶۱۲	۸۳۶.۰۲	۱۵۰۰	۳۳۷.۰۳	۱۴.۲۳۲&۹		R

۶۱	۳۲۴+۲۵۸	۳۲۷+۳۸۶	۳۱۳۰.۷۸	۱۲۵۰	۳۲۷۹.۷۷	۱۵		L
۶۲	۳۲۷+۹۱۷	۳۲۸+۳۳۶	۴۱۸.۳۵	۴۰۰۰	۲۰۹.۳۶	۱۳.۹۵۹		R
۷۰	۳۳۱+۶۰۰		۷۷۳	۱۰۰۰				R
۷۱	۳۴۱+۵۳۱	۳۴۱+۸۵۴	۳۲۳	۳۰۰۰				R
۷۲	۳۵۹+۸۰۴	۳۶۰+۱۵۵	۳۵۰	۱۵۰۰				L
۷۳	۳۶۲+۳۶۲	۳۶۳+۱۰۰	۷۳۷	۱۴۰۰				L
	۳۶۴+۶۰۰	۳۶۵+۱۰۰	۵۰۰	۴۰۰۰				
۷۴	۳۸۰+۶۶۳	۳۸۱+۲۰۸	۵۴۴	۳۰۰۰				L
۷۵	۳۸۳+۸۹۶	۳۸۴+۱۷۴	۲۷۸	۳۰۰۰				R
۷۶	۳۸۶+۷۰۰	۳۸۷+۱۸۹	۴۸۹	۳۰۰۰				R
۷۷	۳۹۱+۰۷۲	۳۹۱+۸۴۲	۷۶۹	۱۵۰۰				L
۷۸	۳۹۴+۷۷۶	۳۹۵+۵۰۹	۷۳۳	۱۵۰۰				L
۷۹	۳۹۸+۸۸۹	۳۹۹+۶۶۰	۷۷۱	۱۵۰۰				R
۸۰	۴۰۱+۴۸۱	۴۰۱+۸۴۲	۳۶۱	۳۰۰۰				R
۸۱	۴۰۷+۲۸۹	۴۰۷+۸۷۵	۵۸۶	۲۰۰۰				R
۸۲	۴۱۳+۵۴۵	۴۱۳+۸۲۴	۲۷۹	۳۰۰۰				R
۸۳	۴۲۹+۸۶۳	۴۳۰+۱۳۸	۲۷۶	۲۰۰۰				L
۸۴	۴۳۴+۹۹۹	۴۳۵+۴۹۵	۴۹۵	۱۰۰۰				L
۸۵	۴۳۵+۷۰۰			۲۰۰۰				R
۸۶	۴۴۷+۵۲۰	۴۴۷+۹۲۰	۴۰۰	۱۰۰۰				R
۸۷	۴۵۴+۷۰۵	۴۵۵+۲۱۵	۵۱۲	۱۰۰۰				L
۸۸	۴۵۶+۱۲۰	۴۵۶+۳۲۶	۲۰۶	۱۰۰۰				R
۸۹	۴۵۷+۵۰۲	۴۵۷+۶۹۸	۱۹۵	۸۰۰				L
۹۰	۴۵۸+۳۳۸	۴۵۸+۷۳۱	۳۹۴	۱۰۰۰				R
۹۱	۴۵۹+۳۸۹	۴۵۹+۷۱۱	۳۲۲	۱۰۰۰				L
۹۲	۴۶۰+۰۱۱	۴۶۰+۵۶۰	۵۴۸	۸۰۰				L
۹۳	۴۶۰+۹۳۵	۴۶۱+۲۷۳	۳۳۸	۷۰۰				R
۹۴	۴۶۳+۳۷۹	۴۶۳+۶۴۷	۲۶۷	۲۰۰۰				L
۹۵	۴۶۶+۲۲۰	۴۶۶+۴۳۸	۲۱۸	۲۰۰۰				L
۹۶	۴۶۷+۶۳۹	۴۶۷+۹۷۰	۳۳۱.۴۶	۲۰۰۰	۱۶۶.۱۸	۱۰		R
۹۷	۴۷۱+۴۹۳	۴۷۱+۶۲۰	۱۲۶.۵۲	۶۰۰۰	۶۳.۸۹	۹		L
۹۸	۴۷۳+۱۵۵	۴۷۳+۴۷۱	۳۱۶.۳۴	۱۲۰۰	۱۵۹.۰۹	۱۰		R

۹۹	۴۷۴+۴۰۱	۴۷۴+۶۵۲	۲۵۱.۳۳	۱۰۰۰	۱۲۶.۳۳	۰	۰	L
۱۰۰	۴۷۸+۲۲۵	۴۷۸+۷۳۲	۴۷۶.۲۶	۷۰۰	۲۴۸.۳۲	۳.۱		R
۱۰۱	۴۷۹+۴۷۹	۴۷۹+۶۹۸	۲۱۱.۹۶	۱۱۰۰	۱۰۹.۸۶	۰	۰	R
۱۰۲	۴۷۹+۸۳۶	۴۸۰+۰۸۵	۲۴۸.۴	۱۰۰۰		۰	۰	L
۱۰۳	۴۸۰+۵۶۱	۴۸۰+۷۷۴	۲۱۳	۳۰۰۰				
۱۰۴	۴۸۱+۲۷۲	۴۸۱+۵۶۲	۲۹۰	۷۰۰				
۱۰۵	۴۸۱+۷۲۷	۴۸۲+۴۲۴	۶۹۷	۱۰۰۰				
۱۰۶	۴۸۴+۸۹۷	۴۸۵+۰۴۱	۱۴۴.۶۷	۲۰۰۰	۷۲.۳۶	۵.۵		L
۱۰۷	۴۸۷+۷۴۷	۴۸۷+۹۳۵	۱۸۸.۱۸	۷۰۰	۹۵.۲۲	۶.۵		R
۱۰۸	۴۹۰+۲۲۲	۴۹۰+۴۹۰	۲۶۸.۳	۱۰۰۰	۱۳۴.۹۶	۸ &۱۲		R
۱۰۹	۴۹۸+۷۵۷	۴۹۹+۲۸۳	۵۲۶.۷۵	۱۵۰۰	۲۷۱		۶&۸.۵	L
۱۱۰	۵۰۰+۷۹۷	۵۰۱+۱۹۶	۳۹۵.۴۴	۱۰۰۰	۲۰۱.۹۵	۵		R
۱۱۱	۵۲۰+۶۰۴	۵۲۰+۷۸۶	۱۸۱.۱۹	۳۰۰۰			۶.۵	R
۱۱۲	۵۳۰+۳۱۷	۵۳۰+۷۰۷	۳۸۹	۳۰۰۰	۱۹۵.۰۳۳	۷.۸۲		L
۱۱۳	۵۳۵+۵۹۳	۵۳۵+۷۹۰	۱۶۹.۸۱	۳۰۰۰	۱۰۲.۱۳			L
۱۱۴	۵۵۲+۰۰۶	۵۵۲+۲۱۰	۲۰۳.۴۴	۲۰۰۰	۸۴.۹۹	۲.۵		L
۱۱۷	۵۵۷+۶۶۶	۵۵۷+۹۸۰	۳۱۴	۳۰۰۰				
۱۱۸	۵۷۸+۴۶۷	۵۷۸+۶۷۲	۲۰۵	۳۰۰۰				L
۱۱۹	۵۸۱+۷۸۲	۵۸۲+۳۰۱	۵۲۰	۳۰۰۰				R
۱۲۰	۵۸۵+۴۸۴	۵۸۵+۶۳۹	۱۵۵	۳۰۰۰				L
۱۲۱	۶۰۶+۰۱۵	۶۰۷+۱۱۱	۱۰۹۵.۷۱	۳۰۰۰	۵۵۳.۴۷			L
۱۲۲	۶۲۳+۲۰۵	۶۲۳+۴۴۳	۲۳۷.۸۱	۳۰۰۰	۱۱۸.۹۸		۶	L
۱۲۳	۶۳۵+۷۲۰	۶۳۶+۰۶۹	۳۴۹.۶	۳۰۰۰	۱۸۱.۸۶		۴	L

در اصلاح شعاع قوسها می بایست بررسی های لازم در خصوص خاکبرداری و خاکریزی و استفاده از منابع قرضه مناسب در اطراف خط و چاههای منطقه و شعاع تأثیر آنها و مسیر گسل ها و آبراه ها انجام پذیرد

۳-۲-۷فرو نشت و راهکارها

نظر به اینکه در منطقه تمامی مرزارع اطراف خط توسط آب چاه آبیاری می شوند و برداشت بیرویه از

آب چاهها و نیز حفر چاه های غیر مجاز در اطراف خط و بعضاً عبور آب و جـوی هـای مـذکور از زیـر ابنیه فنی که پیش بینی وجود این میزان رطوبت در خـاک زیـر پـی دیـده نشـده همگـی مشـکلات متعددی در طول مسیر ایجاد نموده است.

دیگر مشکلی برداشت بیرویه و متعاقب آن نشست ایجاد می کند بهم خوردن دانه بندی خاک و پوک شدن لایه های سطحی بوده که با تند باد ها خصوصا در منطقه دامغان به دلیل وجود بادهـای شـدید شروع به حرکت نموده و در بین بالاست های روی خط جای گرفته و آنها را صلب می کند[۳]

صلب شدن بالاست ها میرایی آنها را که تا قبل از وجود شن های روان در بین انها جلوب ضربات وارده از سی قطار را گرفته و نیروها را مصطحلک می کرد از بین برده و راحتی سیر را از مسافرین می گیرد به طور محسوس در محل هایی که زیر بالاست بسیار محکم است مانند برخی ابنیه فنی که لایه های خاک کم عمق و یا برخی ایستگاهها نوع حرکت را تشخیص داده و ضربات قطار را تجربه می کنند

اساس طراحی راه آهن تیر روی بستر ارتجاعی است وقتی این معادله به هـم بخـورد نیروهـای مصطحلک نشده باعث خرابی ناوگان ، روسازی ، خط و انتقال نیروی ضربه به پل ها و ابنیـه فنـی و ایجاد اشکال در کل موارد فوق گردد

حدود ۳۰۰ دشت ایران با فرو نشست روبـرو اسـت و حـدود ۹۷ درصـد شـهرهای ایـران در معـرض زمینلرزه و ۳۵۰ شهر در خطر سیل

از دلایل معمول ایجاد فروچاله ها:

انحلال در سنگ های آهکی ، گچ و نمک

از دلایل معمول ایجاد فرونشست:

- کاهش حجم رسوبات کم چگال (تحت فرایند تراکم)

آرایش متراکم تر ذرات آنها وکاهش فضای خالی رسوب

- تراکم در اثر بارگذاری

- زهکشی

- ارتعاش و یا استخراج آب وسایر مایعات موجود در فضای خالی

(بهره برداری غیر اصولی آب زیرزمینی)

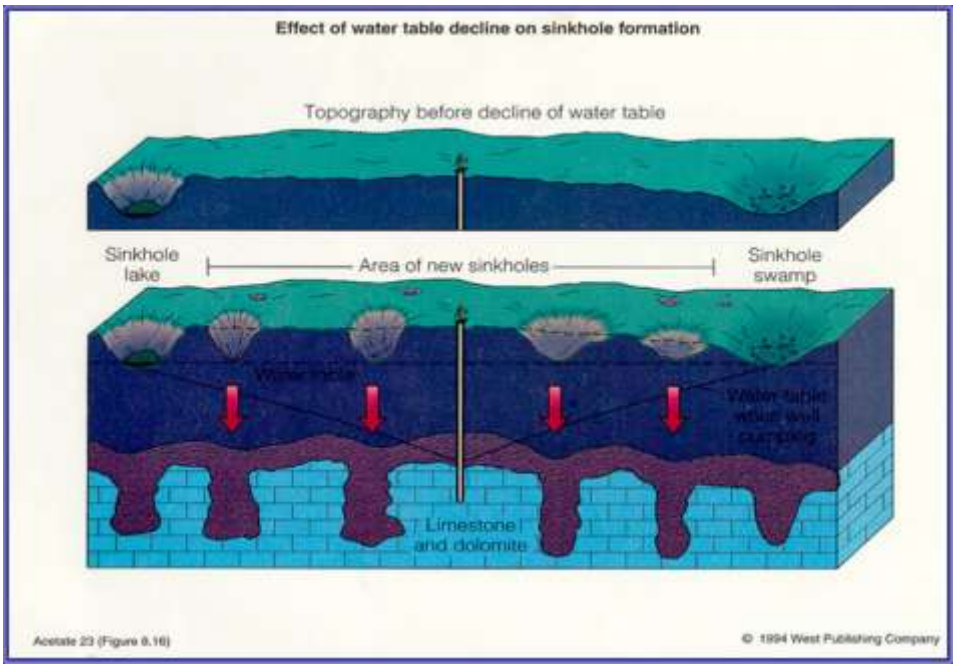
برداشت آبهای زیرزمینی و مصارف آن درکشورهای توسعه یافته و در حال توسعه

جهانی : کشاورزی ۷۰٪ صنعتی ۲۰٪ خانگی ۱۰٪

کشورهای در حال توسعه: کشاورزی ۹۰٪ صنعتی ۷.۲٪ خانگی ۲.۸٪

در سال ۲۰۲۵، برداشت از آبهای زیرزمینی در کشورهای صنعتی ۱۸٪ و در کشورهای در حال توسعه ۵۰٪ رشد خواهد داشت.

شکل زیر اثر کاهش سطح آب زیرزمینی در تشدید شکل گیری فروچاله ها را نشان میدهد



شکل (۳-۱۰) بیرون زدن تجهیزات سر چاهی به علت نشست زمین اطراف ایستگاه امروان

شکل(۳-۱۱) ترک های ایجاده شده در پوسته زمین بر اثر فرونشت ایستگاه گرداب

شکل(۳-۱۲) ترک های ایجاده شده در پوسته زمین بر اثر فرونشت ایستگاه آزادور

شکل(۳-۱۳) کج شدگی و شکست بلوک سیمانی جدار چاه (حومه روستای بکران)

ترک های بوجود آمده در پل های حوالی ایستگاه بکران که در حال ترمیم پل با استفاده از شمع به قطر ۱.۵ متر و عمق ۲۹ متر در دو طرف کوله های پل و عرض ۱.۵ متر فونداسیون در اطراف آن و اجرای دیوار برشی می باشند در عکس گوه رها شده از پل که دلیل قوسی بودن آن بعد از نشست دوباره به هم رسیده و شکل قوسی خود را تکمیل کرده و بارهای وارده را منتقل می کند نشان داده شده

۳-۲-۷-۱ رفع خرابی های ناشی از نشست

شرایط لازم طراحی برای حداکثر نشست پیش از احداث برابر با ۲۵ میلیمتر در طی شش ماه و نشست تفاضلی برابر ۱۰ میلیمتر در دهانه قوسی۱۰ متر می باشد. بعلاوه، درجه تحکیمی که باید بدست آید، نباید کمتر از ٪۹۰-۸۵ باشد. حداقل ضریب اطمینان بلند مدت لازم برای پایداری شیروانی برابر ۱.۵بود.همچنین برای اطمینان از عملکرد مناسب خاکریزها از نظر نشست و پایداری

شیروانی بعلاوه تکمیل پروژه در طی مدت لازم برای اجرای پروژه ,بهسازی خاک ضروری بنظر رسید. کشور مالزی از روش های بهسازی جایگزینی ارتعاشی با ستون های سنگی و اختلاط عمیق خاک به روش خشک که در فصول گذشته بیان شد استفاده کرده ولی با توجه به شرایط سیر حرکت و عدم توقف قطارها برای مدت طولانی میتوان از تزریق تراکمی در این خصوص استفاده نمود

۳-۲-۷-۲ تعیین بخشهایی از مسیر که از لحاظ زیرسازی موجود مشکل افزایش سرعت دارد

در این قسمت وضع موجود زیرسازی و ترانشه های محور گرمسار – نقاب و مشکلات، معایب، خرابیها و نقاط ضعف آن براساس بازدیدهای انجام گرفته بیان و اشاره می گردد .در بازدیدها جسم خاکریز و سلامت آن کنترل و محدوده اطراف خط بمنظور مشخص نمودن آثار سیلابها و آبهای روان بررسی گردیده تا بدین وسیله مشکلات موجود شناسایی و اعلام گردد.

شکل(۳-۱۴) عدم احداث کانال در داخل شکل ترانشه و نیز ضرورت شیرین چشمه –گیلان

(۳-۱۵) نشست و رانش زیرسازی خط در بلاک زوال ریزی آن دربلاک میاندره سمنان

شکل(۳-۱۶) ترکهای طولانی در خاکریز خط شکل در کیلومتر ۲۷۷+۵۰۰ واقع دربلاک سمنان – میان دره

(۳-۱۷) وجود ترک در زیرسازی بلاک سمنان – میان دره

شکل (۳-۱۸) روان آب ها

شکل (۳-۱۹) جمع شدن روان آب ها

شکل(۳-۲۰)ترک خوردگی در زمینهای اطراف خط در محدوده کیلومتر ۷۲۹

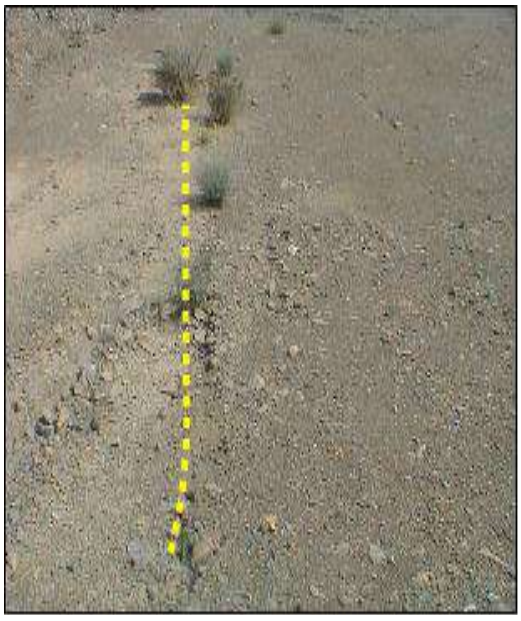
شکل(۳-۲۱) نشست کنار خط و پای خاکریز در محدوده کیلومتر ۷۲۷ الی۷۲۹

شکل(۳-۲۲) نشست و رانش و گسیختگی خاکریز خط در

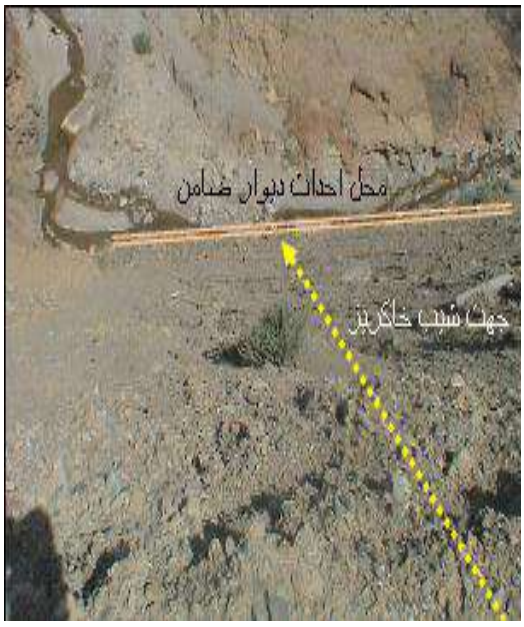
شکل (۳-۲۳)ریزشی بودن ترانشه مشرف به خط سمنان- میاندره

شکل(۳-۲۴) نشست زمین در کیلومتر ۴۸۱

شکل (۳-۲۵) ترکها و حفره های عمیق ایجاد شده در نزدیکی



شکل(۳-۲۶) ترک ایجاد شده درخاکریز مابین میاندره



شکل (۳-۲۷)نمایی دیگر از ترکهای موجود دیوار بوجود آمده ضامن در پایین دست سمنان در اثر حرکت خاکریز

شکل (۳-۲۸) شکاف ایجاد شده در زیرسازی

شکل (۳-۲۹) آسیب دیدگی دیوار هدایت آب مربوط به پل ۴ نشست متری که مسیر راه آهن را قطع کرده و ادامه آن تا چند صد متر میرسد

.

شکل (۳-۳۰) وضعیت نامناسب زیرسازی در خاکریز قبل از پل ابریشم

شکل (۳-۳۱) ضعیت زیرسازی در قبل و بعد از پل

۳-۲-۷-۳ وضعیت زیرسازی کیلومتر ۴۸۱ واقع در اداره کل راه آهن شمال شرق

بالا دست و پایین دست محور راه آهن،در محدوده مورد نظر دشت می باشد .طی بارندگی های رخ داده در سالهای اخیر، شیارهایی با عرض های مختلف از10سانتیمتر تا حتی۱.۵متر و با عمق مختلف، در بعضی نقاط، بیش از۱.۵متر و طولهای مختلف، موازی و عمود برخط آهن ایجادگردیده است .استفاده زیاد از آب های زیر زمینی منطقه مورد نظر سبب پوک شدن لایه های زیرزمینی گردیده که وضعیت نامناسب زمینهای محدوده مربوطه را بهمراه داشته است. این شیارها به زیر سازی راه آهن ظاهرا آسیبی وارد ننموده است ولی از بالا دست تا پایین دست خط مشاهده می شود. در بالادست خط، به فاصله ۱۲ کیلومتری آن جاده ترانزیت شاهرود - مشهد قرار دارد .از جاده مذکور نیز بازدید به عمل آمدکه شیارها نیزدرعرض جاده مشاهده می گردد.(اداره راه و ترابری اقدام به پر کردن آسفالت نموده است).

در مسیر۲ کیلو متری که ترکهادراطراف خط راه آهن ایجاد گردیده اند، یک دهانه پل ۶ متری مشاهده شده که در دهانه پل شیارها بیشتر می باشد .لذا لایروبی پل مذکور در زمانهای متفاوت الزامی می باشد. در بالا دست محور راه آهن هیچ گونه درواسیون هدایت آب ایجاد نگردیده است لذا ضرورت دارد در بالا دست نسبت به ایجاد درواسیون اقدام لازم صورت پذیرد .امکان سنجی دبی آب عبوری با پلهای موجود با توجه به بارندگی های فصلی و سیل خیزی منطقه ای ضروری میباشد .با توجه به شرایط منطقه، در صورت کسری پل در آن حوزه، نسبت به احداث پل جدید، جهت هدایت آبهای طرفین خط می بایست اقدام گردد .در ادامه تصاویری از وضعیت محدوده مربوطه آورده شده است.

شکل(۳-۳۲) نمایی ازبالا دست محور

شکل(۳-۳۳) محدوده اطراف خط آهن و شرایط ترک‌های کنار آن

شکل (۳-۳۴) بخشهایی از ترک خوردگی که توسط خاک پر شده است.

شکل(۳-۳۵)شکاف ها در پایین دست و موازی مسیر

شکل(۳-۳۶) ترکهایی که در زیر بالاست مشخص می باشد

شکل (۳-۳۷) وضعیت آبرو در محل وجود ترک در کنار خط

۳-۲-۷-۴ وضعیت ترانشه کیلومتر 246 راه آهن شمال شرق

با توجه به شرایط نامناسب ترانشه کیلومتر 246 مسیر گرمسار – نقاب (میاندره – آبگرم) و ریزش سنگهای ترانشه وشکاف های عمیق و طویل ایجاد شده در آن بررسیهای دقیقتری با انجام بازدید در آن صورت پذیرفته است، که در ذیل به آن اشاره می شود.

گسل معروف این منطقه مهمترین عامل است چندین مشاور داخلی و خارجی آن را بررسی کرده اند

۳-۲-۷-۵ سایر معایب مشاهده شده در طول بازدید و ارائه راهکار و تکنیک پیشنهادی

۱- ترک طولی شانه خاکریز در بلاک های امروان تا آبگرم با توجه به بررسی های انجام شده

۲- وجود آسیب دیدگی در مقاطع مختلفی از زیرسازی و شانه های خاکریزی خط در بلاک شیرین چشمه به گیلان

۳- کاهش عرض پیاده رو در روسازی خط بلاک جهان آباد -بکران

۴- نشست زمین در زمان بارندگی به دلیل وجود گنبدهای نمکی در بلاک گیلان – شیرین چشمه

۵- جمع آوری تراورسهای فرسوده و شکسته ناشی از سانحه در داخل ترانشه های ۳۱۲+۳۴۹ و ۳۳۳+۳۸۷ ضروری می باشد .زیرا قرارگیری این تراورسها ب روی کانال داخل ترانشه سبب مسدود شدن آن و نهایتاً جمع شدن آب ناشی از بارندگی در داخل ترانشه می گردد.

۶- خاکریز پشت کوله پل کیلومتر ۱۸۴+۵۰ آسیب دیده بوده و ترکهای متعددی به عرض تقریبی 8 سانتی متر در آن ایجاد گردیده است .نفوذ آبهای ناشی از بارندگی به داخل این ترکها سبب نشست خاکریز و نهایتاً کوله پل در این محل گردیده است.

۷- تجمع آبهای سطحی ناشی از بارندگی در کیلومتر ۲۶۲+۴۲۶ بعلت وجود عوارض در زمینهای حریم تا پای خاکریز مشاهده گردیده است .آبشستگی پای خاکریز ناشی از عیب فوق در این محدوده ها دور از ذهن نمی باشد.

۸- درواسیون خاکی موجود از ابتدای ایستگاه آبگرم در چندین نقطه توسط افراد و یا در اثر

آبشستگی ها دستخوش آسیب شده است لذا آبهای سطحی جاری شده ناشی از مسیل ها به خاکریز خط آسیب رسانده است.

۹- عدم لایروبی ترانشه های کیلومتر ۵۰+۲۹۵ الی ۷۵۰+۲۷۴ سبب تجمع آب داخل ترانشه ها و آسیب دیدگی پای ترانشه گردیده است.

۱۰- درواسیونهای محدوده کیلومتر۹۰۰+۲۸۲ الی ۴۰۰+۲۸۴ و ۰۰۰+۴۸۹ الی ۰۰۰+۴۸۵ آسیب دیده می باشد(بویژه سمت چپ خط).

۱۱- تجمع آب در محدوده کیلومتر ۵۴۲+۶۱۲ الی ۰۲۸+۶۵۵ بعلت شیب بندی نامناسب طرفین خط مشاهده گردیده است .بمنظور حفاظت پای خاکریز و جلوگیری از تخریب آن می بایست در منطقه مورد نظر اقدام به احداث سدخاکی نمود.

۳-۲-۷-۶ عمده مشکلات این محور

۱- نشست خاک به دلیل برداشت بی رویه و کنترل نشده از آب چاههایی که شعاع تأثیر آن به خط راه آهن می رسد خصوصاً چاه های بدون مجوز و از بین رفتن فشار آب حفره ای و متعاقب آن در برخی نقاط ذکر شده نشست پل ها و ابنیه فنی وایجاد مشکلات متفاوت از قبیل پوک شدن خاکهای سطحی و حرکت توسط باد برروی بالاست ها و صلب کردن آنها و از بین بردن راحتی سیر است .

۲- حرکت و رانش زمین در بعضی مناطق و گنبد های نمکی و گسل موجود در مناطق اشاره شده

۳-وجود موشهای صحرایی در مناطقی که از خاک نباتی برای زیرسازی استفاده شده و همکنون لانه مناسبی برای زندگی این جوندگان گردیده و به مرور زیر سازی را تخریب می کنند

۴-عدم تراکم مناسب و یا عدم استفاده از مصالح مناسب از قبیل ماکادام و بلوکاژ کردن جهت پر نمودن پشت کوله پلها و ابنیه فنی

۵- عدم وجود کانالهای هدایت آب در داخل ترانشه ها، ریزشی بودن ترانشه ها و لزوم زوال برداری و زوال ریزی آنها

۶-آبشستگی پای خاکریز بعلت هجوم آبهای روان و وضعیت توپوگرافی منطقه و سیل خیزبودن آن

۴-۲-۷-۷- ارائه راهکار درخصوص زیرسازی خط محور گرمسار – نقاب

براساس مشخصات ذکر شده درخصوص شرایط زیرسازی در استانداردها و آیین نامه های موجود ، زیرسازی می بایست شرایط لازم جهت سیر ایمن آلات ناقله را داشته باشد .بعبارت دیگر میزان تغییر شکلهای ایجاد شده در زیرسازی نمی بایست زیاد بوده و در حد قابل قبول قرار گیرد، زیرا وجود نشستهای زیاد سبب بروز شوکهای ناگهانی در وسایل نقلیه و از بین رفتن آرامش و راحتی سیر مسافرین می گردد. بنابراین کنترل وضعیت زیرسازی موجود و رفع معایب جزء ضروریات پروژه خواهد بود. تعیین و تخمین ظرفیت باربری زیرسازی موجود، جهت بررسی آن با شرایط استاندارد از طریق آزمایش ضروری می باشد .همچنین اندازه گیری تراکم خاکریز موجود نیز ضروری بنظر می رسد .البته رفع معایب موجود در زیرسازی با توجه به سیر آلات ناقله و عدم توقف سیر برای زمان طولانی، بسیار سخت و دشوار می باشد،_لذا رفع معایبی که رسیدن به سرعت مورد نظر را امکان پذیرنمی سازد و یا ایمنی سیر را فراهم نمی نماید، الزامی است .در رفع معایب موجود در زیرسازی خط، متناسب با شرایط هر بخش انجام مطالعات جامع و تکمیلی و تخصصی بسیار مهم و غیر قابل انکار می باشد. در ادامه با توجه به مشکلات شناسایی شده در طی بازدید از محور مربوطه، راهکار لازم ارائه می گردد.

۲-۴-۷-۸رفع خرابیهای ایجاد شده ناشی از آسیب دیدگی خاکریز

بمنظور رفع معایب ایجاد شده ناشی از آسیب دیدگی خاکریز، اصلاحات موضعی خاکریز می بایست طی عملیاتی درمحدوده مورد نیاز انجام پذیرد. این اقدامات با جمع آوری خطوط و توقف سیر بر روی خط صورت می پذیرد. در این حالت پس از جمع آوری روسازی خط مورد نظر در محل آسیب دیدگی، خاکریز موجود کاملاً جمع آوری شده وخاکریز جدید طبق اصول و ضوابط آیین نامه ایی اجرا می گردد و آزمایشات کنترل کیفی جهت اطمینان از وضعیت ایجاد شده می بایست صورت گیرد. پس

از اجرای زیرسازی، خطوط روسازی در محل مربوطه اجرا و نصب می گردد و ترافیک از منطقه مورد نظر عبور می نماید .لازم بذکر است که با توجه به گستردگی خرابی و آسیب دیدگی زیرسازی، طول برداشت خط و اصلاح زیرسازی تعیین و تخمین زده می شود که معمولاً برای ایجاد یکپارچگی در اصلاح منطقه معیوب با سایر قسمتها، بطول یک کوپلاژ از خط در طرفین اصلاح می شود. لیست مناطق خرابی با ویژگی آسیب دیدگی خاکریز در بخش قبلی آورده شده است. بطور نمونه با توجه به آزمایشات انجام شده توسط اداره کل راه آهن شمالشرق جنس مصالح بستر در بیشتر نقاط از نوع رس و رس لای دار بوده و به ندرت مصالح درشت دانه در ان مشاهده شد. این امر از گمانه زنی در نقاط مختلف و در اعماق متفاوت محوطه نتیجه شد. آزمایش حدود اتربرگ روی آنها انجام گرفت حد روانی و دامنه خمیری نمونه ها نیز تعیین و مشاهده شد که رس موجود در آن به اندازه ای است که دامنه خمیری (PI) برای برخی از نمونه ها به بیست نیز می رسد. به این دلیل خاک بستر از نوع با قابلیت تورم بالا تشخیص داده شد که در صورت عدم تثبیت با جذب آب احتمال تغییر شکل و متورم شدن روسازی و بروز خرابی در آن زیاد بود. شرکت ویرتگن در حد فاصل ایستگاه جهان آباد به ابریشم به میزان ۲۰ کیلومتر عملیات بازسازی و تثبیت خاک با آهک را با تجهیزات خود که از کشور آلمان وارد نموده به انجام رسانید ذیلا عکسهای پروژه مذکور تقدیم می گردد.

شکل(۳-۳۸) ایستگاه ابریشم

شکل(۳-۳۹) تخریب موشهای صحرایی

شکل(۳-۴۰) برداشت ریل های قدیمی

شکل (۳-۴۱) پاشش آهک

شکل(۳-۴۲) آب پاشی و میکس خاک

شکل(۳-۴۳)استفاده از تجهیزات آلمانی و متراکم کردن

۴۴) شکل(۳-۴۴)تسطیح

شکل(۳-۴۵) تراکم

شکل(۳-۴۶) آزمایش تراکم

شکل(۳-۴۷) نصب تراورزها

شکل(۳-۴۸) نصب ریل

شکل(۳-۴۹)بستن پیچ پابند

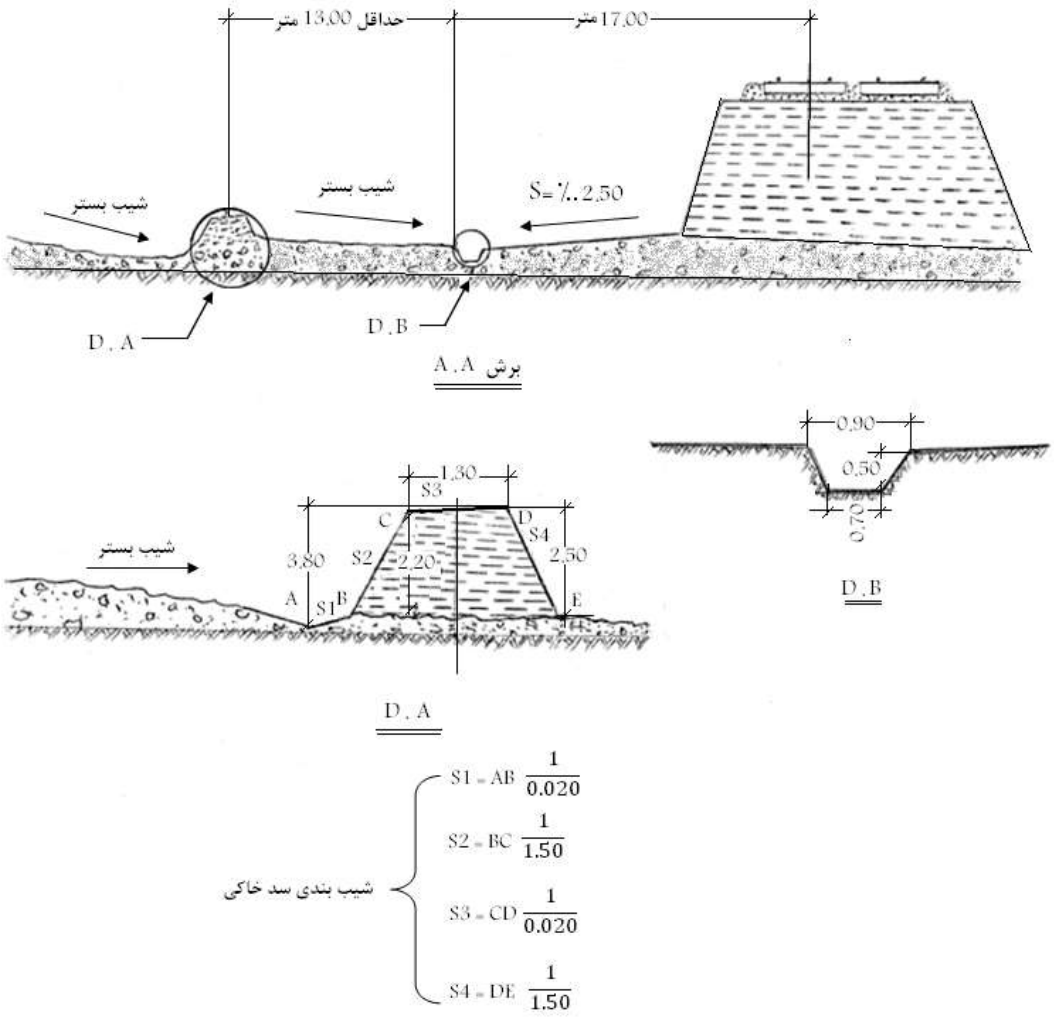
شکل(۳-۵۰)پخش بالاست

شکل(۳-۵۱)کوبیدن بالاست

-رفع خرابیهای ایجاد شده ناشی از تجمع آبهای روان و شسته شدن پای خاکریز

در ترانشه ایستگاه گرداب چشمه آب وجود دارد که خود باعث افتادگی و نشست نامنظم می باشد و عدم پایداری را به دنبال دارد در نقاط دیگر اشاره شده نیز روان آبها سریعا می بایست تعیین تکلیف شوند.

رفع عیب ذکر شده با اجرای کانالهای هدایت آب در کنار خط و نیز ایجاد سدهای خاکی متناسب با موقعیت زیرسازی و هدایت آبهای سطحی به آبروهای موجود در مسیر الزامی می باشد، ضمناً در شرایطی که توپوگرافی زمین های بالادست خط به حالتی باشد که آبهای سطحی به صورت گسترده و پراکنده و بدون مسیل مشخص جریان داشته باشد، در چنین شرایطی شکل هندسی سد خاکی با حفظ مشخصات فنی D.A به صورت عدد 8 نسبت به امتداد خط باید تعبیه گردد ودرطول اضلاع آن نباید شکستگی ایجاد شود.

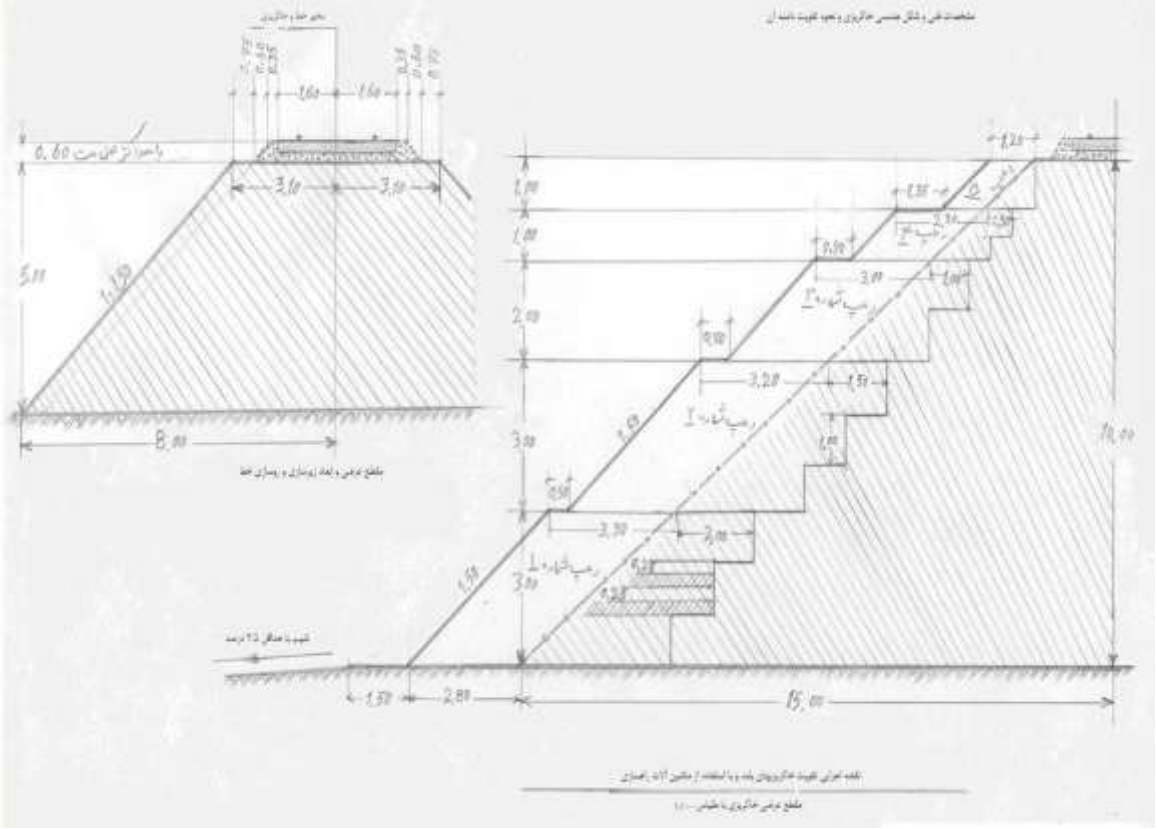


شکل(۳-۵۲) کروکی ابعاد درواسیون قابل احداث در کنار خط

-رفع خرابیهای ایجاد شده ناشی از ترک خوردگی و شکاف و رانش زمین

یکی از مشکلات مشاهده شده در طول مسیر، ترک خوردگی و شکاف ایجاد شده در روی خاکریز و کنار مسیر می باشد. جهت رفع معایب ایجاد شده از ترک خوردگی بر روی خاکریز می بایست اصلاح خاکریز با برداشت آن و اجرای مجددش در محل مربوطه صورت گیرد .ولیکن جهت اصلاح ترک خوردگی در کنار مسیر ناشی از عوامل متفاوت نظیر وجود گنبد نمکی، ترک ناشی از رانش زمین و یا.... ، می بایست عامل اصلی ایجاد خرابی و شکاف و ترک خوردگی در زمین شناسایی و نسبت به

تعیین راهکار اجرایی متناسب با شرایط، اقدام لازم صورت گیرد .در این خصوص کروکی زیر راهکار اجرایی مناسب برای رفع خرابیها و تقویت زیرسازی را نمایش داده است .اجرای کروکی زیر بنا به موقعیت خط و نیاز اصلاحی آن تعریف و طراحی می گردد.



با توجه به شکل بالا خاکریزی آسیب دیده دارای ده متر ارتفاع می باشد. در زمان اصلاح این خاکریز به دو قسمت سه متری و یک قسمت دو متری و در نهایت به دو قسمت یک متری تقسیم گردیده است .ارتفاع برشهای خاکریزی تا ارتفاع هشت متر، بصورت یک متر به یک متر بوده ولی در دو متر باقیمانده ارتفاع برشها نیم متر به نیم متر بوده و عملیات باید بطور پیوسته صورت گیرد.

-رفع خرابیهای ناشی از شیب نامناسب ترانشه و عدم وجود کانالهای خاکی و زوال برداری و زوال ریزی آنها و ایجاد درواسیون در ارتفاعات خاکبرداری داخل ترانشه های ذکر شده در بخشهای قبل که مشکل ریزش دارند و یا شیب مناسب و لازم را ندارند، با توجه به نوع خاک و براساس تیپ خطوط که بصورت دو خطه می باشد الزامی است. همچنین سبک سازی و زوال برداری و زوال ریزی

دوره ایی می بایست در دستور کار قرار گیرد. توجه به ایجاد آبرو و کانال خاکی در داخل ترانشه ها و نیز رعایت نمودن شیب داخل ترانشه و مقاطع عرضی کانالها، برای هدایت آبهای روان داخل آن ضروری می باشد. همچنین بمنظور مهار آبهای بالادست ترانشه ها و برم زنی ها که به داخل ترانشه ها سرازیر می شوند و باعث آبشستگیها و ایجاد شیار در دامنه شیبدار ترانشه ها می شوند، می بایست با توجه به خط الراس های هر حوزه آبگیری یک یا چند رشته درواسیون ایجاد گردد . کروکی نحوه انجام عملیات فوق در ترانشه ها را نمایش می دهد.

احیاء درواسیونهای موجود در طرفین خطوط می بایست بطور کامل انجام گردد .ضمناً این درواسیونها به طور مقطعی در بعضی از نقاط آسیب دیده اند، لذا آبهای سطحی وارد حریم راه آهن و خطوط گشته و خرابیهای متعددی را در پای خاکریز ایجاد نموده که می بایست رفع گردد.

-رفع خرابیهای ناشی از نشست خاکریزدر طرفین پلها

یکی از خرابیهای شایع موجود در زیرسازی که نتایج و آثار آن در خرابیهای روسازی بصورت افتادگی نمود پیدا می کند، وجود نشست در طرفین پلها می باشد .علت ایجاد این خرابی عدم ایجاد تراکم مناسب خاکریز در طرفین پلها پس از احداث آن می باشد که با گذشت زمان، میزان نشست ایجاد شده بیشتر گردیده و در این مناطق افتادگی بسیارزیادی ایجاد می گردد که سبب ایجاد شوکهای شدید به وسائط نقلیه و نهایتاً مسافرین گردیده و ناامنی و ناراحتی زیادی را بهمراه دارد. این خرابی علاوه بر اینکه بصورت افتادگی پدیدار می گردد، سبب ایجاد سفیدک زدگی در بالاست طرفین پل نیز می گردد .این نوع خرابی آسیب های زیادی را به پل و خاکریز وارد می سازد که می بایست رفع و اصلاح گردد. طبق پیشنهاد نشریه ۳۹۴ راهکار رفع عیب مربوطه احداث ناحیه انتقالی درقبل و بعد از پل می باشد، که در ادامه به آن اشاره می شود.

دو سازه انتقال مهم وجود دارد: (۱) بین سازه خط بالاستی و بدون بالاست (۲) بین خط بالاستی و ابنیه فنی

برای هر یک از دو نوع نام برده سازه انتقال، تحلیل و جزییات اجرایی متفاوتی قابل طرح می باشد. اساس تحلیل اختلاف سختی بستر بر روی خط بالاستی و عوارض مجاور آن می باشد به طور کلی در تمامی شرایطی که به هر دلیلی تغییر درسختی خط ایجاد می گردد نیاز به بهره گیری از ناحیه انتقال می باشد .همانطور که پیشتر نیز بیان گردید طراحی تمامی نواحی انتقال می بایست با توجه به شرایط خاص محلی و نوع خاص عارضه ایجاد کننده تغییر سختی (خط بدون بالاست، تونل یا پل) انجام پذیرد .پیشنهادات عمومی در رابطه با هر دو نوع سازه انتقالی به شرح زیر می باشد:

(۱) تغییر سختی، حداقل در طول یک پانل استاندارد (۱۸متر) انجام پذیرد.

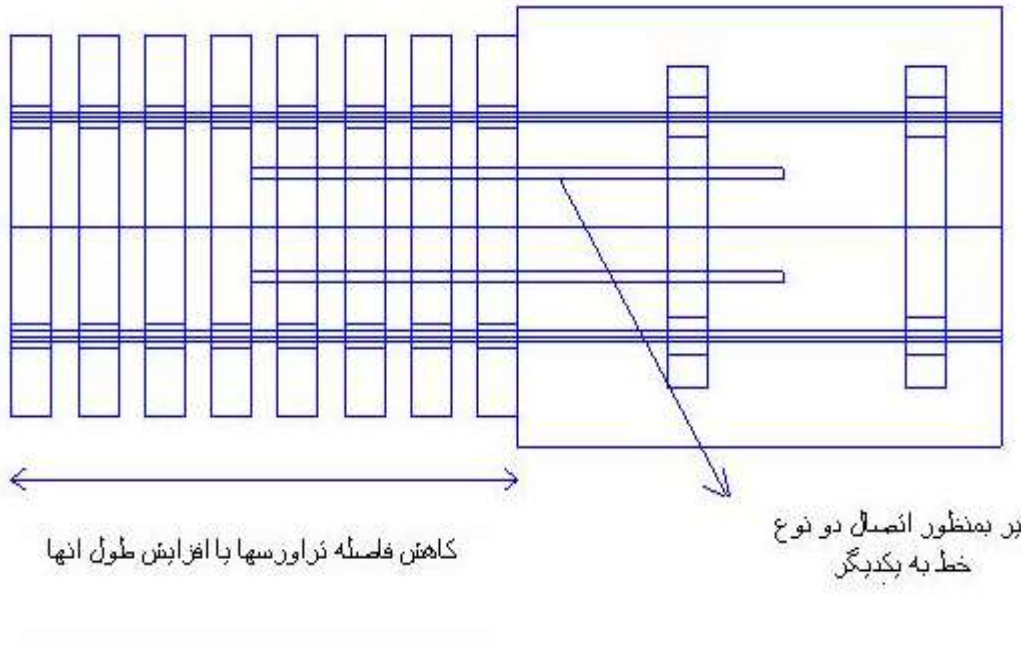
(۲) به عنوان یک راهکار موثر تغییر فاصله بین تراورس ها (کاهش فاصله جهت افزایش سختی و افزایش فاصله بین تراورس ها جهت کاهش سختی) مد نظر قرار گیرد

(۳) در مجاورت پل ها می توان ترتیبی اتخاذ نمود که approach slab با ناحیه انتقال بصورت ترکیبی طراحی گردد. این گزینه می بایست در مجاورت تمامی پل های بزرگ مد نظر قرار گیرد.

(۴) در نواحی انتقال بهتر است تغییر سختی در بستر زیرسازی خط انجام پذیرد تا از نشست های نامتقارن طولانی مدت اجتناب گردد.

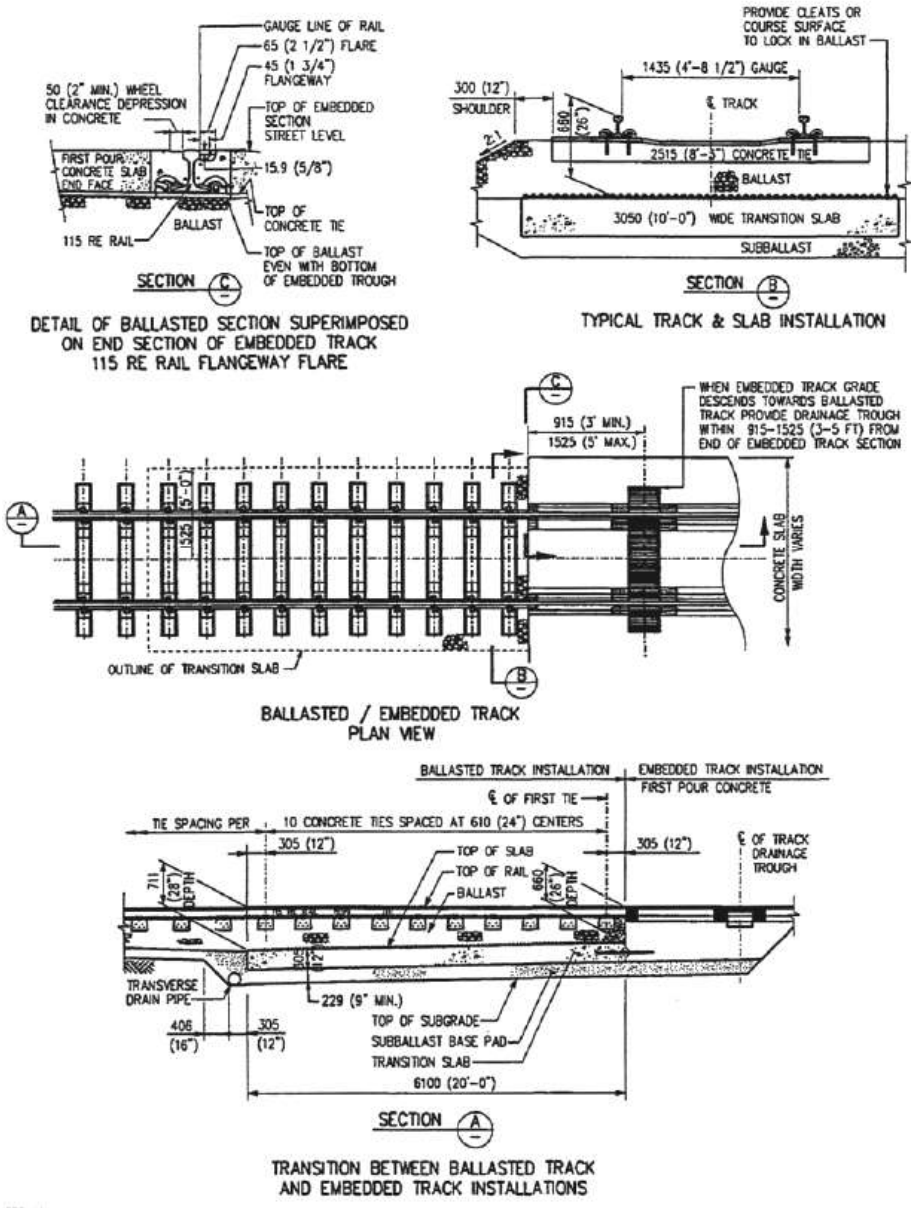
بین سازه خط بالاستی و بدون بالاست

به منظور طراحی ناحیه انتقالی بین دو خط بالاستی و بدون بالاست دو راهکار عملی می توان پیشنهاد نمود .اولین راهکار که همچنان در بعضی نقاط شبکه ریلی کشور اجرا می شوند عبارت است از اینکه اختلاف سختی در دو نوع خط با استفاده از افزایش طول تراورسها یا کاهش فاصله آنها در خط بالاستی در فاصله ۱۸ متری (یک کوپلاژ) از مرکزاتصال دو نوع خط صورت گیرد .همچنین می بایست با استفاده از دو تیر از پروفیل ریل که با استفاده از بستهایی از یک طرف به بتن خط بدون بالاست و از طرف دیگر به تراورسهای خط بالاستی متصل شده باشد .شکل ۵۴.۶نحوه اجرای این راهکار را نشان می دهد.



شکل (۳-۵۳) نحوه اتصال دو نوع خط بالاستی و بدون بالاست به یکدیگر

دومین راهکار عبارت است از اینکه در مجاورت تونل های با کف بتنی و خطوط بدون بالاست می توان به منظور افزایش سختی خط بالاستی بخشی از بتن تکیه گاهی را به زیر خط بالاستی ادامه داد. میزان ادامه طول و ضخامت دال بتنی بسته به شرایط محلی، سرعت و بار محوری دارد .شکل(۳-۵۳) نحوه اجرای این روش را نشان می دهد.



شکل (۳-۵۴) استفاده از دال بتنی برای افزایش سختی خط بالاستی

بین خط بالاستی و ابنیه فنی

رفتار خاکریزهای منتهی شونده به پل ها، به دو دلیل در هنگام بهره برداری اهمیت می یابد .دلیل اول، خوب متراکم نشدن این بخش از خاکریز به دلیل عدم امکان کوبیدن آن با غلتک های سنگین و دلیل دوم، تفاوت ذاتی سختی خاکریز با سختی و تغییر شکل پذیری پل که می تواند دلیل کافی

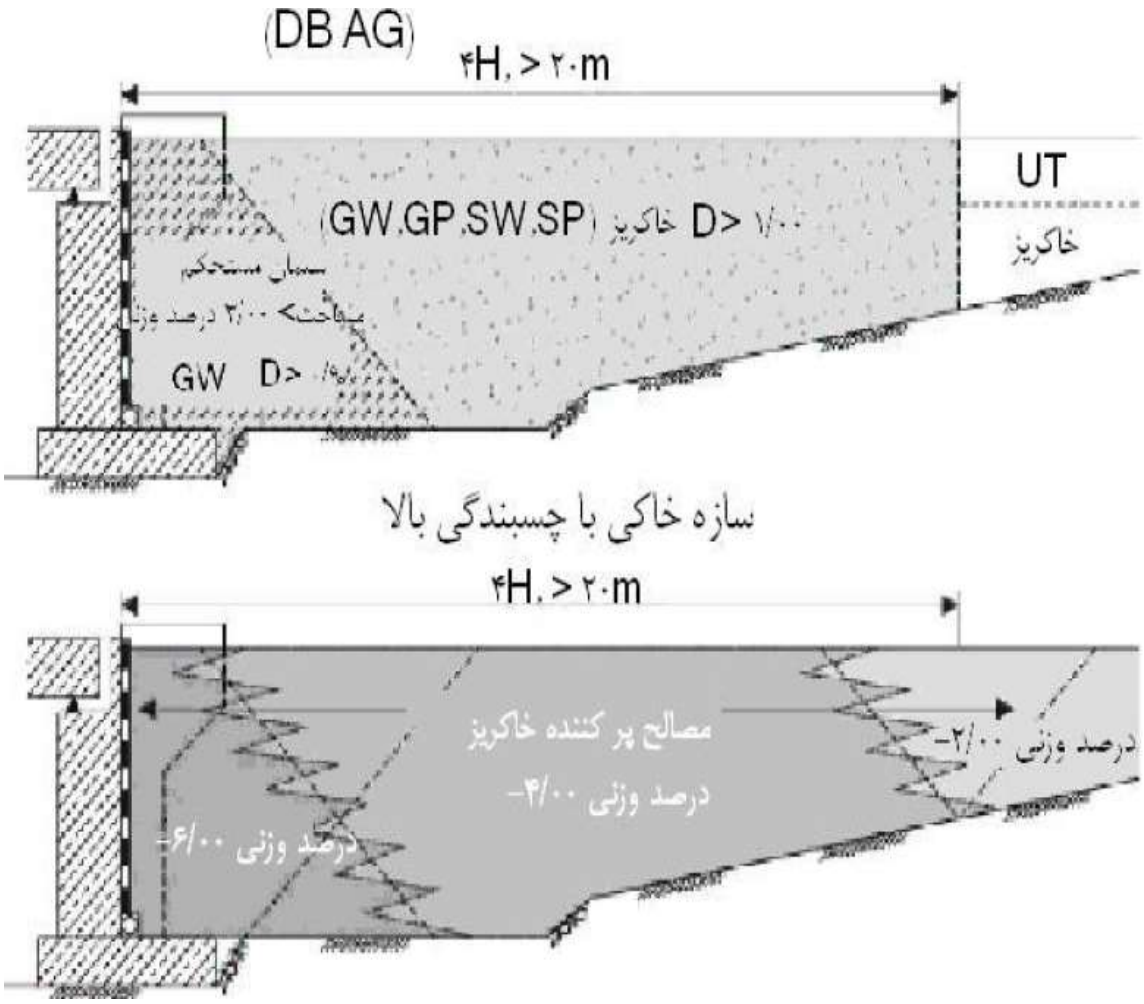
برای ایجاد رفتار دینامیکی متفاوت در زیرسازی خط در فاصله ای کوتاه باشد .برای مرتفع ساختن این مسئله لازم است که میزان نشست پذیری و تغییر سختی از محل خاکریز به پل به صورت تدریجی انجام گردد.

با توجه به محدودیت نشست در پل همواره بین خاکریز و سازه پل نشست نسبی مورد انتظار است. در صورت درشت دانه بودن خاک، این اختلاف نشست در زمان اجرا مرتفع می شود .لیکن در حالتی که زمین محل دارای نشست دراز مدت تحکیمی (خاکهای ریزدانه اشباع شده) باشد، این اختلاف نشست قابل توجه می گردد.

از آنجا که همواره مقدار نشست پل ها به دلیل مسائل سازه ای محدود می گردد، لذا تنها چاره همچنین مطابق آیین نامه طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع السیر (نشریه 394) حذف نشست تدریجی خاکریزها تسریع در روی دادن آن است. در این شرایط دو راه حل موجود استفاده از زهکش های قائم در جهت تسریع روند وقوع نشست یا حذف نشست با روش های بهسازی عمیق، با اجرای ستون های خاک – سیمانی و یا شمع کوبی زیر خاکریز می باشند. در اینگونه موارد باید توجه داشت که باید تغییر سختی خاکریز و یا نشست پذیری به طور تدریجی صورت گیرد. لذا لازم است تا با بکارگیری روش های بهسازی یا هر روشی که سختی خط را تغییر می دهد، این تغییر منحنی به صورت تدریجی در طول مسیر شروع شده (در حد ۲۰ متری یا ۳ تا ۴ برابر ارتفاع کوله) و در نزدیکی کوله پل به حد نهایی خود (در حدود سختی پل) برسد.

به منظور تغییر تدریجی سختی در جسم خاکریز از طرح های مختلفی شامل تغییر و جنس مصالح پر کننده یا بهسازی آن ها با سیمان و یا تسلیح مصالح استفاده می گردد. طول خاکریز ورودی و یا خروجی پل، بسته به سرعت طرح تعیین می گردد. این طول در سرعت طرح ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت برابر حداکثر مقادیر سه برابر ارتفاع کوله یا 15 متر بوده و در سرعت طرح250 کیلومتر بر ساعت برابر بیشترین مقدار ، ۴ برابرارتفاع کوله یا ۲۰ متر است. دو نمونه ازروش های اجرای این بخش از

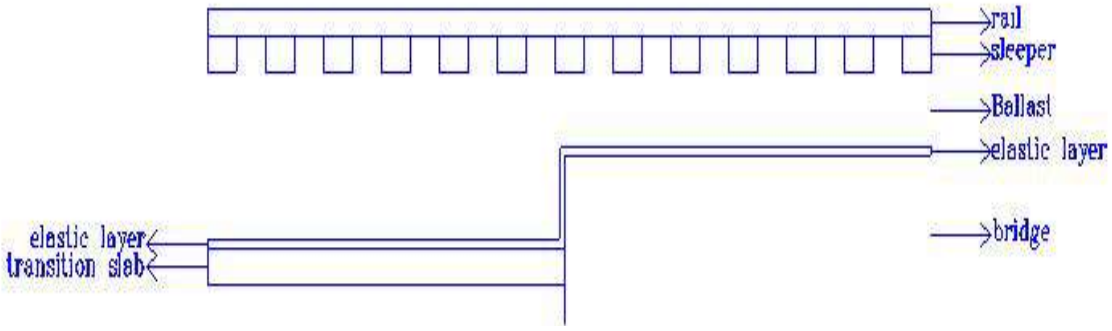
خاکریزها یکی با استفاده از مصالح دانه ای و دیگری با مصالح ریزدانه تثبیت شده با سیمان در شکل ۵۶.۶نشان داده شده اند.



شکل (۳-۵۵) نمونه روش های اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پل ها

این روش بمنظور افزایش سختی خطوط بالاستی در مجاورت پلها اجرای یک دال بتنی قبل از دال عرشه پل می باشد که ضخامت این دال بر اساس بار محوری و سرعت تعیین می گردد .همچنین می بایست از صفحات ارتجاعی بر روی دال عرشه و دال بتنی زیر بالاست و در دیواره دال عرشه در محل اتصال پل و خط نصب گردد .سختی این صفحات ارتجاعی باید بگونه ای باشد که ۱/۳ سختی

سازه پل را تامین نماید. شکل ۵۷.۶زیر نحوه اجرای این روش را نشان می دهد.



شکل (۳-۵۶) کروکی اجرای منطقه انتقال بین خط و پل

۳-۳ جمع بندی و نتیجه گیری

احیاء درواسیونها، ایجاد کانالهای آبرو در کنار خطوط و بویژه در داخل ترانشه ها، اصلاح شیب ترانشه های ریزشی، اصلاح و ساخت مجدد زیرسازی در محلهاییکه زیرسازی دچار شکست و ترک خوردگی گردیده، مطالعه و اصلاح زمینهای اطراف مسیر که دچار رانش و ترک خوردگی شده اند، افزایش عرض خاکریز و فضای داخل ترانشه، زوال برداری و زوال ریزی در ارتفاعات و ترانشه های ریزشی و نیز سبکسازی آنها و حذف نشستهای خاکریز و نهایتاً ایجاد ناحیه انتقالی در % 30 پلها ، قبل و بعد از آنها، جهت دستیابی به سرعتهای بالا و ارتقاء سرعت در محور گرمسار – نقاب ضروری می باشد.

فصل چهارم

نتیجه گیری و توصیه ها

۴-۱ نتیجه گیری

مقاوم سازی زیرخاک زیر خط آهن موجود و همزمان با آن حفظ عملیات قطار کار بسیار مشکلی است. هم چنین رسیدن به دو هدف تثبیت کامل خاک و به حداقل رساندن تاثیر آن بر هندسه خط آهن به طور همزمان نیز بسیار سخت است. در بسیاری از موارد برای اطمینان از ایمنی عملیات قطار باید سرعت آن را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش داد. طبق تجربه، پایین بردن سرعت در بخشی که برای مدت کوتاهی مقاوم سازی در آن صورت می گیرد نسبت به توقف کامل خط راه آهن برای مدتی طولانی قابل قبول تر است. از آنجایی که این عملیات همیشه بسیار نزدیک به خط آهن در حال کار صورت می گیرند، هنگام مقاوم سازی نیاز است که بر تغییر شکل مسیر و محدوده مجاور آن نظارت شود. معمولا برای ارزیابی مقادیر حدی طرح نظارتی وجود دارد. خطای این مقادیر منجر به ترازیابی خط و در موارد معدودی موجب توقف تمام عبور و مرورها می شود و این حالت تا زمان برطرف کردن مشکل ادامه خواهد داشت و پس از آن خط مجددا برای سرعت و بار محوری مجاز راه اندازی می شود.

دراین تحقیق روش های مقاوم سازی شرح داده شده از روش های اصلی اخیر به حساب می آیند که موجب کاهش نشست، مشکلات پایداری و ارتعاشی مربوط به راه آهن می شوند. ممکن است روش های گوناگون بیشتری نسبت به روش های ذکر شده در مقاله وجود داشته باشد. تثبیت خاک تا حد زیادی به دستگاه ها و ابزارهای این کار بستگی دارد. در بسیاری از موارد پیمانکاران بهسازی روش هایی را ابداع می کنند که مناسب با شرایط ژئوتکنیکی آن ناحیه (کشور) و هم چنین ابزارها و ماشین آلات خودشان سازگاری داشته باشند. پروسه انتخاب بهترین روش همیشه یافتن بهترین راه حل با در نظر گرفتن مسائل فنی(نوع خاک، ارتفاع خاکریز و ضخامت لایه‌های نرم یا سست و..)،اقتصادی و موارد مرتبط با راه آهن بوده است. مشکل ایجاد شده باید از طریق موثرترین روش از نظر فنی و اقتصادی، در مدتی بسیار کم و حداقل تاثیر بر عملیات خط آهن حل شود.

نقص‌های هندسی معمولاً شاخص اصلی نیاز به نگهداری و تغییرات خط در بستر خط است. توجه زیادی به اندازه‌گیری و ثبت هندسه با جزئیات زیاد شده است. با این حال علت ریشه‌ای بسیاری از مسائل هندسی بعدی در بستر نهفته است. درک میزان عملکرد مناسب بستر باید گام نخست در بهینه‌سازی زمان‌بندی و صرف زمان برای نگهداری باشد.

با افزایش وزن واگن، قطارهای طولانی‌تر و افزایش کلی تقاضا برای حمل‌ونقل راه‌آهن نیاز برای کیفیت بالاتر خط بوجود می‌آید. با تشخیص نقش مهمی که بستر در عملکرد بسترخط بازی می‌کند روشن است که روش‌های کار آزمون و شاخص‌های عملکردی باید برای این لایه حیاتی بیشتر پالوده شوند. ثابت شده است که آزمون‌هایی که در اینجا تشریح شدند در مهندسی ژئوتکنیک دوران مدرن سودمند است. با این حال، آنها ممکن است نیازمند اصلاحاتی برای تحقق نیازهای صنعت خطوط راه‌آهن باشند.(یعنی زمان آزمایش سریعتر بین قطارها یا جای‌گذاری تجهیزات آزمایش در وسائل نقلیه ریلی برای دسترس‌پذیری بهتر) آزمون برجا به علت گام‌های کمتر واسط و نبود تأثیرات مقیاس‌بندی نتایج بسیار مناسب‌تر و سریعتری تولید می‌کند. آزمون آزمایشگاهی، به ویژه در حوزه بارگذاری سیکلی، هنوز برای مهندسی بستر خطوط مناسب است. آزمون سه‌محوری سلول مجزا گزینه‌ای برای درک بهتر تعامل بستر-بالاست و خصوصیات ژئوتکنیکی بالاست ناخالص است. آزمون برش مستقیم بین مواد بستر خط نیز ممکن است پیامدهایی در رفتار جانبی خط داشته باشد.

ساخت کریدورهای بهتر ریلی نیازمند به‌روز کردن خط و بستر خط موجود برای بارهای سنگین‌تر و پرسرعت‌تر است. به این ترتیب آزمون برجایی که می‌تواند بر روی ریل حمل شود و بصورت مستقیم انجام شود ترجیح دارد. آزمون پیوسته‌ای در حال حرکت روی ریل انجام می‌شود ایده‌آل است. در حالیکه آزمون محلی‌شده داده‌های تفصیلی درباره خاک را از مکانی خاص ممکن می‌سازد، آزمون پیوسته دانش محدود، اما وسیعتر و با مقیاس مفیدتری، بدست می‌دهد. به نظر می‌رسد صنایع راه‌آهن اروپا و آسیا به سمت دستگاه‌های آزمایش ریلی می‌روند. دستگاه‌هایی مانند وسائل نقلیه اندازه‌گیری

سختی سیکلی و پارتونس‌متر اصلاح‌شده آخرین فناوری‌های روز هستند. آنها اندازه‌گیری پیوسته سختی سیکلی خط را ممکن می‌سازند. در حالیکه این آزمون‌ها به صورت مستقیم روی بستر انجام نمی‌شوند. نتایج‌شان نشانگر سختی بستر و تأثیرات کلی بر عملکرد بستر خط است. نسخه‌های آتی این روش‌های کار آزمون احتمالاً بدون اینکه حتی مجبور شوند بالاست را کنار بزنند یا به بستر خط نفوذ کنند، عملکرد بستر را بهتر پیش‌بینی می‌کنند.

در این تحقیق، روش های مختلف بهسازی زمین استفاده شده و مورد بحث قرار گرفت.

جایگزینی ارتعاشی با ستون های سنگی قابل استفاده در انواع مختلف خاک ها از رس های نرم تا ماسه های سست بوده و به کمک آن المان های تسلیح کننده قوی تر با قابلیت فشردگی کمتر و مقاومت برشی بالا ایجاد می شوند. علاوه بر بهبود مشخصات مقاومت و تغییر شکل، ستون های سنگی خاک برجا را متراکم می کنند، سبب زهکشی سریع اضافه فشار آب منفذی تولید شده می شوند، تحکیم را سرعت می بخشند و نشست های پس از ساخت را به حداقل می رسانند. نتایج حاصل از آزمایشات متعدد بارگذاری و صفحات نشست نشان داد که ملزومات عملکرد دقیق پروژه خط آهن جدید برآورده گردید.

بهسازی خاک به روش اختلاط عمیق خشک خاک قابل استفاده در انواع مختلف خاک ها از رس های نرم تا ماسه های سست بوده و به کمک آن المان های تسلیح کننده قوی تر با قابلیت فشردگی کمتر و مقاومت برشی بالا ایجاد می شوند. نتایج حاصل از آزمایشات متعدد بارگذاری، صفحات نشست و شیب سنج ها نشان داد که ملزومات عملکرد دقیق پروژه خط آهن جدید برآورده گردید.

خاکریزهای اجرا شده با شمع به منظور استفاده در مسیر پل های انتقالی طراحی گردید و باعث افزایش سرعت ساخت خاکریز ها بدون هرگونه کندی در اجرا شد. همچنین خاکریزهای اجرا شده با شمع اثر نشست و مشکلات ناپایداری را برطرف نمود.

روش برداشت و جایگزینی به شکل گسترده ای در این پروژه در نقاطی که مصالح چسبنده نرم وجود

داشتند انجام پذیرفت. برداشت و جایگزینی روشی اقتصادی برای بهسازی خاک های چسبنده نرم کم عمق در این پروژه بود.

منابع و مراجع

[۱] نشریه ۳۹۴(دستور العمل طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع السیر).معاونت13, ۸۶,ح ,امین فر . تحقیقات و فناوری وزارت راه وترابری, آموزش

[۲] زیرسازی راه آهن قطار سریع السیر ,1391, م, مقدس نصیری ,م,فرجی, ر, نمازی,جلادات,ع,.عظیمی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

[۳]معرفی روسازی نوین "دال خط کوهاندار" برای حل مشکل راه آهن مناطق کویری جبارعلی ذاکری ، مرتضی اسماعیلی ، مسعود فتحعلی از دانشگاه علم و صنعت ایران

[3]. ABDULLAH A., JOHN A. N. and ARULRAJAH A. Augeo Pile System used as piled embankment foundation in soft soil environment. Proceedings of the 2nd Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology, Putrajaya, University Putra Malaysia, Malaysia, 2003, 703–714.

[4]. Adam, D., Vogel, A., Zimmermann, A., 2007. Ground Improvement, Volume 11, ISSN 1365-781X , Ground Improvement Techniques beneath Existing Rail Tracks.

[5]. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

[6]. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2004. Standard
Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. 24th Edition, 2004.

[7]. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2008. AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG).

[8]. American Association of Railroads (AAR). 2011. TTCI Facilities webpage.AREMA. 2010. “Manual for Railway Engineering.” Publication of the American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association.

[9]. ARULRAJAH A. and AFFENDI A. Vibro replacement design of high-speed railway embankments. Proceedings of the 2nd World Engineering Congress, Kuching, Malaysia, University Putra, Malaysia, 2002, 157–164.

[10]. ARULRAJAH A., ABDULLAH A. and HAR L. Y. K. Geosynthetic applications in a high-speed railway project. Proceedings of the 13th European Conference on Soil

Mechanics and Geotechnical Engineering, Czech Geotechnical Society Prague, Czech Republic, 2003, 551–554.

[11]. ASTM Annual Book of Standards. Section 4, Construction. Vol 04.08, Soil and Rock Including:

ASTM D2487. Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes.

ASTM D423. Standard Test Method for Liquid Limit of Soils.

ASTM D424. Standard Test Method for Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.

ASTM D2573. Stadard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil.

ASTM D3441. Standard Test Method for Deep Quasi-static, Cone, and Friction-cone Penetration Tests of Soil.

ASTM D1586. Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.

ASTM D2216. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture)

Content of Soil and Rock by Mass.

ASTM D698. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)).

ASTM D2166. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive

Soil.

ASTM D1196. Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.

ASTM D3080. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

ASTM D1883. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-

Compacted Soils.

ASTM D4015. Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by Resonant-Column Method.

ASTM D6528. Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear

Testing of Cohesive Soils.
ASTM D6635. Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer.
ASTM D3441. Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil
ASTM D5778. Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils
ASTM D4719. Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils
ASTM D4694. Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device
ASTM D3999. Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus.
ASTM D4767. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression
Test for Cohesive Soils
ASTM D2850. Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
[12]. Ayers, M.E. and Thompson, M.R. 1989. Evaluation Techniques for Determining the
Strength Characteorifs Bticasll ast and Subgrade Materials. Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign for Association of American Railroads Affiliated Laboratory Program, July.
[13]. Berggren, E. 2009. Railway Track Stiffness – Dynamic Measurements and Evaluation for Efficient Maintenace. PhD Thesis, Royal Institute of Technology (KTH).
[14]. BO M. W and CHOA V. Reclamation and Ground Improvement. Thomson Learning, Singapore, 2004.
[15]. Brendenberg, H., Holm, G., Broms, B., Balkema, 1999. Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization. ISBN 90 5809 108 2
[16].Brill, G.T. and Hussin, J.D. (1992), "The Use of Compaction Grouting to Remediate a RailroadEmbankment in a Karst Environment", Proceedings of the Twenty-Third Ohio River Valley Soils Seminar, Louisville, Kentucky, October, 1992.
[17]. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Code of Practice for
Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills. British Standards Institution, London, 1995, BS 8006.

[18].BROMS, B.B. (1999) “Design of lime, lime/cement and cement columns”, Proceedings of the International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilisation, Stockholm, Sweden, pp.125-153.

[19]. Brough, M., Stirling, A., Ghataora, G., Madelin, K., 2000. Improving Railway Subgrade Stiffness-Assessment of Traditional In-situ Ground Improvement. University of Birmingham, Railway Engineering, (London, 5-6 July 2000)

[20].Design Standards for Railway Structures and Commentary (Earth Structures). 2007.

Railway Technical Research Institute. Japan.

[21].HEWLETT W. J. and RANDOLPH M. F. Analysis of piled embankments. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Ground Engineering, 1988, 21, No. 3, 12–18.

[22]. Holm, G., Smith, M., 2006. Strengthening Methods for Subsoil in Transition Zones at Existing Railway Bridges. Report D 6.2.1 Sustainable Bridges

[23].HOLM G. State of the practice in dry deep mixing methods.Grouting and Ground Treatment, Geotechnical Special Publication No. 120, ASCE, New Orleans, USA, 2003, 1,145–163.

[24].Holm, G. (1999) “Applications of Dry Mix Methods for deep soil stabilisation”, Proce1edings of theInternational Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilisation, Stockholm, Sweden, pp. 3–13.

[25].Jasanský, P., 2008. Improvement Methods and Experience. Report D2.2.1 INNOTRACK State of the Art Report on Soil.

[26].Kakihara, Y., Hiraide, A., Baba, K., 1996. Behavior of nearby Soil during Improvement Works by Deep Mixing.

[27].Konstantelias, S., Ghataora, G., Brough, M., Stirling, A., Madelin, K., 2002. University of Birmingham, Railway Engineering, (London, 3-4 July 2002), Soil/Grout Mixing Auger Trial at Leominster Herefordshire – Case Study

[28].Katzenbach, R., Ittershagen, M., 2005. Proceedings International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances, Field Tests for Soil Improvement under Railway Lines on Soft Soil

[29].LCPC and CETE. 2007. Adapted “Portancemetre” for Track Structure Stiffness Measurement on Existing Tracks. Deliverable D2.1.2 prepared on Project No.

TIP5-CT-2006-031415 – Innotrack.

[30].LCPC and CETE. 2007. (2) Methods of Track Stiffness Measurement. Deliverable D2.1.11 prepared on Project No. TIP5-CT-2006-031415 – Innotrack.

[31]. LCPC and CETE. 2007.(2) methodology of geophysical investigation of track defects.Deliverable D2.1.11 prepared on Project No. TIP5-CT-2006-031415– Innotrack.

[32].Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M. 1997 Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic and Professional, an imprint of Chapman & Hall. London. 1997

[33].Marchetti, S. 1980. In Situ Tests by Flat Dilatometer. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, pp. 299-321.

[34].Moseley, M.P. and Priebe, H.J. (1993) "Vibro techniques", Ground Improvement, Edited by M.P. Moseley, Blackie Academic & Profession, pp. 1 – 19.

[35].Nazzal, Munir D. and Mohammad, Louay N. 2010. Estimation of Resilient Modulus of Subgrade Soils Using Falling Weight Deflectometer. Transportation Research

Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2186, pp. 1-10.

[36].Neidhart, Thomas, and Shultz, Gerhard. 2011. Dynamic Stability of Railway Tracks –DyStaFiT, and Inoovation in Testing. Proceedings from Georail. 2011.

[37].Design of a System to Measure Track Modulus from a Moving Railcar.Proceedings from Railway Engineering. London. 2004

[38].Pengelly, A.D. (2000) "Ground Modification Techniques for Railroad Subgrade Improvement".Hayward Baker Report, Maryland, USA.

[39]. PRIEBE J. H. The design of vibro replacement. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Ground Engineering,1995, Technical paper GT 037-13 E 31–37.

[40]. RAJU V. R. Ground treatment using dry deep soil mixing for a railway embankment in Malaysia. Proceedings of the 2nd Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology, Putrajaya, University Putra Malaysia,Malaysia, 2003, 589–600.

[41].Rose, Jerry G. and Konduri, Karthik Charan. 2006. KENTRACK — A Railway Trackbed Structural Design Program. Proceedings of the American Railway Engineering and Maintenance of Way Annual Conference. Louisville, Kentucky.September 2008

[42].Rose, Jerry G. and Lees, Henry M. 2008. Long-Term Assessment of Asphalt Trackbed Component Materials' Properties and Performance. Proceedings of the American Railway Engineering and Maintenance of Way Annual Conference. Salt Lake City, Utah. September 2008

[43].Rose, Jerry G., Teixeira, Paulo F. and Ridgeway, Nathan E. 2010. Utilization of Asphalt/Bituminous Layers and Coatings in Railway Trackbeds – A Compendium of International Applications. Proceedings from the Joint Rail Conference. Urbana, Illinois, 2010.

[44].Selig, Ernest T. and Lutenegger, A.J. 1991. Assessing Railroad Track Subgrade Performance Using In-situ Tests. Geotechnical Report No. AAR91-369F. University of Massachusetts. Amherst, Massachusetts.

[45].Selig, Ernest T. and Waters, John. (1994). "Track Geotechnology and Substructure Management." Thomas Telford Publications.

[46].Shultz, G., Dürrwang, R. and and Neidhart, T. 1999. Earth Structures for High-Performance Railways – New Concept. ARCADIS Special Issue.

[47].Smith, Ian. 2006. Elements of Soil Mechanics. Blackwell Publishing. 8th Edition. Stratigraphics. CPT Geotechnical and Geo-Environmental Exploration. High Speed Rail Projects. CPT truck figure obtained from http://stratigraphics.com/projects/p2.html.

[48].Sully, J.P. & Campanella, R.G. 1989. Correlation of Maximum Shear Modulus with DMT Test Results in Sand. Proc. XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 339-343.

[49].SWEDISH GEOTECHNICAL SOCIETY. Lime and Lime Cement Columns. Swedish Geotechnical Society, Linkoping, 1997,SGF Report 4:95E.

Abstract*

This research project is geared toward exploring relations between the pile behavior and CPT results. Given that multiple real tests may not be performed on piles due to the relevant high costs, many researchers have tried to develop numerical models of piles and CPT in order to simulate the pile behavior. To this aim, some simplifying assumptions have been made in addition to development of a constitutive model.

The problem of cone penetration has been analyzed by models based on the finite element method. The first computations were made using small-strain formulations. However, the results were not satisfactory owing to excessive element distortions encountered during pile installation and CPT. Later, large-strain formulations were introduced, which made use of the Eulerean, ALE and CEL mesh descriptions.

The basic definitions and procedures used for numerical modeling of pile installation and CPT are covered in this study, while merits and demerits of various mesh definitions in the non-linear finite element method are initially discussed in detail. Then, the cone penetration, initial stress and material parameters are explained in order to get a better insight into the numerical modeling of cone penetration.

Finally, various researches on the topic have been reviewed while the assumptions made in each case have been explained.

Some recommendations are also presented with respect to the selection of the best simplifying assumptions for to the soil characteristics, element types, mesh description and material parameters in order to obtain the best results which are in agreement with the results of model tests on the piles.

Ky word : geared, CPT, CEL, Eulerean, model

Shahrood University of Technology

Kharazmi Campus
MSc Thesis in civil Engineering Group

Comparison and selection of an appropriate infrastructure upgrading existing lines to enhance the speed of Railways North East

By: Reza Mohebbi

Supervisor:

Dr. Seyed Mahdi Hosseini

September 2016