جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن

(تجدید نظر اول)

ضابطه شماره ۳۰۱

آخرین ویرایش: ۳۱-۰۵-۱۴۰۱

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

۱۴۰۱

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه های اجرایی،مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره :	۱۴۰۱/۳۷۲۷۶۱
	تاریخ :	۱۴۰۱/۰۷/۲۳

موضوع: مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن (بازنگری اول)

در چارچوب نظام فنی و اجرایی یکپارچه، موضوع ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و آیین‌نامه اجرایی آن و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه، به پیوست ضابطه شماره **۳۰۱** امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان با عنوان «**مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن (بازنگری اول)**» به صورت لازم الاجرا ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ به اجرا درآید.

این بخشنامه از تاریخ اجرایی شدن جایگزین بخشنامه شماره ۱۰۱/۵۹۴۶۲ مورخ ۱۳۸۴/۰۷/۰۶ می‌شود.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران، دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

سید مسعود میرکاظمی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

بسمه‌تعالی

پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقای کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور، مورد تاکید جدی قرار گرفته است. براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان برنامه و بودجه کشور، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرح‌های عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سال‌های اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود.

سازمان برنامه و بودجه کشور نیز در راستای وظایف و مسوولیت‌های قانونی و به منظور هماهنگی و همگامی با فناوری‌های جدید، اقدام به تدوین این نشریه با عنوان «مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن» نموده است. با توجه به گذشت بیش از ۱۵ سال از نسخه قبلی این ضابطه و از سوی دیگر نیاز و لزوم ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طرح و اجرای پروژه‌های احداث راه‌آهن در کشور و همچنین رعایت اصول، روش‌ها و فنون اجرایی متناسب با امکانات موجود و سازگار با شرایط و مقتضیات اقلیمی کشور، در سال ۱۳۹۸ تجدید نظر اول این نشریه، در دستور کار قرار گرفت.

به طور کلی تغییرات در این نسخه، شامل اصلاح برخی ابهام‌های موجود در نسخه قبلی و تکمیل ضوابط موجود در بخش‌های مختلف نظیر ریل، ادوات و دستگاه خطوط می‌باشد. ضوابط مربوط به بار محوری سنگین، مشخصات فنی روسازی بدون بالاست و الزامات صدا و ارتعاش از دیگر موارد اضافه شده به مشخصات فنی این نشریه است. با اضافه شدن موارد ذکر شده ضوابط مربوط به روسازی خطوط قطار شهری و حومه نیز پوشش داده شده است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال وابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند.کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری در اختیار عموم، قرار خواهد گرفت.

حمید امانی همدانی
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
تابستان ۱۴۰۱

تهیه و کنترل «ضوابط و معیارهای فنی روسازی راه آهن» [ضابطه شماره ۳۰۱]

اعضای گروه تهیه‌کننده:

خسرو آذری	میرمحمود ظفری
احمد اسفندیاری	طاهر فتح‌اللهی
بهزاد اکبری اردیموسی	مسعود فتحعلی
علیرضا بابایی	منصور فخری
فریبرز بیرامی	فرشید فروزبخش
حمیدرضا بهرامیان	اسماعیل قهرمانی‌گرگری
بهناز پورسید	مهران قربانی
علی تبـــار	کیاندخت کدخدازاده
علی حسین‌پور	محمدسعید منجم
علی‌اصغر خجسته	سیدجواد میرمحمدصادقی
جبارعلی ذاکری	احمد منصوریان
رضا قلی رستمی	فرهاد مهریاری لیلمی
قاسم طهماسبی	مجتبی ناصریان

اعضای اصلی گروه بازنگری:

مرتضی اسماعیلی	استاد دانشگاه علم و صنعت ایران	دکتری مهندسی عمران
فرهاد کوبن	کارشناس روسازی راه‌آهن	کارشناسی ارشد راه آهن- خط و سازه‌های ریلی
مریم سرائی	کارشناس روسازی راه‌آهن	کارشناسی ارشد راه آهن- خط و سازه‌های ریلی

اعضای همکار در گروه بازنگری:

محمد سلاجقه	کارشناسی ارشد راه آهن- خط و سازه‌های ریلی
جاوید شیرکوند	کارشناسی راه آهن
فرهاد احمدنیا	کارشناسی ارشد عمران- خاک و پی
مهدی صیدگر	مدیر کل ساخت روسازی راه آهن - شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور
مهدی معظمی گودرزی	کارشناسی ارشد راه آهن- خط و سازه‌های ریلی
مقصود بهلولی	کارشناسی مهندسی عمران
سید محمد فرنام	دکتری مهندسی عمران- سازه

مسعود بیگ‌زاده	کارشناسی مهندسی مکانیک
محمد منجمی	سرپرست مجری- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور
شهریار هماوندی	کارشناس ارشد ایمنی در راه آهن - شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
طاهر فتح الهی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
مریم سرائی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
فاطمه بابالو	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول - مبانی و تعاریف	**۱**
۱-۱- مبانی	۳
۱-۲- تعاریف	۳
فصل دوم - خط آهن	**۷**
۲-۱- کلیات	۹
۲-۲- انواع خطوط ریلی	۹
۲-۲-۱- خطوط با بالاست	۹
۲-۲-۲- خطوط بدون بالاست (دال خط)	۹
۲-۳- طبقه‌بندی خطوط	۱۰
۲-۴- مشخصات هندسی خط	۱۱
۲-۴-۱- عرض خط	۱۱
۲-۴-۲- شیب عرضی ریل	۱۱
۲-۴-۳- تراز عرضی خط	۱۲
۲-۴-۴- اختلاف شیب طولی	۱۲
۲-۴-۵- تراز طولی	۱۳
۲-۴-۶- انحراف افقی خطوط راه آهن	۱۳
۲-۴-۷- رواداری‌های هندسی ساخت خطوط بالاستی قطار شهری و حومه	۱۴
۲-۴-۸- انحراف ابعادی مقطع بالاست	۱۵
فصل سوم - ریل	**۱۷**
۳-۱- کلیات	۱۹
۳-۱-۱- اجزای ریل	۱۹
۳-۱-۲- وزن ریل	۱۹
۳-۱-۳- عمر مفید ریل	۱۹
۳-۱-۴- تنش‌های داخلی ریل	۲۰
۳-۱-۵- مقاومت کششی ریل (حد گسیختگی)	۲۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۱-۶- خستگی ریل	۲۱
۳-۱-۷- علائم شناسایی ریل	۲۱
۳-۲- مشخصات هندسی و خواص مکانیکی و شیمیایی ریل‌ها	۲۲
۳-۲-۱- مشخصات هندسی ریل‌ها	۲۲
۳-۲-۲- مشخصات هندسی ریل‌های ویژه	۲۳
۳-۲-۳- مشخصات مکانیکی ریل‌ها	۳۲
۳-۲-۴- ترکیبات شیمیایی فولاد ریل	۳۲
۳-۳- کنترل مشخصات هندسی، وزن، شیمیایی و مکانیکی ریل	۳۴
۳-۳-۱- کنترل مشخصات هندسی ریل	۳۴
۳-۳-۲- کنترل وزن ریل	۳۷
۳-۳-۳- کنترل ترکیبات شیمیایی	۳۸
۳-۳-۴- کنترل مشخصات مکانیکی ریل	۳۸
۳-۴- انتخاب ریل	۴۰
۳-۴-۱- عوامل موثر بر انتخاب ریل	۴۰
۳-۴-۲- ضوابط انتخاب مقطع ریل	۴۰
۳-۴-۳- ضوابط انتخاب نوع فولاد ریل	۴۱
۳-۵- درز ریل	۴۱
۳-۵-۱- انواع درز ریل	۴۲
۳-۵-۲- وضع قرارگرفتن درزها نسبت به یکدیگر	۴۳
۳-۵-۳- وصله‌های ریل	۴۴
۳-۵-۴- جوش درز ریل	۴۴
۳-۶- خرابی‌های ریل	۴۹
۳-۶-۱- سایش ریل	۴۹
۳-۶-۲- ناهمواری‌های موجی شکل ریل (کاریوگیشن)	۵۲
۳-۶-۳- ترک‌های طولی در جان و ناحیه اتصال کلاهک به جان	۵۲
۳-۶-۴- ترک‌های ستاره‌ای در سوراخ‌های ریل	۵۲
۳-۶-۵- شکست عرضی ریل	۵۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۶-۶- لکه تخم مرغی	۵۳
۳-۶-۷- پوسته شدن سطح چرخش ریل	۵۳
۳-۶-۸- پوسته شدن لبه داخلی کلاهک ریل	۵۳
۳-۶-۹- سوختگی موضعی سطح کلاهک	۵۳
۳-۶-۱۰- سوختگی پیوسته روی کلاهک ریل	۵۴
۳-۶-۱۱- ترک‌های قائم طولی در جان ریل	۵۴
۳-۶-۱۲- ترک قائم طولی کف ریل	۵۴
۳-۶-۱۳- ترک‌های عرضی ریل	۵۴
۳-۶-۱۴- ترک افقی جان	۵۴
۳-۶-۱۵- ترک‌های عرضی کلاهک ریل	۵۴
۳-۶-۱۶- ترک عرضی در محل اتصالات الکتریکی	۵۵
۳-۷- بارگیری، حمل و تخلیه ریل	۵۵
فصل چهارم - تراورس	**۶۹**
۴-۱- کلیات	۷۱
۴-۲- تراورس‌های چوبی	۷۱
۴-۳- تراورس‌های فلزی	۷۳
۴-۴- تراورس‌های بتنی	۷۴
۴-۵- تراورس‌های ترکیبی	۷۸
۴-۶- نحوه انتخاب نوع تراورس	۸۰
۴-۷- تعیین فاصله بین تراورس‌ها	۸۱
۴-۸- ضوابط حمل، نصب و نگهداری تراورس‌ها	۸۲
۴-۹- ضوابط کنترل کیفی انواع تراورس	۸۳
۴-۹-۱- ضوابط کنترل کیفی تراورس چوبی	۸۳
۴-۹-۲- ضوابط کنترل کیفی تراورس فلزی	۸۴
۴-۹-۳- ضوابط کنترل کیفی تراورس بتنی	۸۶
۴-۹-۴- ضوابط کنترل کیفی تراورس‌های ترکیبی	۱۰۲
فصل پنجم - پابند	**۱۰۳**

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۱- کلیات	۱۰۵
۵-۲- انواع پابند	۱۰۵
۵-۲-۱- پابندهای وسلو	۱۰۶
۵-۲-۲- پابندهای پاندرول	۱۰۸
۵-۲-۳- پابند کا (K)	۱۰۸
۵-۲-۴- پابند KS	۱۰۹
۵-۳- ضوابط کاربرد پابندها	۱۱۴
۵-۴- خصوصیات مکانیکی و ترکیبات شیمیایی فنر پابندها	۱۱۴
۵-۴-۱- فنر پابند وسلو	۱۱۴
۵-۴-۲- فنر پابند پاندرول نوع e-Clip	۱۱۵
۵-۴-۳- گیره پابند کا (K)	۱۱۵
۵-۵- ضوابط کنترل کیفی فنر پابندها	۱۱۶
۵-۵-۱- فنر پابند وسلو W14	۱۱۶
۵-۵-۲- فنر پابند پاندرول e-Clip	۱۱۶
۵-۵-۳- گیره پابند کا (K)	۱۱۷
۵-۵-۴- آزمایشات کنترل کیفیت پابند وسلو W14 و پاندرولe-Clip	۱۱۸
۵-۶- رول پلاگ پلاستیکی	۱۲۳
۵-۶-۱- رول پلاگ پابند وسلو W14 و W30HH	۱۲۳
۵-۶-۲- رول پلاگ پلاستیکی پابندKS-DTVI-1	۱۲۳
۵-۶-۳- مشخصات فنی رول پلاگ پلاستیکی	۱۲۶
۵-۷- پیچ تراورس پابند	۱۲۷
۵-۷-۱- ماده اولیه پیچ‌های تراورس	۱۲۸
۵-۷-۲- مشخصات شیمیایی و مکانیکی پیچ‌های تراورس	۱۲۸
۵-۸- گایدپلیت	۱۳۲
۵-۸-۱- ماده اولیه گایدپلیت‌های پلاستیکی	۱۳۳
۵-۸-۲- مشخصات مکانیکی و فیزیکی گایدپلیت‌های پلاستیکی	۱۳۳
۵-۸-۳- کنترل ابعادی	۱۳۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۹- اینسولیت	۱۳۵
۵-۹-۱- ماده اولیه	۱۳۵
۵-۹-۲- کنترل ابعادی	۱۳۸
۵-۱۰- پد زیر ریل	۱۳۸
۵-۱۰-۱- مشخصات فنی مربوط به پد لاستیکی	۱۳۸
۵-۱۰-۲- مشخصات فنی مربوط به پدهای پلاستیکی	۱۳۹
۵-۱۱- صفحه فلزی زیر ریل	۱۴۱
۵-۱۱-۱- مشخصات فنی صفحه فلزی زیر ریل در خطوط راه آهن	۱۴۱
۵-۱۱-۲- مشخصات فنی صفحه فلزی زیر ریل در خطوط قطار شهری و حومه	۱۴۲
۵-۱۲- واشر فنری دوبل	۱۴۳
۵-۱۳- پیچ T و مهره و واشر	۱۴۴
۵-۱۴- شولدر تراورس بتنی	۱۴۵
فصل ششم - بالاست و زیربالاست	**۱۴۷**
۶-۱- دامنه کاربرد	۱۴۹
۶-۲- وظایف لایه بالاست	۱۴۹
۶-۳- وظایف لایه زیر بالاست	۱۴۹
۶-۴- مقاطع عرضی روسازی بالاستی و مشخصات هندسی آن	۱۵۰
۶-۴-۱- نحوه انتخاب ضخامت لایه بالاست	۱۵۱
۶-۴-۲- نحوه انتخاب عرض شانه لایه بالاست	۱۵۱
۶-۴-۳- شیب طرفین لایه بالاست	۱۵۱
۶-۵- مصالح مناسب برای بالاست	۱۵۱
۶-۶- مشخصات فنی بالاست	۱۵۲
۶-۶-۱- نمونه‌گیری	۱۵۳
۶-۶-۲- دانه‌بندی	۱۵۳
۶-۶-۳- تعیین مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰	۱۵۴
۶-۶-۴- تعیین درصد کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده	۱۵۴
۶-۶-۵- افت وزنی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس	۱۵۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۶-۶- آزمایش افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	۱۵۴
۶-۶-۷- آزمایش تعیین وزن واحد حجم و چگالی حقیقی	۱۵۴
۶-۶-۸- آزمایش جذب آب	۱۵۴
۶-۶-۹- آزمایش پولکی و کشیده بودن	۱۵۵
۶-۶-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری	۱۵۵
۶-۷- ذخیره‌سازی و حمل بالاست	۱۵۵
۶-۸- ضوابط اجرای بالاست	۱۵۶
۶-۹- مصالح مناسب برای زیربالاست	۱۵۶
۶-۱۰- مشخصات فنی زیربالاست	۱۵۷
۶-۱۰-۱- نمونه‌گیری	۱۵۷
۶-۱۰-۲- حدود مشخصات دانه‌بندی زیربالاست	۱۵۷
۶-۱۰-۳- آزمایش تعیین ذرات ریزتر از الک نمره ۲۰۰	۱۵۸
۶-۱۰-۴- آزمایش تعیین حد روانی و نشانه خمیری	۱۵۸
۶-۱۰-۵- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)	۱۵۸
۶-۱۱- تهیه مصالح زیربالاست	۱۵۸
۶-۱۲- آماده نمودن بستر روسازی	۱۵۹
۶-۱۳- پخش مصالح زیربالاست و آبپاشی	۱۵۹
۶-۱۴- کوبیدن لایه زیربالاست	۱۵۹
۶-۱۵- تراکم نسبی و ضریب تغییر شکل زیربالاست	۱۶۰
۶-۱۶- کنترل سطح تمام‌شده زیربالاست	۱۶۱
۶-۱۷- حفاظت سطح بستر روسازی به هنگام اجرای عملیات	۱۶۱
۶-۱۸- آزمایش‌های کنترل کیفیت زیربالاست (تواتر)	۱۶۱
۶-۱۹- روش اجرای زیربالاست	۱۶۲
۶-۲۰- نقش زیربالاست در زهکشی آب‌های سطحی و ویژگی‌های فیلتراسیون	۱۶۲
۶-۲۰-۱- مشخصات فنی زمین پارچه‌ها (ژئوتکستایل)	۱۶۳
۶-۲۰-۲- ملاحظات به کارگیری ژئوتکستایل به عنوان جایگزین لایه زیربالاست از نظر توزیع تنش روی بستر	۱۶۷
۶-۲۰-۳- ملاحظات اجرایی استفاده از ژئوتکستایل	۱۷۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل هفتم - دال خط بتنی	**۱۷۹**
۷-۱- کلیات	۱۸۱
۷-۲- انواع روسازی بدون بالاست	۱۸۱
۷-۳- بستر دال خط	۱۸۶
۷-۴- ضوابط کنترل کیفی آرماتورهای مصرفی دال خط	۱۸۷
۷-۵- ضوابط کنترل کیفی بتنی دال	۱۸۷
۷-۵-۱- مواد تشکیل دهنده بتن	۱۸۸
۷-۵-۲- دستورالعمل نمونه‌برداری، آزمایش و پذیرش بتن	۱۸۹
۷-۶- شیب عرضی (زهکشی)	۱۸۹
۷-۷- صدا و ارتعاش	۱۸۹
۷-۷-۱- میزان ارتعاش مجاز	۱۸۹
۷-۷-۲- تجهیزات اندازه‌گیری	۱۹۲
۷-۷-۳- سیستم‌های جاذب ارتعاش در روسازی دال خط	۱۹۲
۷-۸- ناحیه انتقال	۱۹۳
۷-۹- رواداری‌های دال خط	۱۹۵
۷-۹-۱- رواداری‌های اجرایی دال خط	۱۹۵
۷-۹-۲- رواداری‌های هندسی خطوط راه‌آهن	۱۹۵
۷-۹-۳- رواداری‌های هندسی خطوط قطار شهری و حومه	۱۹۶
فصل هشتم - دستگاه خطوط	**۱۹۹**
۸-۱- کلیات	۲۰۱
۸-۲- انواع دستگاه خطوط	۲۰۱
۸-۳- اجزای دستگاه خطوط	۲۰۲
۸-۳-۱- قسمت سوزن	۲۰۲
۸-۳-۲- قسمت تکه مرکزی	۲۰۷
۸-۴- انشعاب	۲۱۱
۸-۵- تقاطع	۲۱۲
۸-۶- چلیپا (تقاطع- انشعاب)	۲۱۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۸-۷- دستگاه‌های مخصوص سروته کردن لکوموتیو	۲۱۴
۸-۸- درز انبساط ریل	۲۱۶
۸-۹- رواداری‌های ابعادی ساخت دستگاه خطوط	۲۲۱
۸-۱۰- حمل و انبار کردن قطعات دستگاه خطوط	۲۲۶
منابع و مراجع	**۲۲۹**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- طبقه‌بندی خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران	۱۰
جدول ۲-۲- اضافه عرض خط در قوس‌ها	۱۱
جدول ۲-۳- رواداری‌های مجاز مشخصات هندسی طبقات مختلف خطوط راه‌آهن بالاستی	۱۳
جدول ۲-۴- حداکثر انحراف افقی مجاز خط راه‌آهن بالاستی	۱۴
جدول ۲-۵- رواداری‌های هندسی پیشنهادی ساخت خطوط بالاستی قطار شهری و حومه	۱۴
جدول ۲-۶- انحراف مقطع بالاست – خطوط جدید، بازسازی شده و یا پس از تعمیر	۱۵
جدول ۳-۱- عمر مفید ریل (سال) بر حسب بار ناخالص عبوری برای ریل UIC-۶۰	۲۰
جدول ۳-۲- تنش مجاز خستگی در برخی از انواع فولاد ریل	۲۱
جدول ۳-۳- تنش کششی نهایی و درصد ازدیاد طول مجاز فولادهای مختلف	۳۲
جدول ۳-۴- درصد وزنی عناصر شیمیایی انواع ریل‌ها	۳۳
جدول ۳-۵- رواداری‌های مجاز مربوط به ابعاد هندسی ریل در خطوط، سوزن‌ها و تقاطع‌ها	۳۵
جدول ۳-۶- رواداری مجاز طول ریل (میلی‌متر)	۳۶
جدول ۳-۷- رواداری مجاز برای قطر سوراخ ریل (میلی‌متر)	۳۶
جدول ۳-۸- رواداری مجاز موقعیت مرکز سوراخ‌ها (میلی‌متر)	۳۷
جدول ۳-۹- انحراف مجاز از گونیا بودن مقطع برش ریل	۳۷
جدول ۳-۱۰- اندازه درز بین دو ریل با اتصال وصله‌ای (میلی‌متر)	۴۴
جدول ۳-۱۱- سایش مجاز ریل UIC-60 (60E1)	۵۰
جدول ۳-۱۲- مقادیر اندازه‌های تغییر مقطع برخی از ریل های متداول	۵۸

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱- اندازه‌های مجاز ابعاد تراورس‌های چوبی	۷۲
جدول ۴-۲- ویژگی‌های شیمیایی تراورس‌های فلزی	۷۴
جدول ۴-۳- ویژگی‌های مکانیکی تراورس‌های فلزی	۷۴
جدول ۴-۴- ویژگی‌های عمومی تراورس‌های بتنی	۷۷
جدول ۴-۵- ویژگی‌های شیمیایی میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس بتنی یک تکه	۷۷
جدول ۴-۶- ویژگی‌های مکانیکی میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس بتنی یک تکه	۷۷
جدول ۴-۷- مشخصات فیزیکی و مکانیکی تراورس‌های ترکیبی	۸۰
جدول ۴-۸- تعداد تراورس‌های لازم در یک کیلومتر خط بر حسب طبقه خط (حداکثر بار محوری ۲۵ تن)	۸۲
جدول ۴-۹- حد مجاز عیوب ظاهری تراورس‌های چوبی	۸۴
جدول ۴-۱۰- رواداری ابعاد تراورس فلزی	۸۵
جدول ۴-۱۱- میکروسیلیس مصرفی در تراورس بتنی	۸۷
جدول ۴-۱۲- مقادیر Fr_0 و L_r متناظر با مقدار L_p	۹۱
جدول ۴-۱۳- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های روتین خمش استاتیکی در تراورس بتنی یک تکه	۹۲
جدول ۴-۱۴- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های تایپ خمش استاتیکی تراورس بتنی یک تکه	۹۶
جدول ۴-۱۵- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های روتین خمش استاتیکی تراورس بتنی سوزن	۹۹
جدول ۴-۱۶- رواداری ابعادی تراورس‌های بتنی	۱۰۰
جدول ۵-۱- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی فولاد فنر پابند وسلو W14	۱۱۴
جدول ۵-۲- خواص مکانیکی فولاد فنر پابند وسلو W14	۱۱۵
جدول ۵-۳- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی فولاد فنر پابند پاندرول نوع e-Clip	۱۱۵
جدول ۵-۴- خواص مکانیکی فولاد فنر پاندرول نوع e-Clip	۱۱۵
جدول ۵-۵- ترکیبات شیمیایی فولاد گیره پابند کا (K)	۱۱۵
جدول ۵-۶- مشخصات مکانیکی فولاد گیره پابند کا (K)	۱۱۶
جدول ۵-۷- خصوصیات لازم برای تست خستگی فنر پابند	۱۲۲
جدول ۵-۸- مشخصات فنی رول پلاگ‌های پلاستیکی	۱۲۶
جدول ۵-۹- طبقه‌بندی انواع پیچ تراورس پابند	۱۲۷
جدول ۵-۱۰- درجه‌بندی و مشخصات کشش میلگردهای مورد استفاده برای تولید پیچ تراورس بتنی	۱۲۸
جدول ۵-۱۱- ترکیب شیمیایی فولاد ۱.۱۱۴۱	۱۲۹

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۵-۱۲- خواص مکانیکی فولاد CK15	۱۲۹
جدول ۵-۱۳- مشخصات مکانیکی و فیزیکی گایدپلیت‌های پلاستیکی	۱۳۳
جدول ۵-۱۴- مشخصات مکانیکی و فیزیکی اینسولیت‌های پلاستیکی	۱۳۶
جدول ۵-۱۵- مشخصات مکانیکی و فیزیکی پدهای لاستیکی قبل از فرسایش	۱۳۸
جدول ۵-۱۶- مشخصات مکانیکی و فیزیکی پدهای لاستیکی بعد از فرسایش	۱۳۹
جدول ۵-۱۷- مشخصات فنی پدهای پلاستیکی جنس HDPE	۱۳۹
جدول ۵-۱۸- خواص مکانیکی صفحات فلزی زیر ریل	۱۴۱
جدول ۵-۱۹- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی چدن داکتیل GGG40 و GGG50	۱۴۲
جدول ۵-۲۰- خواص مکانیکی چدن داکتیل GGG40 و GGG50	۱۴۳
جدول ۵-۲۱- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی چدن مالبیل	۱۴۵
جدول ۵-۲۲- خواص مکانیکی چدن مالبیل	۱۴۵
جدول ۶-۱- مشخصات فنی مصالح بالاست	۱۵۲
جدول ۶-۲- حدود مشخصات دانه‌بندی مصالح بالاست	۱۵۳
جدول ۶-۳- مشخصات فنی مصالح زیربالاست	۱۵۷
جدول ۶-۴- حدود مشخصات دانه‌بندی زیربالاست	۱۵۸
جدول ۶-۵- حدود مشخصات طبقه‌بندی خاک بستر روسازی و امکان استفاده از ژئوتکستایل	۱۶۴
جدول ۶-۶- مقادیر حداقل برای مشخصات ژئوتکستایل	۱۶۵
جدول ۶-۷- معیارهای طراحی فیلتر ژئوتکستایلی	۱۶۶
جدول ۶-۸- الزامات کنترل تنش وارد بر بستر و پارامترهای مقاومتی ژئوتکستایل	۱۷۱
جدول ۶-۹- تعداد رول انتخابی جهت انجام آزمایشات کنترل کیفیت	۱۷۳
جدول ۷-۱- مشخصات قطعات لاستیکی	۱۸۵
جدول ۷-۲- میزان مجاز صدا و ارتعاش منتقل شونده از طریق زمین	۱۹۰
جدول ۷-۳- مقادیر صدا و ارتعاش مجاز منتقل شونده از طریق زمین برای داخل ساختمان‌های فرهنگی- هنری	۱۹۰
جدول ۷-۴- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش بلند مدت	۱۹۱
جدول ۷-۵- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش کوتاه مدت	۱۹۱
جدول ۷-۶- رواداری مطلق انحراف اجرای دال خط	۱۹۵
جدول ۷-۷- رواداری ساخت خطوط قطار شهری و حومه	۱۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۷-۸- رواداری‌های مجاز هندسی ساخت سیستم‌های روسازی‌های ریل مدفون و اتصال مستقیم	۱۹۷
جدول ۸-۱- درصد وزنی عناصر شیمیایی فولاد مصرفی در تکه مرکزی	۲۰۸
جدول ۸-۲- رواداری‌های تکه مرکزی‌های ریخته‌گری شده	۲۲۱
جدول ۸-۳- رواداری‌های ساخت و پذیرش ابعاد قطعات در انشعاب	۲۲۴
جدول ۸-۴- علامت‌های موجود بر روی بسته‌بندی کالاها	۲۲۷

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار ۳-۱- انتخاب استحکام کششی ریل با توجه به تناژ عبوری سالیانه و شعاع قوس	۴۱
نمودار ۴-۱- درصد بار محوری اعمال شده بر تراورس زیر چرخ بر اساس فاصله مرکز تا مرکز تراورس‌ها	۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه	۹
شکل ۲-۲- نمونه مقطع عرضی خط بدون بالاست (دال خط)	۱۰
شکل ۲-۳- عرض خط و شیب عرضی ریل در خطوط راه‌آهن (ابعاد به میلی‌متر است)	۱۲
شکل ۲-۴- مقطع عرضی بالاست	۱۵
شکل ۳-۱- اجزای پروفیل ریل	۱۹
شکل ۳-۲- مقطع ریل 46E2 (U33)	۲۴
شکل ۳-۳- مقطع ریل 49E1 (S49)	۲۵
شکل ۳-۴- مقطع ریل R50 (P50)	۲۶
شکل ۳-۵- مقطع ریل 54E1 (UIC54)	۲۷
شکل ۳-۶- مقطع ریل 60E1 (UIC60)	۲۸
شکل ۳-۷- مقطع ریل قاشقی 57R1 (Ph 37)	۲۹
شکل ۳-۸- مقطع ریل قاشقی 59R2 (Ri59N)	۳۰
شکل ۳-۹- مقطع ریل زیرسری جرثقیل سقفی 60E1T1 (A61)	۳۱
شکل ۳-۱۰- پارامترهای رواداری‌های مجاز مربوط به ابعاد هندسی ریل	۳۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱۱- رواداری مجاز ناراستی افقی و عمودی ریل	۳۷
شکل ۳-۱۲- آزمایش مقاومت کششی ریل	۳۸
شکل ۳-۱۳- درز ریل دارای تکیه‌گاه	۴۲
شکل ۳-۱۴- درز ریل معلق	۴۲
شکل ۳-۱۵- درز ریل تقویت شده	۴۳
شکل ۳-۱۶- حداکثر خروج از محور قائم در محل جوشکاری (ابعاد به میلی‌متر)	۴۵
شکل ۳-۱۷- افتادگی قائم در محل جوش (ابعاد به میلی‌متر)	۴۵
شکل ۳-۱۸- حداکثر خروج از محوریت افقی (تاب خوردگی) در محل جوش (ابعاد به میلی‌متر)	۴۵
شکل ۳-۱۹- آزمایش خمش استاتیک جوش ترمیت	۴۸
شکل ۳-۲۰- سایش قائم و سایش جانبی ریل	۴۹
شکل ۳-۲۱- حداکثر فاصله محورها (δ) در بوژی‌های سه محوره و دو محوره	۵۰
شکل ۳-۲۲- اسپریدر استوانه‌ای روی عرشه کشتی	۵۶
شکل ۳-۲۳- استفاده از چنگک برای گرفتن ریل‌ها	۵۶
شکل ۳-۲۴- بلند کردن هم‌زمان و هماهنگ ریل‌ها	۵۷
شکل ۳-۲۵- جلوگیری از سر خوردن ریل‌ها توسط قید	۵۷
شکل ۳-۲۶- نقاط اصلی تغییر مقطع ریل	۵۸
شکل ۳-۲۷- شابلون کنترل برای ارتفاع ریل (H)	۵۹
شکل ۳-۲۸- شابلون کنترل برای پروفیل تاج ریل (C)	۶۰
شکل ۳-۲۹- شابلون کنترل عرض تاج ریل (WH)	۶۱
شکل ۳-۳۰- شابلون (+) کنترل تقارن هندسی مقطع (As)	۶۲
شکل ۳-۳۱- شابلون (-) کنترل تقارن هندسی مقطع (As)	۶۳
شکل ۳-۳۲- شابلون کنترل ارتفاع جان ریل (HF)	۶۴
شکل ۳-۳۳- شابلون کنترل ضخامت جان (WT)	۶۴
شکل ۳-۳۴- شابلون کنترل عرض کف ریل (WF)	۶۵
شکل ۳-۳۵- شابلون کنترل ضخامت کف ریل (TF)	۶۶
شکل ۳-۳۶- شابلون کنترل فواصل بین سوراخ‌ها و انتهای ریل و قطر سوراخ‌ها	۶۷
شکل ۳-۳۷- شابلون کنترل فواصل بین سوراخ‌ها و کف ریل	۶۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱- مقطع تراورس چوبی	۷۲
شکل ۴-۲- شکل کلی تراورس‌های فولادی	۷۳
شکل ۴-۳- تراورس بتنی یک تکه مناسب بار محوری کم‌تر از ۲۵ تن (ابعاد به میلی‌متر)	۷۵
شکل ۴-۴- تراورس بتنی یک تکه مناسب بار محوری ۳۰ تن (ابعاد به میلی‌متر)	۷۵
شکل ۴-۵- تراورس بتنی دو تکه (ابعاد به سانتی‌متر)	۷۶
شکل ۴-۶- تراورس بتنی سوزن و تقاطع (ابعاد به سانتی‌متر)	۷۶
شکل ۴-۷- آزمایش لنگر خمشی مثبت محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه	۹۱
شکل ۴-۸- نحوه بارگذاری آزمایش خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه در تست روتین و تست تایپ نمونه اولیه	۹۲
شکل ۴-۹- نحوه بارگذاری خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه تست‌های روتین	۹۴
شکل ۴-۱۰- آزمایش لنگر خمشی مثبت وسط تراورس یک تکه	۹۵
شکل ۴-۱۱- آزمایش لنگر خمشی منفی وسط تراورس یک تکه	۹۵
شکل ۴-۱۲- نحوه بارگذاری آزمایش تایپ خمش مثبت و منفی تراورس یک تکه نمونه اولیه	۹۶
شکل ۴-۱۳- آزمایش لنگر خمشی مثبت و یا منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات	۹۷
شکل ۴-۱۴- نحوه بارگذاری آزمایش خمش مثبت و منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات برای نمونه اولیه	۹۸
شکل ۴-۱۵- نحوه بار گذاری آزمایش خمش مثبت و منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات در تست روتین	۹۸
شکل ۴-۱۶- پارامترهای هندسی تراورس‌های بتنی یک تکه، دو تکه و تراوس سوزن	۱۰۱
شکل ۴-۱- اندازه‌گیری شیب و پیچش نشیمن‌گاه ریل	۱۰۱
شکل ۵-۱- پابندهای نوع K، وسلو W14 و پاندرول e-Clip	۱۰۵
شکل ۵-۲- پابند نوع KS	۱۰۶
شکل ۵-۳- پابند DTVI-1 تیپ KS مورد استفاده در خطوط قطار شهری	۱۰۶
شکل ۵-۴- قطعات پابند نوع وسلو W14	۱۰۷
شکل ۵-۵- قطعات پابند نوع وسلو W30HH	۱۰۸
شکل۵-۶- قطعات پابند پاندرول نوع e-clip	۱۱۰
شکل ۵-۷- قطعات پابند نوع کا (K)	۱۱۱
شکل ۵-۸- قطعات پابند نوع KS	۱۱۲
شکل ۵-۹- قطعات پابند نوعKS- DTVI-1	۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۵-۱۰- آزمایش بارگذاری بر روی پابند کا (K) (ابعاد بر حسب میلی‌متر)	۱۱۷
شکل ۵-۱۱- آزمایش مقاومت گیرداری طولی	۱۱۹
شکل ۵-۱۲- آزمایش اندازه‌گیری سختی قائم	۱۲۰
شکل ۵-۱۳- درجات آزادی حرکت ریل	۱۲۱
شکل ۵-۱۴- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند وسلو W14	۱۲۴
شکل ۵-۱۵- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند وسلو W30HH	۱۲۵
شکل ۵-۱۶- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند KS-DTVI-1	۱۲۶
شکل ۵-۱۷- نقشه پیچ تراورس Ss23 وسلو w14	۱۲۹
شکل ۵-۱۸- نقشه پیچ تراورس چوبی	۱۳۰
شکل ۵-۱۹- پیچ DHS 35	۱۳۱
شکل ۵-۲۰- پیچ تراورس دنده ذوزنقه پابند KS-DTVI-1	۱۳۱
شکل ۵-۲۱- سیستم پابند وسلو و محل قرارگیری گایدپلیت در تراورس	۱۳۲
شکل ۵-۲۲- ابعاد و اندازه گایت‌پلیت پابند W14	۱۳۴
شکل ۵-۲۳- ابعاد و اندازه گایت‌پلیت پابند W30HH	۱۳۴
شکل ۵-۲۴- اجزای پابند در سیستم پاندرول	۱۳۵
شکل ۵-۲۵- آزمایش کشش بر روی قطعه اینسولیت با استفاده از دستگاه آزمایش کشش	۱۳۷
شکل ۵-۲۶- نمونه آزمایش کشش	۱۳۷
شکل ۵-۲۷- نمونه برای آزمایش ضربه از اینسولیت	۱۳۸
شکل ۵-۲۸- نمونه پد پلاستیکی پابند وسلو W14	۱۴۰
شکل ۵-۲۹- صفحه زیر ریل پابند نوع KS	۱۴۲
شکل ۵-۳۰- نقشه دو نمونه واشر فنری دوبل	۱۴۳
شکل ۵-۳۱- نقشه نمونه پیچ T، مهره و واشر	۱۴۴
شکل ۵-۳۲- نقشه شولدر تراورس بتنی	۱۴۶
شکل ۶-۱- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن یک‌خطه مستقیم (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۵۰
شکل ۶-۲- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن یک‌خطه در قوس (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۵۰
شکل ۶-۳- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن دوخطه مستقیم (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۵۰
شکل ۶-۴- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن دوخطه در قوس (ابعاد به سانتی‌متر)	۱۵۱

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۶-۵- فشار پانچ‌شدگی وارده از سنگ‌دانه‌ها به ژئوتکستایل	۱۶۸
شکل ۶-۶- مقایسه آزمایش کشش چنگک و کشش ناشی از سنگ دانه‌ها	۱۷۰
شکل ۶-۷- توزیع نرمال نتایج آزمایش‌ها کنترل کیفیت و تصمین کیفیت	۱۷۲
شکل ۶-۸- نحوه اجرا با یک رول پیوسته	۱۷۵
شکل ۶-۹- اجرا با استفاده از قطعات بریده شده	۱۷۵
شکل ۶-۱۰- نحوه قرارگیری ژئوتکستایل و ژئوگرید پشت ماشین سرند بالاست	۱۷۶
شکل ۶-۱۱- دوخت دوکوکه و تک کوکه	۱۷۷
شکل ۶-۱۲- سه نوع متداول دوخت درزها	۱۷۷
شکل ۶-۱۳- درز غیر قابل بازدید و تعمیر (غیر قابل قبول)	۱۷۸
شکل ۶-۱۴- فاصله درزهای افقی حداقل ۱/۵ متر	۱۷۸
شکل ۷-۱- نمونه دال خط بتنی درجا	۱۸۲
شکل ۷-۲- نمونه دال خط بتنی پیش‌ساخته	۱۸۲
شکل ۷-۳- نمونه دال خط بتنی خطوط هم‌سطح	۱۸۳
شکل ۷-۴- هم‌سطح‌سازی روسازی درگذرگاه‌ها	۱۸۵
شکل ۷-۵- نمونه نصب ریل سوم در دال خط تونل	۱۸۶
شکل ۷-۶- اجرای لایه تکیه‌گاه هیدورلیکی	۱۸۷
شکل ۷-۷- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده بر حسب فرکانس برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش کوتاه مدت در فونداسیون	۱۹۱
شکل ۷-۹- نمونه اجرای ناحیه انتقال بین خاکریز و پل در زیرسازی	۱۹۳
شکل ۸-۱- انشعاب	۲۰۱
شکل ۸-۲- تقاطع	۲۰۲
شکل ۸-۳- چلیپا	۲۰۲
شکل ۸-۴- اجزای سوزن	۲۰۳
شکل۸-۵- مقطع ریل سوزن	۲۰۴
شکل ۸-۷- مقطع ریل‌ها در انتهای سوزن	۲۰۴
شکل ۸-۹- سوزن‌های سوار شده	۲۰۵
شکل ۸-۱۰- سوزن‌های برش مستقیم	۲۰۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۸-۱۱- بالشچه لغزشی	۲۰۷
شکل ۸-۱۲- محل تکه مرکزی در انشعاب	۲۰۸
شکل ۸-۱۳- ریل‌های بال در محل تکه مرکزی	۲۰۸
شکل ۸-۱۵- تکه مرکزی منفرجه	۲۱۰
شکل ۸-۱۶- تکه مرکزی قائمه	۲۱۰
شکل ۸-۱۷- تکه مرکزی قائمه در حالتی که خط A اصلی است	۲۱۱
شکل ۸-۱۸- اجزای یک انشعاب	۲۱۱
شکل ۸-۱۹- انشعاب راست گرد	۲۱۲
شکل ۸-۲۰- انشعاب چپ گرد	۲۱۲
شکل ۸-۲۱- نحوه قرار گیری تراورس‌ها و صفحات زیر ریل در محل تقاطع	۲۱۳
شکل ۸-۲۲- چلیپای ساده	۲۱۳
شکل ۸-۲۳- چلیپای مضاعف	۲۱۴
شکل ۸-۲۴- تغییر خط ساده بین دو خط موازی	۲۱۴
شکل ۸-۲۵- تغییر خط مضاعف بین دو خط موازی (قیچی)	۲۱۴
شکل ۸-۲۶- مثلث با اضلاع منحنی	۲۱۵
شکل ۸-۲۷- مثلث مختلط	۲۱۵
شکل ۸-۲۸- چوگان	۲۱۶
شکل ۸-۲۹- درز انبساط ریل	۲۱۶
شکل ۸-۳۰- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (هر دو طرف متحرک)	۲۱۷
شکل ۸-۳۱- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (یک طرف متحرک)	۲۱۸
شکل ۸-۳۲- درز انبساط ریل با ریل هادی (هر دو طرف متحرک)	۲۱۸
شکل ۸-۳۳- درز انبساط ریل با ریل هادی (یک طرف متحرک)	۲۱۹
شکل ۸-۳۴- درز انبساط ریل با ریل پهلویی متحرک	۲۱۹
شکل ۸-۳۵- درز انبساط ریل با ریل زبانه متحرک	۲۲۰
شکل ۸-۳۶- درز انبساط ریل دو طرف متحرک	۲۲۰
شکل ۸-۳۷- اندازه‌گیری محل عبور آزاد چرخ در قسمت سوزن	۲۲۱
شکل ۸-۳۸- اندازه‌گیری فاصله حفاظت دماغه نیش‌دلی در تکه مرکزی انشعاب	۲۲۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۸-۳۹- اندازه‌گیری فاصله حفاظت دماغه در تکه مرکزی تقاطع	۲۲۲
شکل ۸-۴۰- اندازه‌گیری فاصله محل ورود چرخ به تکه مرکزی در ریل هادی و ریل بال	۲۲۳
شکل ۸-۴۱- اندازه‌گیری چسبیدگی زبانه به ریل پهلویی و صفحه سرسره	۲۲۳
شکل ۸-۴۲- اندازه‌گیری چسبیدگی ریل سوزن به پشت بندهای افقی و صفحه سرسره و تراز آن با ریل پهلویی	۲۲۴
شکل ۸-۴۳- انحراف عرض خط در انشعاب	۲۲۴
شکل ۸-۴۴- اندازه‌گیری هندسی انشعاب	۲۲۵
شکل ۸-۴۵- ناهمواری سطح ریل مستقیم و قوس	۲۲۵

فصل ۱

مبانی و تعاریف

۱-۱- مبانی

مشخصات فنی و عمومی روسازی خطوط راه‌آهن، دستورالعمل ارائه مشخصات لازم برای طراحی روسازی مناسب و ایمن برای عبور قطار با سرعت کم‌تر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

رعایت تمامی موارد این نشریه که با به کار بردن واژه هایی نظیر«باید»، «نباید»، «لازم است» و ... مشخص شده‌اند، اجباری است.

رعایت دستورالعمل‌هایی که به عنوان معیارهای پیشنهادی است و با واژه‌هایی نظیر «توصیه می‌شود»، «بهتر است»، «می‌تواند» و ... مشخص شده‌اند، اجباری نیست.

این نشریه بیانگر معیارهای حداقل برای ایمنی است، چنانچه مطالعات خاص و بررسی‌های دقیق‌تر در طراحی روسازی، استفاده از معیارهای بالاتر از معیارهای ارائه شده را نشان دهد، با ارائه مستندات مربوط به مطالعات و تایید کارفرما می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در تدوین این پروژه سعی شده است تا از مدارک و منابع اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) و آیین‌نامه‌های معتبر دنیا نظیر AREMA و آیین‌نامه‌های بعضی از کشورهای اروپایی و اتحادیه اروپا (EN) با در نظر داشتن معیارهای تجربی رایج در کشور استفاده شود. تعاریف مربوط به اصطلاحات و واژه‌های به کار گرفته شده در فصول مختلف به شرح ادامه است:

۱-۲- تعاریف

روسازی: بدنه اصلی خط آهن است که وظیفه تحمل، انتقال و توزیع بار وارده از چرخ‌های ناوگان به بستر (زیرسازی) را بر عهده دارد. روسازی متداول خط آهن از دو ریل ممتد و موازی، تراورس‌های عمود بر ریل، لایه بالاست و زیر بالاست، ادوات اتصال و عایق‌بندی آن‌ها تشکیل می‌شود.

بستر خط آهن: بالاترین سطح زیرسازی است که روسازی راه‌آهن بر روی آن قرار می‌گیرد.

قطعه (بلاک): فاصله بین مبادی ورودی و خروجی ایستگاه‌ها و کنتاکت علائم در خطوط راه‌آهن که در آن واحد یک وسیله نقلیه می‌تواند حرکت کند.

عرض خط: کوچک‌ترین فاصله عرضی بین لبه‌های داخلی دو ریل تا عمق ۱۴ میلی‌متری از سطح فوقانی ریل است. انواع رایج عرض خط عبارتند از:

- عرض خط استاندارد (معمولی یا کامل)، ۱۴۳۵ میلی‌متر
- عرض خط پهن (عریض)، بیش‌تر از ۱۴۳۵ میلی‌متر
- عرض خط متریک، ۱۰۰۰ تا ۱۴۳۰ میلی‌متر
- عرض خط باریک، کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌متر

بار محوری: حد بالای برآیند بارهای قائم وارده از یک جفت چرخ هم محور هر وسیله نقلیه عبوری در وضعیت ایستا بدون در نظر گرفتن اثرات دینامیکی، بار محوری نام دارد و از تقسیم بیش‌ترین وزن ناخالص وسیله نقلیه ریلی بر تعداد محورهای مربوطه به دست می‌آید.

بار طولی: بار وارده بر هر متر طول روسازی است و از تقسیم وزن ناخالص وسیله نقلیه عبوری به طول آن (از ابتدای ضربه‌گیر یک طرف تا انتهای ضربه‌گیر طرف دیگر در وضعیت آزاد) به دست می‌آید.

بار ناخالص سالانه: وزن ناخالص ناوگان عبوری از یک محور در یک سال است که شامل وزن ناخالص رفت و برگشت ناوگان باری، مسافری و عملیاتی می‌باشد.

سرعت طرح: بیش‌ترین سرعتی است که مشخصات هندسی مسیر براساس آن طراحی می‌شود.

شیب طولی خطوط: تغییر تدریجی تراز خط است که از تقسیم اختلاف ارتفاع به طول آن به دست می‌آید و بر حسب در هزار بیان می‌شود.

شیب عرضی خط (دِوِر): تغییر رقوم (اختلاف ارتفاع) عرضی دو ریل نسبت به هم برای جبران یا کاهش آثار نیروی گریز از مرکز ناوگان عبوری در قوس‌ها می‌باشد که با رعایت شعاع قوس، سرعت ناوگان عبوری و با توجه به مقادیر حدی واژگونی، خروج از خط، راحتی و تنش مجاز محاسبه می‌شود.

ریل: عنصر اصلی روسازی است که حرکت چرخ‌های ناوگان ریلی برروی آن صورت می‌گیرد.

تراورس: تیرهای عرضی در خط آهن است که از جنس چوب، فولاد، بتن، پلاستیک‌های فشرده، سرامیک یا ترکیب آن‌ها ساخته شده و ریل بر روی آن تثبیت می‌شود.

پابند: وسیله‌ای برای اتصال ریل به تراورس است که وظیفه آن تثبیت ریل بر روی تراورس و جلوگیری از حرکت طولی، عرضی و دوران آن می‌باشد.

بالاست: لایه‌ای از مصالح درشت دانه (سنگی یا سرباره کوره‌های ذوب آهن) با ابعاد ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر می‌باشد که به عنوان یک تکیه‌گاه مناسب برای تثبیت تراورس‌ها می‌باشد.

زیربالاست: لایه میانی بین بستر خط و لایه بالاست است که از شن، ماسه و خاک ریزدانه تشکیل شده و مانع نفوذ و فرورفتن دانه‌های بالاست در بستر روسازی و نیز موجب توزیع بهتر بارهای خارجی و تسریع زهکشی آب باران می‌شود.

دال خط: لایه‌ای از جنس بتن آرمه به صورت پیش‌ساخته و یا اجرای درجا با ضخامت ۲۵ تا ۴۵ سانتی‌متر در خطوط غیر بالاستی که به عنوان تکیه‌گاه مناسب برای تثبیت تراورس‌های مدفون درآن می‌باشد.

UIC: اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها با عضویت بیش از ۱۰۰ کشور است که برای هماهنگی و بهبود مشخصات فنی تشکیل شده است و مدارک و مراجع علمی، فنی و اجرایی زیادی را تهیه و به صورت استانداردهای طراحی ارائه می‌کند.

AREMA: انجمن مهندسی راه‌آهن آمریکا

ASTM: انجمن مخصوص آزمایشات و مصالح آمریکا

EN: استاندارد اتحادیه اروپا

BS: استاندارد انگلستان

DIN: استاندارد صنعتی آلمان

ISO: سازمان بین‌المللی استانداردها

فصل ۲

خط آهن

۲-۱- کلیات

مجموعه ریل، صفحه زیر ریل، تراورس، پابند و بالاست یا سایر اجزای جایگزین دیگر که یک سیستم مناسب برای عبور قطار را فراهم می‌سازند، خط آهن نام دارد. ویژگی‌های اصلی یک خط آهن عبارتست از:

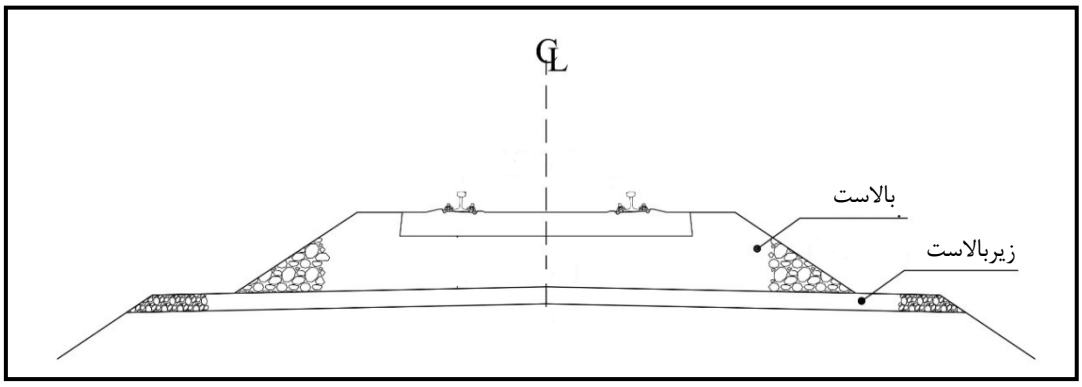
- انتقال بار چرخ‌های قطار به لایه‌های زیرین و کاهش تنش‌های ناشی از آن
- میرایی انرژی و کاهش ضربات وارد به زیرسازی
- حفظ مشخصات هندسی لازم در طول زمان
- فراهم نمودن یک بستر صاف برای عبور قطار به صورت ایمن و بدون سر و صدا
- پایین بودن هزینه‌های احداث، تعمیر و نگهداری تا حد ممکن

۲-۲- انواع خطوط ریلی

خطوط ریلی به دو دسته کلی خطوط با بالاست و بدون بالاست تقسیم می‌شود. برحسب شرایط مسیر و بررسی‌های فنی و اقتصادی می‌توان از هر دو نوعِ این خطوط استفاده کرد.

۲-۲-۱- خطوط با بالاست

همان‌طور که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است، این نوع خط شامل زیر بالاست، بالاست، تراورس، پابند و ریل است. استفاده از این نوع خط بسیار متداول بوده و عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است. اگر چه هزینه تعمیر و نگهداری این خط بالا است، لیکن هزینه احداث آن پایین‌تر از خط بدون بالاست است، مشخصات مربوط به اجزای این نوع خط باید مطابق فصل‌های ۳ تا ۷ این نشریه باشد.



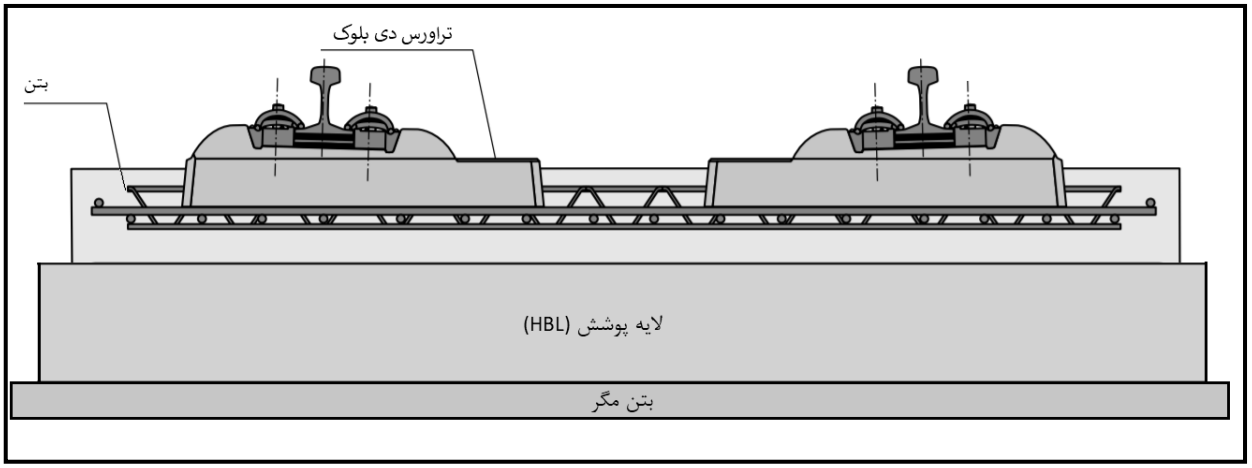
شکل ۲-۱- مقطع عرضی خط بالاستی تک خطه

۲-۲-۲- خطوط بدون بالاست (دال خط)

این نوع خط شامل یک دال بتنی پیش ساخته و یا بتن درجا است که ریل و صفحه لاستیکی زیر ریل بر روی آن قرار دارد و با پابندها تثبیت می‌شود. دال بتنی می‌تواند از نوع پیش‌تنیده معمولی باشد. همان‌طور که در شکل (۲-۲)

نشان داده شده است، در این نوع خط، بالاست حذف شده است. هزینه احداث این نوع روسازی بالا است لیکن هزینه تعمیر و نگهداری آن پایین می‌باشد. به دلیل حذف بالاست در این نوع خط، سر و صدا و لرزش آن در مقایسه با سیستم بالاستی بیش‌تر است. استفاده از این نوع خط آهن در پل‌ها، تونل‌ها، محوطه بنادر و محدوده شهرها بسیار مناسب است.

با توجه به کاربرد گسترده این نوع روسازی در ابنیه خاص خطوط راه آهن نظیر تونل‌ها و پل‌ها و به خصوص خطوط قطار شهری و حومه در این نشریه به مشخصات فنی وعمومی مربوط به خطوط بدون بالاست نیز پرداخته شده است.



شکل ۲-۲- نمونه مقطع عرضی خط بدون بالاست (دال خط)

۲-۳- طبقه‌بندی خطوط

مشخصات هندسی خط و رواداری‌های مربوط به آن بر حسب شرایط بهره‌برداری متفاوت است. همه خطوط راه‌آهن باید از نظر شرایط بهره‌برداری مختلف طبقه‌بندی شوند. خطوط اصلی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران برحسب حداکثر سرعت ناوگان عبوری به چهار طبقه A، B، C و D و برحسب بار ناخالص عبوری سالیانه مربوط به سال دهم بهره‌برداری به چهار طبقه ۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم می‌شوند. این طبقه‌بندی در جدول (۲-۱) خلاصه شده است.

جدول ۲-۱- طبقه‌بندی خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

سرعت (کیلومتر بر ساعت) / بار ناخالص عبوری سال دهم بهره‌برداری (میلیون تن)		۱۶۰-۲۰۰ (A)	۱۲۰-۱۶۰ (B)	۸۰-۱۲۰ (C)	کم‌تر از ۸۰ (D)
بیش از ۱۵	(۱)	A1	B1	C1	D1
۱۰~۱۵	(۲)	A2	B2	C2	D2
۵~۱۰	(۳)	A3	B3	C3	D3
کم‌تر از ۵	(۴)	A4	B4	C4	D4

خطوط صنعتی و تجاری منشعب از ایستگاه‌های راه‌آهن، با بار ناخالص عبوری سالیانه کم‌تر از ۲ میلیون تن و سرعت کم‌تر از ۶۰ کیلومتر در ساعت، به عنوان خط فرعی با علامت (E) مشخص می‌شود. خطوط با سرعت بیش از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت به عنوان یک طبقه خاص با عنوان خطوط پرسرعت شناخته خواهد شد و مستلزم به کارگیری ضوابط

خاص طراحی خود می‌باشد. این نشریه می‌بایست برای خطوط با سرعت حداکثر ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت استفاده شود و برای سرعت‌های بیش‌تر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت از ضوابط خاص روسازی خطوط پرسرعت استفاده شود.

۲-۴- مشخصات هندسی خط

خطوط راه‌آهن بایستی دارای مشخصات هندسی خاصی باشند. این مشخصات هندسی باید در دوره‌های بازرسی منظم مورد بررسی و کنترل قرار گیرد. تعداد دفعات بازرسی و کنترل خط در یک سال بسته به اهمیت خط و صلاحدید راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران می‌تواند دو بار در سال و یا بیش‌تر از آن باشد. مشخصات هندسی خطوط عبارتند از:

۲-۴-۱- عرض خط

کوچک‌ترین فاصله عرضی بین لبه‌های داخلی دو ریل تا عمق ۱۴ میلی‌متری از سطح فوقانی ریل، مطابق شکل (۲-۳)، عرض خط نام دارد. عرض خط در مسیرهای مستقیم خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و قطار شهری و حومه باید ۱۴۳۵ میلی‌متر باشد.

در قوس‌های با شعاع کم‌تر از ۲۵۰ متر لازم است اضافه عرض در خطوط پیش‌بینی شود. اضافه عرض خط در قوس‌های مختلف بر حسب شعاع آن‌ها باید مطابق جدول (۲-۲) باشد.

حداکثر رواداری مربوط به عرض خط در خطوط با طبقه‌بندی مختلف نباید از مقادیر ذکر شده در جدول (۲-۳) تجاوز کند.

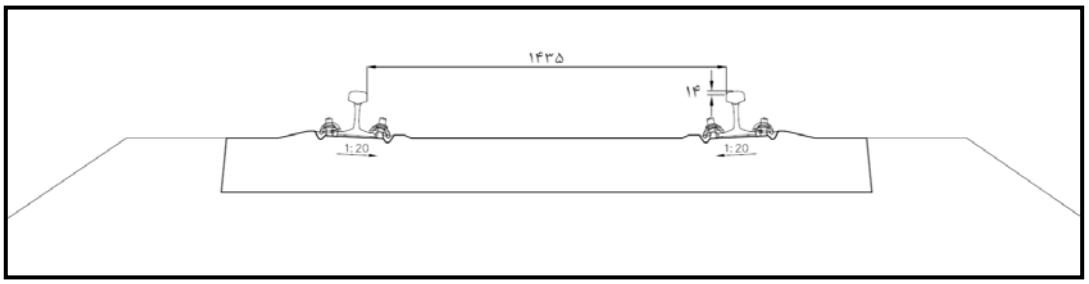
جدول ۲-۲- اضافه عرض خط در قوس‌ها

شعاع قوس (متر)	اضافه عرض (میلی‌متر)
بیش از ۲۵۰	۰
۲۰۰ تا ۲۵۰	۵
۱۵۰ تا ۲۰۰	۱۰
۱۳۰ تا ۱۵۰	۱۵
۱۰۰ تا ۱۳۰	۲۰

۲-۴-۲- شیب عرضی ریل

با توجه به وجود شیب در بخش مخروطی چرخ‌های ناوگان برای افزایش پایداری آن، لازم است تا ریل‌ها با شیب عرضی بر روی تراورس قرارگیرند. شیب عرضی ریل‌های خطوط راه‌آهن باید ۱ به ۲۰ (۱ قائم، ۲۰ افقی) و در خطوط قطار شهری و حومه ۱ به ۴۰ (۱ قائم، ۴۰ افقی) باشد.

همان‌طور که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است، جهت این شیب بایستی به سمت محور خط باشد. این شیب را می‌توان بر روی تراورس و یا بر روی صفحات اتصالی پابندها تعبیه کرد.



شکل ۲-۳- عرض خط و شیب عرضی ریل در خطوط راه‌آهن (ابعاد به میلی‌متر است)

۲-۴-۳- تراز عرضی خط

شیب عرضی (دور) عبارت است از میزان اختلاف تراز نسبی دو رشته ریل که برای غلبه بر نیروهای جانبی در قوس‌ها تعبیه می‌گردد. میزان دور خط به شعاع قوس و سرعت حرکت وابسته است. نوع ترافیک مسیر (باری، مسافری یا مختلط) نیز در تعیین دور نقش دارد. در مسیرهای مختلط به دلیل تفاوت سرعت حداکثر و حداقل قطارها، نیاز به اعمال دور بهینه خواهد بود. در صورتی که سرعت قطار از سرعت متناظر با این مقدار بیش‌تر شود، یعنی کسری دور داشته باشیم، نیروی بیش‌تری به ریل خارجی وارد خواهد گردید و در صورتی که سرعت کم‌تر از مقدار سرعت متناظر با دور بهینه باشد، نیروی اضافی به ریل داخلی وارد خواهد شد.

تنظیم و تصحیح دور در قوس‌های واقع در خطوط بالاستی، می‌تواند با استفاده از تغییر دادن ضخامت بالاست در دو طرف خط صورت گیرد. به علت وجود نیروهای اضافی جبران نشده، ناشی از اختلاف میزان دور واقعی و دور لازم، همواره شاهد به هم‌خوردن میزان دور می‌باشیم. بنابراین مقدار دور قوس‌ها باید به طور مرتب کنترل و تصحیح شود. این کار می‌تواند با استفاده از ماشین‌های زیرکوب و یا به روش سنتی و با دیلم‌کاری انجام شود.

میزان شیب عرضی (دور) باید مطابق رابطه (۲-۱) باشد. محاسبه دقیق مقدار شیب عرضی (دور) بایستی بر اساس آیین‌نامه طرح هندسی راه آهن (نشریه شماره ۲۸۸) انجام شود.

$$h = 11.8 V^2 / R \qquad (۲-۱)$$

h: شیب عرضی (میلی‌متر)

V: سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت

R: شعاع قوس بر حسب متر

اختلاف تراز بین دو ریل در مقطع عرضی در هر نقطه از مسیر نسبت به مقدار طراحی نباید از مقادیر ذکر شده در جدول (۲-۳) تجاوز کند.

۲-۴-۴- اختلاف شیب طولی

اختلاف شیب طولی در خطوط راه‌آهن نسبت به شیب طراحی شده در طول محدودی از مسیر بسته به نوع خط، نباید از مقادیر ذکر شده در جدول (۲-۳) تجاوز کند.

۲-۴-۵- تراز طولی

خطوط راه‌آهن بایستی دارای تراز طراحی شده در هر نقطه باشند و افتادگی موضعی در خطوط نباید از مقادیر ذکر شده در جدول (۲-۳) تجاوز کند.

۲-۴-۶- انحراف افقی خطوط راه آهن

انحراف افقی خط عبارتست از انحراف خط نسبت به موقعیت تئوریک آن در راستای افقی، این مقادیر باید مطابق جدول (۲-۴) محدود شود.

جدول ۲-۳- رواداری‌های مجاز مشخصات هندسی طبقات مختلف خطوط راه‌آهن بالاستی

طبقه		A	B	C	D
مشخصه هندسی	سطح کیفی *				
تغییرات عرض خط (میلی‌متر)	۱	-۱ +۳	-۱ +۴	-۱ +۵	-۲ +۱۲
	۲	-۲ +۶	-۲ +۸	-۲ +۱۰	-۲ +۱۲
	۳	-۴ +۲۴	-۴ +۲۴	-۴ +۲۴	-۴ +۲۴
	۴	-۶ +۳۵	-۶ +۳۵	-۶ +۳۵	-۶ +۳۵
اختلاف تراز عرضی (میلی‌متر)	۱	±۲	±۲	±۳	±۳
	۲	±۵	±۶	±۸	±۱۰
	۳	±۱۵	±۱۵	±۱۵	±۱۵
	۴	±۲۵	±۲۵	±۳۰	±۳۰
اختلاف شیب طولی (درهزار)	۱	۱/۲۵	۱/۷	۲/۵	۲/۵
	۲	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳
	۳	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲
	۴	۶/۷	۶/۷	۶/۷	۶/۷
افتادگی موضعی (میلی‌متر)	۱	۶	۸	۱۲	۱۶
	۲	۱۲	۱۶	۱۶	۱۸
	۳	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	۴	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰

* سطوح کیفی مختلف به شرح زیر است:

سطح کیفی ۱: رواداری‌های مربوط به این سطح کیفی، استانداردهای یک خط بلافاصله پس از احداث است (خطوط جدید).

سطح کیفی ۲: چنانچه خطوط در این سطح کیفی قرار گیرند، باید برنامه تعمیراتی منظم اجرا شود (خطوط تحت بهره‌برداری).

سطح کیفی ۳: در این سطح کیفی، وضعیت خط بحرانی است و نیاز به تعمیرات سریع دارد (خطوط قابل بهره‌برداری).

سطح کیفی ۴: در این سطح کیفی وضعیت خط خطرناک است و ایمنی سیر و حرکت بسیار پایین است(خطوط غیر قابل بهره‌برداری).

رواداری مربوط به خطوط با طبقه (E)، مشابه طبقه (D) است.

جدول ۲-۴- حداکثر انحراف افقی مجاز خط راه‌آهن بالاستی

درجه خطوط	مسیر مستقیم- حداکثر انحراف افقی خط در طول یک وتر به طول ۱۸/۹ متر (سانتی‌متر)	مسیر قوس‌دار- حداکثر انحراف افقی خط در طول یک وتر به طول ۱۸/۹ متر (سانتی‌متر)
A	۰/۹	۰/۶
B	۱/۵	۱/۲
C	۲/۴	۲/۲
D	۴/۱	۴/۱

۲-۴-۷- رواداری‌های هندسی ساخت خطوط بالاستی قطار شهری و حومه

رواداری‌های پیشنهادی ساخت خطوط بالاستی قطار شهری و حومه شامل تغییرات عرض خط، انحراف تراز افقی و عمودی، اختلاف تراز عرضی و موقعیت افقی و قائم خط در جدول (۲-۵) ارائه شده است. مقادیر ارائه شده برای رواداری‌های نگهداری و تعمیرات نمی‌باشد.

جدول ۲-۵- رواداری‌های هندسی پیشنهادی ساخت خطوط بالاستی قطار شهری و حومه[۱]

نوع خط / مشخصه هندسی	خط اصلی	خط فرعی
تغییرات عرض خط [۴] (میلی‌متر)	-۱ +۱	-۱ +۱
انحراف در تراز افقی [۱] [۴] (میلی‌متر)	۶ [۲]	۶
انحراف در تراز عمودی [۱] [۴] (میلی‌متر)	۹ [۳]	۹
اختلاف تراز عرضی [۴] [۵] (میلی‌متر)	-۳ +۳	-۵ +۵
موقعیت افقی خط [۶] (میلی‌متر)	۱۳	۱۳
موقعیت قائم خط [۶] (میلی‌متر)	۱۳	۱۳

۱- انحراف، اختلاف مجاز بین خط استاندارد طراحی شده و خط ساخته شده واقعی است.

۲- انحراف در تراز افقی در محدوده سکوی ایستگاه صفر میلی‌متر به سمت سکو و ۳ میلی‌متر خلاف سمت سکو است.

۳- انحراف در تراز عمودی در محدوده سکوی ایستگاه مثبت صفر و منفی۶ میلی‌متر است.

۴- نرخ تغییرات هندسی عرض خط، انحراف تراز افقی، انحراف تراز عمودی و اختلاف تراز عرضی به مقدار ۱:۱۵۰۰ (۳ میلی‌متر در طول ۴۵۰۰ میلی‌متر) محدود شود.

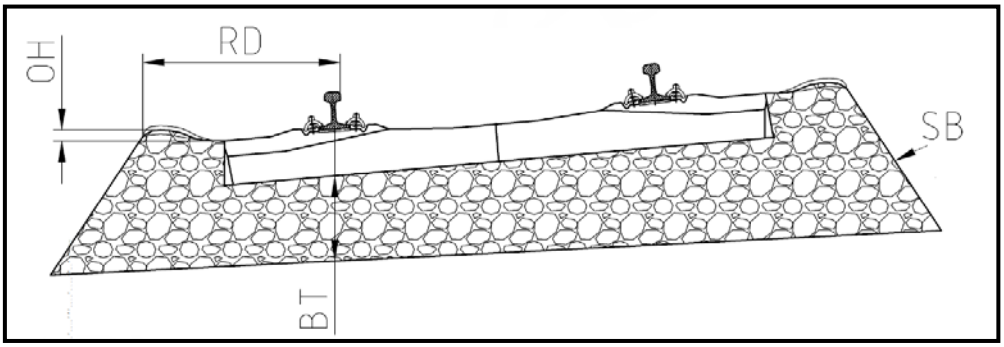
۵- اختلاف تراز عرضی، اختلاف تراز دو ریل نسبت به یکدیگر است.

۶- موقعیت خط، اختلاف موقعیت ساخته شده خط در برداشت ازبیلت نسبت به موقعیت تئوریک است.

۱- بر اساس TCRP Report 155

۲-۴-۸- انحراف ابعادی مقطع بالاست

انحراف ابعاد مقطع بالاست اجرا شده که در شکل (۲-۴) مشخص شده در کلیه خطوط باید مطابق مقادیر جدول (۲-۶) محدود شود. اگر در قوس‌ها در خصوص سطح تراز شانه بالاست بالاتر توسط مشاور طراح الزامی اعلام نگردیده باشد، لازم است سطح تراز بالاست با سطح تراورس مجاور آن یکی باشد. قرارگیری بالاست بر روی تراورس مجاز نمی‌باشد.



شکل ۲-۴- مقطع عرضی بالاست

BT: ضخامت بالاست

RD: فاصله بین لبه داخلی ریل تا لبه بالایی شانه بالاست

SB: شیب شانه بالاست

OH: بالازدگی شانه بالاست

جدول ۲-۶- انحراف مقطع بالاست – خطوط جدید، بازسازی شده و یا پس از تعمیر

مشخصه	انحراف نسبت به مقادیر طراحی
ضخامت بالاست (۱) (BT)	+۱۵٪ - ۰٪
فاصله بین لبه داخلی ریل تا لبه بالایی شانه بالاست (RD)	+۱۰ cm - ۰ cm
شیب شانه بالاست (SB)	± ۱۰٪
بالازدگی شانه بالاست (OH)	+۲ cm - ۰ cm
۱- در قوس‌ها کم‌ترین فاصله بین سطح بستر روسازی و پایین‌ترین قسمت کف تراورس در زیر ریل داخلی اندازه‌گیری شود.	

فصل ۳

ریل

۳-۱- کلیات

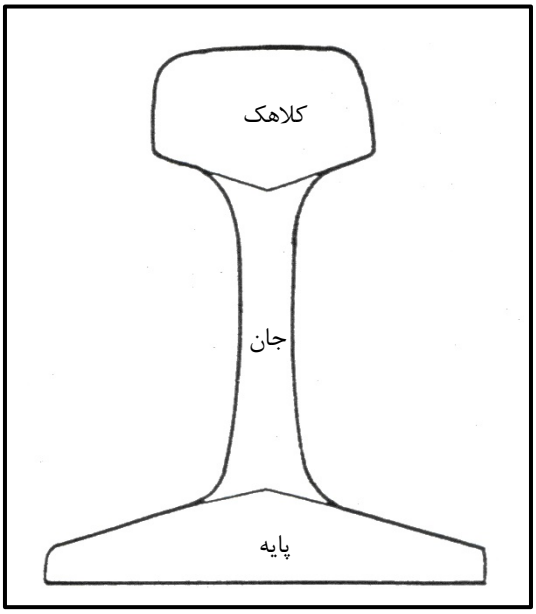
۳-۱-۱- اجزای ریل

مقطع ریل از سه بخش اصلی کف (پایه ریل)، کلاهک (تاج ریل) و جان (تیغه ریل) تشکیل شده است.

کف ریل: قسمتی از ریل است که بر روی تراورس یا صفحات لاستیکی قرار می‌گیرد و نیروهای عمودی و افقی (شامل طولی و عرضی) چرخ را به تکیه‌گاه‌های زیرین منتقل می‌کند.

کلاهک ریل: سخت‌ترین قسمت ریل است که در تماس مستقیم با چرخ ناوگان عبوری بوده و بیش‌ترین وزن ریل را به خود اختصاص داده است. عمده معایب و خرابی‌های ریل مربوط به کلاهک ریل است.

جان ریل: قسمتی از ریل است که حد واسط بین کف ریل و کلاهک آن است و عهده‌دار انتقال نیروهای وارده از کلاهک به کف ریل می‌باشد. اجزای مقطع ریل در شکل (۳-۱) به نمایش درآمده است.



شکل ۳-۱- اجزای پروفیل ریل

۳-۱-۲- وزن ریل

مهم‌ترین عامل طبقه‌بندی و شناسایی ریل‌ها، وزن واحد طول آن است. هر چه وزن واحد طول ریل بیش‌تر باشد، مشخصات هندسی آن مثل سطح مقطع، ممان اینرسی و لنگر مقاوم بالاتر است.

۳-۱-۳- عمر مفید ریل

مدت زمان کارکرد ریل بدون وقوع شکست، ساییدگی و خرابی‌های غیرمجاز عمر مفید ریل نام دارد. عمر مفید ریل به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها میزان بار ناخالص عبوری سالیانه، بار محوری عبوری، نحوه نگهداری، حداکثر سرعت عبوری، هندسه خط (شعاع قوس‌ها) و مقاومت خستگی ریل می‌باشد.

عمر مفید ریل از میانگین حاصل از دو رابطه تجربی (۳-۱) و (۳-۲) محاسبه می‌شود:

$$Y_1 = kW / D^{0.435} \quad (۳-۱)$$

در این رابطه:

Y_1 : عمر ریل بر حسب سال

W: وزن واحد طول ریل (بر حسب کیلوگرم بر متر)

D: بار ناخالص عبوری سالیانه (برحسب میلیون تن)

k: ضریب مربوط به نوع تعمیر و نگهداری. برای شرایط نگهداری در سطح متوسط و غیر مکانیزه k=۱/۱۹۹ توصیه می‌شود. در صورت شرایط نگهداری با کیفیت بالا و در صورت وجود اتصال در ریل k=۲/۵۹۸۴ و برای اتصال جوش درز ریل k=۲/۹۷۹۷ انتخاب می‌شود.

$$Y_2 = \frac{\lambda\sqrt{w^3}}{D} \quad (۳-۲)$$

در این رابطه:

Y_2 : عمر ریل بر حسب سال

W: وزن واحد طول ریل (برحسب کیلوگرم بر متر)

D: بار ناخالص عبوری سالیانه (برحسب میلیون تن)

λ : ضریب ثابت که برای ریل‌های معمولی معادل ۰/۹۵ و برای ریل‌های با عملیات حرارتی اضافه بین ۱/۳ تا ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود.

عمر مفید ریل بر حسب بار ناخالص عبوری، مطابق جدول (۳-۱) برای ریل UIC-۶۰ می‌باشد.

جدول ۳-۱- عمر مفید ریل (سال) بر حسب بار ناخالص عبوری برای ریل UIC-۶۰

بار ناخالص عبوری سال دهم بهره‌برداری (میلیون تن)	عمر مفید ریل (سال)، شرایط نگهداری غیر مکانیزه		عمر مفید ریل (سال)، نگهداری مکانیزه با وجود وصله ریل		عمر مفید ریل، نگهداری مکانیزه با جوش درز ریل	
	ریل معمولی	ریل با عملیات حرارتی	ریل معمولی	ریل با عملیات حرارتی	ریل معمولی	ریل با عملیات حرارتی
۲۰ ~ ۱۵	۲۱	۲۵	۳۲	۳۶	۳۵	۳۹
۱۵ ~ ۱۰	۲۶	۳۱	۳۹	۴۴	۴۲	۴۸
۱۰ ~ ۵	۳۵	۴۳	۵۱	۵۹	۵۵	۶۳
کم‌تر از ۵	۶۲	۷۸	۸۳	۹۹	۸۹	۱۰۵

۳-۱-۴- تنش‌های داخلی ریل

تنش‌های داخلی ریل تحت تاثیر بارهای بهره‌برداری و اثرات محیطی عبارتند از:

- تنش‌های مماسی ناشی از تماس ریل و چرخ،
- تنش‌های کششی و فشاری ناشی از خمش طولی ریل بر روی بالاست و تراورس،

- تنش‌های کششی و فشاری ناشی از خمش کلاهک ریل بر روی جان ریل،
- تنش‌های کششی و فشاری ناشی از انبساط و انقباض تحت تاثیر تغییرات دما،
- تنش‌های پسماند ناشی از نورد ریل.

مجموع تنش‌های فوق نباید از مقاومت مجاز ریل بیش‌تر باشد. مجموع تنش‌های پسماند ناشی از نورد ریل و تغییرات دما، برای ریل‌های با جوش سراسری و اتصال درزدار، نباید به ترتیب کم‌تر از ۱۸۰ و ۸۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شود.

۳-۱-۵- مقاومت کششی ریل (حد گسیختگی)

مقاومت ریل، حد تنش کششی مجاز یا مقاومت کششی فولاد آن است. مقاومت ریل بر حسب جنس فولاد و سختی ریل متفاوت است. مجموع کلیه تنش‌های وارد بر ریل تحت اثر بار محوری ناوگان عبوری، تنش‌های پسماند ناشی از نورد ریل و تغییرات درجه حرارت محیط، نباید از ۶۰ درصد تنش تسلیم فولاد ریل بیش‌تر باشد.

۳-۱-۶- خستگی ریل

کاهش تدریجی مقاومت ریل ناشی از بارگذاری تناوبی خستگی نام دارد. درصورتی‌که تنش موجود در ریل از تنش مجاز خستگی بیش‌تر شود، ریل دچار شکستگی می‌شود. مقاومت خستگی ریل با افزایش تعداد دفعات بارگذاری تا حدود ۲ میلیون دوره کاهش می‌یابد و پس از آن ثابت می‌ماند.

حداکثر دامنه تغییرات تنش ایجاد شده در ریل (قدرمطلق تفاضل تنش‌های حداکثر و حداقل ایجاد شده در ریل تحت تاثیر بارهای بهره‌برداری با در نظر گرفتن علامت مثبت برای تنش کششی و علامت منفی برای تنش فشاری) نباید از مقادیر مندرج در جدول (۳-۲) بیش‌تر باشد.

جدول ۳-۲- تنش مجاز خستگی در برخی از انواع فولاد ریل

گرید فولاد ریل	حداکثر تغییرات تنش مجاز (MPa)	
	ریل درزدار	ریل با جوش سراسری
R۲۰۰	۲۸۰	۲۳۰
R۲۶۰	۳۲۰	۲۸۰

۳-۱-۷- علائم شناسایی ریل

مطابق مدارک اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) بایستی انواع ریل‌های مختلف از نظر سختی فولاد و روش تولید آن با حک نشانه‌های زیر بر روی جان آن مشخص شود:

الف- علائم قراردادی برای روش تولید فولاد

تولید فولاد به روش زیمنس- مارتین

تولید فولاد به روش کوره الکتریکی

تولید فولاد به روش تصفیه آن با اکسیژن

تولید فولاد به روش توماس

ب- علائم قراردادی برای درجه‌بندی کیفی سختی فولاد بر اساس نام‌گذاری UIC-860:

سختی ۷۰۰ (MPa) بدون علامت

سختی ۹۰۰A (MPa)

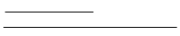
سختی ۹۰۰B (MPa)

سختی ۱۱۰۰ (MPa)

ج- علائم قراردادی برای درجه‌بندی کیفی سختی فولاد بر اساس نام‌گذاری EN13674:

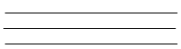
R۲۰۰ بدون علامت

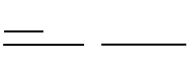
R۲۲۰

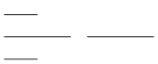
R۲۶۰ 

R۲۶۰Mn

R۲۶۰Cr

R۳۲۰Cr 

R۳۵۰HT 

R۳۵۰LHT 

۳-۲- مشخصات هندسی و خواص مکانیکی و شیمیایی ریل‌ها

طبیعت دینامیکی بارهای وارد بر ریل، بالا بودن میزان تنش‌های وارده و همچنین لـزوم ایجـاد یـک سـطح همـوار و مناسب برای عبور چرخ‌های وسیله نقلیه، باعث شده است تا مشخصات مکانیکی و هندسـی ویـژه‌ای بـرای ریـل در نظـر گرفته شود. مشخصات هندسی و خواص مکانیکی و شیمیایی ریل‌های مورد استفاده باید مطابق ضوابط زیر باشد.

۳-۲-۱- مشخصات هندسی ریل‌ها

انواع ریل‌های متداول در خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و خطوط قطـار شـهری و حومـه بـه ترتیـب مطـابق استاندارد یورکد و UIC، عبارتند از:

- ریل 46E2 (U33) با وزن ۴۶/۲۷ (۴۶/۳) کیلوگرم بر متر
- ریل 49E1 (S49) با وزن ۴۹/۳۹ (۴۹/۴۳) کیلوگرم بر متر
- ریل 54E1 (UIC54) با وزن ۵۴/۷۷ (۵۴/۴۳) کیلوگرم بر متر

- ریل 60E1 (UIC60) با وزن ۶۰/۲۱ (۶۰/۳۴) کیلوگرم بر متر
- ریل P50/R50[1] با وزن ۵۱/۸ کیلوگرم بر متر

مشخصات هندسی این ریل‌ها از قبیل سطح مقطع، ممان اینرسی، مرکز سطح، عرض، ارتفاع، ضخامت و سایر ابعاد در شکل‌های (۳-۲) تا (۳-۹) نشان داده شده است.

استفاده از سایر ریل‌ها با صلاحدید کارفرما و با انجام بازرسی‌های کیفی و کنترل‌های لازم از نظر کفایت مشخصات هندسی و خواص مکانیکی و شیمیایی در محدوده موارد مندرج در این نشریه، بلامانع است.

طول استاندارد ریل‌های تولیدی عبارت است از:

الف- طول ۱۲/۵۰ متری برای ایستگاه‌ها و خطوط درزدار، این ریل‌ها برای قوس‌های مختلف با کاهش طولی معادل ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر نیز سفارش داده می‌شود.

ب- طول ۱۸ متری برای خطوط اصلی خارج از ایستگاه

علت انتخاب ۱۸ متر به عنوان حداکثر طول، محدودیت طول واگن‌های حمل ریل است که حدود ۱۹ متر می‌باشد.

۳-۲-۲- مشخصات هندسی ریل‌های ویژه

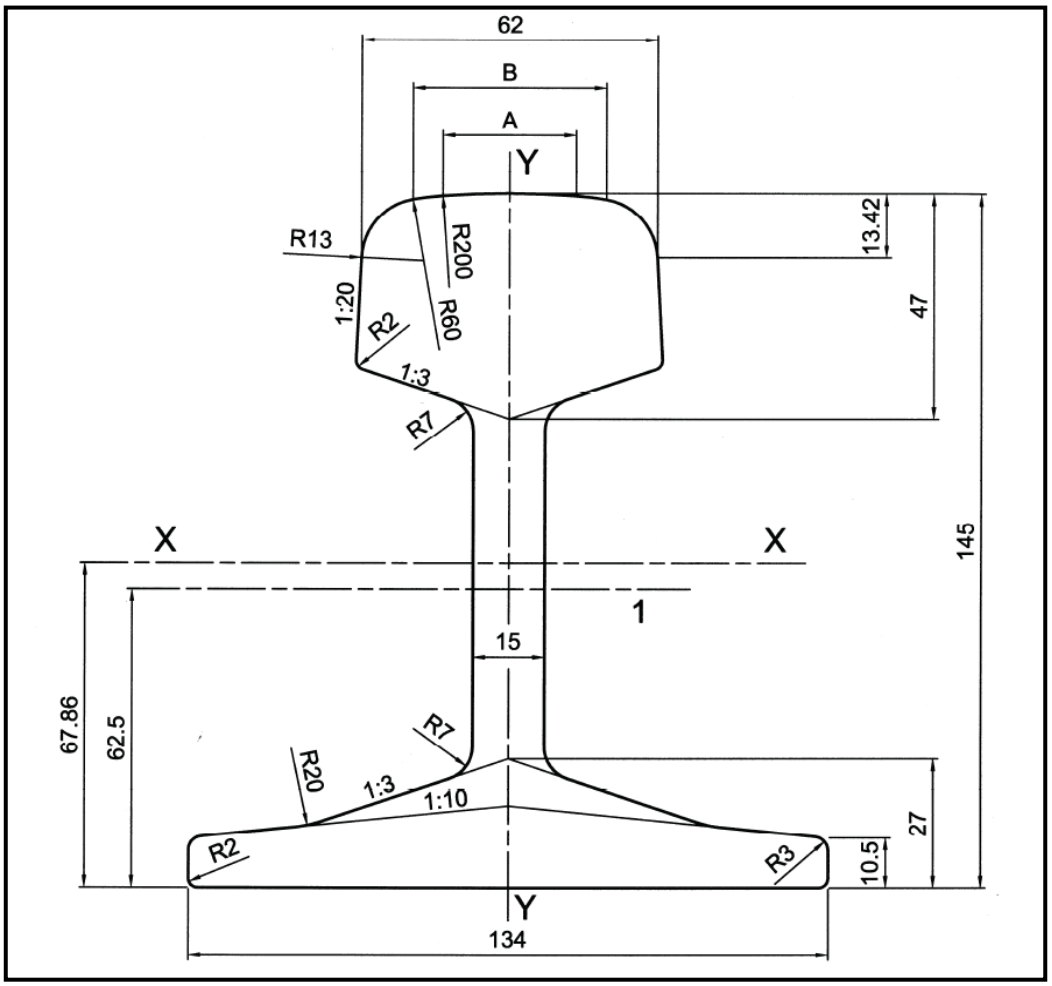
۳-۲-۲-۱- ریل قاشقی

این نوع ریل دارای شکل هندسی خاصی است و استفاده از آن در مناطق ویژه الزامی است. مهم‌ترین نوع ریل‌های قاشقی 57R1 (Ph37) و 59R2 (Ri59N) است که مشخصات هندسی آن ها مطابق استاندارد EN14811 در شکل‌های (۳-۷) و (۳-۸) نشان داده شده است. این نوع ریل‌ها باید روی اسکله‌ها، باراندازهای بنادر، خیابان‌های شهری و اماکنی که ریل به صورت هم‌سطح کار گذاشته شده و امکان تردد وسایط نقلیه ریلی و جاده‌ای را تامین می‌کند، استفاده شود.

۳-۲-۲-۲- ریل زیرسری جرثقیل سقفی

این نوع ریل که تیپ متداول آن ریل 60E1T1 (A61) است که مشخصات هندسی آن ها مطابق استاندار EN 13674-2 در شکل (۳-۹) نشان داده شده است. این ریل در کارخانجات تعمیرات اساسی لکوموتیو و واگن یا حتی سایر کارخانجات به عنوان ریل جرثقیل سقفی و یا زمینی (جرثقیل‌های دروازه‌ای) در روی اسکله‌ها و باراندازها استفاده می‌شود. همان طور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است، ارتفاع این نوع ریل کوتاهتر از ارتفاع سایر انواع ریل‌ها می‌باشد.

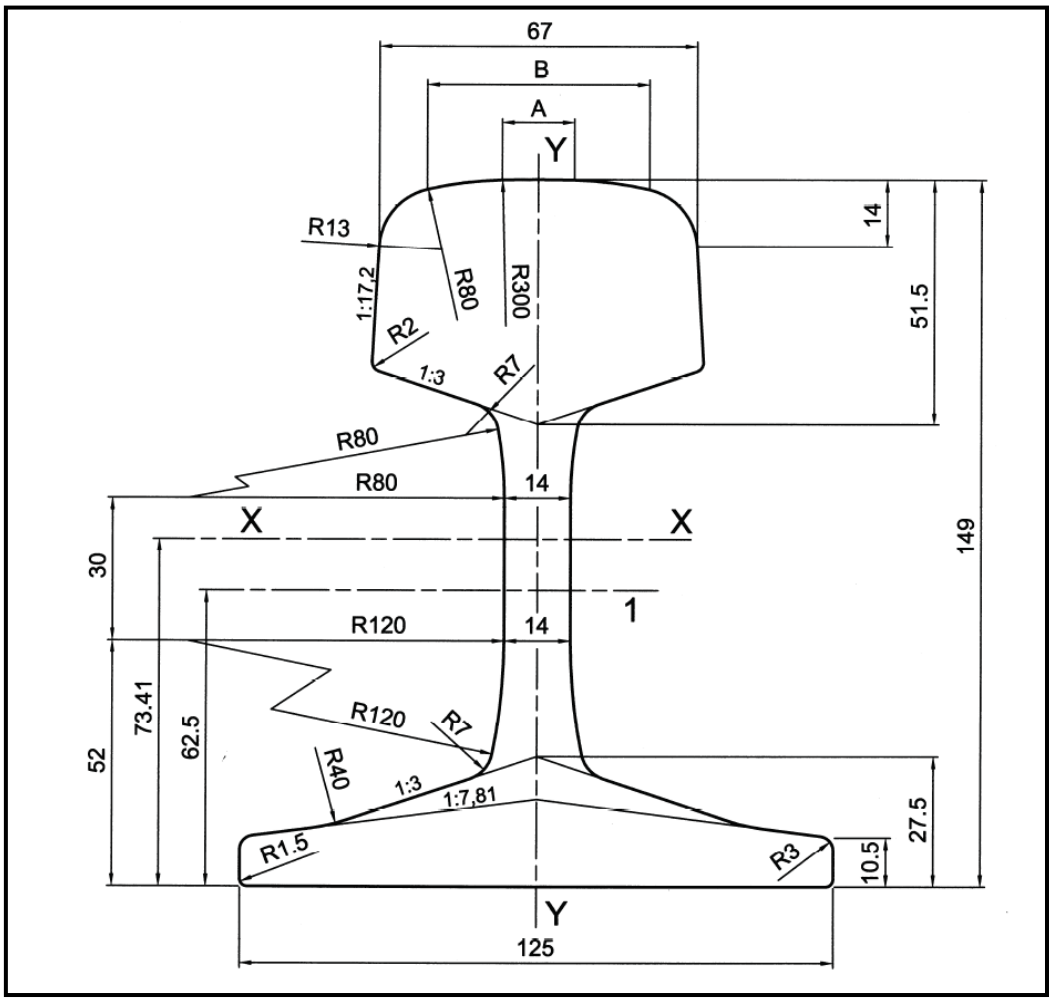
۱- مطابق استاندارد GOST P51685



وزن واحد طول	۴۶/۲۷ (Kg/m)
سطح مقطع	۵۸/۹۴ (cm^2)
ممان اینرسی حول محورx-x	۱۶۴۲/۷ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۳۲۹/۳ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۲۱۳ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۲۴۲/۱ (cm^3)
A	۲۷/۹۴۶ (mm)
B	۴۰/۵۸۸ (mm)
1	محور سوراخ کاری

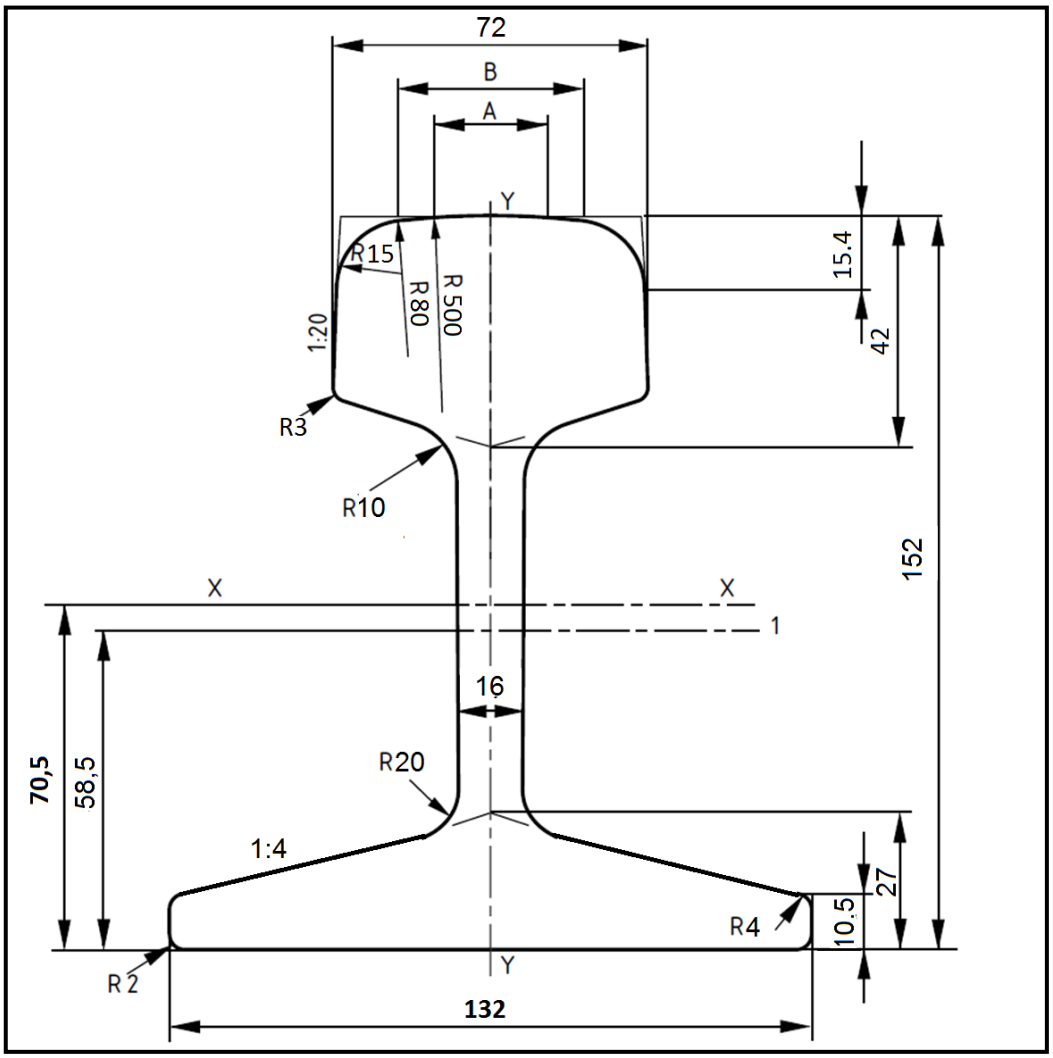
شکل ۳-۲- مقطع ریل 46E2 (U33)[1]

1- EN 13674-1



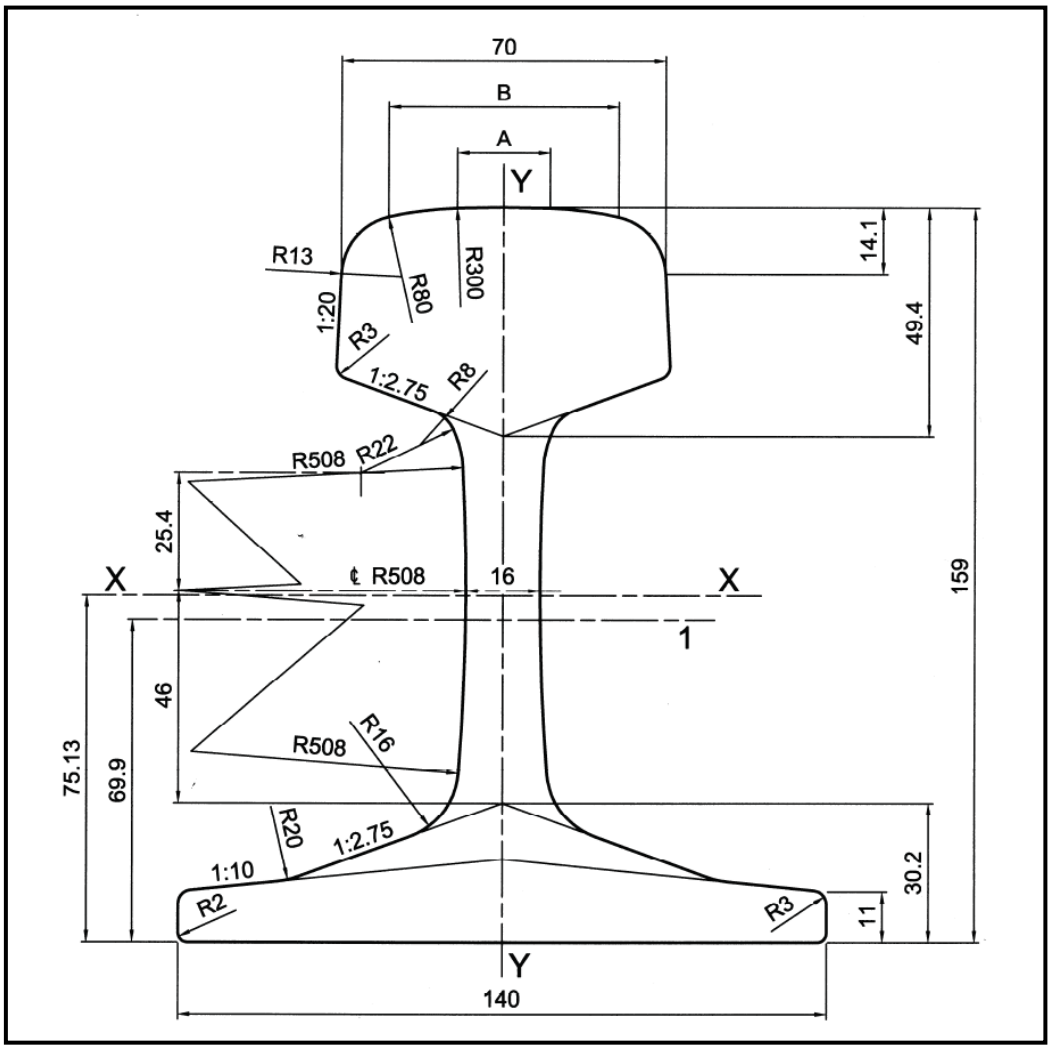
وزن واحد طول	۴۹/۳۹ (Kg/m)
سطح مقطع	۶۲/۹۲ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۱۸۱۶ (cm^4)
ممان اینرسی حول محورy-y	۳۱۹/۱ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۲۴۰/۳ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۲۴۷/۵ (cm^3)
A	۱۵/۲۶۷ (mm)
B	۴۶/۸۳۵ (mm)
1	محور سوراخ کاری

شکل ۳-۳- مقطع ریل 49E1 (S49)



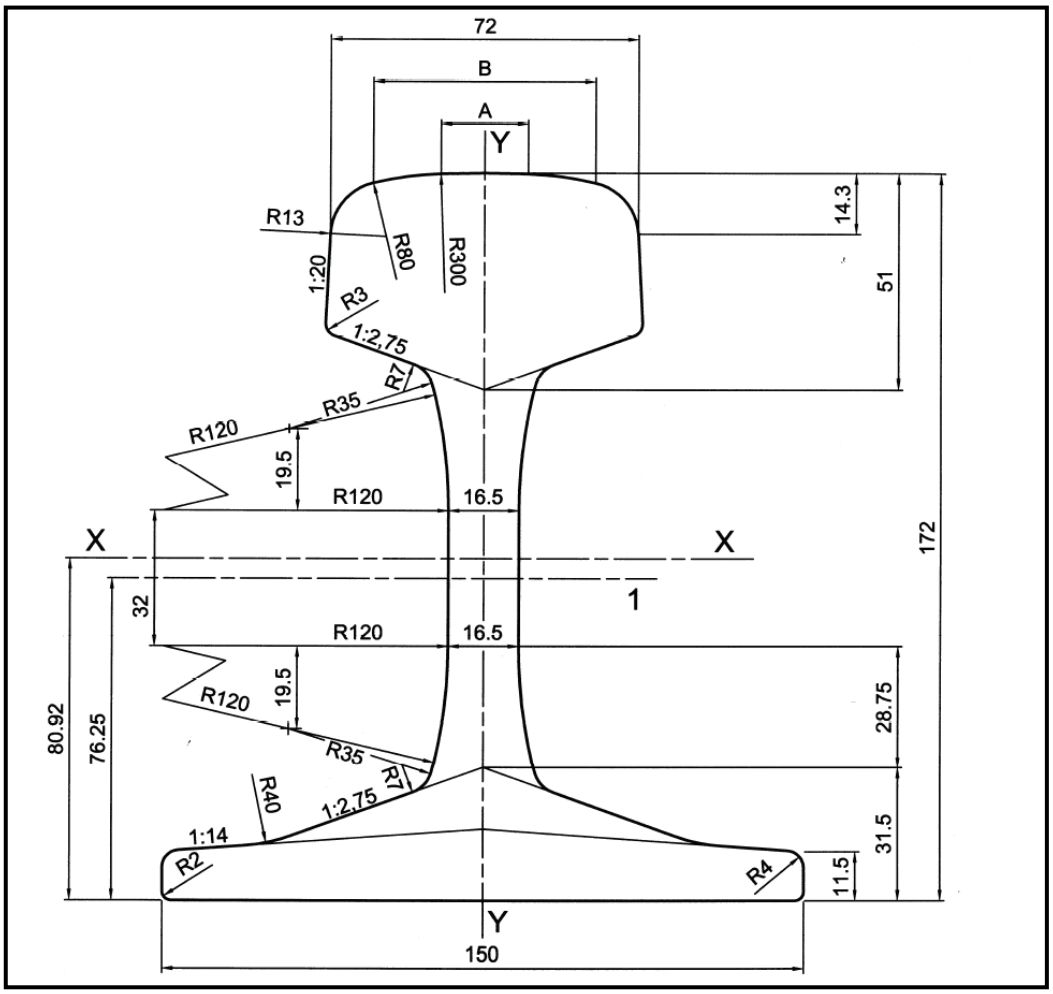
وزن واحد طول	۵۱/۸۰ (Kg/m)
سطح مقطع	۶۵/۹۹ (cm^2)
ممان اینرسی حول محورx-x	۲۰۱۱/۰ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۳۷۵/۰ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۲۴۵/۰ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۲۸۵/۰ (cm^3)
A	۲۰/۰ (mm)
B	۴۵/۷ (mm)
1	محور سوراخ کاری

شکل ۳-۴- مقطع ریل R50 (P50)



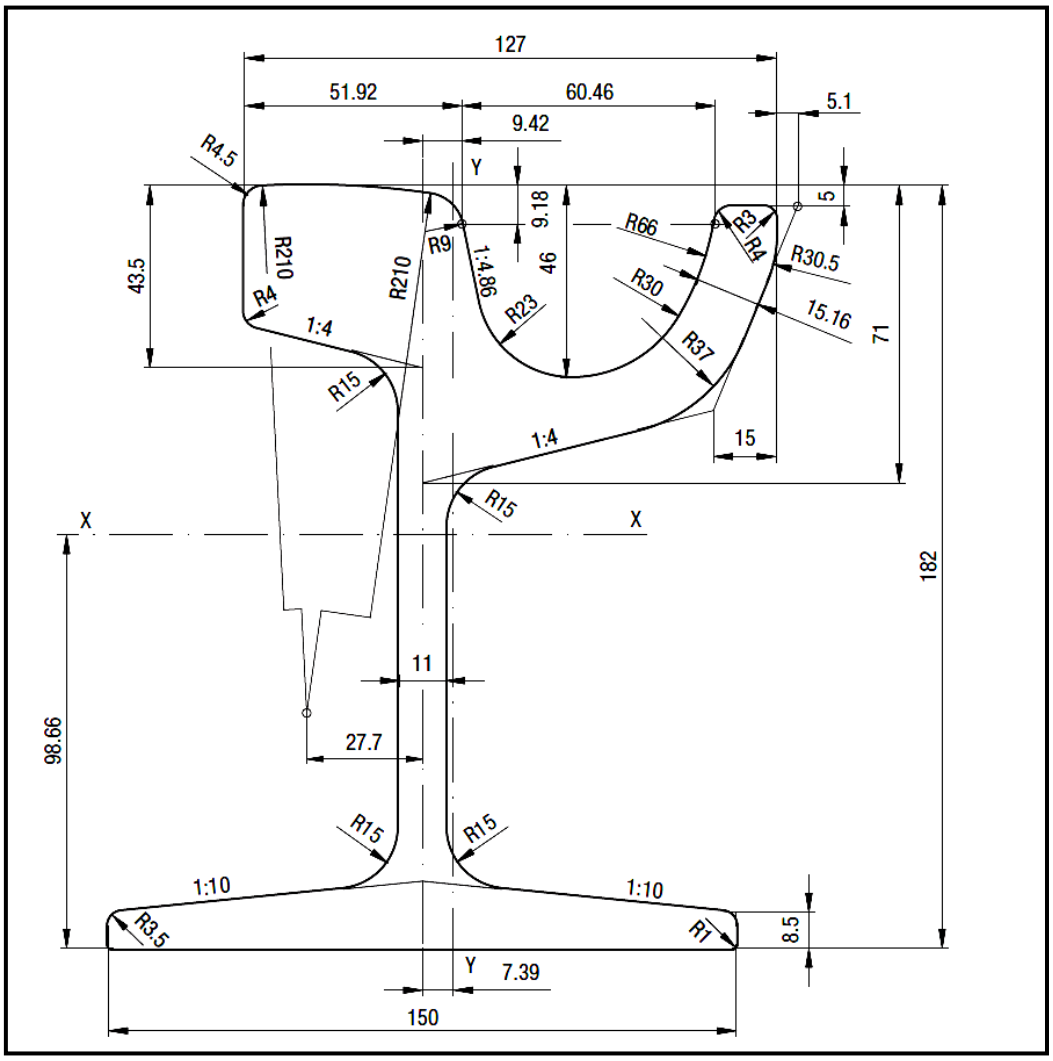
وزن واحد طول	۵۴/۷۷ (Kg/m)
سطح مقطع	۶۹/۷۷ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۲۳۳۷/۹ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۴۱۹/۲ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۲۷۸/۷ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۳۱۱/۲ (cm^3)
A	۲۰/۰۲۴ (mm)
B	۴۹/۷۲۷ (mm)
1	محور سوراخ کاری

شکل ۳-۵- مقطع ریل 54E1 (UIC54)



وزن واحد طول	۶۰/۲۱ (Kg/m)
سطح مقطع	۷۶/۷۰ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۳۰۳۸/۳ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۵۱۲/۳ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۳۳۳/۶ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۳۷۵/۵ (cm^3)
A	۲۰/۴۵۶ (mm)
B	۵۲/۰۵۳ (mm)
1	محور سوراخ کاری

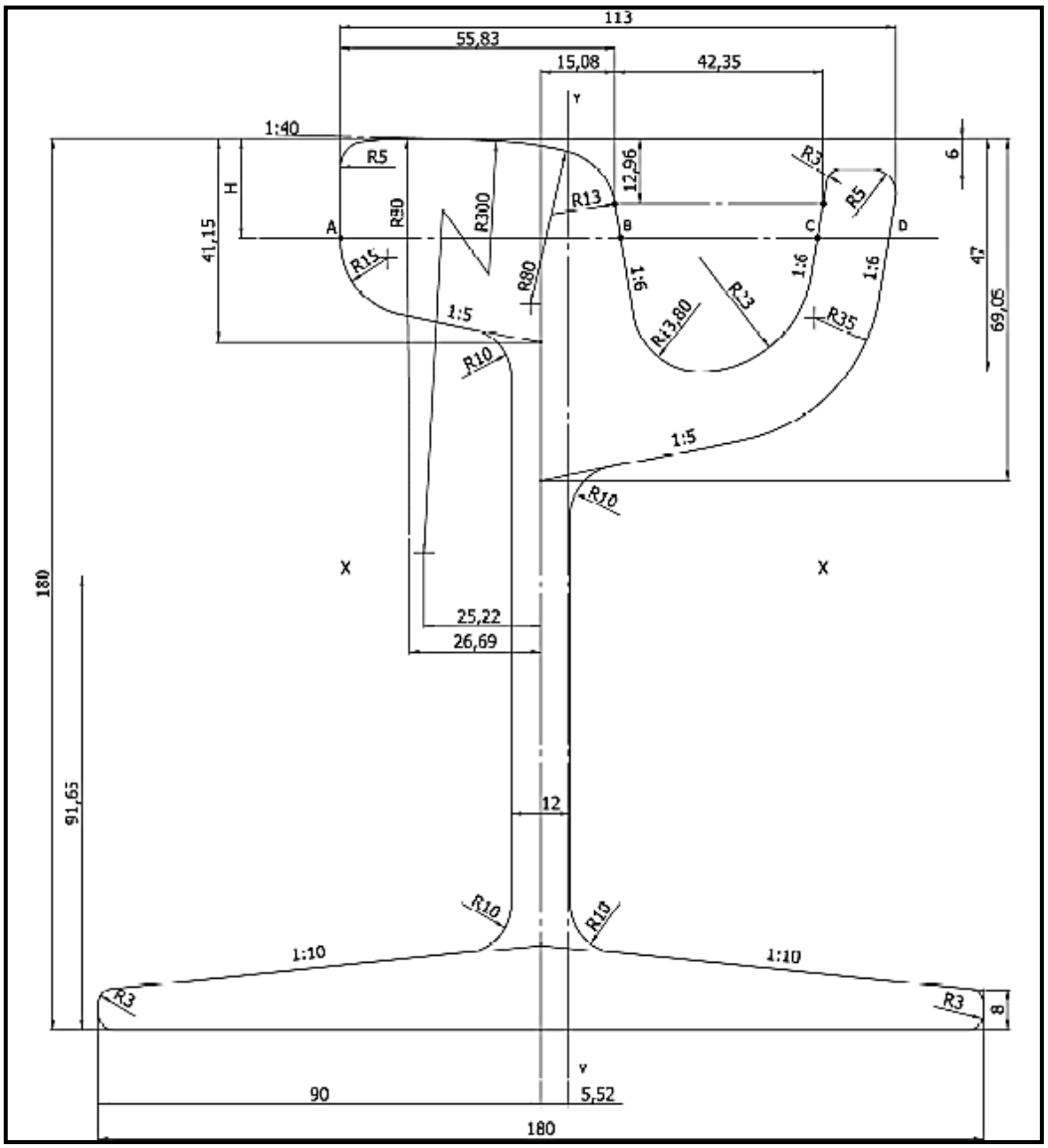
شکل ۳-۶- مقطع ریل 60E1 (UIC60)



وزن واحد طول	۵۶/۵۴ (Kg/m)
سطح مقطع	۷۲/۰۳ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۳۰۳۱ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۸۲۹/۸ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۳۰۷/۳ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۳۶۳/۷ (cm^3)

شکل ۳-۷- مقطع ریل قاشقی 57R1 (Ph 37)[1]

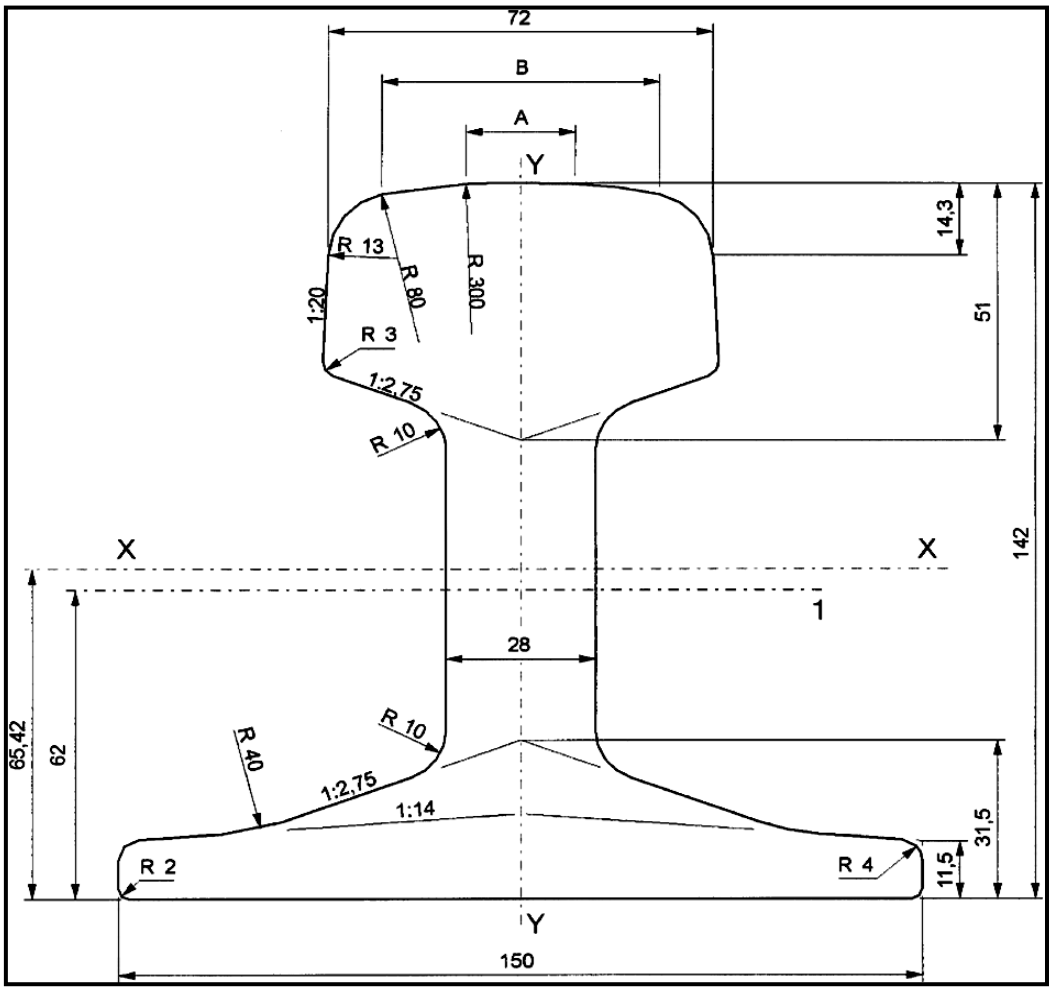
1- EN14811



وزن واحد طول	۵۸/۲۰ (Kg/m)
سطح مقطع	۷۴/۱۳ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۳۲۱۳/۸ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۸۷۷/۴ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۳۵۰/۷ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۳۶۳/۷ (cm^3)

شکل ۳-۸- مقطع ریل قاشقی 59R2 (Ri59N)[1]

1- EN14811



وزن واحد طول	۶۱/۱۱ (Kg/m)
سطح مقطع	۷۷/۸۴ (cm^2)
ممان اینرسی حول محور x-x	۱۸۶۶/۵ (cm^4)
ممان اینرسی حول محور y-y	۵۱۹/۹ (cm^4)
مدول مقطع فوقانی	۲۴۳/۷ (cm^3)
مدول مقطع تحتانی	۲۸۵/۳ (cm^3)
A	۲۰/۴۵۶ (mm)
B	۵۲/۰۵۳ (mm)
1	محور سوراخ کاری

شکل ۳-۹- مقطع ریل زیرسری جرثقیل سقفی 60E1T1 (A61)[1]

1- EN13674-2

۳-۲-۳- مشخصات مکانیکی ریل‌ها

مشخصات مکانیکی ریل بر حسب جنس فولاد ریل متفاوت است. بر اساس تقسیم‌بندی UIC ریل‌ها معمولا از سه نوع فولاد با درجه سختی ۷۰۰، ۹۰۰ و ۱۱۰۰ مگاپاسکال و بر اساس تقسیم‌بندی EN ریل‌ها از پنج نوع عمده فولاد، با درجه سختی‌های ۲۰۰ تا ۲۴۰، ۲۲۰ تا ۲۶۰، ۲۶۰ تا ۳۰۰، ۳۲۰ تا ۳۶۰ و ۳۵۰ تا ۳۹۰ برینل[1] ساخته می‌شوند. مدول ارتجاعی و وزن مخصوص هر سه نوع فولاد معادل ۲۱۰۰۰۰ مگاپاسکال و ۷/۸۵ تن بر مترمکعب است.

خواص مکانیکی ریل‌های مصرفی شامل تنش تسلیم، تنش کششی نهایی و درصد ازدیاد طول پس از ایجاد ترک باید مطابق جدول (۳-۳) باشد.

جدول ۳-۳- تنش کششی نهایی و درصد ازدیاد طول مجاز فولادهای مختلف

گرید فولاد	سختی (۱) (HBW)	تنش کششی نهایی (MPa)	درصد مجاز ازدیاد طول
R۲۰۰ (۲)	۲۰۰-۲۴۰	≥ ۶۸۰	≥ ۱۴
R۲۲۰	۲۲۰-۲۶۰	≥ ۷۷۰	≥ ۱۲
R۲۶۰ (۳)	۲۶۰-۳۰۰	≥ ۸۸۰	≥ ۱۰
R۲۶۰Mn (۴)	۲۶۰-۳۰۰	≥ ۸۸۰	≥ ۱۰
R۲۶۰Cr	۲۶۰-۳۰۰	≥ ۸۸۰	≥ ۱۰
R۳۲۰Cr (۵)	۳۲۰-۳۶۰	≥ ۱۰۸۰	≥ ۹
R۳۵۰HT	۳۵۰-۳۹۰	≥ ۱۱۷۵	≥ ۹
R۳۵۰LHT	۳۵۰-۳۹۰	≥ ۱۱۷۵	≥ ۹

۱- سختی در محل سطح غلتشی ریل
۲- معادل فولاد طبقه (MPa) ۷۰۰ بر اساس طبقه بندی UIC
۳- معادل فولاد طبقه (MPa) ۹۰۰A بر اساس طبقه بندی UIC
۴- معادل فولاد طبقه (MPa) ۹۰۰B بر اساس طبقه بندی UIC
۵- معادل فولاد طبقه (MPa) ۱۱۰۰ بر اساس طبقه بندی UIC

۳-۲-۴- ترکیبات شیمیایی فولاد ریل

فولادهای مصرفی در انواع ریل‌ها باید از نظر شیمیایی دارای ترکیبات خاصی باشند. رعایت این ترکیبات و مقادیر مجاز آن طبق جدول (۳-۴) و (۳-۵) برای ریل‌های مورد استفاده الزامی است.

1- HBW

جدول ۳-۴- درصد وزنی عناصر شیمیایی انواع ریل‌ها[۱]

عنصر شیمیایی / گرید فولاد	کربن (c)	منگنز (Mn)	سیلیسیم (Si)	فسفر (P)	گوگرد (S)	کروم (Cr)
۷۰۰	۰/۴-۰/۶	۰/۸-۱/۲۵	۰/۰۵-۰/۳۵	≤۰/۰۵	≤۰/۰۵	-
۹۰۰A	۰/۶-۰/۸	۰/۸-۱/۳	۰/۱-۰/۵	≤۰/۰۴	≤۰/۰۴	-
۹۰۰B	۰/۵۵-۰/۷۵	۱/۳-۱/۷	۰/۱-۰/۵	≤۰/۰۴	≤۰/۰۴	-
۱۱۰۰	۰/۶-۰/۸۲	۰/۸-۱/۳	۰/۳-۰/۹	≤۰/۰۳	≤۰/۰۳	۰/۸-۱/۳
R۲۰۰	۰/۴-۰/۶	۰/۷-۱/۲۰	۰/۱۵-۰/۵۸	≤۰/۰۳۵	۰/۰۰۸-۰/۰۳۵	≤۰/۱۵
R۲۲۰	۰/۵-۰/۶	۱/۰۰-۱/۲۵	۰/۲-۰/۶	≤۰/۰۲۵	۰/۰۰۸-۰/۰۲۵	≤۰/۱۵
R۲۶۰	۰/۶۲-۰/۸	۰/۷-۱/۲۰	۰/۱۵-۰/۵۸	≤۰/۰۲۵	۰/۰۰۸-۰/۰۲۵	≤۰/۱۵

ادامه جدول ۳-۴- درصد وزنی عناصر شیمیایی انواع ریل‌ها[۲]

گرید فولاد ریل	حالت نمونه	درصد وزنی عناصر								
		C	Si	Mn	P max.	S max	Cr	Al max.	V max.	N max.
R200	مایع	0,40/0,60	0,15/0,58	0,70/1,20	0,035	0,035	0,15 max	0,004	0,030	0,009
	جامد	0,38/0,62	0,13/0,60	0,65/1,25	0,040	0,040	0,15 max	0,004	0,030	0,010
R220	Liquid	0,50/0,60	0,20/0,60	1,00/1,25	0,025	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,008
	Solid	0,50/0,60	0,20/0,60	1,00/1,25	0,025	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,008
R260	Liquid	0,62/0,80	0,15/0,58	0,70/1,20	0,025	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,009
	Solid	0,60/0,82	0,13/0,60	0,65/1,25	0,030	0,030	0,15 max	0,004	0,030	0,010
R260Mn	Liquid	0,55/0,75	0,15/0,60	1,30/1,70	0,025	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,009
	Solid	0,53/0,77	0,13/0,62	1,25/1,75	0,030	0,030	0,15 max	0,004	0,030	0,010
R260Cr	Liquid	0,40/0,60	0,20/0,45	1,20/1,60	0,025	0,025	0,40/0,65	0,004	0,060	0,009
	Solid	0,40/0,60	0,20/0,45	1,20/1,60	0,030	0,030	0,40/0,65	0,004	0,060	0,010
R320Cr	Liquid	0,60/0,80	0,50/1,10	0,80/1,20	0,020	0,025	0,80/1,20	0,004	0,18	0,009
	Solid	0,58/0,82	0,48/1,12	0,75/1,25	0,025	0,030	0,75/1,25	0,004	0,20	0,010
R350HT	Liquid	0,72/0,80	0,15/0,58	0,70/1,20	0,020	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,009
	Solid	0,70/0,82	0,13/0,60	0,65/1,25	0,025	0,030	0,15 max	0,004	0,030	0,010
R350LHT	Liquid	0,72/0,80	0,15/0,58	0,70/1,20	0,020	0,025	0,30 max	0,004	0,030	0,009
	Solid	0,70/0,82	0,13/0,60	0,65/1,25	0,025	0,030	0,30 max	0,004	0,030	0,010

درصد اکسیژن و هیدروژن موجود در ساختار فولاد ریل نیز بایستی مطابق استاندارد EN 13674-2 باشد.

۱- بر اساس آیین‌نامه UIC

۲- بر اساس آیین‌نامه EN 13674-2

۳-۳- کنترل مشخصات هندسی، وزن، شیمیایی و مکانیکی ریل

۳-۳-۱- کنترل مشخصات هندسی ریل

تمامی ریل‌های مورد استفاده باید از نظر انطباق با مشخصات هندسی ذکر شده در این نشریه مورد بررسی قرار گیرند. در صورتی که مشخصات ریل خارج از رواداری‌های ذکر شده در نشریه باشد، استفاده از آن مجاز نیست.

تمامی ابعاد و اندازه‌های ریل باید در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و به وسیله شابلون‌های مخصوصی که در ۲ سری و هر سری در ۲ اندازه با حداکثر و حداقل رواداری مجاز توسط تولیدکننده و با تایید کارفرما ساخته می‌شود، کنترل شود.

این شابلون‌ها عبارتند از:

- شابلون سنجش ارتفاع ریل
- شابلون سنجش پروفیل تاج ریل
- شابلون سنجش عرض تاج ریل
- شابلون سنجش تقارن هندسی مقطع
- شابلون سنجش ارتفاع جان ریل
- شابلون سنجش ضخامت جان ریل
- شابلون سنجش عرض کف ریل
- شابلون سنجش فاصله بین سوراخ‌ها و کف ریل
- شابلون سنجش ضخامت کف ریل
- شابلون تعیین قطر سوراخ‌ها
- شابلون اندازه‌گیری فاصله بین سوراخ‌ها و لبه ریل

رواداری‌های مجاز مربوط به ابعاد هندسی ریل مصرفی در خطوط، سوزن و تقاطع‌ها مطابق با شکل (۳-۱۰) و جدول (۳-۵) و شابلون‌های آن‌ها مطابق پیوست (۱) ذکر شده است. شابلون‌های مورد استفاده بایستی از مواد مقاوم در برابر سایش ساخته شود. حداکثر رواداری مجاز طول ریل نیز در جدول (۳-۶) خلاصه شده است.

جدول ۳-۵- رواداری‌های مجاز مربوط به ابعاد هندسی ریل در خطوط، سوزن‌ها و تقاطع‌ها[1]

مشخصات هندسی	اندازه (میلی‌متر)	رواداری مجاز (میلی‌متر)		شابلون مورد استفاده(۳)
		کلاس Y	کلاس X	
ارتفاع ریل(۱) (H)	H<۱۶۵	+۰/۵ −۱/۰	+۰/۵ −۰/۵	شکل ۳-۲۷
	H≥۱۶۵	+۰/۶ −۱/۱	+۰/۶ −۰/۶	
پروفیل تاج ریل (C)	-	+۰/۶ −۰/۶	+۰/۶ −۰/۶	شکل ۳-۲۸
عرض تاج ریل (۲) (WH)	-	+۰/۶ −۰/۵	+۰/۵ −۰/۵	شکل ۳-۲۹
تقارن هندسی مقطع (As)	-	+۱/۲ −۱/۲	+۱/۲ −۱/۲	شکل ۳-۳۰ و شکل ۳-۳۱
ارتفاع جان ریل (HF)	H<۱۶۵	+۰/۵ −۰/۵	+۰/۵ −۰/۵	شکل ۳-۳۲
	H≥۱۶۵	+۰/۶ −۰/۶	+۰/۶ −۰/۶	
ضخامت جان ریل(۳) (WT)	-	+۱/۰ −۰/۵	+۱/۰ −۰/۵	شکل ۳-۳۳
عرض کف ریل (WF)	-	+۱/۵ −۱	+۱ −۱	شکل ۳-۳۴
ضخامت کف ریل (TF)	-	+۰/۷۵ −۰/۵	+۰/۷۵ −۰/۵	شکل ۳-۳۵
عمود بود انتهای ریل	-	+۰/۶ −۰/۶	+۰/۶ −۰/۶	-
سایر ابعاد	H<۱۶۵	+۰/۵ −۰/۵	+۰/۵ −۰/۵	-
	۱۸۰ ≤ H≤ ۱۶۵	+۰/۶ −۰/۶	+۰/۶ −۰/۶	
پیچش(۴)	-	≤۲/۵	≤۲/۵	≤ 2.5

۱- رواداری ارتفاع ریل سوزن و تقاطع‌ها ۰/۷± میلی متر است.

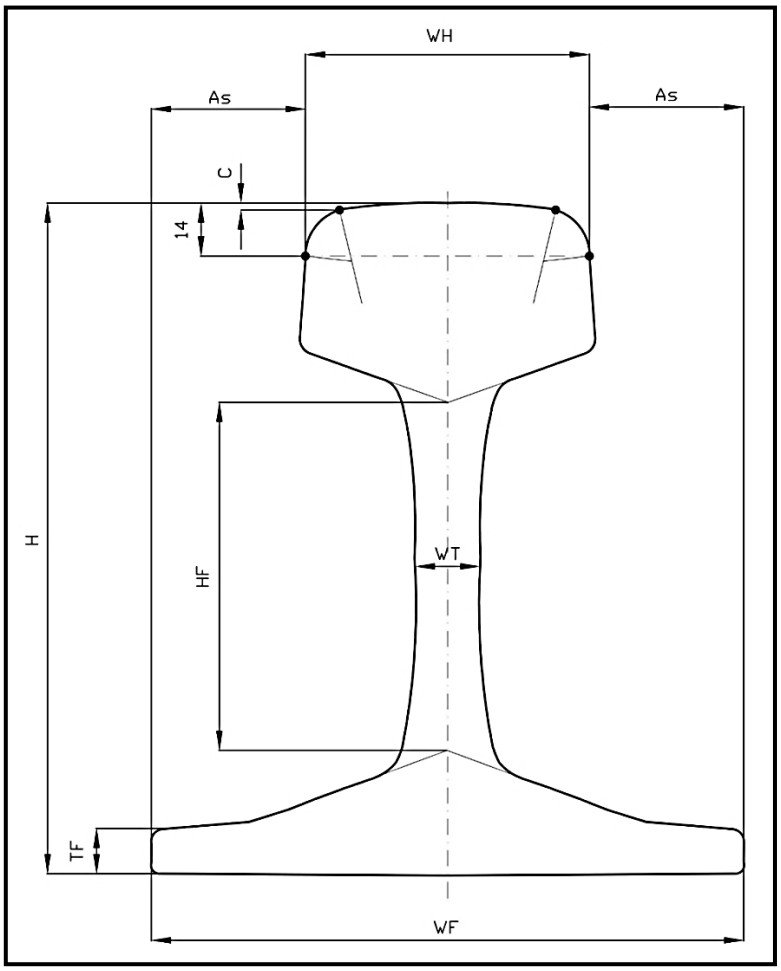
۲- عرض تاج ریل به فاصله ۱۴ میلی‌متر از سطح فوقانی آن اندازه‌گیری شود.

۳- ضخامت جان در نقطه‌ای که کم‌ترین است، اندازه‌گیری می‌شود.

۴- در صورت مشاهده پیچش ریل نسبت به اندازه‌گیری فاصله کف ریل مطابق شکل اقدام گردد.

در شرایط معمول و با توافق بین تولیدکننده و خریدار، می‌توان از شابلون‌های مختلف ولی با کاربرد مشابه با آنچه در پیوست (۱) نشان داده شده است، استفاده کرد. لیکن در صورت بروز اختلاف، ملاک شابلون‌های مشخص شده در پیوست یاد شده می‌باشد.

1- EN13674-1, EN13674-2



شکل ۳-۱۰- پارامترهای رواداری‌های مجاز مربوط به ابعاد هندسی ریل

جدول ۳-۶- رواداری مجاز طول ریل (میلی‌متر)

طول ریل (m)	با سوراخ‌های اتصالی در انتها	سایر ریل‌ها (بدون سوراخ و یا یک سر سوراخ)
L ≤۲۴	±۳	±۶
۲۴ <L ≤۴۰	±۴	±۱۰
۴۰ <L ≤۶۰	±۱۰	
۶۰ <L	±۲۰	

مقادیر ذکر شده جهت اندازه‌گیری رواداری طول ریل در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

رواداری مجاز برای قطر سوراخ‌های ریل برای نصب اتصالی باید مطابق جدول (۳-۷) باشد.

جدول ۳-۷- رواداری مجاز برای قطر سوراخ ریل (میلی‌متر)

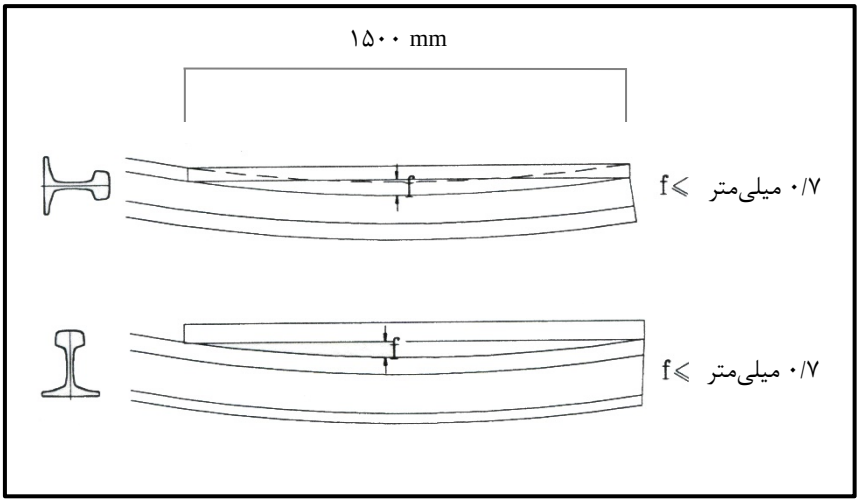
بعد	رواداری (میلی‌متر)
۳۰< قطر	± ۰/۷
۳۰≤ قطر	± ۰/۵

رواداری موقعیت مرکز سوراخ‌ها نسبت به انتهای ریل و کف پاشنه ریل بایستی مطابق جدول (۳-۸) باشد.

جدول ۳-۸- رواداری مجاز موقعیت مرکز سوراخ‌ها (میلی‌متر)

بعد	رواداری (میلی‌متر)
۳۰< قطر	± ۰/۷
۳۰≤ قطر	± ۰/۵

ناراستی افقی (انحنای عرضی ریل در امتداد طول آن) و ناراستی عمودی (انحنای قائم ریل در امتداد طول آن) مطابق شکل (۳-۱۱) حداکثر به میزان ۰/۷ میلی‌متر در طول ریل ۱/۵ متر مجاز است. حداکثر پیچش مجاز انتهای ریل به میزان ۰/۴ میلی‌متر در طول ۱ متر است.



شکل ۳-۱۱- رواداری مجاز ناراستی افقی و عمودی ریل

مقطع برش ریل باید در جهت قائم و افقی گونیا باشد. انحراف برش از وضعیت قائم باید با جدول (۳-۹) مطابقت داشته باشد:

جدول ۳-۹- انحراف مجاز از گونیا بودن مقطع برش ریل

انحراف مجاز	رواداری (میلی‌متر)
انحراف مقطع برش از وضعیت قائم	± ۰/۶
انحراف مقطع برش از وضعیت افقی	± ۰/۶

۳-۳-۲- کنترل وزن ریل

وزن واحد قابل قبول ریل، وزنی است که از حاصل ضرب سطح مقطع ریل در وزن مخصوص آن، (۷/۸۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب) در طول یک متر (ضرب در ۱۰۰ سانتی متر) به دست می‌آید. متوسط وزن واحد طول نمونه‌های انتخابی از ریل‌ها نباید از ۹۸ درصد وزن واحد طول قابل قبول کم‌تر باشد. در صورت بالا بودن وزن واحد طول ریل‌ها، بیش‌تر از ۱ درصد اضافی وزن نسبت به وزن واحد طول قابل قبول، نباید در محاسبه ارزش اقتصادی در نظر گرفته شود.

۳-۳-۳- کنترل ترکیبات شیمیایی

ریل‌ها باید از نظر میزان وجود کربن، منگنز، سیلسیم، فسفر، گوگرد، کروم و سایر عناصر مورد آزمایش قرار گیرند. به ازاء هر ۱۵۰ تن مواد مذاب، حداقل باید یک نمونه‌گیری از آن انجام شود و مورد بررسی شیمیایی قرار گیرد. در صورتی که میزان مواد مذاب تولیدی در یک نوبت بیش از ۱۵۰ تن باشد اخذ ۲ نمونه در ابتدا و انتهای کار الزامی است. ترکیبات شیمیایی ریل باید مطابق مقادیر ذکر شده در جدول (۳-۴) باشد.

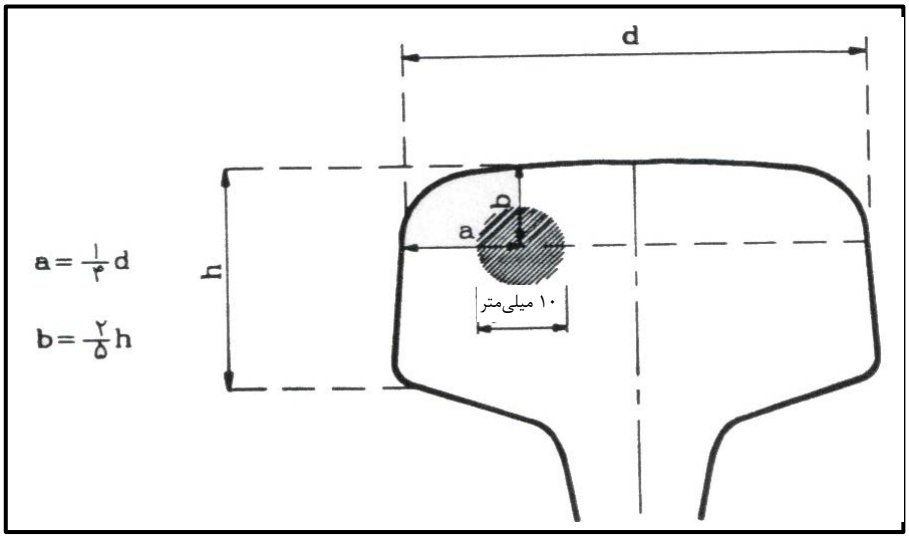
۳-۳-۴- کنترل مشخصات مکانیکی ریل

آزمایش‌های کنترل کیفیت ریل شامل آزمایش تعیین مقاومت کششی، آزمایش سقوط وزنه، آزمایش ماکروسکپی، آزمایش ضربه، آزمایش سختی‌سنجی و آزمایش تست اولتراسونیک (ماورای صوت) می‌باشد که انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت کششی نهایی برای تعیین مشخصات مکانیکی الزامی است. آزمایش سختی‌سنجی برای ریل‌هایی که تحت عملیات حرارتی باشند الزامی است.

الف- آزمایش تعیین مقاومت کششی

مقاومت کششی نهایی و درصد ازدیاد طول با شروع ترک خوردگی در فولاد ریل باید بر روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۱۰ میلی‌متر، که از کلاهک ریل مطابق شکل (۳-۱۲) تهیه می‌شود، انجام شود. طول این نمونه‌ها بر حسب دستگاه آزمایش کشش بین ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر متغیر است. نتایج آزمایش مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول باید مطابق مقادیر ذکر شده در جدول (۳-۳) باشد.

تعداد نمونه‌های لازم برای انجام آزمایش کشش با نظر تولیدکننده و با تایید کارفرما تعیین می‌شود. لیکن انجام یک آزمایش برای هر ۱۵۰ تن مواد مذاب، ضروری است. درصورتی‌که میزان مواد مذاب تولیدی در یک نوبت بیش از ۱۵۰ تن باشد، اخذ ۲ نمونه در ابتدا و انتهای کار الزامی است.



شکل ۳-۱۲- آزمایش مقاومت کششی ریل

ب- آزمایش سقوط وزنه:

این آزمایش شامل سقوط یک وزنه به وزن تقریبی ۱۰۰۰ کیلوگرم از ارتفاع مشخص بر روی پروفیل ریل است. وزن و ارتفاع سقوط وزنه انتخابی باید توسط سازنده ریل و تایید کارفرما تعیین شود. پس از انجام این آزمایش نباید هیچ‌گونه ترکی در ریل ایجاد شود. تعداد آزمایش‌های لازم با نظر سازنده و تایید کارفرما صورت می‌گیرد لیکن انجام بیش از یک آزمایش برای هر ۱۰۰ تن ریل لازم نیست.

ج- آزمایش ماکروسکپی

این آزمایش برای بررسی سطح مقطع ریل صورت می‌گیرد که در دو مرحله انجام می‌گیرد، اول بازرسی با چشم غیرمسلح و دوم تصاویر سولفاری که نتایج آن‌ها باید به قرار زیر باشد:

۱- در بررسی مقطع تمیز شده نباید هیچ‌گونه اثری از شکاف در مقطع ریل وجود داشته باشد.

۲- تصاویر به دست آمده نباید عیوبی را بیش از آنچه در الگوهای استاندارد آمده است نشان دهد.

د- آزمایش ضربه

در این آزمایش طول کوتاهی از ریل در حالت گرم و یا یک ریل خنک شده انتخاب می‌شود و شکاف متغیری در مرکز آن ایجاد می‌گردد. سپس توسط پرس یا دستگاه آزمایش ضربه مناسب، نیرویی بر نمونه آزمایش اعمال شده به طوری که جهت شکاف در آن در جهت کشش قرار گیرد. پس از انجام آزمایش سطح مقطع ریل باید به صورت چشمی بازرسی شده و نباید لایه لایه شدن و حفره‌های رشته‌ای را نشان دهد.

ه- آزمایش سختی

انجام این آزمایش در مورد ریل‌های معمولی الزامی نمی‌باشد ولی در مورد ریل‌هایی که تحت عملیات حرارتی باشند الزامی است. این آزمایش مطابق استاندار ۱-۶۵۰۶ -ISO می‌باشد.

و- آزمایش تست اولتراسونیک (ماورای صوت)

در مواردی که امکان بروز عیوب داخلی ریل را نمی‌توان با مشاهده چشمی تعیین کرد، از این آزمایش استفاده می‌گردد. به طور کلی دو روش برای بازرسی وجود دارد:

۱- استفاده از تجهیزات دستی

۲- استفاده از قطار اولتراسونیک

۳-۴- انتخاب ریل

۳-۴-۱- عوامل موثر بر انتخاب ریل

عوامل متعددی بر انتخاب ریل مناسب موثرند که مهم‌ترین این عوامل شامل بار محوری لکوموتیو، بار محوری واگن‌ها، سرعت ناوگان عبوری و بار ناخالص عبوری سالیانه است.

۳-۴-۲- ضوابط انتخاب مقطع ریل

وزن واحد طول ریل مورد استفاده، نباید از مقادیر محاسبه شده در روابط (۳-۳) تا (۳-۸) کم‌تر باشد:

$$w \geq 2.25 PL_{max} \quad (۳-۳)$$

$$w \geq 2.5 pc_{max} \quad (۳-۴)$$

$$w \geq 0.4 V_{max} \quad (۳-۵)$$

$$w \geq 24.4 \sqrt[4]{T_{max}} \quad (۳-۶)$$

$$w \geq 1.13 \left(1+\sqrt[4]{T_{max}}\right)\left(1+0.012 V_{max}\right)^{0.667} {pc_{max}}^{0.667} \quad (۳-۷)$$

$$w \geq 1.2 \left(1+\sqrt[4]{T_{max}}\right)\left(1+0.012 V_{max}\right)^{0.667} {PL_{max}}^{0.667} \quad (۳-۸)$$

که در این روابط داریم:

W: وزن واحد طول ریل بر حسب کیلوگرم بر متر

PL_{max}: حداکثر بار محوری لکوموتیو بر حسب تن

Pc_{max}: حداکثر بار محوری واگن بر حسب تن

V_{max}: حداکثر سرعت ناوگان عبوری بر حسب کیلومتر بر ساعت

T_{max}: حداکثر بار ناخالص عبوری سالیانه بر حسب میلیون تن

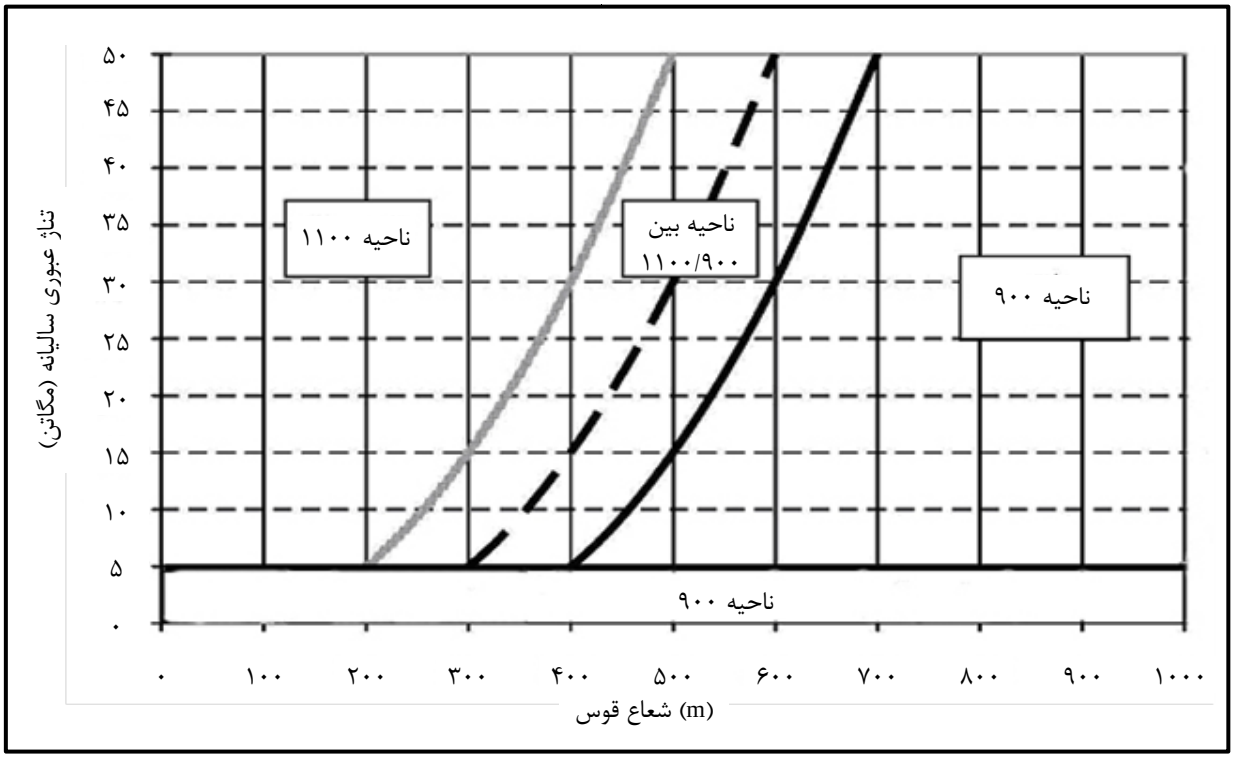
به کار بردن ریل‌های مستعمل و پروفیل اصلاح شده‌ای که سایشی بیش از سایش مجاز خطوط اصلی (بند ۳-۶-۱-۱) دارند، در خطوط اصلی مجاز نیست. این نوع ریل‌ها فقط در خطوط فرعی (طبقه E) با میزان بار ناخالص عبوری سالیانه کم‌تر از ۲ میلیون تن و سرعت کم‌تر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت قابل استفاده می‌باشد.

از به‌کار بردن ریل‌های نامرغوب و غیر استاندارد مانند ریل‌های با دست برش داده شده، ریل‌های تابدار و ریل‌های مستعمل و باز شده از قوس‌ها باید خودداری شود.

رعایت ضوابط این نشریه در انتخاب مقطع ریل مناسب، برای خطوط جدید و نوسازی خطوط قدیمی الزامی است.

۳-۴-۳- ضوابط انتخاب نوع فولاد ریل

استفاده از ریل‌های با استحکام کششی ۹۰۰ مگاپاسکال و یا گرید R260 در تمامی خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و خطوط قطار شهری و حومه مجاز است. برای انتخاب استحکام کششی بین ۹۰۰ مگاپاسکال (گرید R260) و ۱۱۰۰ مگاپاسکال و یا گریدهای R۳۵۰HT و R۳۲۰Cr برای ریل، می‌بایست با در نظر گرفتن تناژ عبوری سالیانه و شعاع قوس در نمودار (۳-۱) و همچنین با در نظر گرفتن کفایت چرخ‌هایی که در تماس با ریل‌های استحکام کششی ۱۱۰۰ مگاپاسکال و یا گریدهای R۳۵۰HT و R۳۲۰Cr می‌باشند انتخاب استحکام کششی مناسب ریل صورت گیرد. با توجه به سختی چرخ‌های موجود در ناوگان راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و قطار شهری و حومه، انتخاب استحکام کششی کم‌تر از ۹۰۰ مگاپاسکال (و یا کم‌تر از گرید R260) برای ریل مجاز نمی‌باشد.



نمودار ۳-۱- انتخاب استحکام کششی ریل با توجه به تناژ عبوری سالیانه و شعاع قوس

۳-۵- درز ریل

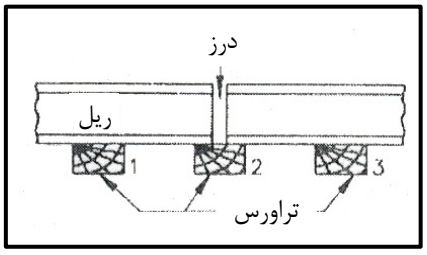
درز ریل جهت نگهداری انتهای دو ریل متوالی در محل مناسب در تراز قائم و افقی مورد نیاز می‌باشد. درز ریل‌ها از ضعیف‌ترین قسمت‌های یک خط محسوب می‌شوند. گاهی مقاومت خط در یک درز ریل تا ۵۰٪ کاهش می‌یابد. در یک درز موارد زیر را باید رعایت کرد:

- دو انتهای ریل با عبور قطار باید در جهت افقی و قائم بدون اعوجاج و تغییر مکان بیش از حد باقی بماند. این مورد در جلوگیری از پرش خط و عدم انحراف از مسیر صحیح ضروری می‌باشد.

- درز ریل باید دارای سختی و مقاومتی مشابه با خود ریل باشد و در جهت قائم و افقی از الاستیسیته لازم برخوردار باشد.
- درز ریل‌ها باید فضای کافی برای انبساط و انقباض ریل را جهت تاثیرات درجه حرارت فراهم آورند.
- یک درز ریل باید به آسانی قابلیت جدا شدن از خط را بدون اختلال در کل سازه خط داشته باشد و نباید اجازه لهیده شدن سر ریل را بدهد.
- درز ریل باید موارد بالا را با کم‌ترین هزینه اولیه و نگهداری برآورده سازد.

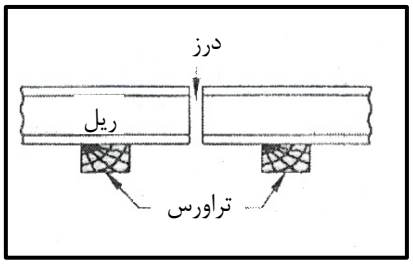
۳-۵-۱- انواع درز ریل

الف-درز ریل دارای تکیه‌گاه: هنگامی که مطابق شکل (۳-۱۳) انتهای ریل‌ها در محل درز، بر روی یک تراورس به نام تراورس «درز» قرار داده شده است، درز ریل دارای تکیه‌گاه داریم.



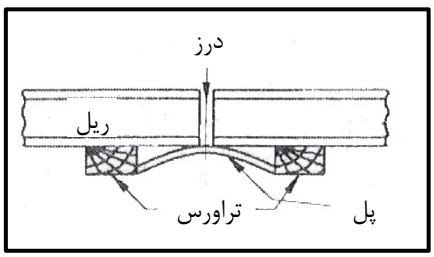
شکل ۳-۱۳- درز ریل دارای تکیه‌گاه

ب- **درز ریل‌های معلق:** در محل درز ریل مطابق شکل (۳-۱۴) تراورسی وجود ندارد و به عبارتی درز ریل به صورت معلق قرار می‌گیرد. به تراورس‌های مجاور درز در این حالت اصطلاحا تراورس‌های شل یا تراورس‌های شانه اطلاق می‌شود.



شکل ۳-۱۴- درز ریل معلق

ج- **درزهای تقویت شده:** اگر در حالت قبل مطابق شکل (۳-۱۵)، توسط یک صفحه مسطح یا خمیده به نام «پل» درز ریل حمایت شود، درز ریل‌های تقویت شده حاصل می‌گردد.



شکل ۳-۱۵- درز ریل تقویت شده

د- **درز ریل‌های جوش شده:** این درزها از ایده‌آل‌ترین درزهای راه‌آهن محسوب می‌شوند. ضوابط درز جوشکاری شده می‌باید مطابق بند (۳-۵-۴) این نشریه باشد.

هـ- **درزهای ناهمگون:** هنگامی که دو پروفیل ریل مختلف با یکدیگر در یک درز ریل برخورد می‌نمایند از این‌گونه درزها استفاده می‌گردد. در این حالت اتصالی‌های مخصوصی جهت تثبیت دو ریل در جای خود به کار برده می‌شوند.

و- **درزهای عایق‌بندی شده:** هنگامی که نوعی ماده عایق در درز ریل قرار داده می‌شود تا از عبور جریان الکتریسیته در محدوده درز جلوگیری نماید، یک درز عایق‌بندی شده حاصل می‌شود.

ز- **درزهای انبساطی:** نصب درز انبساط ریل در نقاطی از خط که تنش‌های طولی ریل در اثر تغییرات درجه حرارت، تاثیرات شتاب و ترمزگیری قطار، تغییر مکان سازه‌های مرتفع و رفتار بلند مدت بتن از مقادیر مجاز افزایش می‌یابد، لازم است. در پل‌ها با توجه به اندرکنش پل و خط، بررسی لزوم استفاده از درزهای انبساطی مطابق استاندارد UIC774، محاسبه تنش طولی ایجاد شده در ریل‌ها در محل درزهای انبساطی پل‌ها که به فواصل درزهای پل وابسته است، الزامی است. همچنین کنترل تنش طولی ریل در محل درز انساط پل‌ها در روسازی های غیر بالاستی (دال-خط) الزامی است.

سیستم پابند مورد استفاده در محدوده درز انبساط ریل باید تا حد امکان سازگار و مشابه سیستم پابند در قطعات مجاور خط باشد. به عبارت دیگر، مدول سختی پابند در محل درز انبساط باید مشابه با سختی در قطعات مجاور درز انبساط باشد. طراحی درز انبساط باید به گونه‌ای باشد که عرض خط را در تمام طول خط حفظ کند. پیشنهاد می‌شود که تنها یک نوع طرح درز انبساط در تمامی طول خط اجرا شود. در طراحی درز انبساط باید شرایط آب و هوایی و هندسی موقعیت نصب درز به طور دقیق مد نظر قرار گیرد. درز انبساط ریل در مجاورت سازه های خاص مانند پل و تونل (در هر دو طرف) تعبیه می‌شود. موقعیت پیشنهادی این درز انبساط، باید به گونه‌ای باشد که کم‌ترین تاثیر را بر ایمنی، آسایش و بارگذاری دینامیک در خلال بهره‌برداری داشته باشد.

۳-۵-۲- وضع قرارگرفتن درزها نسبت به یکدیگر

وضع درزها نسبت به یکدیگر را می‌توان به یکی از سه نوع متقابل، متناوب یا متقارب اجرا کرد:

الف-درزهای متقابل: هنگامی که درزها روی یک خط عمود بر محور راه‌آهن قرار گیرند. هنگام عبور محورها از این درزها هر دو چرخ با هم پایین می‌روند.

ب- **درزهای متناوب:** هنگامی که درز یک رشته ریل خط در وسط رشته دیگر قرار دارد.

ج- **درزهای متقارب:** این گونه درزها در دو رشته ریل مقابل یکدیگر نیستند، بلکه قدری از هم فاصله دارند. این فاصله ممکن است یک یا چند متر و یا حتی به اندازه فاصله دو تراورس متوالی باشد.

۳-۵-۳- وصله‌های ریل

استفاده از وصله‌های ریل فقط در خطوط با طبقه C۴، D۴ و E مجاز است. برای اتصال دو ریل متوالی باید از وصله مخصوص به خود آن ریل استفاده شود. سوراخ‌های مربوط به اتصال وصله ریل باید از قبل در انتهای ریل با دقت کافی ایجاد شود. در این نوع اتصال پیش‌بینی درز بین دو ریل متوالی به میزان مشخص ضروری است. فاصله بین دو ریل متوالی بر حسب درجه حرارت محیط در زمان نصب ریل و حداکثر درجه حرارت ریل در مدت بهره‌برداری باید مطابق مقادیر ذکر شده در جدول (۳-۱۰) انتخاب شود.

وصله‌های ریل باعث کاهش سختی ریل، خرابی سطح ریل و انتهای اتصالات، ایجاد سطح ناهموار حرکت، ایجاد لرزش‌های نامطلوب، افزایش ضریب دینامیکی بارها، افزایش تنش‌های اعمال شده بر بالاست و بستر، افزایش نشست دائمی خط و افزایش سرعت زوال خط می‌شود. لذا توصیه می‌شود تا حد امکان از به کارگیری وصله‌ها در ریل اجتناب شود.

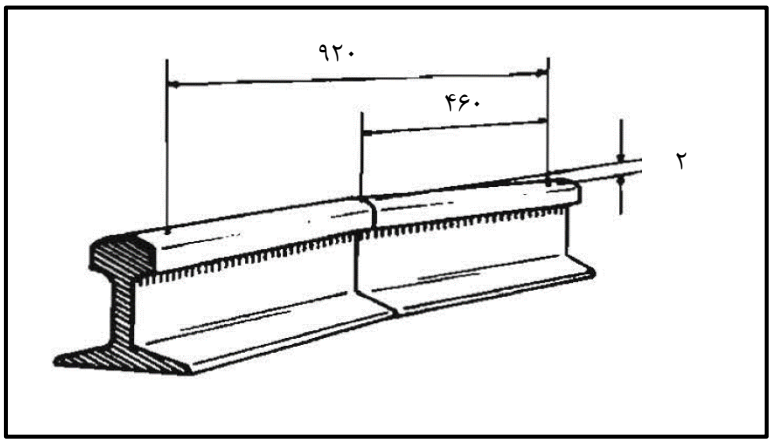
جدول ۳-۱۰- اندازه درز بین دو ریل با اتصال وصله‌ای (میلی‌متر)

درجه حرارت ریل‌گذاری (سانتی‌گراد)	حداکثر درجه حرارت ریل در محل نصب (سانتی‌گراد)			
	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
بیش از ۴۰	۳	۳	۴	۵
۳۰ تا ۴۰	۳	۴	۵	۶
۲۰ تا ۳۰	۴	۵	۶	۷
۶ تا ۲۰	۶	۷	۸	۹
۶- تا ۶	۸	۹	۱۰	۱۱
۲۰- تا ۶-	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲
کم‌تر از ۲۰-	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴

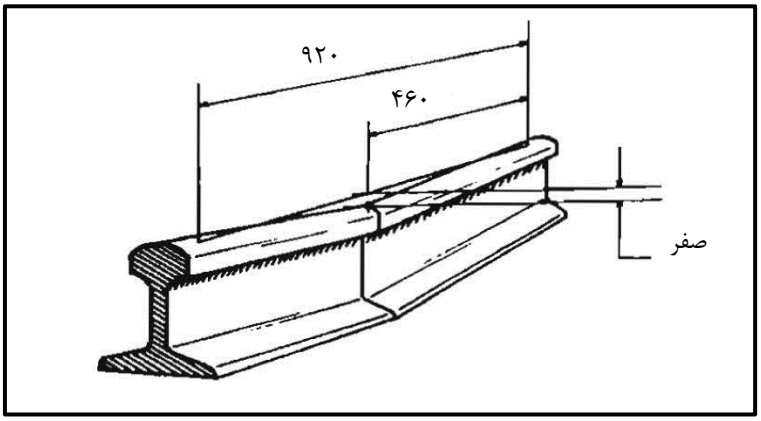
۳-۵-۴- جوش درز ریل

جوش درز ریل باید همراه با عملیات تمیز کردن سطح ریل، پیش گرم کردن ریل، تراز کردن امتداد و لبه ریل‌ها و سرد کردن تدریجی طی حداقل یک ساعت انجام شود.

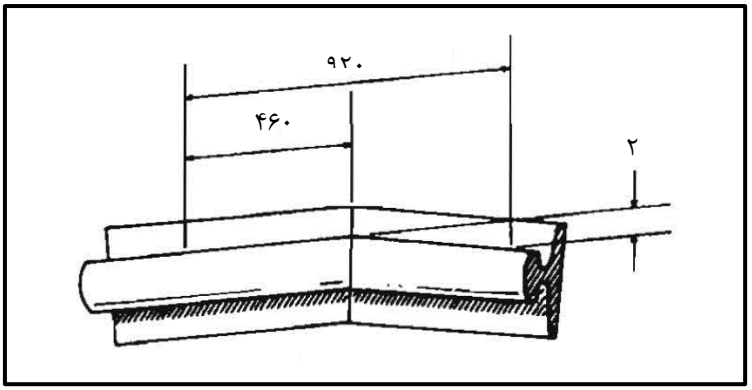
همان‌طور که در شکل (۳-۱۶) آمده است، خروج از محور قائم در محل جوشکاری نباید بیش از ۲ میلی‌متر در طول ۴۶ سانتی‌متری از طرفین محل جوش باشد. همچنین هیچ‌گونه افتادگی قائمی مجاز نمی‌باشد، شکل (۳-۱۷). خروج از محوریت افقی یا تاب خوردگی در محل جوش حداکثر مجاز، ۲ میلی‌متر در طول ۴۶ سانتی‌متری از طرفین محل جوش می‌باشد، شکل (۳-۱۸).



شکل ۳-۱۶- حداکثر خروج از محور قائم در محل جوشکاری (ابعاد به میلی‌متر)



شکل ۳-۱۷- افتادگی قائم در محل جوش (ابعاد به میلی‌متر)



شکل ۳-۱۸- حداکثر خروج از محوریت افقی (تاب خوردگی) در محل جوش (ابعاد به میلی‌متر)

جوش سراسری ریل در همه خطوط، تا حداکثر طول ۱۰۰ کیلومتر مجاز می‌باشد، لیکن به منظور امکان اتصال دوراهه‌ها و عملیات عایق‌بندی معمولا جوش سراسری در بین دو ایستگاه متوالی صورت می‌گیرد. طول ریل‌های جوشکاری شده در قوس‌های با شعاع کم‌تر از ۴۰۰ متر نباید بیش‌تر از ۳۷/۵ متر باشد.

۳-۵-۴-۱- ریل‌های با جوشکاری پیوسته (CWR)

در تکنولوژی جوشکاری پیوسته (CWR) ریل‌ها به طور ممتد به هم جوشکاری شده، به طوری که طول پیوسته آن‌ها حداقل یک کیلومتر باشد. در به کارگیری روش جوشکاری پیوسته می‌باید به مزایا و معایب حاصل از آن که در زیر ذکر شده است، توجه داشت و در انتخاب این روش باید کلیه ملاحظات ذکر شده مورد توجه قرار گیرند. توصیه می‌شود در تمامی خطوط اصلی از جوشکاری پیوسته ریل‌ها استفاده شود.

الف- در جوشکاری پیوسته می‌توان به مزایای زیر دست یافت:

- کاهش هزینه‌های نگهداری خط با حذف تعداد زیادی از اتصالی‌ها،
- اضافه شدن عمر ریل‌ها و وسایل نقلیه راه‌آهن،
- تقلیل حرکت‌های ارتعاشی روی خط جوشکاری شده که باعث کاهش سر و صدا و فراهم آوردن یک حرکت روان می‌شود،
- کاهش تنش‌های روی تراورس در محل درز،
- به حداقل رسیدن یا حتی حذف لغزش خط،
- امکان رسیدن به سرعت‌های بالاتر،
- بر طرف شدن مساله شکستگی ریل در محل درز.

ب- در جوشکاری پیوسته امکان بروز معایب زیر وجود دارد:

- کمانش خط و شکست ریل‌ها در اثر تنش‌های حرارتی ریل،
- دشواری تعویض ریل‌های جوش شده و تراورس‌های آن‌ها،
- هزینه‌های اولیه بالاتر به علت جوشکاری، انتقال و عملیات ریل‌گذاری.

۳-۵-۴-۲- روش‌های جوشکاری ریل و ریل‌های آسیب دیده سوزن‌ها و تقاطعات

در این بخش به روش‌های جوشکاری مورد استفاده برای ریل‌ها در طول مسیر و ریل‌های آسیب دیده سوزن و تقاطعات اشاره شده است. بدیهی است هر یک از روش‌های یاد شده بایستی کاملا مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد و در محل مناسب اجرا شوند تا مقطع مورد نظر دچار اشکال نشود و ایمنی لازم جهت حرکت تامین شود. همچنین یادآور می‌شود روش‌هایی که وابستگی آن‌ها به اپراتور کم‌تر باشد قابلیت اطمینان بیش‌تری خواهد داشت. روش‌های جوشکاری می‌تواند به چهار روش زیر صورت گیرد:

الف- جوشکاری الکتریکی سر به سر:

در این روش جریان بالای الکتریسیته از انتهای ریل‌هایی که باید به یکدیگر جوش داده شوند، عبور می‌نماید. میزان فضای آزاد بین دو ریل متغیر می‌باشد و دو ریل باید تا درجه حرارت مورد نیاز گرم شوند تا بتوان عمل جوشکاری را به انجام رساند. پس از آنکه دو ریل به دمای مورد نظر رسیدند، به یکدیگر متصل می‌شوند. در هنگام اتصال بین دو ریل فلش الکتریکی به وجود می‌آید. در این هنگام جریان الکتریکی متوقف می‌شود و دو انتهای ریل به یکدیگر فشرده می‌شوند تا در یکدیگر فرو روند و جوشکاری به اتمام برسد. با توجه به مسائل اجرایی و اقتصادی استفاده از جوشکاری الکتریکی سر به سر در ریل‌ها در خطوط با طبقه A و B و مطابق با استاندارد EN 14587 توصیه می‌شود.

ب- جوشکاری ترمیت:

در این روش از ترکیب شیمیایی دو ماده اصلی اکسید آهن و آلومینیوم جهت اتصال دو ریل بهره گرفته می‌شود. بدین صورت که ابتدا اکسید آهن و آلومینیوم به صورت پودر با یکدیگر مخلوط می‌شوند و سپس به وسیله یک فتیله محترق می‌گردند. پس از احتراق مخلوط یک فرایند شیمیایی بسیار گرمازا حاصل می‌گردد. پس از این فرایند، مذاب به دست آمده درون درز ریل جای می‌گیرد.

آزمایشات کنترل کیفیت جوش ترمیت در بخش (۳-۵-۴-۳) این نشریه آمده است.

ج- جوشکاری قوس الکتریک[1] (شیار باریک):

در این روش جریان از درون محل جوشکاری و در آن واحد از درون یک میله باریک به نام الکترود عبور داده می‌شود. با نزدیک شدن الکترود به قطعه محل جوشکاری قوس الکتریکی بین قطعه و الکترود به وجود می‌آید که باعث ذوب شدن فلز الکترود می‌گردد. فلز ذوب شده در درز محل جوشکاری قرار می‌گیرد و پس از ذوب شدن اتصالی محکم به وجود می‌آید. توصیه می‌شود که از این جوشکاری صرفا برای اصلاح نقاط خورده شده در سوزن‌ها و تقاطعات ریل‌های آسیب دیده و سایر عملیات‌های جوشکاری موضعی استفاده شود.

د- جوشکاری فشار گاز:

در این روش گرمای بسیار زیادی با مخلوط کردن گاز اکسیژن و استیلن به وجود می‌آید که باعث ذوب شدن فلز الکترود و جای‌گیری آن در درز ریل می‌شود.

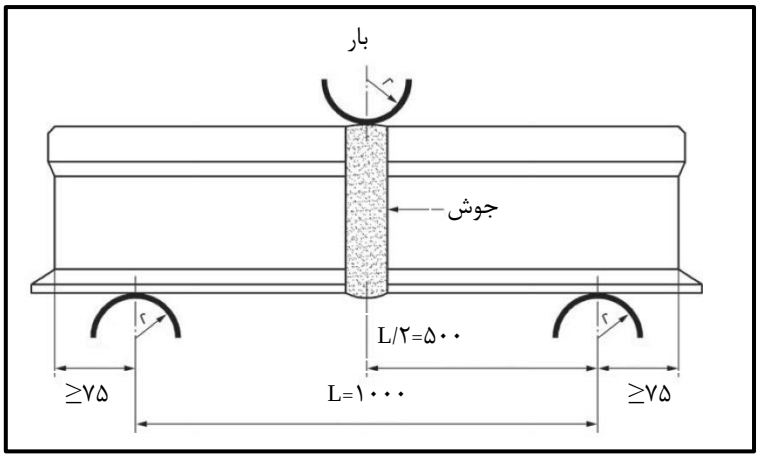
1- Enclosed Arc Welding

۳-۵-۴-۳- آزمایش‌های کنترل کیفیت جوش ترمیت

آزمایش‌های کنترل کیفیت جوش به دو بخش آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب تقسیم می گردد. آزمایش‌های مخرب که بایستی مطابق با استاندارد EN 14730-1 جهت اخذ تایید پروسه جوشکاری است در ادامه معرفی شده است. جهت انجام تست‌های غیرمخرب که جهت پذیرش بخشی یا همه جوش‌های انجام شده در خط انجام می‌شود ضوابط استاندارد EN 14730-2 مورد استفاده قرار گیرد.

الف- آزمایش خمش استاتیک:

این آزمایش جزو آزمایش‌های مخرب است. در این آزمایش ریل بر روی دو تکیه‌گاه به فاصله یک متر طوری قرار داده می‌شود که درز ریل جوشکاری شده دقیقا در وسط دهانه یک متری قرار گیرد، شکل (۳-۱۹). جزییات آزمایش می‌بایست مطابق EN-14730-1 باشد.



شکل ۳-۱۹- آزمایش خمش استاتیک جوش ترمیت

که در آن $25mm \leq r \leq 70mm$، حداقل طول نمونه ۱۱۵۰ mm و نرخ بارگذاری بایستی کم‌تر از ۶۰ kN/s باشد.

ب- آزمایش خستگی (آزمایش خستگی با بار نوسان کننده):

آزمایش خستگی برای جوش‌های ترمیت جهت تعیین مقاومت خستگی جوش طراحی شده است. این آزمایش جزو آزمایش‌های مخرب است. به منظور تطبیق آزمایش با شرایط واقعی آزمایش از ریل‌هایی که کاملا سنگ‌زنی شده‌اند و تحت تاثیر یک نیروی نوسانی تقریبا برابر با بارگذاری واقعی هستند استفاده می‌شوند. جوش‌ها باید قابلیت تحمل ۲ میلیون سیکل بارگذاری بدون شکست یا ترک خوردگی را داشته باشند.

ج- آزمایش سختی:

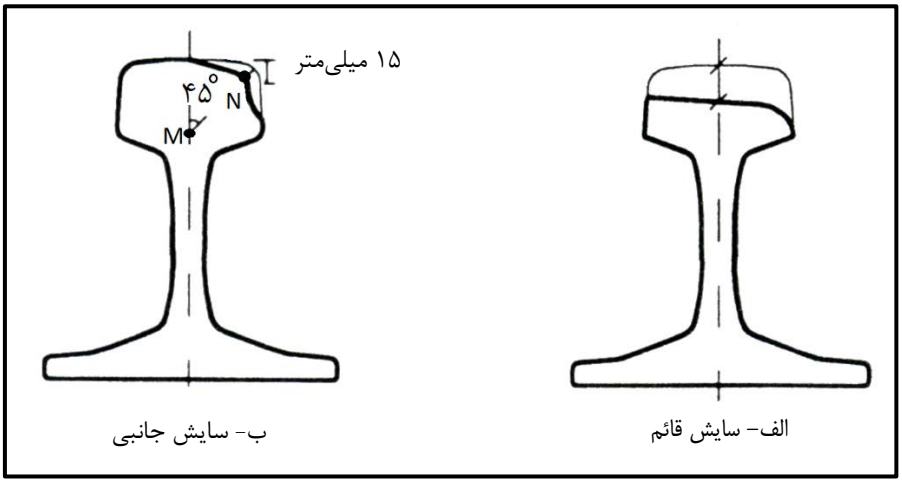
سختی جوش درز ریل باید متناسب با سختی ریل‌های مجاور باشد تا از له‌شدگی و فرورفتگی درز ریل جلوگیری شود. بنابراین پودرهای ترمیت بایستی طوری تهیه شوند که سختی آن‌ها از سختی ریل‌های مجاور بیش‌تر باشد.

۳-۶- خرابی‌های ریل

معایب داخلی در هنگام تولید ریل و تغییرات خواص هندسی و مکانیکی ریل تحت تاثیر عبور و مرور قطار که امر بهره‌برداری را دچار اختلال سازد، خرابی ریل نام دارد. برخی از خرابی‌های ریل ظاهری است و با مشاهده چشمی یا اندازه‌گیری با ابزار ساده قابل تشخیص است. در صورتی که وجود هر یک از خرابی‌ها در ریل تشخیص داده شود باید سریعا نسبت به ترمیم خرابی یا تعویض ریل طبق توصیه‌های این نشریه، در ناحیه خرابی اقدام شود.

۳-۶-۱- سایش ریل

سایش یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش طول عمر ریل در خطوط آهن ایران است. سایش خط به دو صورت سایش چرخ و سایش ریل مشاهده می‌شود. سایش ریل در دو حالت قائم و جانبی و سایش چرخ در دو محل طوقه و فلانج ایجاد می‌گردد به‌طوری‌که سایش فلانج از اهمیت بیش‌تری برخوردار است، شکل (۳-۲۰).



شکل ۳-۲۰- سایش قائم و سایش جانبی ریل

عوامل موثر در سایش چرخ و ریل عبارتند از عوامل خط و عوامل آلات ناقله. از جمله مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار خط در سایش می‌توان به عرض خط، شیب صفحه زیر ریل، دور و پروفیل تاج ریل اشاره کرد. ناتراز بودن محورهای بوژی نسبت به هم، نحوه بارگیری و پروفیل چرخ می‌توانند عوامل اساسی دیگر در سایش چرخ و ریل باشند.

۳-۶-۱-۱- کنترل سایش چرخ و ریل

حداکثر سایش مجاز کلاهک ریل (60E1) UIC-60 برای طبقات مختلف خطوط (A، B، C و D) مطابق جدول (۳-۱۱) است. سایش مجاز سایر ریل‌ها را می‌توان از حاصل ضرب مقادیر ذکر شده در جدول (۳-۱۱) در نسبت ارتفاع ریل مورد نظر به ارتفاع ریل (60E1) UIC-60 محاسبه کرد. حداکثر سایش جانبی ریل در امتداد MN مطابق شکل (۳-۲۰) به فاصله ۱۵ میلی‌متر از سطح کلاهک ریل (60E1) UIC-60 نباید از ۱۸ میلی‌متر بیش‌تر باشد، (M مرکز سطح

کلاهک ریل و N امتداد زاویه ۴۵ درجه در سطح جانبی ریل است). مجموع سایش قائم و جانبی نباید از ۲۵ میلی‌متر بیش‌تر باشد.

جدول ۳-۱۱- سایش مجاز ریل UIC-60 (60E1)

طبقه خط	سرعت (کیلومتر بر ساعت)	سایش مجاز قائم (میلی‌متر)	سایش مجاز جانبی (میلی‌متر)
A	۱۶۰ ~ ۲۰۰	۹	۱۰
B	۱۲۰ ~ ۱۶۰	۱۲	۱۲
C	۸۰ ~ ۱۲۰	۱۵	۱۶
D	کم‌تر از ۸۰	۱۸	۱۸

۳-۶-۱-۲- روش‌های کاهش سایش چرخ و ریل

روش‌های زیر جهت کاهش سایش چرخ و ریل توصیه می‌گردند:

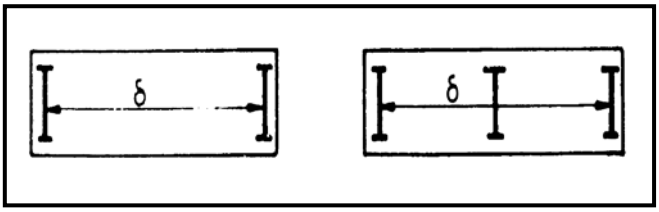
۱- اعمال نظارت بر سیستم بارگیری واگن‌ها به طوری که واگن‌ها در بارگیری عمل تقارن بارگیری را رعایت نمایند.

۲- حداکثر فاصله محورها () بر روی یک قوس به شعاع R، بایستی از رابطه (۳-۹) محاسبه گردد. (δ) برای بوژی‌های سه محوره و دو محوره مطابق شکل (۳-۲۱) می‌باشد.

$$\delta_{max} = 0.3\sqrt{R} \qquad (۳-۹)$$

δ_{max} = حداکثر فاصله محورها (متر)

R = شعاع قوس به متر



شکل ۳-۲۱- حداکثر فاصله محورها (δ) در بوژی‌های سه محوره و دو محوره

۳- در مناطق با قوس کم‌تر از ۳۰۰ متر از به کارگیری بوژی‌های سه محوره اجتناب گردد.

۴- ضخامت طوقه چرخ‌ها بیش از ۷۰- ۶۵ میلی‌متر اختیار گردیده و درصورتی‌که طوقه چرخ در اثر سایش به ضخامت زیر ۳۰ میلی‌متر کاهش یابد نباید در خطوط مورد استفاده قرار گیرد.

۵- برای اجرای شیب بانداژ در پروفیل طوقه، باید بجای بانداژ با شیب‌های ۱/۲۰ و ۱/۱۰، از شیب‌های غیرخطی با منحنی و معادلات ارائه شده در اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) استفاده گردد.

۶- توصیه می‌گردد از اتصالات جوشی استفاده شود و سیستم ریل‌های ممتد به کار گرفته شود.

۷- استفاده از سوزن‌های مربوط به قوس‌های ۳۰۰ متری جهت کاهش سایش توصیه می‌گردد.

۸- در صورت امکان از پروفیل ریل و چرخ نامتقارن برای تقویت تماس مناسب بوژی با سطح ریل و در نتیجه کاهش سایش استفاده گردد.

۹- حفظ عرض خط و کنترل آن در دوره نگهداری، معادل ۱۴۳۵ میلی‌متر و اعمال عرض خط اضافه مطابق با استاندارد در قوس‌ها منظور شود. به طور کلی اضافه عرض خط بایستی مطابق با جدول (۲-۲) این نشریه اختیار گردد.

۱۰- در انشعابات و سوزن‌ها شیب عرضی نباید اجرا شود، شتاب گریز از مرکز خنثی نشده بایستی به حدود ۰/۷ متر بر مجذور ثانیه محدود گردد. بنابراین حداکثر سرعت حرکت در انشعابات بایستی از رابطه (۳-۱۰) به دست می‌آید.

$$V = 3\sqrt{R} \qquad (۱۰-۳)$$

R= شعاع قوس سوزن (متر)

V= حداکثر سرعت حرکت بر روی سوزن (کیلومتر بر ساعت)

۱۱- خرابی افقی خط که عبارت است از انحراف افقی موقعیت واقعی خط از وضعیت تئوریکی آن، بایستی در حدود جدول (۲-۴) این نشریه محدود گردد.

۱۲- بین سطوح تماسی ریل و چرخ برای مکان‌هایی که به علل مختلف ایجاد سایش محتمل می‌باشد استفاده از روان‌کار توصیه می‌گردد. در این صورت باید ضخامت فیلم روان‌کار به اندازه کافی باشد. همچنین در مورد قطعاتی که پدیده خستگی سطحی عامل اصلی سایش می‌باشد، انتخاب نوع روان‌کار از نظر نوع ویسکوزیته اهمیت داشته و در مورد این گونه قطعات روان‌کار با ویسکوزیته بالا توصیه می‌شود. توصیه می‌شود از مواد روان‌کار جامد به صورت پودر و یا به شکل روان‌کارهای جامد در خطوط پر اهمیت استفاده شود.

۱۳- سه شیوه زیر برای روان‌کاری ریل و چرخ به ترتیب اهمیت توصیه می‌شوند:

الف- استفاده از روان‌کار متحرک ریل که به صورت یک وسیله متحرک مستقل در طول خطوط حرکت می‌کند و مواد روان‌کار را بر روی سطوح جانبی ریل‌های خارجی در تمام طول قوس‌ها اعمال می‌کند.

ب- تجهیز لوکومتیوها و قطارهای برقی به سیستم‌های روان‌کار مستقر در روی وسایل نقلیه برای اعمال مواد روان‌کار به لبه چرخ‌ها.

ج- نصب پمپ‌های ثابت روان‌کاری در قوس‌های تند و در ابتدای سوزن‌ها در محل ایستگاه‌ها برای جلوگیری از سایش ریل‌ها و قطعات سوزن.

۱۴- در مکان‌هایی که سایش شدید محتمل می‌باشد بایستی سطح ریل به وسیله ماشین‌های مکانیکی به منظور دستیابی به یک پروفیل مطلوب سائیده شود. این عمل به منظور اصلاح پروفیل تغییر یافته ریل به کار می‌رود. همچنین در مکان‌هایی که موج روی سطح ریل، پریدگی فلز از سطح ریل و پوسته شدن سطح ریل دیده می‌شود استفاده از عمل ریل سابی (سنگ‌زنی) توصیه می‌گردد.

۱۵- عملیات ریل سابی بایستی طوری انجام گیرد که سطح تماس بین ریل و چرخ، به خصوص در طول انشعابات، به بیش‌ترین حد برسد.

۱۶- عملیات ریل سابی بایستی توسط دستگاه ریل ساب انجام شود و درصورتی‌که کار بر روی خطوط ریلی با محورهای سنگین مورد نظر باشد بایستی از روش ریل سابی غیرمتقارن استفاده گردد.

۱۷- ریل سابی می‌باید برای ناهمواری‌های به عمق حداکثر ۰/۴ میلی‌متر انجام شود. برای ناهمواری‌های عمیق‌تر باید از تراش ریل استفاده کرد.

۳-۶-۲- ناهمواری‌های موجی شکل ریل (کاریوگیشن)

ناهمواری‌های موجی شکل ریل به وسیله موج‌های متوالی با راس‌های براق و گودی‌های که در روی سطح ریل ایجاد می کنند مشخص می‌شوند. فاصله بین راس موج‌ها از ۳۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر برای طول موج‌های کوتاه و از ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر برای طول موج بلند تغییر می‌کند. وجود ناهمواری‌های موجی شکل ریل دارای پیامدهای زیر می‌باشد:

- افزایش نیروی تماسی و ایجاد نیروهای دینامیکی اضافی بین چرخ‌ها و ریل‌ها
- سایش سریع چرخ‌ها و نیاز به عملیات تعویض چرخ یا اصلاح پروفیل
- کاهش عمر سیستم تعلیق وسایل نقلیه ریلی
- کاهش سرعت مجاز خط
- افزایش سر و صدای ناشی از حرکت خط
- کاهش دوام هندسه خط

ریل سابی و تسطیح سطح ریل برای رفع این پدیده توصیه می‌گردد.

۳-۶-۳- ترک‌های طولی در جان و ناحیه اتصال کلاهک به جان

این نوع عیب در انتهای ریل به وجود می‌آید و باعث جدا شدن کلاهک از جان می‌شود. شروع این ترک‌ها به موازات کلاهک است و سپس به سمت بالا، پایین و یا هر دو طرف منحرف می‌شود. این نوع ترک باید با جای‌گزینی یک قطعه ریل سالم در ناحیه ترک خورده و جوش آن ترمیم شود.

۳-۶-۴- ترک‌های ستاره‌ای در سوراخ‌های ریل

این ترک‌ها تحت تاثیر بارهای عبوری در سوراخ‌های مربوط به قطعات اتصالی ریل به وجود می‌آید. این ترک‌ها در ابتدا دارای زاویه ۴۵ درجه هستند. این نوع خرابی باید با برش ریل در طول خرابی و جای‌گزینی آن با ریل سالم ترمیم شود.

۳-۶-۵- شکست عرضی ریل

این نوع خرابی معمولا به صورت ناگهانی و بدون وجود علائم قبلی و بیش‌تر در مناطق با آب و هوای سرد اتفاق می‌افتد. در صورتی که این نوع خرابی حین عبور قطار ایجاد شود، ممکن است باعث ایجاد سانحه گردد. پس از ایجاد شکست ریل، بلافاصله باید نسبت به تعویض ریل اقدام شود.

۳-۶-۶- لکه تخم مرغی

این نوع خرابی که به ناپیوستگی تخم مرغی شکل داخلی اولیه مربوط می‌شود، از عملیات حرارتی در زمان تولید ریل ناشی می‌گردد و پس از بهره‌برداری به سطح ریل گسترش پیدا می‌کند و باعث شکست آن می‌شود. لازم است تا با انجام بازرسی‌های دوره‌ای ریل به صورت چشمی و با کمک دستگاه‌های تشخیص ماورای صوتی نسبت به شناسایی این نوع خرابی اقدام شود. پس از شناسایی این نوع خرابی باید قطعه کوتاهی از ریل در این قسمت جایگزین و جوش داده شود.

۳-۶-۷- پوسته شدن سطح چرخش ریل

این نوع خرابی شامل شکل‌های نامنظم و پوسته پوسته شدن رویه کلاهک ریل است که معمولا عمقی در حدود چند میلی‌متر دارد. این نوع خرابی در یک نقطه خاص رخ نمی‌دهد و همیشه در یک طول نسبتا وسیع ایجاد می‌شود. پس از شناسایی این نوع خرابی باید نسبت به تعویض ریل در ناحیه مورد نظر اقدام شود.

۳-۶-۸- پوسته شدن لبه داخلی کلاهک ریل

این خرابی به صورت لکه‌های تیره رنگ که در لبه داخلی کلاهک ریل پراکنده شده‌اند ظاهر می‌شود. لکه‌های تیره رنگ که نشانه‌های اولیه از هم‌پاشی فولاد ریل است، پس از یک دوره تکاملی به صورت دولبه در سطح جانبی کلاهک ریل ظاهر می‌شود و نهایتا باعث ایجاد ترک و پوسته پوسته شدن لبه داخلی کلاهک می‌شود. این نوع خرابی بیش‌تر در ریل‌های خارجی قوس‌ها که برای جلوگیری از سایش جانبی، روغن‌کاری شده‌اند به وجود می‌آید. پس از گسترش این خرابی، ریل باید تعویض شود.

۳-۶-۹- سوختگی موضعی سطح کلاهک

سوختگی موضعی که در اثر درجا زدن چرخ بر روی ریل ناشی می‌شود به صورت لکه‌های بیضی شکل ناپیوسته ظاهر می‌شود که ممکن است تدریجا از بین برود و یا توسعه پیدا کند. گسترش این نوع خرابی می‌تواند به صورت سطحی یا عرضی باشد. گسترش سطحی منجر به پوسته پوسته شدن کلاهک ریل و گسترش عرضی منجر به شکست کلاهک ریل می‌شود. ترمیم این نوع خرابی در مراحل اولیه می‌تواند با ریل سابی سطح ریل صورت گیرد، ولی در مراحل رشد بیش‌تر باید نسبت به جای‌گزینی و جوش یک قطعه ریل اقدام شود.

۳-۶-۱۰- سوختگی پیوسته روی کلاهک ریل

سوختگی پیوسته ریل در اثر کشیده شدن چرخ بر روی ریل در اثر ترمز ایجاد می‌شود. این خرابی به صورت امواج افقی در کلاهک ریل و یا بروز ترک‌های ریز با عمق زیاد روی کلاهک ظاهر می‌شود که در هوای سرد باعث شکست ریل می‌شود. ترمیم خرابی در مراحل اولیه از طریق ریل سابی ممکن است، لیکن در صورت گسترش آن باید نسبت به تعویض ریل اقدام شود.

۳-۶-۱۱- ترک‌های قائم طولی در جان ریل

این نوع خرابی به صورت یک ترک قائم در جان ریل است. این خرابی در زمان تولید ریل به وجود می‌آید و در صورتی که با سایر خرابی‌ها همراه باشد، منجر به شکست ریل می‌شود. این خرابی باید به وسیله دستگاه‌های ماورای صوت شناسایی شده و بخشی از ریل که دچار خرابی شده، تعویض شود.

۳-۶-۱۲- ترک قائم طولی کف ریل

این خرابی به صورت یک ترک قائم در کف ریل شروع می‌شود و در صورت ادامه بهره‌برداری منجر به شکست ناگهانی به ویژه در آب و هوای سرد می‌شود. این نوع خرابی نیز هنگام تولید ریل به وجود می‌آید. با شناسایی این نوع خرابی باید نسبت به تعویض ریل در بخش مورد نظر اقدام شود.

۳-۶-۱۳- ترک‌های عرضی ریل

این نوع خرابی‌ها از بخش جوش شده، خرابی داخلی کلاهک ریل و یا خرابی کف ریل شروع می‌شوند و در نهایت باعث گسیختگی ریل می‌شود. برای ترمیم آن باید از جوش مجدد یا جای‌گزینی ریل استفاده شود.

۳-۶-۱۴- ترک افقی جان

این نوع خرابی‌ها از نقاط اتصال جوشی به صورت عمودی بر مقطع جوش، شروع شده به شکل منحنی به سمت بالا یا پایین توسعه پیدا می‌کند. برای ترمیم باید از جای‌گزینی و جوش قطعه کوتاهی از ریل استفاده شود.

۳-۶-۱۵- ترک‌های عرضی کلاهک ریل

این نوع خرابی در اثر خستگی سطوح ترمیم شده در ریل به صورت عرضی ایجاد می‌شود و معمولا از محل‌های جوش داده شده شروع می‌شود. ترمیم آن باید از طریق جای‌گزینی یک قطعه ریل و جوش آن صورت گیرد.

۳-۶-۱۶- ترک عرضی در محل اتصالات الکتریکی

ترک‌ها در این نوع خرابی ممکن است از وجه بیرونی کلاهک، یک طرف جان و یا یکی از بال‌های کف ریل شروع شود. برای تعمیر این نوع خرابی، اتصال قطعه کوتاهی از ریل الزامی است.

۳-۷- بارگیری، حمل و تخلیه ریل

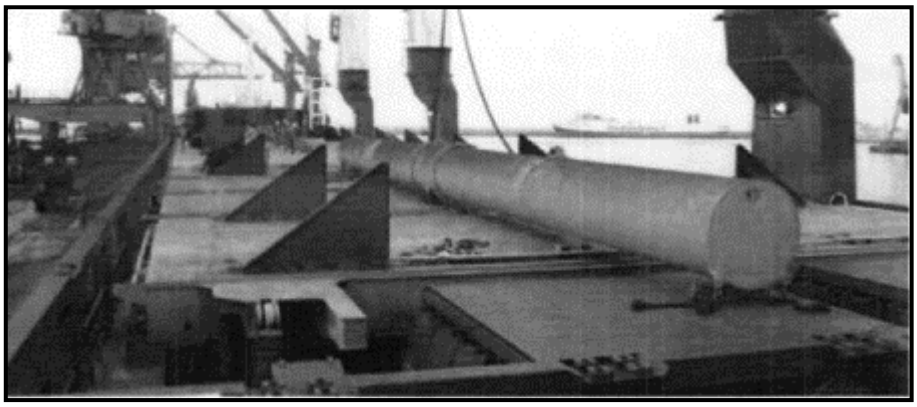
به طور کلی در زمان بارگیری و تلخیه ریل‌ها، جهت جلوگیری از تغییر شکل‌های دائمی و اعوجاج آن‌ها، بایستی از گیره‌های مخصوص حمل ریل به تعداد کافی استفاده شود. همچنین فاصله بین دو گیره متوالی در حمل یک ریل نبایستی بیش‌تر از حدود ۶ متر باشد و یا قسمت آویزان سر ریل نیز نباید بیش‌تر از حدود ۶ متر باشد. به طور مثال در ریل‌های ۱۸ متری بایستی ریل در دو نقطه (در طول یک سوم و دو سوم ریل) توسط گیره ریل نگهداشته شود و یا در خصوص حمل ریل‌های ۲۵ متری بایستی بارگیری و تخلیه توسط گیره‌های مخصوص حمل ریل در سه نقطه از ریل نگهداشته شود. بیرون انداختن ریل با دیلم از لبه واگن موجب آسیب رسیدن به ریل می‌شود و مجاز نمی‌باشد.

به منظور حمل ریل‌ها در مسافت‌های طولانی لازم است ریل‌ها در دسته‌ها (بندیل) های پنج تایی به صورتی که دو عدد از آن‌ها به صورت معکوس در مابین سه ریل دیگر قرار گیرد و توسط تسمه‌های نگه دارنده به‌گونه‌ای محکم شده باشند که در زمان حمل جابجا نشوند. همچنین در بندیل‌های سه تایی یک ریل به صورت معکوس مابین دو ریل دیگر بسته‌بندی می‌شود.

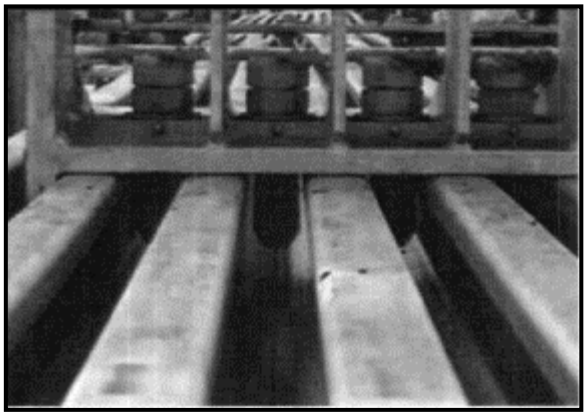
جهت انبار ریل‌ها نبایستی تعداد ردیف‌های بیش از ۸ ردیف باشد به‌طوری‌که مابین ردیف‌های ریل بایستی از چوب‌های چهارتراش و در فواصل حداکثر ۳ متر استفاده شود. محل قرارگیری چوب‌های چهار تراش در تمامی ردیف‌ها بایستی در نقاط یکسان باشد تا وزن ریل‌ها صرفا از طریق تکیه‌گاه‌ها به زمین منتقل شود. چند ردیف زیرین بایستی از چهارتراش‌های بزرگ‌تر استفاده شود تا بر اثر وزن زیاد شکسته نشود. ریل‌ها نبایستی مستقیما بر روی زمین قرار گیرند مگر در شرایطی که در سالن‌های سرپوشیده و به دور از رطوبت و مواد خورنده باشد. در زیر ردیف اول ریل‌ها، می‌توان از تراورس‌های چوبی مستعمل نیز استفاده کرد.

در خصوص حمل ریل‌های طویل، در صورت حمل با کشتی، نیازمند حداقل دو جرثقیل سنکرون (هماهنگ) برای بلند کردن هم‌زمان ریل‌ها می‌باشد. علاوه بر جرثقیل‌های سنگین یاد شده روی کشتی‌ها و یا بنادر، تخلیه و بارگیری ریل‌های طویل نیازمند ابزارهای ویژه دیگری نظیر اسپریدر و چنگک جهت جابه‌جایی ریل‌های طویل بدون اعوجاج و تغییر شکل‌های پلاستیک می‌باشد. حمل زمینی ریل‌های طویل بین بنادر و کارگاه‌های روسازی خطوط راه‌آهن بهتر است با واگن‌های لبه کوتاه حمل ریل انجام شود. بایستی ریل‌ها در حدود ۳ تا حداکثر ۴ طبقه به صورت منظم روی واگن‌ها چیده شود. بین هر طبقه یک لایه الوار چیده می‌شود تا چیدمان مناسب ریل‌ها حفظ شود. جهت تسهیل حرکت جانبی ریل‌های طویل در قوس‌ها کف واگن و الوار تحتانی گریس‌کاری شود. ضمنا به منظور جلوگیری از بیرون افتادن

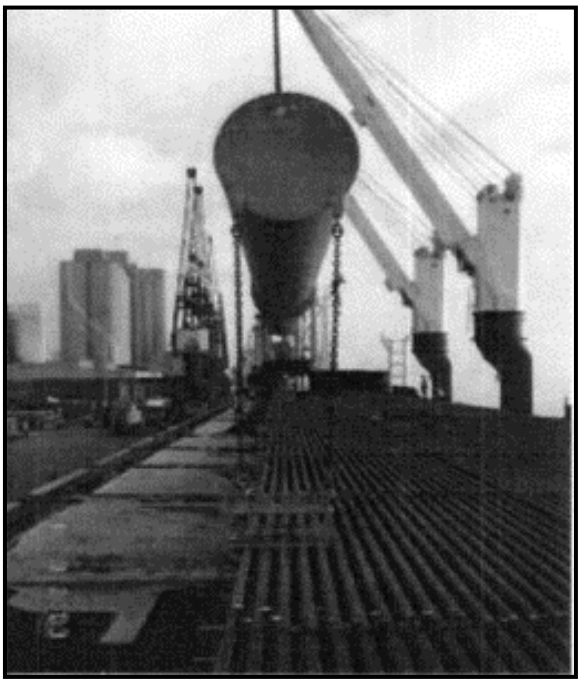
ریل‌ها از واگن و حفظ قواره (گاباری) مجاز در عبور از قوس‌ها، در دو طرف واگن بایستی حفاظ‌های مناسب نصب گـردد. همچنین در دو طرف الوارها نیز قیدی اضافه می‌شود تا مانع از سر خوردن ریل‌ها و بیرون افتادن از الوارها شـود. اگـر در مسیر قطار حمل ریل طویل، قوس‌هایی با شعاع کم یا عبور از روی سوزن‌ها باشد، جهت جلوگیری از جابجـایی ریـل‌هـا، کاهش سرعت ضروری است.



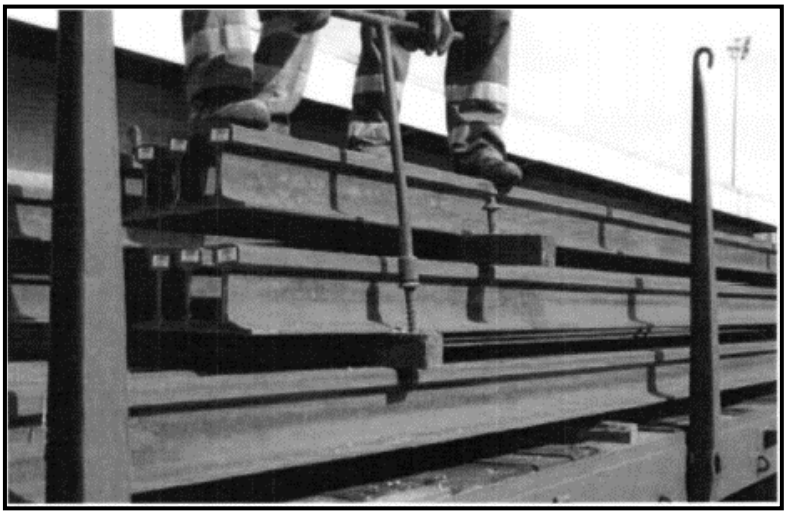
شکل ۳-۲۲- اسپریدر استوانه‌ای روی عرشه کشتی



شکل ۳-۲۳- استفاده از چنگک برای گرفتن ریل‌ها

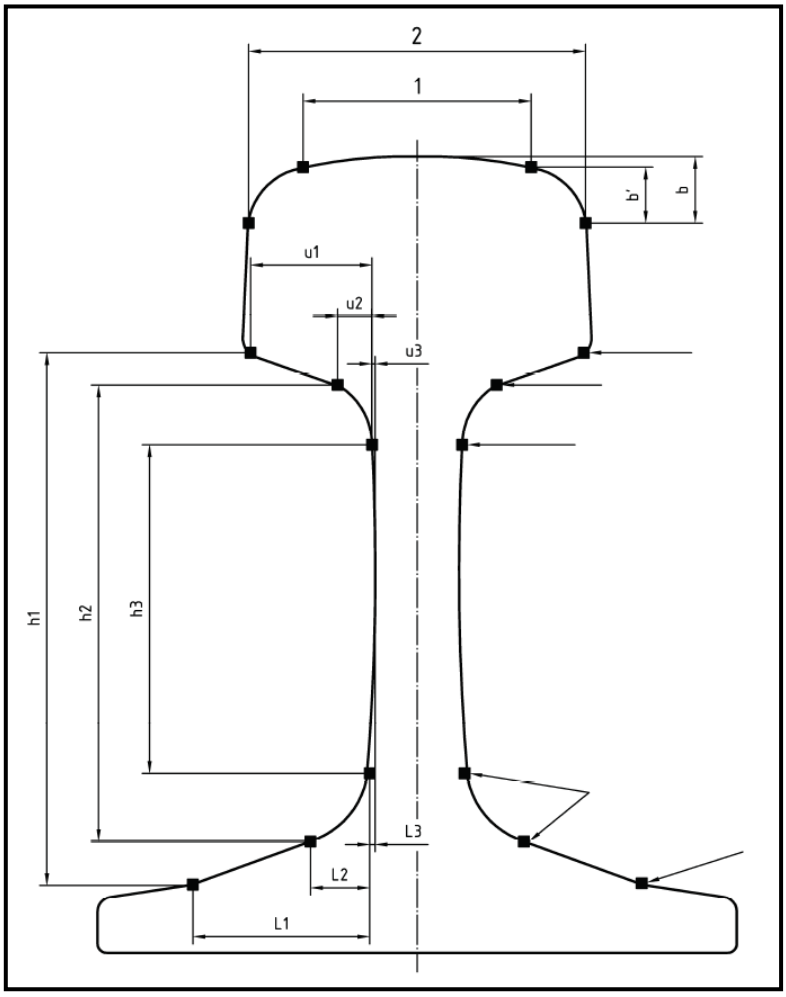


شکل ۳-۲۴- بلند کردن هم‌زمان و هماهنگ ریل‌ها



شکل ۳-۲۵- جلوگیری از سر خوردن ریل‌ها توسط قید

پیوست ۱- شابلون‌های کنترل ابعاد هندسی ریل (ابعاد به میلی‌متر)[1]

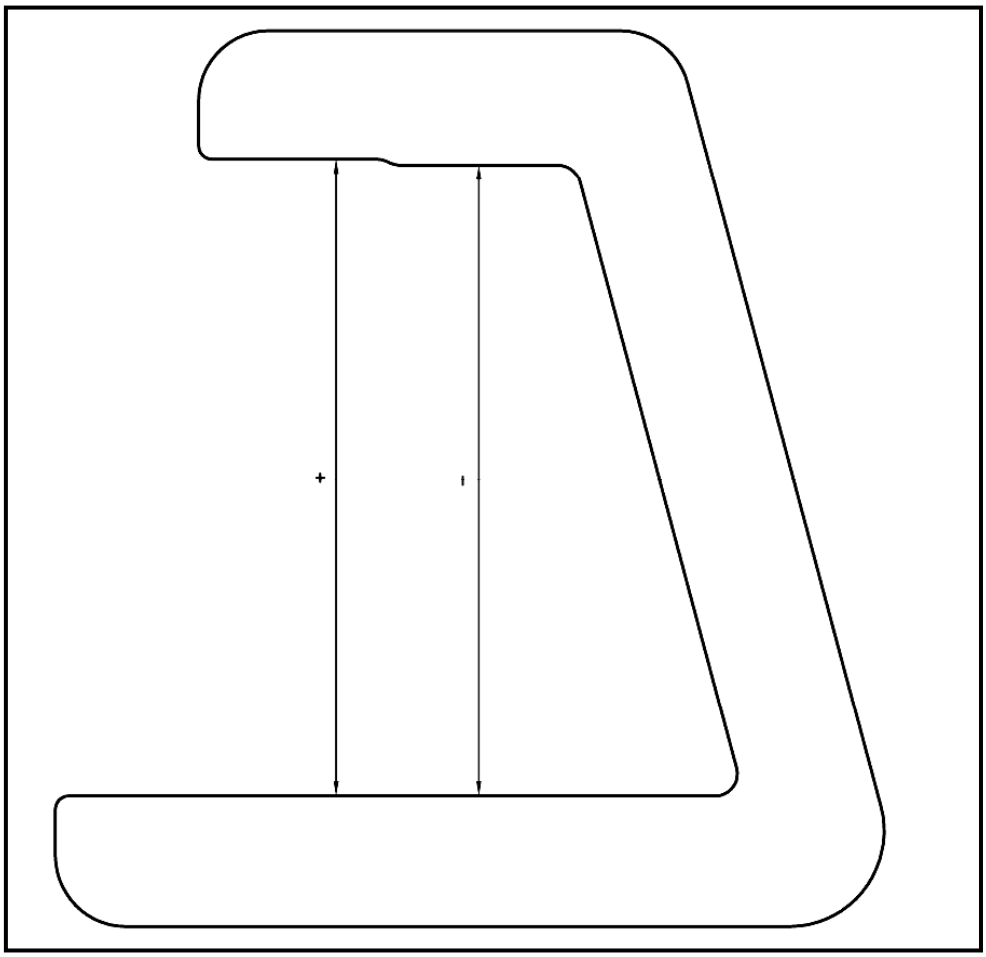


شکل ۳-۲۶- نقاط اصلی تغییر مقطع ریل

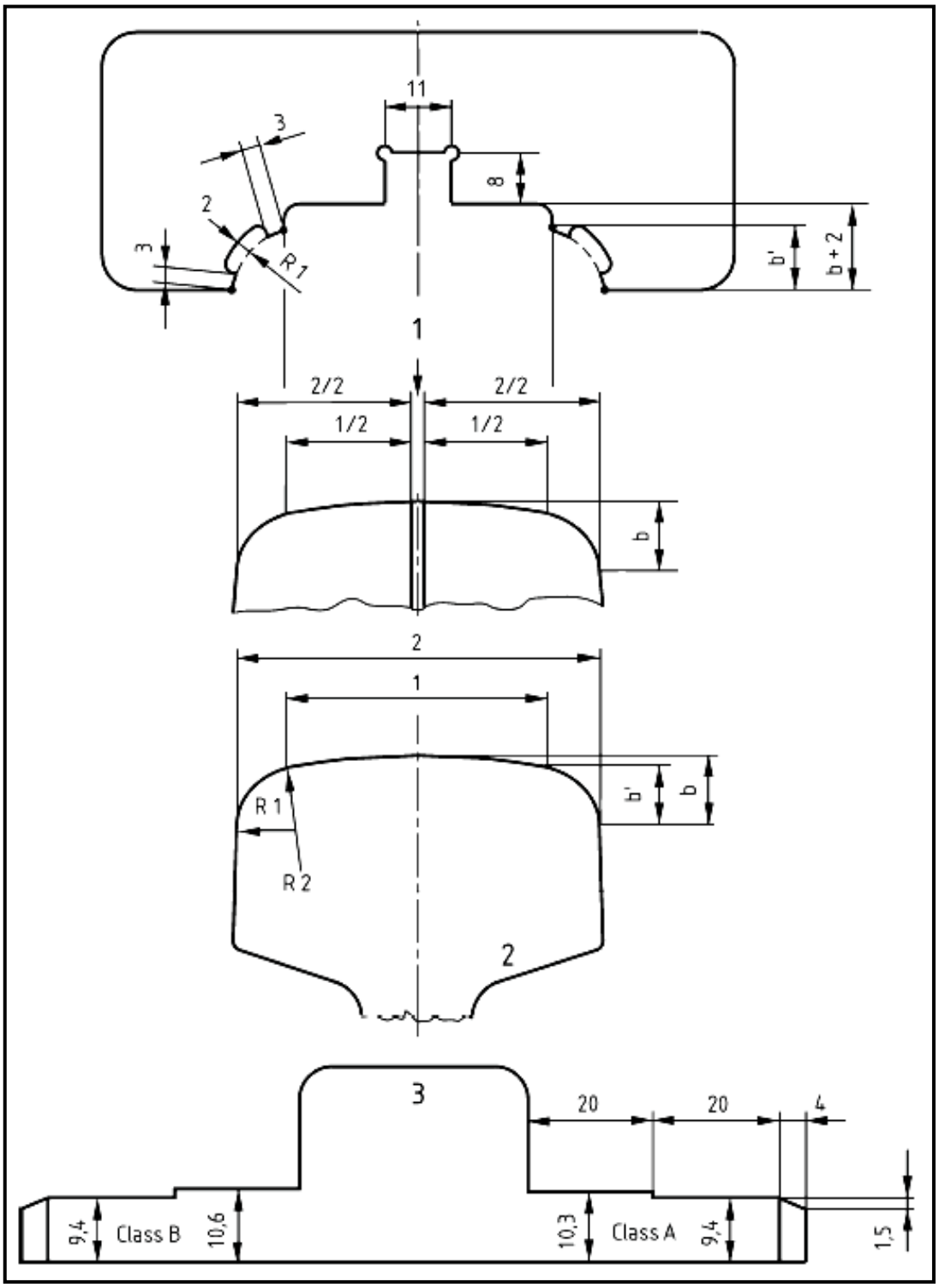
جدول ۳-۱۲- مقادیر اندازه‌های تغییر مقطع برخی از ریل های متداول

پروفیل ریل	ابعاد (mm)												
	1	2	b	b'	h1	h2	h3	L1	L2	L3	u1	u2	u3
46E2 (U33)	40.59	62.00	13.42	12.15	94.53	79.19	65.91	32.38	4.79	0	23.20	4.79	0
49E1 (S49)	46.84	67.00	14.00	11.92	94.56	79.02	68.40	33.13	7.06	2.41	26.55	5.99	1.32
54E1 (UIC54)	49.73	70.00	14.10	12.04	107.75	92.25	66.04	35.92	12.02	1.54	26.03	7.30	0.69
60E1 (UIC60)	52.05	72.00	14.30	12.00	118.57	101.50	87.06	36.61	8.25	3.20	26.83	8.25	3.20

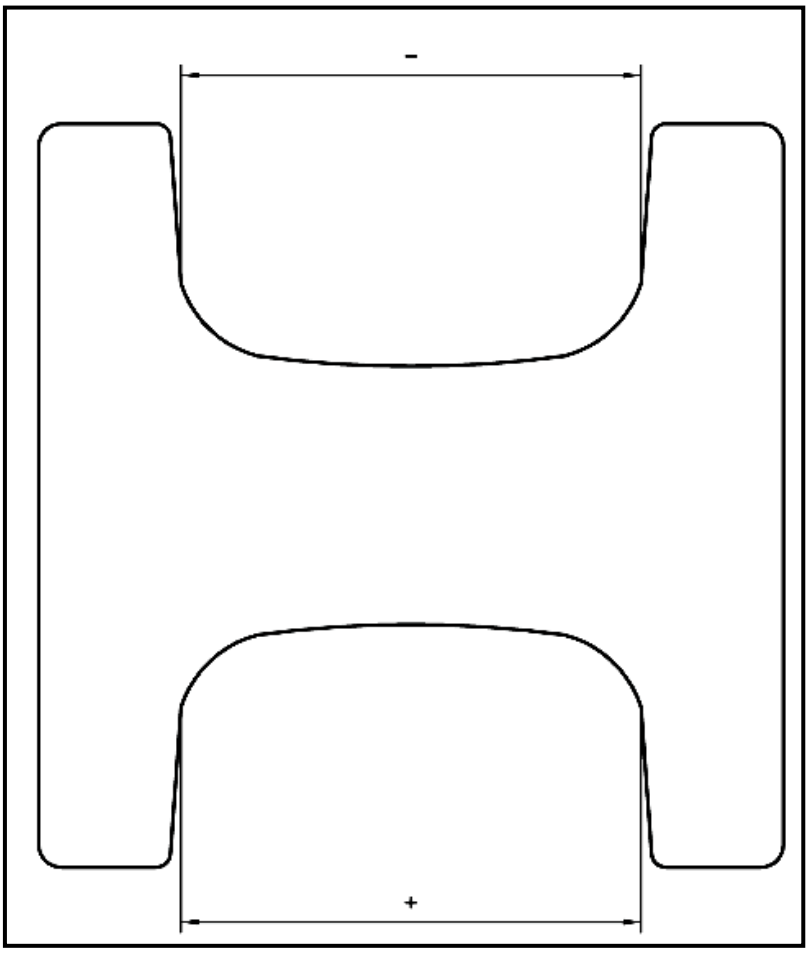
1- EN13674-1



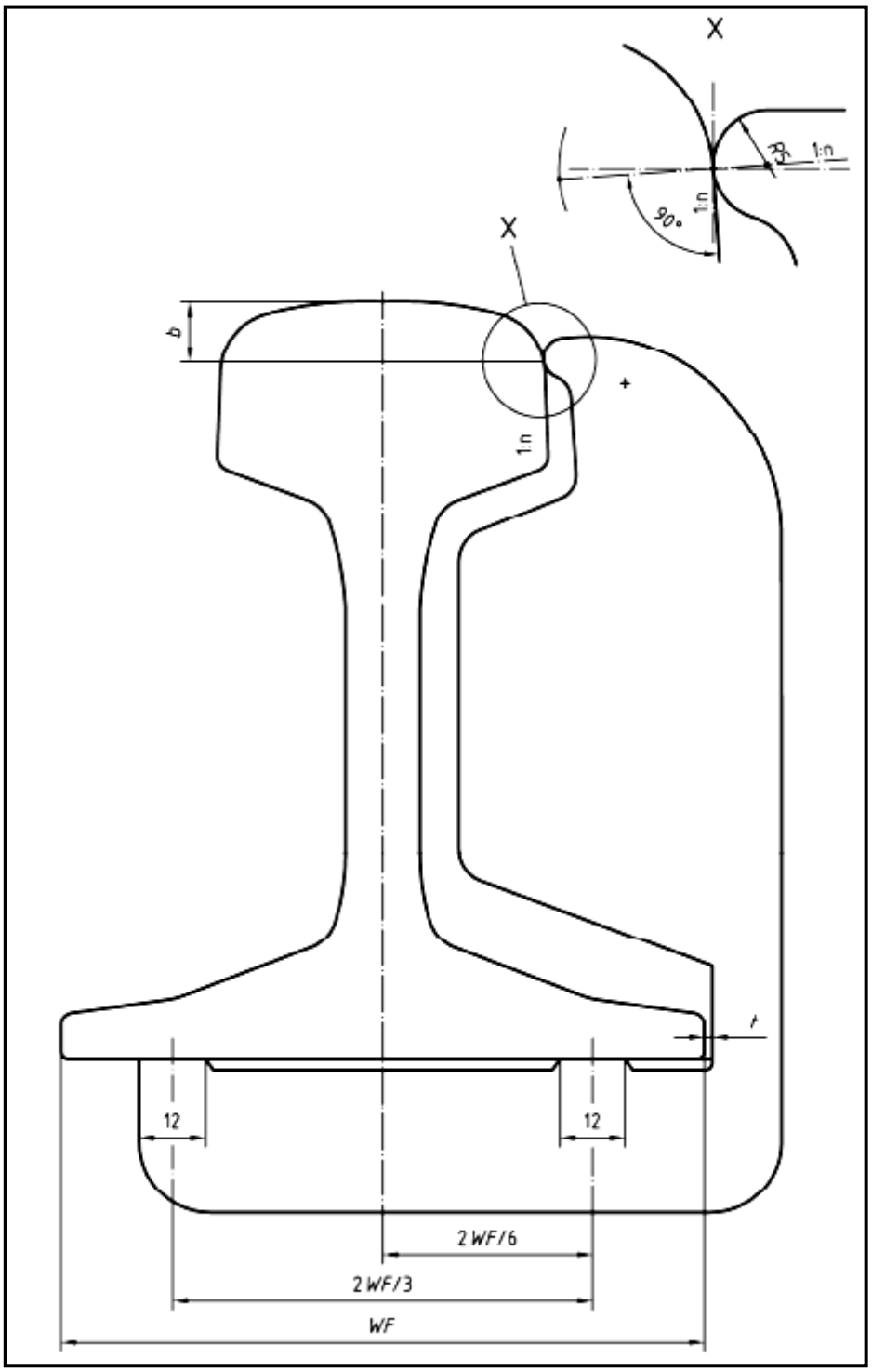
شکل ۳-۲۷- شابلون کنترل برای ارتفاع ریل (H)



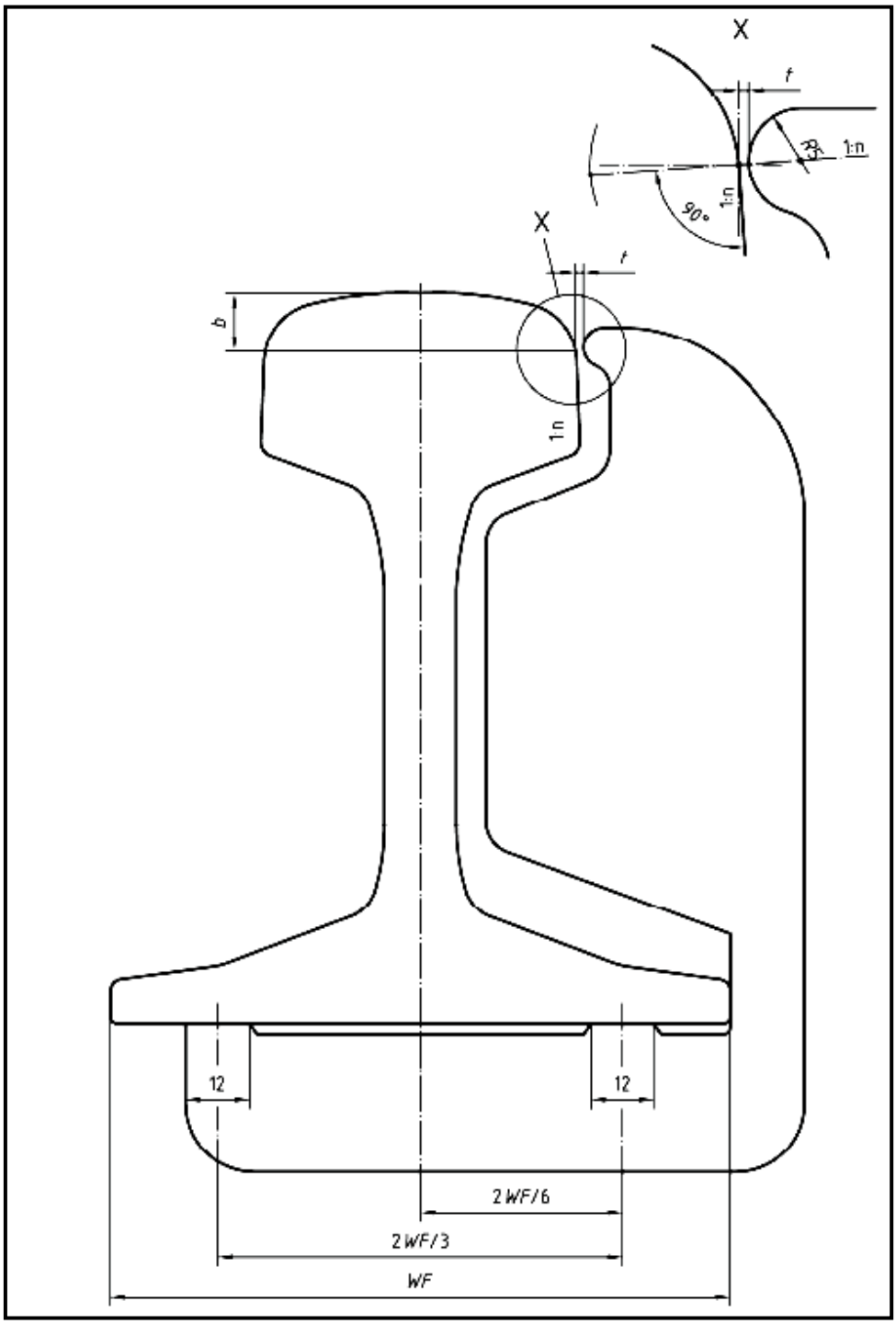
شکل ۳-۲۸- شابلون کنترل برای پروفیل تاج ریل (C)



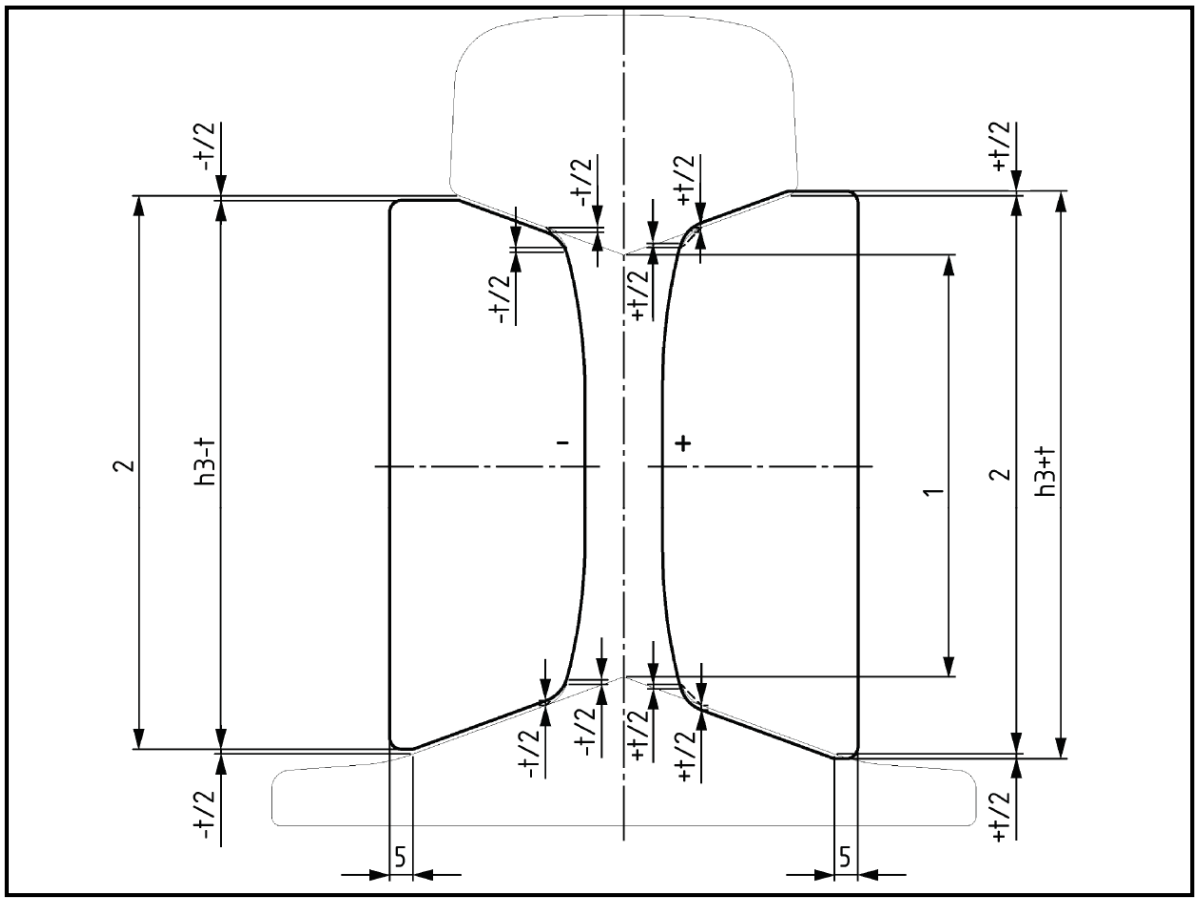
شکل ۳-۲۹- شابلون کنترل عرض تاج ریل (WH)



شکل ۳-۳۰- شابلون (+) کنترل تقارن هندسی مقطع (As)



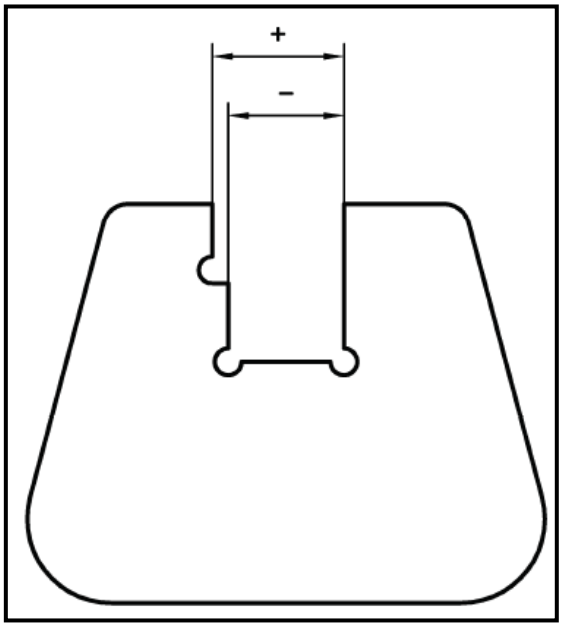
شکل ۳-۳۱- شابلون (-) کنترل تقارن هندسی مقطع (As)



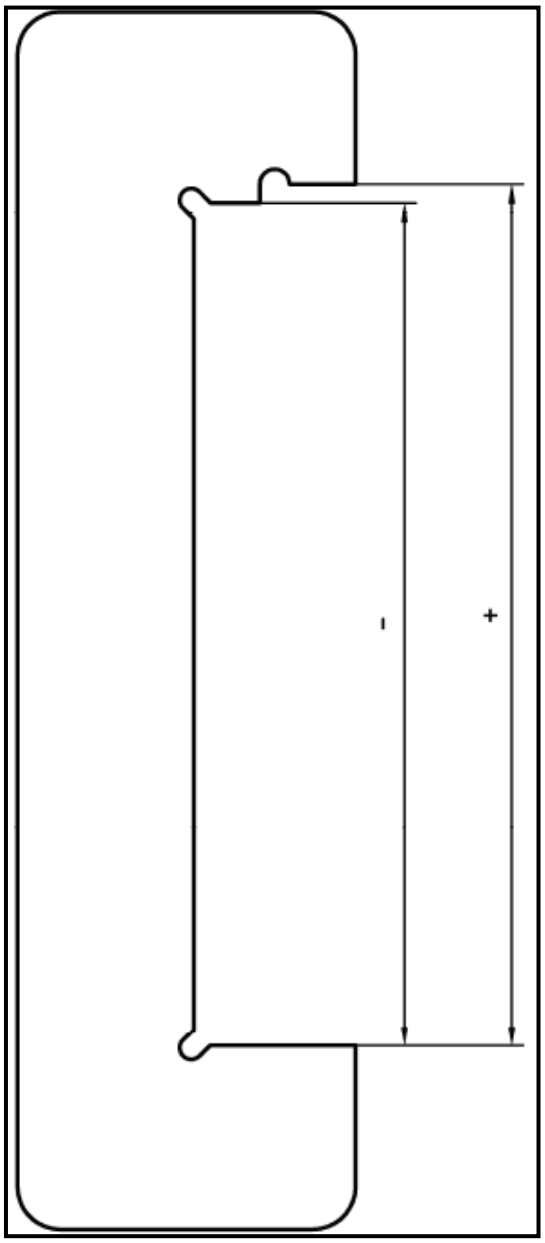
مقادیر ۱ و ۲ بایستی در فاصله ۱۴ میلی‌متری از لبه شابلون حک شده باشد.

مقدار h3 اندازه تئوری است.

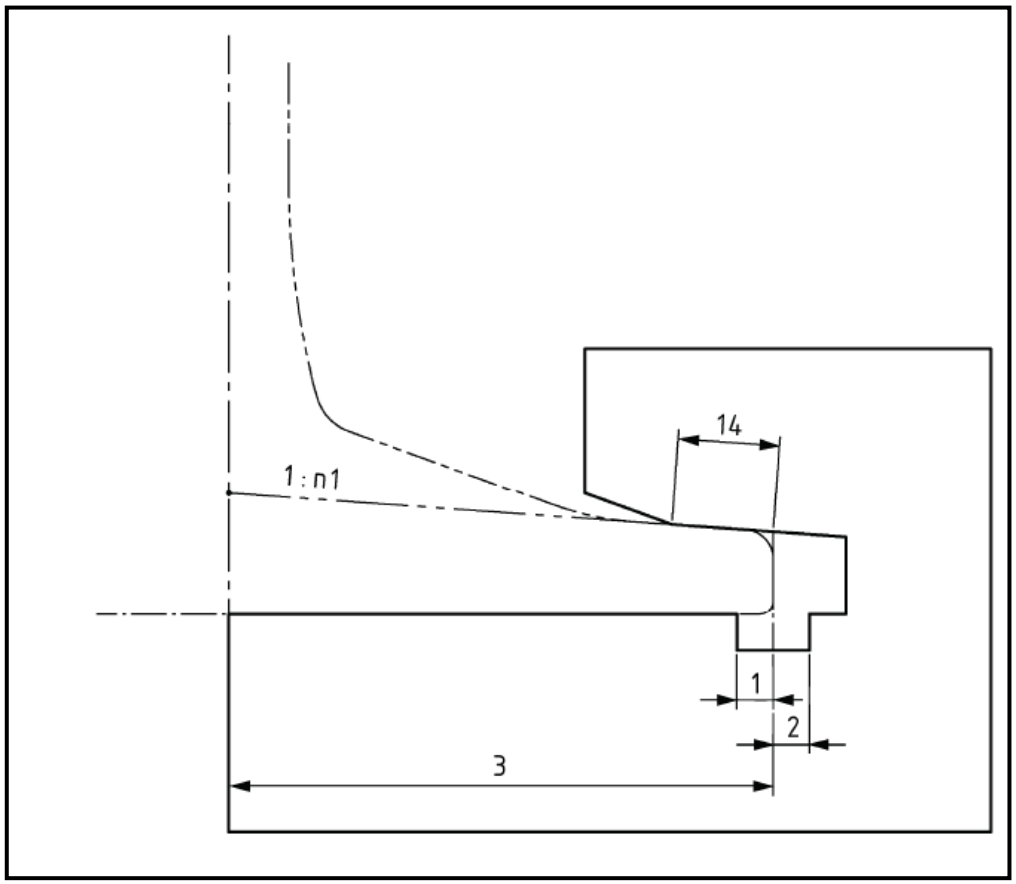
شکل ۳-۳۲- شابلون کنترل ارتفاع جان ریل (HF)



شکل ۳-۳۳- شابلون کنترل ضخامت جان (WT)



شکل ۳-۳۴- شابلون کنترل عرض کف ریل (WF)

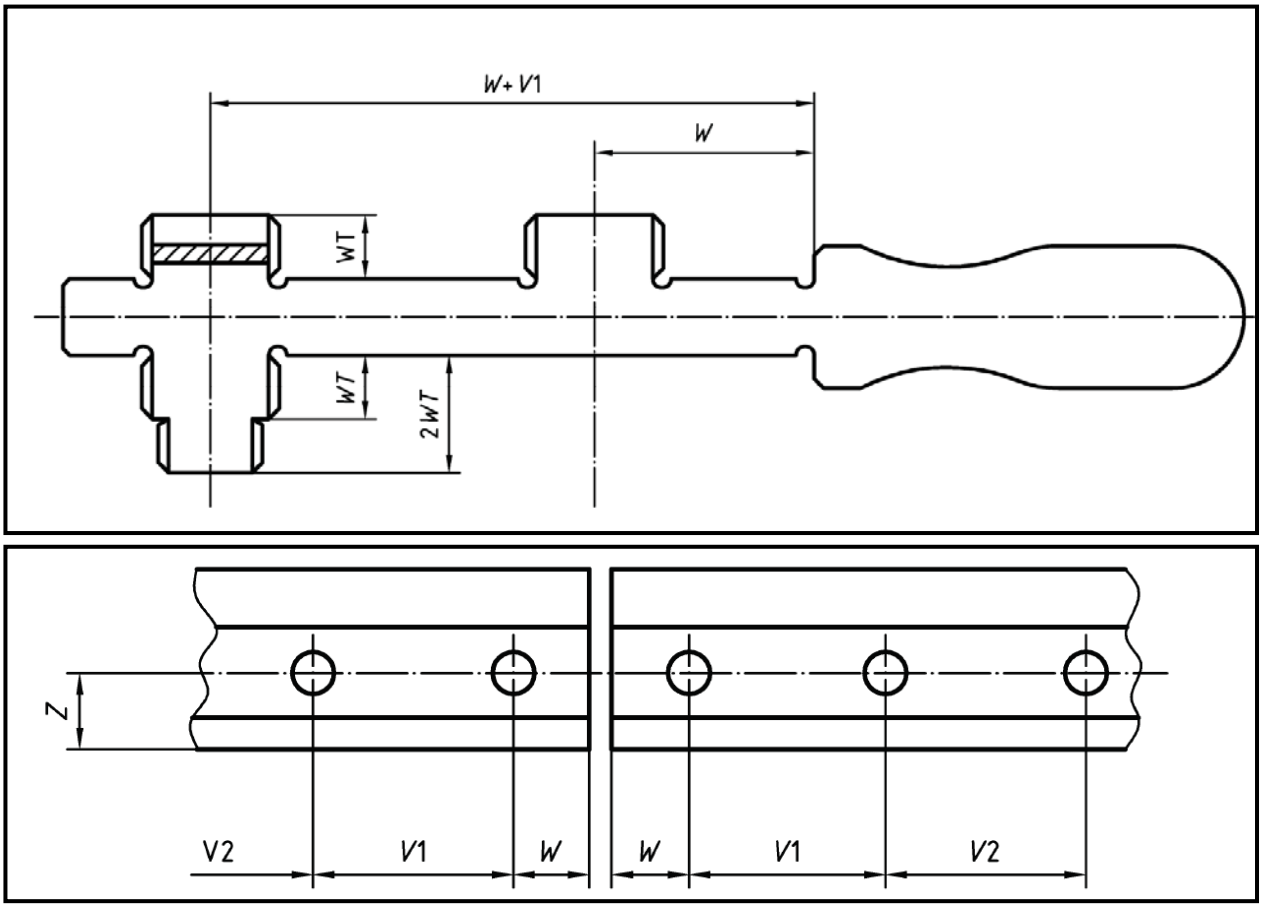


۱- ماکزیمم: حالضرب مقدار رواداری مثبت در مقدار n1

۲- مینیمم: حالضرب مقدار رواداری منفی در مقدار n1

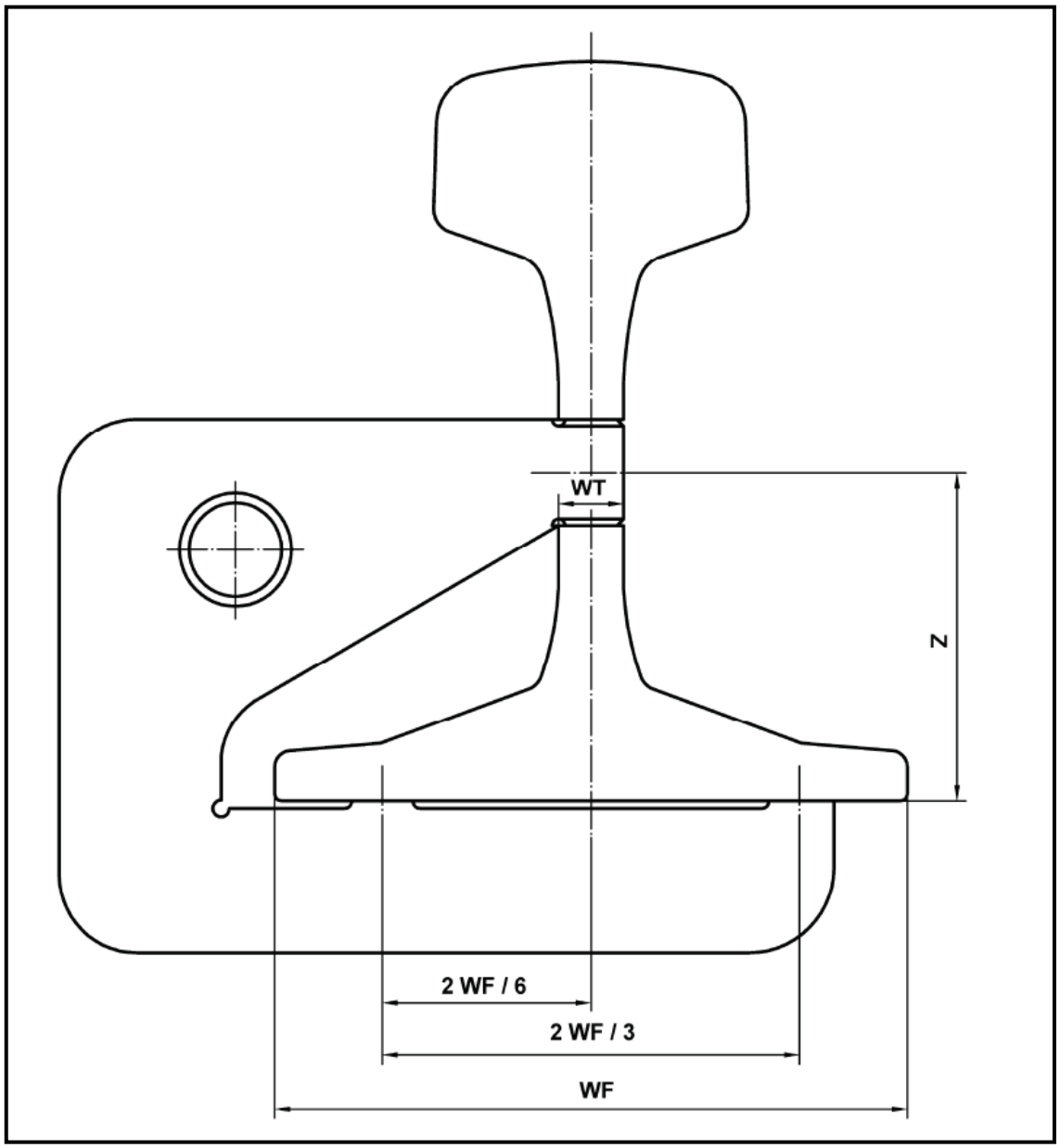
۳- نصف عرض پاشنه و یا WF/2

شکل ۳-۳۵- شابلون کنترل ضخامت کف ریل (TF)



WT: ضخامت جان

شکل ۳-۳۶- شابلون کنترل فواصل بین سوراخ‌ها و انتهای ریل و قطر سوراخ‌ها



WF: عرض کف ریل

WT: ضخامت جان ریل

Z: فاصله محور سوراخ‌ها تا کف ریل

شکل ۳-۳۷- شابلون کنترل فواصل بین سوراخ‌ها و کف ریل

فصل ۴

تراورس

۴-۱- کلیات

تراورس‌ها جزو ادوات روسازی خط آهن می‌باشند که بین ریل و بالاست قرار می‌گیرند و نیرو را از ریل به بالاست منتقل می‌کنند و در عین حال ثابت ماندن عرض خط را تامین می‌کنند. شرایط تراورس باید به گونه‌ای باشد که وظایف زیر را به طور کامل انجام دهد.

- انتقال و توزیع صحیح بار از ریل به بالاست
- ثابت نگه داشتن شیب ۱ به ۲۰ برای نصب ریل در خطوط راه آهن و ۱ به ۴۰ در خطوط قطار شهری و حومه
- ارائه مقاومت مکانیکی کافی در جهت‌های قائم و افقی

تراورس باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- باید سطح تماس تراورس با بالاست به اندازه کافی وسیع باشد تا فشار وارد بر بالاست از حد مجاز آن تجاوز نکند.
- مقاومت و انعطاف‌پذیری کافی داشته باشد.
- شکل هندسی آن طوری باشد که مانع از تغییر مکان طولی و عرضی خط گردد.
- در برابر عوامل جوی پایدار باشد.

در تمامی خطوط با بالاست و بدون بالاست، استفاده از تراورس مطابق مشخصات این نشریه اجباری است. انواع تراورس‌های قابل استفاده در خطوط راه آهن و خطوط قطار شهری و حومه عبارتند از:

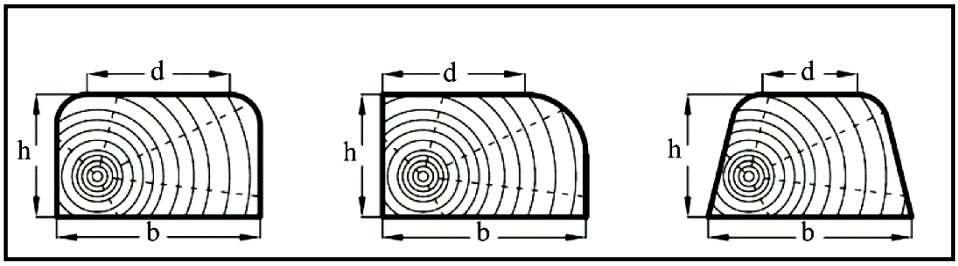
- تراورس چوبی
- تراورس فلزی
- تراورس بتنی
- تراورس ترکیبی

۴-۲- تراورس‌های چوبی

ابعاد و اندازه‌های تراورس چوبی مورد استفاده بایستی مطابق جدول (۴-۱) باشد. مقطع تراورس چوبی می‌تواند مطابق یکی از انواع نشان داده شده در شکل (۴-۱) باشد. انتخاب مقادیر اضافی یا ویژه برای انواع تراورس‌های چوبی تنها در صورت بهبود ویژگی‌های فنی و اقتصادی تراورس، رعایت مدارک UIC و یا معادل آن و تایید مراجع ذی‌صلاح مجاز است.

جدول ۴-۱- اندازه‌های مجاز ابعاد تراورس‌های چوبی

ویژگی‌های هندسی / نوع تراورس	ضخامت h (mm)	عرض کف b (mm)	عرض رویه d (mm)	رواداری طولی (٪)	طول l (mm)
تراورس معمولی	۱۴۰-۱۶۰	۲۴۰-۲۵۰	۱۷۰-۲۵۰	۴ تا ۶	۲۶۰۰
تراورس پل	۲۴۰-۲۵۰ ۲۵۰-۲۶۰	۲۴۵-۲۵۵ ۲۹۵-۳۰۵	۱۷۰-۲۵۰	۵	۲۶۰۰۰ ۳۵۰۰
تراورس دستگاه تعویض خط	۱۴۵-۱۶۰	۲۴۰-۲۵۰	۱۷۰-۲۵۰	۵	۲۶۰۰-۴۶۰۰



شکل ۴-۱- مقطع تراورس چوبی

چوب مناسب تراورس باید دارای مقاومت کافی در برابر کشش ناشی از خمش و مطابق مدارک UIC باشد. انتخاب روش مناسب اشباع و زمان‌بندی مراحل اشباع و معیارهای میزان نفوذ و عمق نفوذ مواد روغنی در هر تراورس باید بر اساس محموله‌های جداگانه چوب و میزان رطوبت نهایی آن، تعیین و با روش‌ها و معیارهای رایج مدارک UIC یا معادل آن‌ها انجام و ارزیابی شوند.

اشباع تراورس‌ها باید پس از کاهش رطوبت چوب به کم‌تر از ۲۵ درصد و پس از سوراخ‌کاری و S کوبی (و درصورت نیاز پس از ایجاد گودی صفحه زیر ریل)، با ماده روغنی کرئوزوت (با ویسکوزیته ۱/۴ تا ۱/۸ درجه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و بدون رسوبات جامد در آن یا ترکیب آن با سولفات مس یا کلرور روی) و انجام همه اصول و ضوابط زیست محیطی (مانند عدم آلودگی شیمیایی منطقه کارگاه و محدوده خطوط آهن) انجام شود.

دستگاه‌های اندازه‌گیری زمان، فشار، حرارت و رطوبت دیگ‌های اشباع تراورس باید کاملا مطمئن، سالم، تمیز و با رواداری تا ۲/۵٪ ± باشند. اندازه‌گیری مقادیر زمان، فشار و حرارت تراورس‌های در حال اشباع باید هر ۵ دقیقه یکبار در طول مراحل اشباع و طبق مقادیر مشخص و ثابت روش اشباع مورد نظر با رواداری مقادیر آن تا ۵٪ ± انجام شوند. فشار و حرارت عملیات اشباع تراورس باید کم‌تر از حد اشتعال مواد روغنی باشد.

ظرفیت نگهداری کرئوزوت خالص در هر تراورس چوبی از هرگونه چوب و در هر روش اشباع نباید از ۱۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب کرئوزوت با رواداری تا ۱۰٪ (با ۸ تا ۱۴ کیلوبار فشار طی ۳ تا ۵ ساعت) کم‌تر باشد و محل هر برش یا سوراخ‌کاری تراورس‌های چوبی اشباع شده باید قیراندود یا با کرئوزوت پوشش مجدد شود.

دیگ‌های اشباع تراورس باید هر سه ماه یکبار از نظر دارا بودن توان و دوام مکانیکی و حرارتی لازم برای عملیات اشباع تراورس (با فشار ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد) با روش‌های مطمئن صنعتی

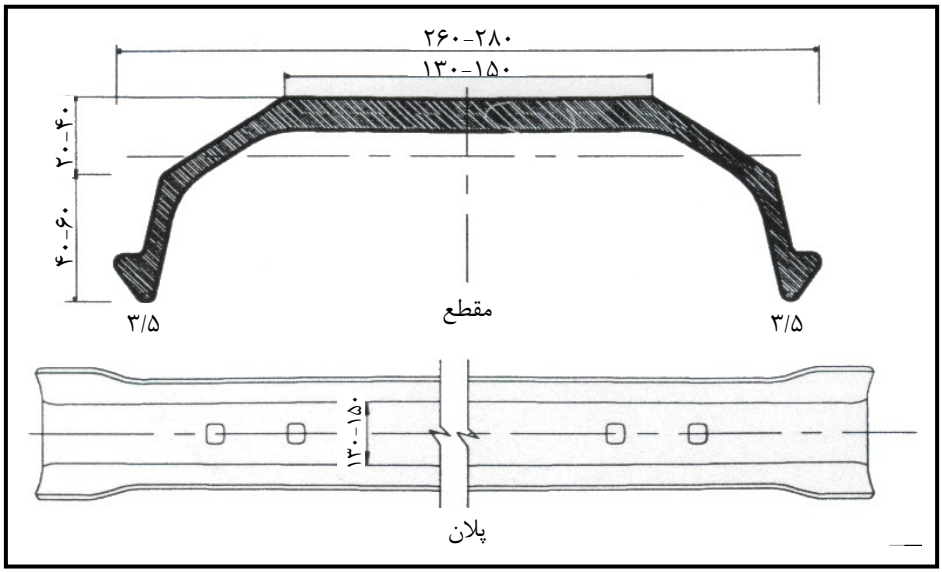
آزمایش و کنترل شوند. همچنین دیگ‌های اشباع هر ماه باید از نظر سالم و تمیز بودن تورهای مناسب در ورودی پمپ‌ها و لوله‌کشی‌ها بازرسی و تمیز شوند. لوله‌های ارتباطی دیگ اشباع و پمپ‌ها و دیگر لوله‌های دیگ اشباع باید هر روز بازرسی و با بخار داغ پر فشار تمیز شوند. برای ساخت تراورس چوبی از تنه درخت باید شرایط زیر برقرار باشند:

- تراورس لازم نیست حتما چهارگوش یا کاملا راست باشد.
- لازم است سطح زیرین آن صاف باشد.
- سطوح کناری آن با زاویه تقریبا قائمه قطع شده باشد.
- در تراورس‌های نیم گرد سطح بالایی باید یک قسمت سطح افقی داشته باشد.

برای بهبود کیفی و افزایش دوام تراورس‌های چوبی بهتر است اقدام مناسب ضد ترک (مانند ایجاد بریدگی‌های سطحی روی تراورس‌ها، تزریق مواد ضد ترک مانند اوره، فرآورده‌های نفتی یا الیافی مصنوعی، قیر پاشی داغ بر رویه تراورس‌های چوبی ترک دار) بر روی تراورس‌های نو یا در حال بهره‌برداری و نیز عملیات گرمایی اضافی برای خشک کردن تراوس‌ها (پیش از اشباع آن‌ها) انجام شود.

۴-۳- تراورس‌های فلزی

تراورس فولادی یک نوع پروفیل نورد شده است که شکل کلی مقطع آن در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. ساخت و کاربرد هر گونه تراورس فلزی با ویژگی‌های هندسی و مکانیکی ویژه یا جدید با توجیه فنی و اقتصادی آن و رعایت مدارک UIC یا معادل آن مجاز است. طول هر تراورس فلزی باید بین ۲/۵ تا ۲/۶ متر، وزن آن بین ۷۵ تا ۹۰ کیلوگرم و ضخامت آن بین ۱۰ تا ۱۶ میلی‌متر باشد.



شکل ۴-۲- شکل کلی تراورس‌های فولادی

ابعاد مقطع تراورس فلزی باید طوری انتخاب شود که مقاومت کافی در برابر نیروهای داخلی داشته باشد و پایداری طولی و عرضی خط را حفظ کند.

ویژگی‌های شیمیایی و مکانیکی تراورس فلزی باید مطابق با جداول (۴-۲) و (۴-۳) باشد.

جدول ۴-۲- ویژگی‌های شیمیایی تراورس‌های فلزی

عنصر شیمیایی	فسفر P	گوگرد S	منگنز Mn	سیلیسیم Si	کربن C
درصد وزنی	≤۰/۰۵	≤۰/۰۵	۰/۵۵-۰/۷۵	۰/۲-۰/۳	۰/۱۵-۰/۲

جدول ۴-۳- ویژگی‌های مکانیکی تراورس‌های فلزی

پایداری به ضربه (MPa)	سختی (برینل)	درصد ازدیاد طول نسبی (٪)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	مقاومت کششی گسیختگی (MPa)
۲۷	۱۴۰-۱۵۰	≥۲۰	۲۵۰-۲۷۵	۴۰۰-۵۱۰

مواردی که استفاده از تراورس‌های فولادی توصیه نمی‌شود عبارتند از:

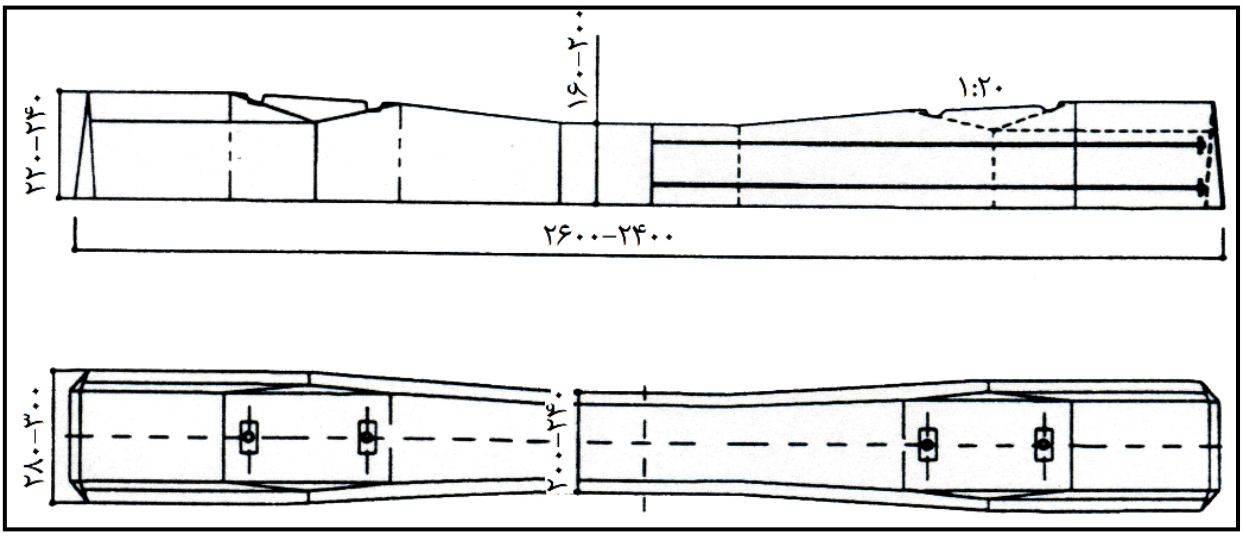
تونل‌های مرطوب، کوه بریدگی‌های مرتفع که در آن‌ها خط در معرض تابش آفتاب قرار نمی‌گیرد مگر آنکه جهت ترانشه شمالی-جنوبی باشد، زمین‌های باتلاقی، پل‌های فاقد بالاست، خطوط مجاور کارخانه‌های شیمیایی و در خطوطی که عایق بودن تراورس در آن‌ها لازم است. رواداری ابعادی تراورس‌های فولادی در ردیف ۴-۹-۲ است.

۴-۴- تراورس‌های بتنی

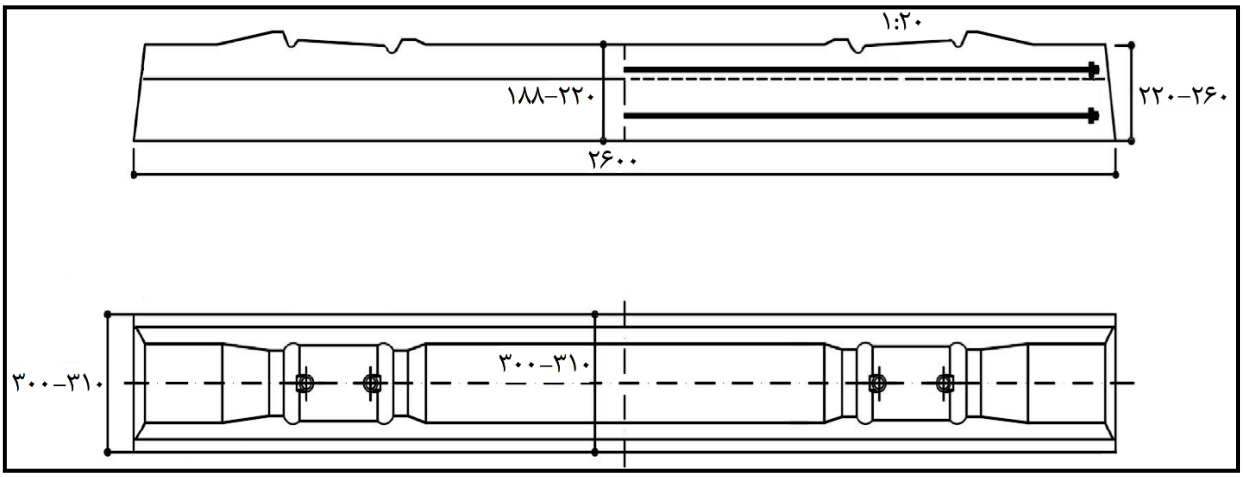
تراورس‌های بتنی در سه نوع طبقه‌بندی می‌شوند.

- تراوس یک تکه (منوبلوک)
- تراورس دو تکه (دی بلوک)
- تراورس سوزن

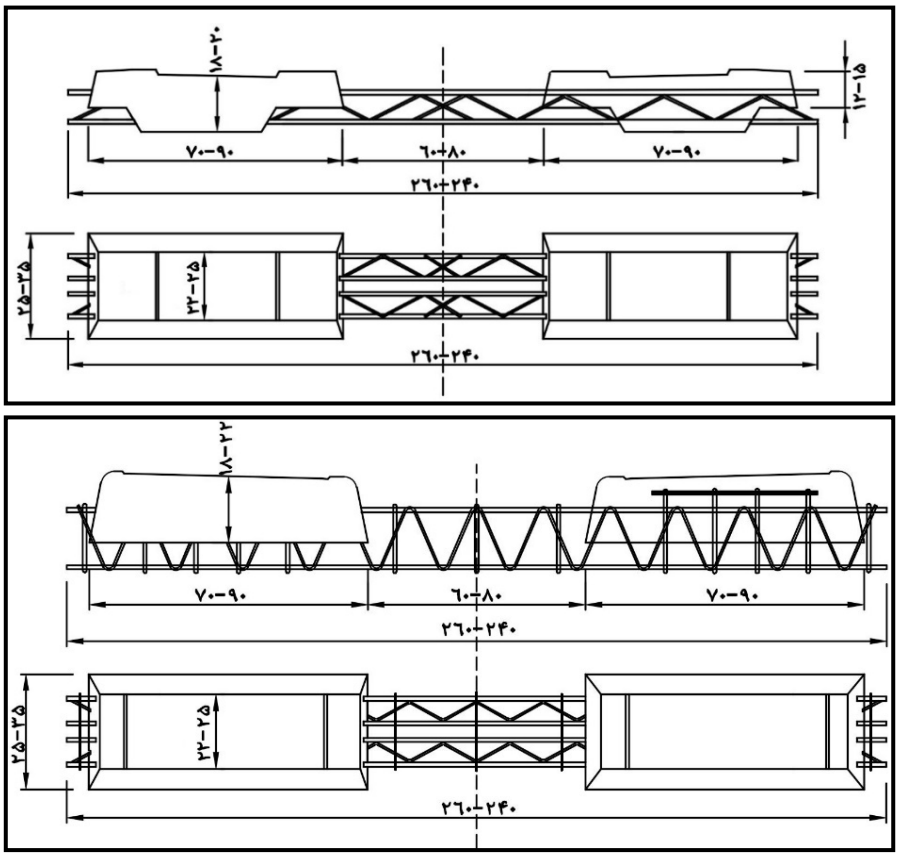
فرم کلی تراورس‌های بتنی یک تکه خطوط بالاستی بار محوری کم‌تر از ۲۵ تن و بار محوری ۳۰ تن و تراورس‌های بتنی دو تکه خطوط بدون بالاست (دال خط بتنی) مطابق شکل‌های (۴-۳) تا (۴-۵) می‌باشد. مشخصات کلی این نوع تراورس‌ها در جدول (۴-۴) ذکر شده است. ابعاد و اندازه‌های دقیق تراورس بتنی، کیفیت مصالح مصرفی و نحوه ساخت آن بر حسب شرایط محیطی و بهره‌برداری بایستی مطابق مشخصات فنی و ضوابط طراحی باشد. تراورس‌های بتنی بایستی برای حداقل طول عمر ۴۰ سال طراحی و ساخته شود. رواداری ابعادی تراورس‌های بتنی در ردیف ۴-۹-۵-۳ است. رعایت ضوابط مربوط به آیین‌نامه‌های معتبر در خصوص بتن پیش‌تنیده در طراحی و ساخت تراورس بتنی یک تکه پیش‌تنیده الزامی است. رعایت ضوابط مربوط به آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) در طراحی و ساخت کلیه تراورس‌های بتنی با بتن معمولی الزامی است.



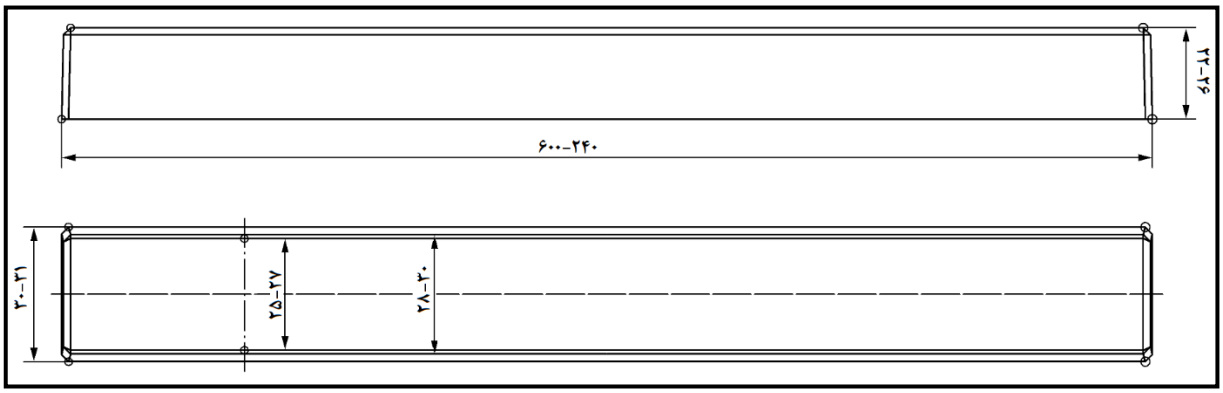
شکل ۴-۳- تراورس بتنی یک تکه مناسب بار محوری کم‌تر از ۲۵ تن (ابعاد به میلی‌متر)



شکل ۴-۴- تراورس بتنی یک تکه مناسب بار محوری ۳۰ تن (ابعاد به میلی‌متر)



شکل ۴-۵- تراورس بتنی دو تکه (ابعاد به سانتی‌متر)



شکل ۴-۶- تراورس بتنی سوزن و تقاطع (ابعاد به سانتی‌متر)

جدول ۴-۴- ویژگی‌های عمومی تراورس‌های بتنی

ویژگی	تراورس پیش تنیده یک تکه (بار محوری کم‌تر از ۲۵ تن)	تراورس پیش تنیده یک تکه (بار محوری ۳۰ تن)	تراورس بتنی دوتکه	واحد
طول کل تراروس	۲۴۰-۲۶۰	۲۶۰	۲۲۰-۲۶۰	(cm)
عرض کف تراورس	۲۴-۲۹	۳۰	۲۵-۳۵	(cm)
عرض رویه تراورس	۲۲-۲۵	۲۲-۲۵	۲۲-۲۵	(cm)
ارتفاع تراورس	۱۵-۲۲	۱۸/۸ -۲۳	۱۸-۲۸	(cm)
طول هر تکه	-	-	۷۰-۹۰	(cm)
شیب نشیمن‌گاه ریل	۱ به ۲۰[۱]	۱ به ۲۰[۱]	۱ به ۲۰[۱] ۱ به ۴۰[۲]	-
وزن کل تراورس[۳]	۲۶۰-۲۸۰	۳۵۰-۳۷۰	۱۶۰-۲۰۰	(Kg)

(۱) در خطوط راه آهن

(۲) در خطوط قطار شهری و حومه

(۳) به منظور به حداقل رساندن بلندشدگی و کاهش خطر کمانش خط، وزن تراورس‌های بتنی یک تکه حداقل ۲۴۰ کیلوگرم است.

میزان فشار مجاز اعمالی بر بالاست زیر سطح موثر تراورس تحت بارگذاری استاتیکی (بدون ضریب) برابر ۳۰۰ kPa است. بر این اساس طبق دستورالعمل UIC 713 به منظور کنترل فشار وارده به بالاست توصیه می‌شود که مساحت کف تراورس‌های بتنی یک تکه با طول ۲/۶ متر حداقل ۷۰۰۰ سانتی مترمربع و تراورس‌های با طول ۲/۵ متر حداقل ۶۰۰۰ سانتی مترمربع باشد. بر اساس استاندارد AREMA-2015 در صورت استفاده از بالاست با کیفیت بالا در سایش، میزان فشار مجاز اعمالی بر بالاست زیر کل سطح تراورس می‌تواند تا ۵۸۶ kPa در نظر گرفته شود. در این صورت استفاده از تراورس‌های با مساحت کف کم‌تر از مقادیر یاد شده نیز بلامانع است. در هر صورت با توجه به بار محوری و سرعت ناوگان عبوری از روی خط، با هدف کنترل فشار وارد بر لایه بالاست می بایست مساحت کف تراورس توسط مهندسین مشاور کنترل و به تایید کارفرما برسد.

میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس‌های بتنی یک تکه باید از جنس DIN St-160 یا استانداردهای معادل و بالاتر و دارای ویژگی‌های شیمیایی مکانیکی مطابق جدول (۴-۵) و (۴-۶) باشند.

جدول ۴-۵- ویژگی‌های شیمیایی میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس بتنی یک تکه

گوگرد S (٪)	فسفر P (٪)	منگنز Mn (٪)	سیلیسیم Si (٪)	کربن C (٪)
≤ ۰/۰۴	≤ ۰/۰۴	۰/۹-۰/۶	۰/۳-۰/۱۵	۰/۸۸-۰/۷۵

جدول ۴-۶- ویژگی‌های مکانیکی میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس بتنی یک تکه

مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	پایداری به ضربه (MPa)	درصد ازدیاد طول نسبی (٪)	سختی (برینل)
۱۸۰۰	۱۴۰۰	<۱۲۵۰	۹	۳۸

آرماتورهای خرپای اتصال تراورس‌های بتنی دو تکه باید طبق آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) یا معادل آن، با پیش‌بینی و رعایت شرایط آب و هوایی و شیمیایی منطقه مورد استفاده، بارهای وارده در

زمان حمل، حداکثر بارها و نیروهای وارده بر آن در دوره ۴۰ ساله کاربرد، توجیه فنی و اقتصادی و تایید کارفرما تعیین طراحی شود. میله مرکزی یا نبشی تراورس‌های بتنی دو تکه در هر حال باید از جنس ضد زنگ یا با پوشش مقاوم ضد زنگ، با لبه‌های تابیده در هر دو طرف (برای حداکثر مهار تکه‌های بتنی دو طرف) باشد. طرفین این میله مرکزی یا نبشی نیز باید در داخل تراورس‌ها برای حداکثر اتصال و پیش‌گیری زنگ‌زدگی قیراندود شود.

جنس پیچ و مهره تراورس‌ها و رول پلاک آن‌ها باید کاملا پایدار و از مواد نو (بدون مواد مستعمل یا بازیافتی) باشد. مشخصات فیزیکی، کیفیت مواد، ویژگی‌های ابعادی، میزان رواداری هر یک و نحوه نصب آن‌ها باید بر طبق مشخصات فنی خصوصی و مطابق استانداردهای معتبر باشد.

عمق رول پلاک تراورس‌های بتنی باید مطابق ردیف ۴-۹-۳-۵ و حداقل مقاومت آن در برابر کشش خارجی بر اساس EN 13146-10 برای تحمل بار ۶۰ کیلونیوتن به مدت ۳ دقیقه بدون ترکخوردگی و توسعه هر گونه خرابی در اطراف رول پلاگ باشد. در صورت استفاده از قطعات مدفون ریخته‌گری شده در تراوراس نظیر شولدر، قطعات با رواداری ۴/۵ میلی‌متر نصب و حداقل مقاومت آن در برابر کشش خارجی (بیرون کشیدگی) معادل ۶۰ کیلونیوتن باشد.

۴-۵- تراورس‌های ترکیبی

استفاده از تراورس‌های ترکیبی (انواع چوب و فلز بازیافتی، پلیمر، پلاستیک یا سرامیک) جدید، در صورت رعایت ضوابط UIC یا AREMA و تصویب کارفرما مجاز است. این نوع تراورس باید دارای شرایط زیر باشد:

- به آسانی قابل حمل و جابجایی باشد.
- در شرایط مختلف کاربری مانند عبور بارهای نفتی و شیمیایی پایدار و مقاوم باشد.
- در برابر شرایط مختلف آب و هوایی بادوام بوده و آسیب پذیر نباشد.
- دارای عمر مفید بیش از ۵۰ سال بوده و دوام نقاط اتصال آن (با پیچ) درحد تراورس‌های چوبی یا بتنی باشد و قابلیت لازم برای توزیع و انتقال فشار وارده از ریل‌ها بر لایه بالاست را داشته باشد.
- عایق الکتریکی مناسبی باشد.

فرآیند تولید این تراورس‌ها به طور کلی شامل مراحل زیر است:

- جمع‌آوری مواد و مصالح مورد نیاز (ضایعات و زباله‌های پلاستیکی و همچنین لاستیک‌های فرسوده خودروها)،
- مخلوط نمودن و ذوب کردن مواد جمع‌آوری شده،
- شکل‌دهی مواد ذوب شده و سرد کردن آن‌ها به شکل مقطع کلی تراورس،
- کنترل همگنی و کیفیت مقطع آماده شده با استفاده از اشعه ایکس، و
- ایجاد بافت مورد نیاز بر روی بدنه مقطع تراورس آماده شده.

اگرچه به دلیل ماهیت ترکیب این نوع از تراورس‌ها و گستره وسیع مواد قابل استفاده در تولید آن‌ها، طبقه‌بندی تراورس‌های ترکیبی بر اساس جنس نسبتا پیچیده است، اما می‌توان این تراورس‌ها را به دو گروه تراورس‌های ترکیبی پلیمری

و چوبی تقسیم نمود. تراورس‌های ترکیبی پلیمری معمولا متشکل از مخلوطی پلیمرهای تقویت شده با الیـاف شیشـه بـوده و تراورس‌های ترکیبی چوبی از صفحات و نوارهای چوبی که توسط مواد چسبنده خاصی با یکدیگر به صورت یکپارچه درآمـده، تشکیل می‌شود. هر یک از تراورس‌های ترکیبی پلیمری و چوبی نیز به نوبه خود دارای انواع مختلفی می‌باشد.

مهم‌ترین انواع تراورس‌های ترکیبی پلیمری عبارتند از:

- تراورس‌های ترکیبی پلیمری تقویت شده با فیبر؛ که در آن از الیاف شیشه‌ای یا الیاف‌های دیگر جهت تقویـت تراورس استفاده می‌شود. علاوه بر الیاف‌ها، به منظور بهبود خواص فیزیکی یا مکـانیکی مشخصـی از تـراورس، گاهی اوقات از مواد پرکننده نیز بهره گرفته می‌شود.
- تراورس‌های ترکیبی پلیمری تقویت شده با ذرات پرکننده؛ کـه در آن از ذرات خاصـی جهـت بهبـود خـواص فیزیکی یا مکانیکی مشخصی از تراورس، استفاده می‌گردد.
- تراورس‌های ترکیبی پلیمری ترکیبی؛ که در آن‌ها از دو نوع الیاف و یا مصالحی همچون فـولاد و بـتن، جهـت تقویت تراورس استفاده می‌شود.

همچنین، مهم‌ترین انواع تراورس‌های کامپوزیت چوبی عبارتند از:

- تراورس‌های ترکیبی چوبی لایه لایه؛ که در آن‌ها ورقه‌های تهیه شده از چوب‌های نـرم و سـخت توسـط یـک چسب بسیار قوی همچون « فنولیکس[1] » به یکدیگر متصل می‌گردد و جسم یکپارچه و مقاومی را بـه وجـود می‌آورد، و
- تراورس‌های ترکیبی چوبی نواری؛ که در آن‌ها از چوب‌های نرمی که به صورت نوارهای بلند با طول بیش از دو متر (بسته به طول تراورس) درآمده‌اند، استفاده می‌شود. این نوارهای چوبی توسـط یـک چسـب بسـیار قـوی همچون « فنولیکس» به یکدیگر متصل شده و جسم یکپارچه و مقاومی را به وجود می‌آورد.

مشخصات فیزیکی و مکانیکی تراورس‌های ترکیبی که از سوی آیین‌نامه AREMA پیشـنهاد شـده اسـت، بـه شـرح جدول (۴-۷) است.

1- Phenolics

جدول ۴-۷- مشخصات فیزیکی و مکانیکی تراورس‌های ترکیبی

نوع تراورس	تراورس‌های ترکیبی چوبی نواری[1]	تراورس‌های ترکیبی چوبی لایه لایه[2]	تراورس‌های ترکیبی پلیمری
مدول الاستیسیته (در خمش منفی مرکز تراورس) (MPa)	مقدار میانگین ۱۲۰۰۰	مقدار میانگین ۱۱۷۰۰	حداقل برابر با ۱۱۷۰
مدول گسیختگی (در خمش منفی مرکز تراورس) (MPa)	حداقل برابر با ۵۳/۸	حداقل برابر با ۶۶/۹	حداقل برابر با ۱۳/۸
تنش فشاری در نشیمن‌گاه ریل (MPa)	*حداقل مقدار	حداقل برابر با ۴/۵	حداقل برابر با ۶/۲
نیروی لازم جهت بیرون کشیدن تراورس (kN) (بعد از عبور 10^5 تن بار ناخالص سالیانه)	حداقل برابر با ۸	حداقل برابر با ۸	حداقل برابر با ۱۱/۱
نیروی لازم جهت بیرون کشیدن پیچ اتصالات ریل به تراورس (kN)	*حداقل مقدار	*حداقل مقدار	مقدار حداقل در محدوده (۸/۵ – ۲۲/۲)
ضریب انبساط حرارتی $(cm / cm / ^\circ C)$	**N/A	**N/A	حداکثر برابر با $1/35 \times 10^{-4}$
مقاومت الکتریکی (اهم)	حداقل برابر با ۱۰۰۰۰	حداقل برابر با ۱۰۰۰۰	حداقل برابر با ۲۰۰۰۰

*حداقل مقدار: توسط کارفرما یا مشاور طرح مشخص شود.

** کاربرد ندارد.[3]

۴-۶- نحوه انتخاب نوع تراورس

انتخاب نوع تراورس باید بر حسب شرایط محیطی، نحوه بهره‌برداری و نگهداری، مشخصات هندسی مسیر، منابع موجود و ملاحظات اقتصادی صورت گیرد.

استفاده از تراورس‌های چوبی دارای مزایایی از قبیل انعطاف‌پذیر بودن، کاهش سر و صدای قطار، امکان تعمیر ادوات آن در خط و عایق بودن می‌باشد. استفاده از تراورس چوبی بر روی پل‌ها و در محل‌هایی که بستر ضعیف داریم توصیه می‌شود. از معایب تراورس چوبی عمر نسبتا کوتاه، هزینه ساخت بالا و مقاومت جانبی کم است. استفاده از تراورس‌های چوبی در مناطق گرم و مرطوب توصیه نمی‌شود.

از مزایای تراورس بتنی این است که به علت وزن زیاد، پایداری بیش‌تری در برابر نیروهای وارد بر خط داشته و می‌توان از بالاست ریزدانه‌تری در زیر آن استفاده کرد و همچنین غیر قابل احتراق است. از معایب تراورس بتنی می‌توان به تمایل شدید آن به خرد شدن در زیر بارهای ضربه‌ای اشاره کرد، همچنین مقاومت خستگی آن در برابر نیروهای متناوب کم است. وزن بالای تراورس بتنی نیز می‌تواند از معایب آن به شمار آید.

1- Glued Laminated
2- Structural Composite Lumber
3- Not Applicable

کاربرد تراورس‌های بتنی در تمامی خطوط راه‌آهن و شرایط محیطی مجاز است. در صورت استفاده از تراورس بتنی برای خطوط با شعاع کم باید تمهیداتی برای تامین اضافه عرض روی آن فراهم شود.

مزایای تراورس‌های فولادی عبارتند از تولید و نصب ساده، ثبات خط، مقاومت جانبی بالا و عمر زیاد. از معایب آن می‌توان خوردگی، خستگی و زنگ‌زدگی را نام برد.

استفاده از تراورس‌های فلزی در تمامی مناطق و خطوط با رعایت هماهنگی آن با نوع ریل و شرایط بهره‌برداری به جز در خطوط آهن برقی، پل‌های فلزی بدون بالاست، محدوده کارخانجات شیمیایی و مناطق کاملا مرطوب مجاز است.

در مناطقی که نیاز بیش‌تری به تثبیت خط باشد (مانند قوس‌های تند مناطق کوهستانی، پل‌ها و تونل‌ها) بهتر است از تراورس فلزی استفاده شود.

استفاده از تراورس‌های ترکیبی (انواع چوب فشرده، فلز بازیافتی، مواد مصنوعی، پلیمری، پلاستیکی یا سرامیکی) در صورت داشتن توجیه اقتصادی و رعایت شرایط زیست محیطی لازم (قابلیت بازیافت ساده، عدم آلودگی شیمیایی، دوام زیاد در برابر حرارت و آتش، عدم حساسیت‌های پوستی برای کارکنان، مقاومت شیمیایی بالا در برابر مواد نفتی و شیمیایی بارهای عبوری)، در صورت تبعیت از یک استاندارد معتبر مجاز است.

۴-۷- تعیین فاصله بین تراورس‌ها

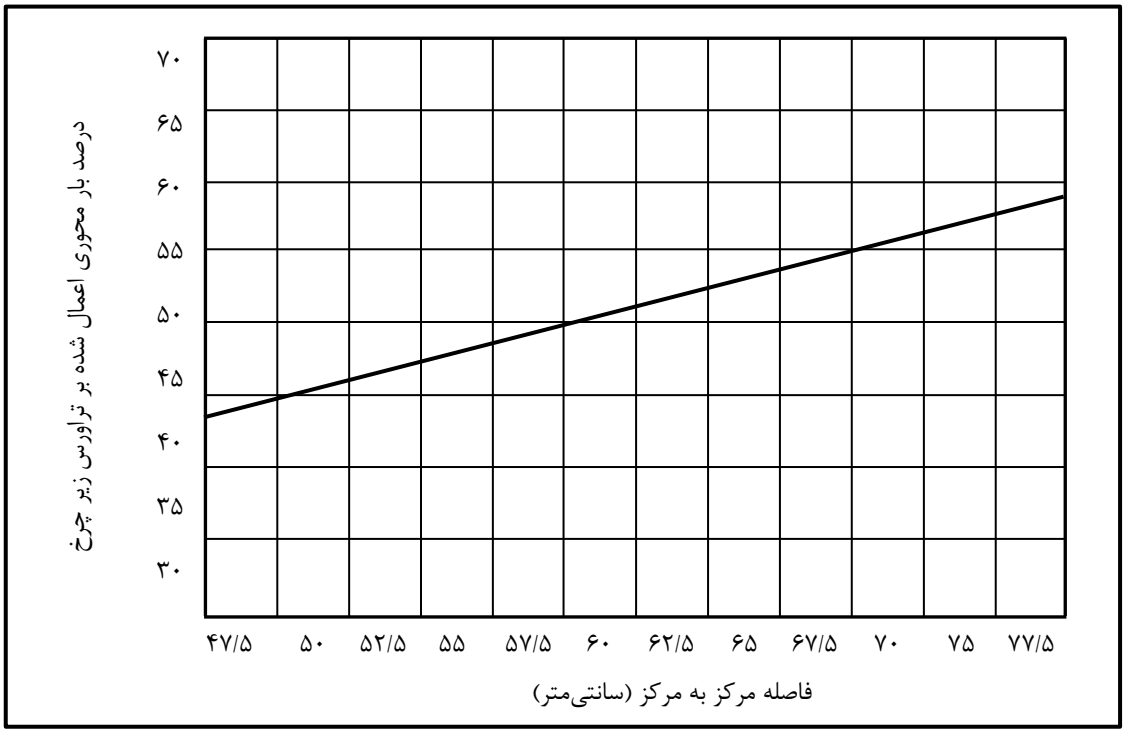
در خطوط بالاستی فاصله محور به محور دو تراورس باید طوری انتخاب شود که اولا خط پایداری کافی در برابر نیروهای طولی و عرضی داشته و ثانیا نیروهای داخلی ایجاد شده در ریل کم‌تر از مقاومت مجاز آن باشد. فاصله محور به محور تراورس‌ها به عوامل متعددی از قبیل سرعت و بار محوری ناوگان عبوری، تناژ ناخالص بار عبوری سالیانه، نوع ریل و مقاومت آن، نوع تراورس، جنس بالاست و ضخامت آن، شرایط هندسی مسیر، نحوه تعمیرات خط و ماشین‌آلات مورد استفاده بستگی دارد. فاصله محور به محور دو تراورس نباید کم‌تر از ۵۰ سانتی‌متر و بیش‌تر از ۷۰ سانتی‌متر انتخاب شود. حداکثر رواداری مجاز فاصله دو تراورس ۲۰ میلی‌متر است. گونیا نبودن تراورس‌ها نسبت به محور خط نیز نباید بیش از ۱۰ میلی‌متر باشد.

در جدول (۴-۸) تعداد تراورس‌های مورد استفاده برای هر کیلومتر از خط با طبقه‌بندی مختلف ارائه شده است. تغییر تعداد تراورس‌ها در هر ۱۰۰۰ متر طول خط نباید بیش از ۰.۵٪ تعداد طراحی شده باشد. درصد بار محوری اعمال شده بر تراورس زیر چرخ بر اساس فاصله مرکز تا مرکز تراورس‌ها در خطوط با بالاست مطابق نمودار (۴-۱) می‌باشد. لنگرهای خمشی طراحی تراورس‌های بتنی پیش تنیده یک تکه بایستی بر اساس EN 13230-6 (2020) تعیین گردد.

در خطوط بدون بالاست درصد بار محوری اعمال شده بر تراورس زیر چرخ به فاصله مرکز تا مرکز تراورس‌ها و مدول خط بستگی دارد و در طراحی روسازی بایستی محاسبه شود.

جدول ۴-۸- تعداد تراورس‌های لازم در یک کیلومتر خط بر حسب طبقه خط (حداکثر بار محوری ۲۵ تن)

طبقه خطوط	مشخصات هندسی خط	تعداد تراورس
C3, D3, C4, D4, E	خطوط مستقیم	۱۴۴۰
	قوس‌هایی با شعاع کم‌تر از ۸۰۰ متر	۱۶۶۷
A4, A3, A2, A1 B4, B3, B2, B1 C2, C1 D2, D1	خطوط مستقیم	۱۶۶۰
	قوس‌های با شعاع کم‌تر از ۱۲۰۰ متر	۱۸۴۰



نمودار ۴-۱- درصد بار محوری اعمال شده بر تراورس زیر چرخ بر اساس فاصله مرکز تا مرکز تراورس‌ها

۴-۸- ضوابط حمل، نصب و نگهداری تراورس‌ها

تخلیه، بارگیری، حمل و نگهداری تراورس‌های چوبی باید با رعایت شرایط ایمنی و بهداشتی آن و با تجهیزات مناسب (بدون صدمه به ویژگی‌های ظاهری و کیفی تراورس‌ها) و در محوطه‌های خشک یا سر پوشیده، کم رطوبت و شیب دار انجام شود.

تزریق مواد ضد گیاهی و قیر اندود کردن رویه و صفحه زیر ریل تراورس‌های چوبی در مناطق مرطوب الزامی است. بازرسی پیچ تراورس‌ها (از نظر عدم ضربه عمودی یا شل شدن محل آن) و تثبیت مجدد آن در همه انواع خطوط در دوره‌های ۳ تا ۶ ماهه ضروری است.

تراورس‌های چوبی ویژه پل‌ها و یا سوزن‌ها باید به صورت مجموعه‌ای با علامت‌گذاری خاص، بسته‌بندی، حمل و نگهداری شوند.

برای جلوگیری از خوردگی و همچنین برای افزایش عمر تراورس‌های فلزی باید سطح با رنگ ضد زنگ یا پوشش قیری به ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر که با غوطه‌ور کردن تراورس فلزی در حمام قیر طبیعی مذاب ایجاد می‌شود، پوشش داده شود.

تحویل، حمل، نگهداری و نصب تراورس‌های بتنی باید با دقت و بدون وارد شدن هر گونه ضربه یا صدمه صورت گیرد. از تماس تراورس بتنی با مواد شیمیایی (به ویژه مواد اسیدی) در حین حمل و نقل باید خودداری شود. نصب تراورس‌های بتنی باید با دقت کافی و برروی سطح کاملا هموار لایه بالاست صورت گیرد تا تحت تاثیر تغییر شکل‌های نامتقارن دچار شکست یا ترک خوردگی نشود. حمل و نقل تراورس‌های بتنی دو تکه بسیار حساس است و حتما باید با وسایل و ماشین‌آلات مخصوص، تخلیه، بارگیری و حمل شوند.

هنگام ریل‌گذاری دقت شود که حتما استقرار بست‌های خط روی قشر بالاست صورت پذیرد و وسط قشر بالاست از دو طرف آن گودتر باشد.

تراورس‌های تولیدی در یک شیفت کاری می‌بایست به صورت یک دپو در هر روز چیده شوند و با دپوی دیگر حداقل ۱/۵ متر فاصله داشته باشند. در دپو حداقل فاصله جانبی تراورس‌ها از یکدیگر ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. تراورس‌هایی که روی هم قرار دارند باید با چارتراش چوبی با ضخامت ۵ سانتی‌متر جدا شوند. بین زمین و تراورس باید چارتراشی چوبی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر قرار داده شود. تراورس باید با وسیله مناسبی مانند لیفت تراک یا جرثقیل‌های سقفی و دروازه‌ای حمل شود. چنانچه از لیفت تراک استفاده شود حداکثر تعداد تراورس در ارتفاع برابر با ۶ عدد می‌باشد و اگر جرثقیل دروازه‌ای استفاده شود این عدد برابر با ۲۰ است. بارگیری، حمل و تخلیه تراورس‌ها باید با دقت کافی و رعایت احتیاط‌های لازم و با جرثقیل‌های خاص صورت گیرد.

۴-۹- ضوابط کنترل کیفی انواع تراورس

کنترل کیفیت انواع تراورس‌ها از نظر انطباق شرایط آن با شرایط ذکر شده در این نشریه و یا سایر استانداردهای معتبر و مشخصات فنی و خصوصی الزامی است. کنترل کیفیت تراورس باید توسط نمایندگان کارفرما در حین ساخت، حمل و نقل و تحویل صورت گیرد. لازم است تا علائم اختصاری ویژگی‌های مهم و اصلی تراورس‌ها، تاریخ و محل ساخت آن‌ها بر روی بدنه تراورس ثبت شود. ضوابط کنترل کیفی انواع تراورس‌ها به شرح زیر است.

۴-۹-۱- ضوابط کنترل کیفی تراورس چوبی

وجود عیوب ظاهری در تراورس‌های چوبی درحد مقادیر جدول (۴-۹) مجاز است. نشانه‌گذاری تراورس‌های چوبی باید پیش از اشباع، با رنگ و به طور واضح در یکی از طرفین تراورس انجام شود.

کنترل اندازه‌های ابعادی تراورس‌های چوبی در دمای $^{\circ}C$ ۱۰ تا $^{\circ}C$ ۳۰ و رطوبت‌های کم‌تر از ۲۲٪، قبل و بعد از عملیات اشباع مجاز است. همچنین تابیدگی افقی و عمودی تراورس‌ها تا ۲ ± میلی‌متر در هر متر طول تراورس و رواداری موازی نبودن سطوح جانبی تراورس‌ها تا ۸ ± میلی‌متر مجاز است.

انجام آزمون‌های زیر در هنگام تحویل تراورس‌های چوبی طبق مدارک UIC و در چارچوب توافقات کارفرما و فروشنده لازم است. فروشنده باید قبل از بریدن چوب و ساخت یا اشباع هر گونه تراورس مراتب را به کارفرما اطلاع دهد تا وی اقدامات نظارتی لازم را به عمل آورد.

- آزمایش مقاومت کششی، خمشی و فشاری به موازات الیاف آن (به ویژه مقاومت فشاری و خمشی در محل صفحه زیر ریل)
- آزمایش ضربه عمودی و خمشی
- آزمایش خارج کردن پیچ از تراورس (اندازه‌گیری مقاومت پیچ)
- آزمایش ارزیابی کیفیت اشباع تراورس با دستگاه سونداژ و منحنی‌های آن
- کنترل ابعاد تراورس و آزمایش تعیین رطوبت تراورس

جدول ۴-۹- حد مجاز عیوب ظاهری تراورس‌های چوبی

ردیف	نوع عیب	حد مجاز و قابل قبول (رواداری)
۱	گره دوگانه، گره جدولی، پوسیدگی سطحی یا عمقی	اصلا مجاز نیست
۲	گره سالم و روشن گره پوسیده یا تیره	در محل صفحه زیر ریل تا ۶۰ میلی‌متر و در دیگر نقاط تا ۱۱۰ میلی‌متر در محل صفحه زیر ریل تا ۱۰میلی‌متر و در دیگر نقاط تا ۵۰ میلی‌متر
۳	لکه‌های قارچی	تا ۲۵٪ در رویه تراورس
۴	فرورفتگی یا شکاف عمیق	بیرون محل صفحه زیر ریل تا ۶ عدد هر تراورس، تا عمق ۲۰ میلی‌متر و عرض ۴۰ میلی‌متر، در محل زیر صفحه ریل به هر میزان مجاز نیست
۵	ترک‌های برجسته، ترک‌های مقطعی، ترک‌های خشکی طولی رویه و ترک‌های خشکی سطوح جانبی	در محل صفحه زیر ریل وسطوح فوقانی و جانبی (به هر میزان) و بیرون محل صفحه زیر ریل تا ۱/۳ ضخامت تراورس، مجاز نیست.
۶	جوانه زدگی	در محل صفحه زیر ریل به هر میزان مجاز نیست در دیگر سطوح تا طول ۸۰ میلی‌متر، عرض ۵۰ میلی‌متر و عمق ۲۰ میلی‌متر
۷	شیب الیاف چوب (به نسبت امتداد طول تراورس)	تا ۱۰٪ عرض یا ارتفاع هر تراورس

۴-۹-۲- ضوابط کنترل کیفی تراورس فلزی

ساخت و تولید تراورس‌های فلزی باید با دقت کافی و با رعایت مشخصات فنی خاصی صورت گیرد. عملیات مربوط به ایجاد سوراخ در روی تراورس نیز بایستی با دقت زیادی صورت گیرد. رواداری ابعاد تراورس فلزی بر اساس مدرک UIC865-1 مطابق جدول (۴-۱۰) می‌باشد.

جدول ۴-۱۰- رواداری ابعاد تراورس فلزی

مشخصه هندسی	رواداری (mm)
ضخامت	+۱/۰ -۰/۵
پهنای کل	±۴
ارتفاع پنجه (ناخنک)	±۱۵
ارتفاع مقطع (برش عرضی)	±۳
طول کل آماده	±۲۵
شیب نشیمن‌گاه ریل ۱ به ۲۰ در رویه تراورس: ارتفاع ریل H ≤ ۱۶۵ mm ارتفاع ریل H> ۱۶۵ mm	 ±۴ ±۲

رواداری ابعاد سوراخ‌ها نباید بیش از ۰/۵ میلی‌متر باشد و فاصله بین سوراخ‌های مربوط به یک ریل نیز باید با رواداری ۰/۷۵ میلی‌متر ایجاد شود.

رواداری مربوط به ضخامت تراورس فولادی در حد ۱+ و ۰/۵- میلی‌متر مجاز است. رواداری عرض در حد ۴ میلی‌متر، رواداری ارتفاع مقطع تا ۳ میلی‌متر و رواداری طول تراورس تا ۲۵ میلی‌متر مجاز است.

معایب تراورس فلزی تا مقادیر زیر مجاز است. تراورس‌های با معایب بیش‌تر به عنوان تراورس فلزی درجه دو علامت‌گذاری شده و کاربرد آن‌ها تنها در خطوط آهن طبقه E در صورت حساس نبودن عیوب آن‌ها مجاز است.

- تابیدگی طولی- عرضی ریل (با رواداری ۲ تا ۴ درجه)
- بریدگی یا شیار در لبه پایین تراورس (با رواداری طولی تا ۲۰ میلی‌متر و عرضی تا ۵ میلی‌متر)
- فرورفتگی یا برآمدگی عمقی در قسمت سر تراورس (با رواداری عمقی ۱۰میلی‌متر، به جز در محل کف ریل که هر گونه فرورفتگی یا برآمدگی مجاز نیست).

در صورت ایجاد ترک‌هایی بیش از مقادیر ذکر شده در حین بهره‌برداری باید در صورت امکان نسبت به ترمیم آن با جوش اقدام شود درصورتی‌که میزان خرابی در تراورس زیاد باشد، باید بلافاصله نسبت به تعویض آن اقدام کرد.

در استفاده از تراورس‌های فلزی تمهیدات لازم برای جلوگیری از دو پدیده خوردگی و خستگی بایستی لحاظ شود. پدیده خوردگی تراورس‌های فلزی بیش‌تر در مناطق مرطوب و ساحلی رخ می‌دهد. خوردگی تراورس‌های فلزی به دو دسته خشک که اکسیداسیون فلز در دماهای نسبتا بالا می‌باشد و خوردگی تر که در حضور یک الکترولیت رخ می‌دهد، تقسیم می‌شود. برای محافظت تراورس‌های فلزی در برابر خوردگی باید تا جای ممکن شرایط مطلوب برای خوردگی را کاهش داد. از جمله این شرایط زهکشی نامناسب آب باران، استفاده از فلزات مختلف بدون عایق کردن آن‌ها از یکدیگر و امکان ایجاد جریانات الکتریکی سرگردان است. محافظت در برابر خوردگی را می‌توان به وسیله پوشش‌های سطحی فعال یا غیر فعال و یا به وسیله پتانسیل الکتریکی حفاظت کننده انجام داد. از جمله حفاظت‌های پر دوام می‌توان پوشش سطحی توسط رنگ را نام برد. ترک‌های خستگی در محل‌های تشدید کننده تنش مثل نقاطی که تغییرات شدید در

مقطع به وجود می‌آید، یا در محل جوش‌ها و سوراخ‌ها به وجود می‌آیند. مقاومت خستگی را باید با افزایش مقاومت کششی و یا به وسیله ایجاد تنش‌های فشاری در لایه‌های سطحی قطعه فلزی افزایش داد. این کار را باید به وسیله انواع روش‌های سخت کردن سطح نظیر سخت کردن حرارتی، سخت کردن القایی، ازت دادن و غیره انجام داد.

۴-۹-۳- ضوابط کنترل کیفی تراورس بتنی

۴-۹-۳-۱- مواد تشکیل دهنده بتن

به طور کلی مواد تشکیل دهنده شامل آب، سیمان، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی می‌باشند. هر یک از آن‌ها باید دارای شرایط خاصی باشد که در ادامه ارائه خواهد شد.

الف- آب مصرفی

آب مصرفی باید مطابق مشخصات آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر دوم (آبا نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) باشد و آزمایشات شیمیایی مطابق این دستورالعمل انجام گیرد نسبت آب به سیمان نباید از ۴۵٪ بیش‌تر باشد و این نسبت جهت دوام بتن باید رعایت گردد.

ب- سیمان

سیمان مصرفی هنگام استفاده از پوزولان‌ها باید از نوع تیپ II مطابق استاندارد ASTM باشد و در صورت عدم استفاده از پوزولان‌ها می‌تواند از نوع تیپ I مطابق استاندارد ASTM باشد. حداقل سیمان مصرفی بایستی $۳۰۰ kg/m^3$ باشد. کلیه آزمایشات فیزیکی و شیمیایی مورد درخواست دستگاه نظارت (نماینده کارفرما) باید مطابق آیین‌نامه ASTM انجام گیرد و با محدوده تعیین شده مقایسه شود.

ج- سنگدانه‌ها

مشخصات شیمیایی کلیه سنگدانه‌های ریز دانه و درشت دانه باید مطابق ASTM-C33 84 باشد. اندازه بزرگ‌ترین مصالح سنگی باید به ۲۰ میلی‌متر محدود شود و دانه‌بندی این مصالح باید مطابق ASTM-C33 84 انجام گیرد. آزمایش اندازه‌گیری مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها باید مطابق بند (۲-۴-۳-۳) فصل سوم مشخصات مصالح بتن آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۲-۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) انجام گیرد. SE ماسه نباید کم‌تر از ۸۰ درصد باشد. افت سایش لس‌آنجلس نیز به ۲۵ درصد محدود می‌شود. کلیه محدوده‌های آیین‌نامه آبا در مورد آزمایشات فیزیکی و شیمیایی باید رعایت شود و آزمایشات خاص مورد درخواست دستگاه نظارت (نماینده کارفرما) باید انجام گیرد.

د- مواد افزودنی (میکروسیلیس- فوق روان کننده-روان کننده):

میکروسیلیس مصرفی باید مطابق مشخصات و محدودیت‌های جدول (۴-۱۱) باشد و پس از آزمایشات مورد نیاز توسط دستگاه نظارت و تایید ایشان مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۴-۱۱- میکروسیلیس مصرفی در تراورس بتنی

ترکیب شیمیایی	حدود مقادیر به دست آمده (٪)
SiO_2	۹۲/۴
Al_2O_3	۰/۵۴-۰/۶۱
Fe_2O_3	۳/۴۲-۴/۵۴
CaO	۰/۶۱-۰/۸۳
MgO	۰/۳۶-۰/۵۲
Na_2O	۰/۱۷-۰/۲۳
K_2O	۱/۰۲-۱/۱۵
افت سرخ شدن	۲/۴۱-۲/۷۵

فوق روان‌کننده و روان‌ساز باید مطابق مشخصات ASTM باشد و پس از استعلام نتایج فرستاده شده و تایید نظارت (نماینده کارفرما) مورد استفاده قرار گیرد. این مواد باید کارایی لازم را به بتن داده و باعث افت مقاومت و خواص بتن نشود.

۴-۹-۳-۲- کنترل کارآیی و کیفیت بتن

کنترل کارآیی بتن به منظور تضمین کیفیت بتن بوده و هدف از آن کنترل یکنواختی و نسبت آب به سیمان و در نهایت مقاومت و دوام بتن است. چنانچه کارآیی (اسلامپ یا وی بی) در محدوده مورد نظر نباشد، بتن تازه مورد قبول واقع نخواهد شد و باید از مصرف آن خودداری شود. رواداری کارآیی بتن به صورت ذیل ارائه می‌گردد.

اسلامپ یا زمان وی بی نباید از حداکثر مقدار تجاوز نماید اما می‌تواند برای حداکثر اسلامپ ۵ سانتی‌متر تا ۲/۵ سانتی‌متر کاهش یابد و برای حداکثر اسلامپ بیش از ۵ سانتی‌متر این کاهش می‌تواند تا ۳/۵ سانتی‌متر باشد. در مورد بتن خیلی سفت زمان وی بی می‌تواند تا ۳ ثانیه بیش‌تر گردد.

اسلامپ و زمان وی بی بتن در کارگاه و در هنگام تهیه طرح اختلاط باید تا حداکثر ۵ دقیقه پس از پایان اختلاط تعیین گردد. در صورت مشاهده هر گونه جدایی مواد در هنگام تخلیه بتن در قالب، باید در مورد طرح اختلاط تجدید نظر کرد و یا ایرادات موجود را بر طرف نمود.

۴-۹-۳-۳- عمل آوری بتن تراورس

هدف از عمل آوری بتن کسب مقاومت در زمان کوتاه‌تر و بالابردن خواص مکانیکی و دوام بتن می‌باشد. برای این امر، با بخاردهی به بتن تراورس سعی می‌شود مقاومت ۷ روزه را در طی کم‌تر از یک روز به دست آورد.

مدت زمان عملیات عمل آوری شامل زمان لازم برای گیرش بتن، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر دمای ثابت نهایی توسط عمل بخاردهی، مدت زمان حفظ دمای ثابت نهایی، زمان لازم برای خنک سازی و رسیدن به دمای محیط می‌باشد.

قبل از گیرش بتن در قالب نباید آن را در معرض بخار گرم قرار داد. در شرایط معمولی، عمل بخاردهی باید ۳ ساعت پس از قالب‌گیری انجام شود. در هوای سرد این زمان به ۴ ساعت و در هوای گرم به ۲ ساعت بالغ می‌گردد.

عمل بخاردهی بر روی مدول ارتجاعی بتن اثر منفی باقی می‌گذارد و چسبندگی بتن و میلگرد را نیز تا حدودی کاهش می‌دهد. لذا حداکثر دمای نگهداری بتن به ۶۵ درجه سانتی‌گراد محدود می‌شود و تحت هیچ عنوان نباید دمای بخار از ۷۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر رود. حداکثر دمای مطلوب نگهداری بتن ۵۵ درجه سانتی‌گراد توصیه می‌گردد. مسلما افزایش دما باعث کاهش مدت عمل‌آوری می‌شود.

توصیه می‌شود نرخ افزایش دما از 20° C/hr بیش‌تر نشود. در کاهش دما نیز این نرخ و یا کم‌تر از آن توصیه می‌گردد. بهرحال افزایش دما با نرخ بیش از 30° C/hr مجاز نیست و نرخ کاهش دما نیز حداکثر 20° C/hr خواهد بود.

حداقل مدت زمان حفظ دمای ثابت نهایی در دمای نگهداری ۶۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۴ ساعت و در دمای نگهداری ۵۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۵ ساعت توصیه می‌گردد. البته با انجام آزمایش باید مدت لازم به دست آید تا در عمل جوابهای رضایت بخش به دست آید. بدیهی است در پایان عملیات عمل آوری حداقل مقاومت لازم برای اعمال پیش‌تنیدگی می‌بایست حاصل گردد.

اگر نتایج آزمونه‌های آگاهی نشان دهند که زمان خروج قالب‌های تراورس از تونل بخار فرا نرسیده است می‌توان عملیات بخاردهی مجدد را به میزان لازم با رعایت سایر موارد (زمان افزایش دما و کاهش آن) ادامه داد. بدیهی است عملیات بخاردهی مجدد امری مطلوب نیست و باید تدابیر لازم از جمله افزایش طول مدت عمل‌آوری اولیه اندیشیده شود تا نیاز به عملیات بخاردهی مجدد نباشد.

۴-۹-۳-۴- دستورالعمل نمونه‌برداری، آزمایش و پذیرش بتن در تولید تراورس بتنی

تمامی ضوابط مربوط به مقاومت فشاری مشخصه بتن در تولید تراورس بتنی بر اساس نمونه‌های استوانه‌های استاندارد با ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر باید مقاومت آن‌ها به مقاومت نظیر آن‌ها در نمونه‌های استوانه‌های تبدیل شود.

جهت ساخت و عمل آوردن نمونه‌ها از دستورالعمل‌های ASTM C92، BS 1881 به ترتیب برای نمونه‌های استوانه‌های و مکعبی استفاده شود. نمونه‌های آزمایش باید همراه تراورس‌ها در تونل بخار قرار داده شوند. فاصله زمانی هر نوبت نمونه‌برداری به شرح ذیل می‌باشد.

- برای ۲۵۰ عدد تراورس حداقل یک نوبت نمونه‌برداری
- برای هر شیفت کاری حداقل یک نوبت نمونه‌برداری و حداکثر سه نوبت نمونه‌برداری

به دلیل کارایی کم بتن تراورس در حالتی که مواد افزودنی روان‌کننده استفاده نمی‌شود، تراکم بتن نمونه‌ها باید به روش ارتعاشی و مشابه با تولید انجام گرفته و تراکم دستی مجاز نمی‌باشد.

آزمایش اسلامپ بتن مطابق دستورالعمل ASTM C143 انجام شود. با توجه به عدم اعتبار آزمایش اسلامپ برای نتایج کم‌تر از ۲۵ میلی‌متر لازم است کارآیی بتن توسط آزمایش وی بی مطابق دستورالعمل BS1881 سنجیده شود. سرعت بارگذاری باید ۱۵۰ تا ۳۶۰ کیلونیوتن در دقیقه برای نمونه‌های استوانه‌های و ۲۷۰ تا ۵۴۰ کیلونیوتن در دقیقه برای نمونه‌های مکعبی باشد. رواداری سن آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های آزمایشی ۷ روزه برابر با ۶ ساعت و برای نمونه‌های ۲۸ روزه، ۲۰ ساعت می‌باشد.

انجام آزمایش‌های کشش، سختی، تعیین ترکیبات شیمیایی برای تحویل و کاربرد میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس‌های بتنی ضروری است.

میلگردهای پیش‌تنیدگی باید از نوع فولاد با رهاسازی کم باشد. قطر میلگردها و تعداد آن‌ها باید طبق مشخصات فنی خصوصی تعیین شود. نیروی پیش‌تنیدگی اعمال شده بر روی میلگردها باید در حین ساخت و تولید تراورس کنترل شود. پوشش بتن روی میلگردهای پیش‌تنیدگی تراورس‌های یک تکه، سوزن و تقاطع‌ها بایستی مطابق مشخصات فنی خصوصی و حداقل ۳۰ میلی‌متر از کف تراورس و ۲۰ میلی‌متر از دیگر وجه‌های آن به جز سطوح انتهایی در نظر گرفته شود. رواداری مقدار نیروی پیش تنیدگی میلگرد در این تراوس‌ها ٪۵± مقدار اسمی تعیین شده آن و رواداری قائم و افقی موقعیت هر یک از میلگردهای پیش‌تنیدگی به ترتیب ۳ ± و ۶ ± میلی‌متر است.

پوشش بتن روی میلگردهای تراورس دو بلوک بایستی حداقل ۲۵ میلی‌متر از کف تراورس و ۱۵ میلی‌متر از سطح نشیمن‌گاه ریل و ۲۰ میلی‌متر از دیگر وجه‌های آن به جز سطوح انتهایی در نظر گرفته شود و رواداری موقعیت هر یک از میلگردهای تراورس دو تکه ۵ ± میلی‌متر در همه جهات است.

در زمان تحویل یا نصب تراورس‌های بتنی هر گونه ترک سطحی یا عمقی در بدنه یا رویه این تراورس‌ها، زنگ‌زدگی یا فرسودگی میلگردهای تراورس دو تکه مجاز نیست. همچنین در موقع تحویل هر تراورس بتنی آزمون‌های حد شکنندگی آن‌ها به شرح زیر لازم است:

الف- آزمایش مقاومت خمشی

بر اساس آیین‌نامه‌های سری EN13230 لنگرهای خمشی مورد استفاده در طراحی تراورس‌های بتنی پیش‌تنیده یک تکه و تراورس‌های بتنی سوزن در سه گروه به شرح زیر دسته‌بندی می‌شود:

- لنگرهای خمشی طراحی اصلی که بر اساس بارگذاری استاتیکی که اثرات دینامیکی شرایط بهره‌برداری در آن لحاظ شده است به دست می آیند. تحت لنگر خمشی طراحی با اعمال ضریب پذیرش نباید هیچ‌گونه ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس‌های بتنی ایجاد شود.

- لنگرهای خمشی ناشی از یک بارگذاری استثنایی که با اعمال ضریب مشخصی که به لنگرهای خمشی ناشی از بارگذاری استاتیکی و به منظور لحاظ نمودن اثرات بارگذاری استثنایی مانند بارهای ناشی از تخت شدگی چرخ محاسبه می‌شوند. هر گونه ترک‌خوردگی ناشی از شرایط بارگذاری باید پس از برداشته شدن بار ناپدید شود. انجام آزمایش خمش ناشی از یک بارگذاری استثنایی در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار انجام شود.
- لنگر خمشی ناشی از بارهای ضربه‌ای تصادفی که با اعمال ضریب مشخصی به لنگرهای خمشی ناشی از بارگذاری استاتیکی و به منظور لحاظ نمودن اثرات بارگذاری ضربه‌ای محاسبه می‌شود. این لنگر خمشی، ظرفیت باربرداری نهایی عضو بتنی را مشخص می‌کند. انجام آزمایش خمش ناشی از بارهای ضربه‌ای تصادفی در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار انجام شود.

انجام آزمایش خمش بر روی تراورس‌های بتنی در دو مرحله انجام می‌شود:

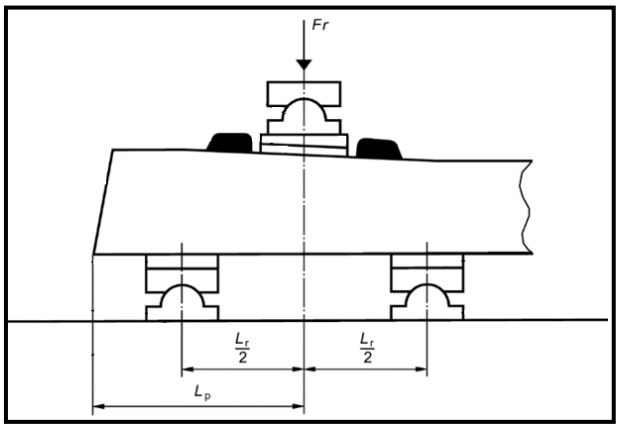
- آزمایش‌های ارزیابی نمونه اولیه تراورس طراحی شده برای محصول اولیه جهت اخذ تاییدیه[1] طراحی و تولید این نوع تراورس، تست‌های تایپ نامیده می‌شود. این آزمایش یک مرتبه برای هر نوع تراورس تولید شده الزامی است.
- برای محصول نهایی و حین تولید انبوه تراورس‌ها تست‌های روتین[2] انجام می‌شود. تست‌های روتین در حضور تیم فنی و بازرسی کارفرما و دستگاه نظارت انجام می‌گیرد.

آزمایش‌های لنگر خمشی شامل آزمایش خمش مثبت و منفی مقطع وسط تراورس و آزمایش خمش مثبت محل نشیمن‌گاه ریل می‌باشد. انجام بیش از یک آزمایش بر روی هر تراورس مجاز نمی‌باشد. مشخصات تکیه‌گاه‌های آزمایش بایستی بر اساس EN 13230-2 باشد.

- آزمایش لنگر خمشی مثبت محل نشیمن‌گاه ریل

آزمایش خمش با ایجاد لنگر خمشی مثبت محل نشیمن‌گاه ریل مطابق شکل (۴-۷) و ایجاد لنگر خمشی مثبت و منفی در مرکز تراورس مطابق شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) بر اساس استاندارد EN13230-2 انجام می‌شود.

1- Design Approval Tests
2- Routine Tests



شکل ۴-۷- آزمایش لنگر خمشی مثبت محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه

در آزمایش لنگر خمشی مثبت محل نشیمن‌گاه ریل در تراورس یک تکه نمونه تحت آزمایش لنگر خمشی سه نقطه قرار گرفته و دهانه بارگذاری به مقدار L_r با دقت ۵ ± میلی‌متر می‌باشد. اعمال بار F_r به صورت عمود بر سطح کف تراورس در وسط محل نشیمن‌گاه ریل وارد می‌شود و تکیه‌گاه‌ها در محل استقرار ریل با دقت ۳ ± میلی‌متر قرار می‌گیرند. انتهای دیگر تراورس بدون تکیه‌گاه قرار می گیرد. مقدار نیروی F_{r0} از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌شود. مقدار دهانه بارگذاری L_r بر اساس جدول (۴-۱۲) متناظر با مقدار فاصله مرکز نشیمن‌گاه ریل تا ابتدای تراورس(L_p) تعیین می‌شود.

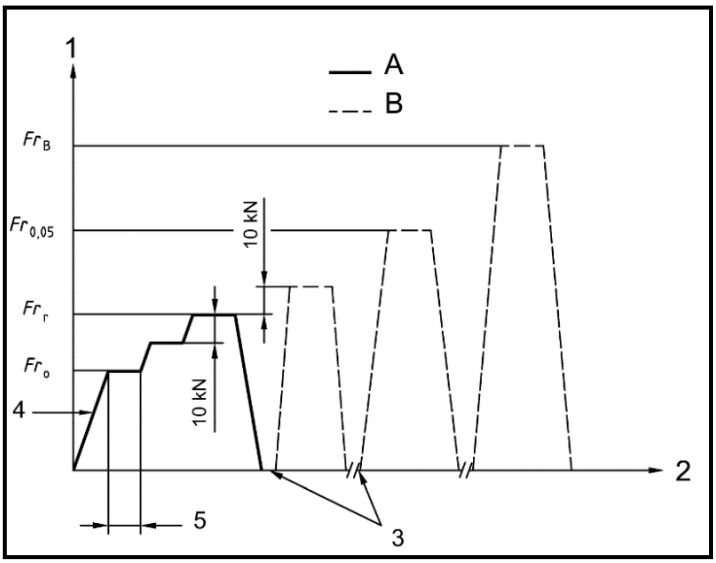
$$Fr_0 = \frac{4M_{k,r,pos}}{L_r - 0.1} \qquad (۴-۱)$$

مقدار L_r از جدول شماره (۴-۱۲) و مقدار لنگر خمشی مثبت طراحی $M_{k,r,pos}$ مورد استفاده بر اساس آیین‌نامه EN 13230-6 تعیین می‌شوند.

جدول ۴-۱۲- مقادیر Fr_0 و L_r متناظر با مقدار L_p

L_p (m)	L_r (m)	Fr_0 (kN)
$L_p < 0.394$	۰/۳	$M_{k,r,pos}$ 20
$0.350 \le L_p < 0.399$	۰/۴	$M_{k,r,pos}$ 13
$0.400 \le L_p < 0.499$	۰/۵	$M_{k,r,pos}$ 10
$L_p \ge 0.499$	۰/۶	$M_{k,r,pos}$ 8

جهت آزمودن نمونه اولیه تراورس نحوه انجام این آزمایش در محل نشیمن‌گاه ریل در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.



۱- محور بار
۲- محور زمان
۳- کنترل ترک‌خوردگی (حداکثر در ۵ دقیقه)
۴- نرخ بارگذاری حداکثر ۱۲۰ کیلونیوتن در دقیقه
۵- از حداقل ۱۰ ثانیه تا حداکثر ۵ دقیقه
A بخش الزامی آزمایش
B بخش اختیاری آزمایش (بخش اختیاری آزمایش‌های ذکر شده در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار انجام شود.)

شکل ۴-۸- نحوه بارگذاری آزمایش خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه در تست روتین و تست تایپ نمونه اولیه

مقادیر بار وارده در آزمایش روتین خمش استاتیکی تراورس‌های بتنی یک تکه مورد استفاده در خطوط با بار محوری ۲۵ تن و ۳۰ تن به شرح جدول شماره (۴-۱۳) است.

جدول ۴-۱۳- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های روتین خمش استاتیکی در تراورس بتنی یک تکه

حالت بارگذاری	نشیمن‌گاه ریل		شرط پذیرش آزمایش
	بار محوری ۲۵ تن (۱)	بار محوری ۳۰ تن (۲)	
لنگر خمش مثبت	Fr_0 =176	Fr_0=184	هیچ گونه ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس ظاهر نشود.

۱- مقادیر درج شده برای آزمایش خمش تراورس B70 است.
۲- مقادیر درج شده برای تراورس‌های بار محوری ۳۰ تن تا حداکثر سرعت بهره‌برداری ۱۶۰ کیلومتر در ساعت است.

در آزمایش بارگذاری آزمایش خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تراورس نمونه اولیه (تست تایپ)، بارگذاری خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تا مقدار Fr_0 و سپس تا پدیدار شدن اولین ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس ادامه می‌یابد. نیروی قرائت شده در زمان مشاهده اولین ترک‌خوردگی Fr_r نامیده می‌شود.

هر بار افزایش بارگذاری به مقدار ۱۰kN و باربرداری کامل مطابق شکل (۴-۸) است. مقدار نیروی قرائت شده پس از ترک‌خوردگی به عرض ۰/۰۵ میلی‌متر $Fr_{0.05}$ و حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس نیز Fr_B نامیده می‌شود. تراورس

بایستی لنگر خمشی طراحی با ضریب پذیرش k_t را بدون پدیدار شدن ترک‌خوردگی در وجه کششی محدوده نشیمن‌گاه ریل تحمل کند به عبارت دیگر:

$$Fr_r > k_t \times Fr_0$$

k_t ضریب پذیرش آزمایش لنگر خمشی استاتیکی است. مقدار k_t برای تراورس تحت آزمایش با عمر ۲۸ روزه در محدوده ۱/۱ تا ۱/۸ قرار می‌گیرد. این ضریب که متناسب با شرایط محیطی عمل‌آوری، عمر تراورس و هندسه مقطع تراورس است، بایستی مطابق دستورالعمل EN13230-6 محاسبه شود.

در صورت ادامه بارگذاری تراورس که می‌تواند بر اساس درخواست کارفرما و یا خریدار باشد، نیروی قرائت معادل ترک‌خوردگی با عرض ۰/۰۵ میلی‌متر ($Fr_{0.05}$) بایستی از نیروی ناشی از لنگر خمشی طراحی ضریب‌دار با ضریب بارگذاری استثنایی k_{1s} بزرگ‌تر باشد.

$$Fr_{0.05} > k_{1s} \times Fr_0$$

همچنین بایستی حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس نیز Fr_B از نیروی ناشی از لنگر خمشی طراحی ضریب‌دار با ضریب بارگذاری تصادفی k_{2s} بزرگ‌تر باشد.

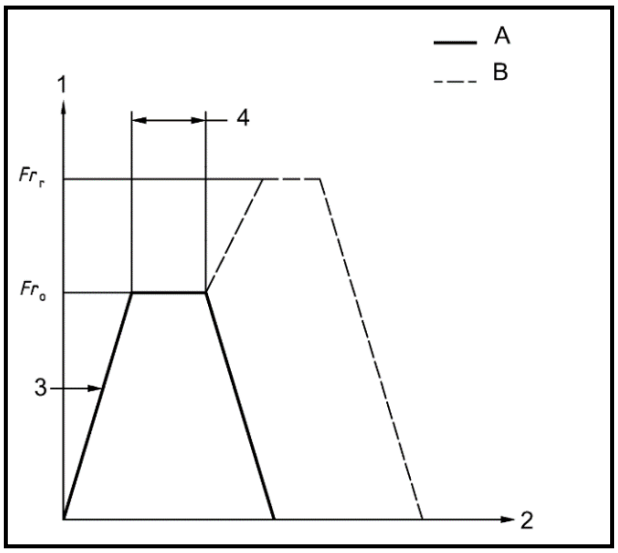
$$Fr_B > k_{2s} \times Fr_0$$

مقدار ضرایب k_{1s} و k_{2s} بر اساس توصیه استاندارد EN13230-6 به ترتیب برابر ۱/۸ و ۲/۵ می‌باشد.

جهت تایید طراحی نمونه اولیه تراورس یا تست تایپ، انجام آزمایش خمش استاتیکی مثبت نشیمن‌گاه ریل بایستی بر روی ۶ عدد تراورس انجام شود.

جهت انجام تست روتین[1] نحوه انجام این آزمایش در محل نشیمن‌گاه ریل در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. انجام آزمایش خمش استاتیکی مثبت نشیمن‌گاه ریل در تست روتین بر روی یک عدد تراورس به ازای هر شیفت‌کاری و یا حداکثر ۷۵۰ عدد تراورس ضروری است.

1- Routine Test



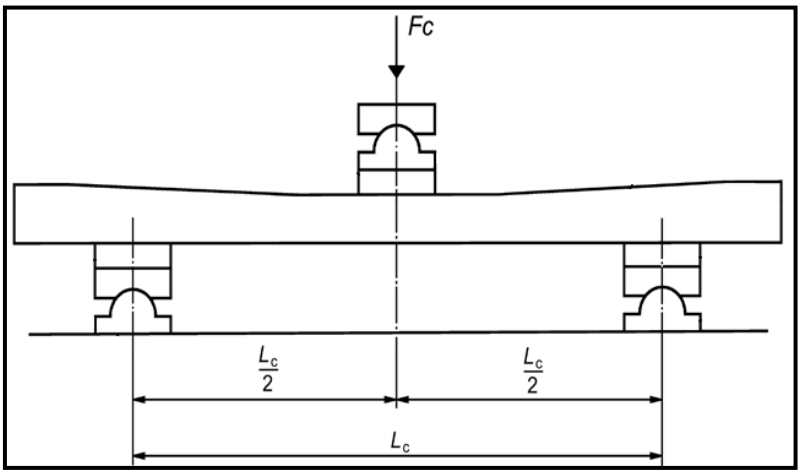
۱- محور بار
۲- محور زمان
۳- نرخ بارگذاری حداکثر ۱۲۰ کیلونیوتن در دقیقه
۴- کنترل ترک‌خوردگی (از حداقل ۱۰ ثانیه تا حداکثر ۵ دقیقه)
A بخش الزامی آزمایش
B بخش اختیاری آزمایش (بخش اختیاری آزمایش‌های ذکر شده در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار انجام شود.)

شکل ۴-۹- نحوه بارگذاری خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل تراورس یک تکه تست‌های روتین

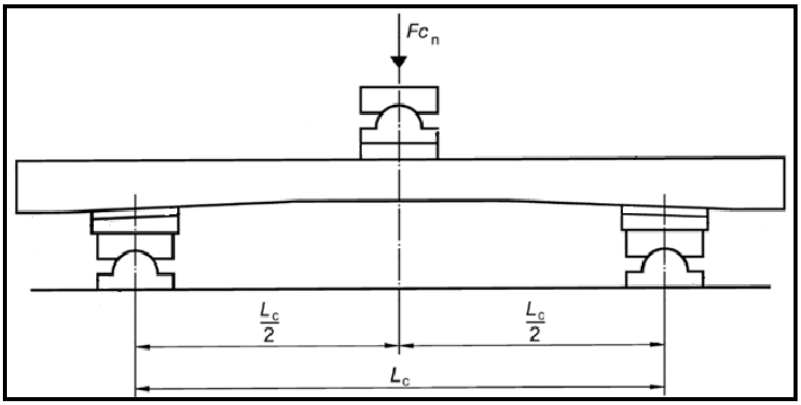
بارگذاری در آزمایش خمش مثبت در محل نشیمن‌گاه ریل برای تست‌های روتین می‌تواند تا پدیدار شدن اولین ترک‌خوردگی در پایین محل نشیمن‌گاه ریل ادامه یابد. نیروی قرائت شده در زمان مشاهده اولین ترک‌خوردگی Fr_r نامیده می‌شود. بارگذاری مازاد بر Fr_0 به منظور فراهم آوردن اطلاعات بیش‌تر بوده و جزو ضوابط مربوط به پذیرش و یا مردود شمردن تراورس نمی‌باشد. تراورس بایستی لنگر خمشی طراحی را بدون پدیدار شدن ترک‌خوردگی در وجه کششی محدوده نشیمن‌گاه ریل تحمل کند.

- آزمایش لنگر خمش استاتیکی مثبت و منفی مرکز تراورس

آزمایش لنگر خمش استاتیکی مثبت و منفی مرکز تراورس نمونه تحت آزمایش لنگر خمشی سه نقطه‌ای قرار گرفته و دهانه بارگذاری ۵ ± ۱۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. مطابق شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) اعمال بار در وسط تراورس انجام می‌شود و تکیه‌گاه‌ها در محل استقرار ریل با دقت ۳ ± میلی‌متر قرار می‌گیرند. آزمایش لنگر خمش استاتیکی منفی مرکز تراورس صرفا جهت آزمودن نمونه اولیه (تست تایپ) مورد استفاده قرار می گیرد. جهت تایید نمونه اولیه تراورس، انجام آزمایش خمش استاتیکی منفی بایستی بر روی ۳ عدد تراورس انجام شود. انجام آزمایش لنگر خمش استاتیکی مثبت مرکز تراورس جهت تایید نمونه اولیه تراورس اختیاری و در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار بر روی ۳ عدد تراورس دیگر انجام شود. انجام آزمایش لنگر خمش استاتیکی مثبت و منفی مرکز تراورس برای تست‌های روتین مورد نیاز نمی‌باشد.



شکل ۴-۱۰- آزمایش لنگر خمشی مثبت وسط تراورس یک تکه



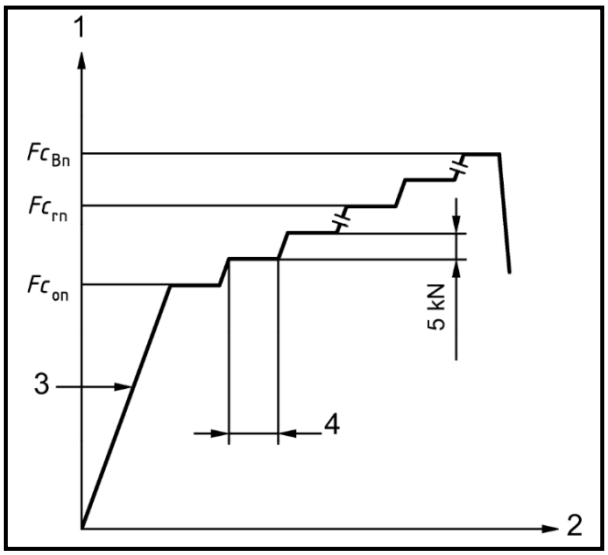
شکل ۴-۱۱- آزمایش لنگر خمشی منفی وسط تراورس یک تکه

مقادیر نیروی Fc_0 و Fc_{0n} از روابط (۴-۲) و (۴-۳) محاسبه می‌شود.

$$Fc_0 = \frac{4M_{k,c,pos}}{L_C - 0.1} \qquad (۴-۲)$$

$$Fc_{0n} = \frac{4M_{k,c,neg}}{L_C - 0.1} \qquad (۴-۳)$$

مقادیر لنگرهای خمشی طراحی مثبت و منفی $M_{k,c,pos}$ و $M_{k,c,neg}$ مورد استفاده بر اساس آیین‌نامه‌های EN13230-6 تعیین می‌شوند. نحوه انجام آزمایش خمش استاتیکی مثبت و منفی مرکز تراورس جهت آزمایش تایپ در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است.



۱- محور بار

۲- محور زمان

۳- نرخ بارگذاری حداکثر ۱۲۰ کیلونیوتن در دقیقه

۴- کنترل ترک‌خوردگی (از حداقل ۱۰ ثانیه تا حداکثر ۵ دقیقه)

شکل ۴-۱۲- نحوه بارگذاری آزمایش تایپ خمش مثبت و منفی تراورس یک تکه نمونه اولیه

نیروی قرائت شده در زمان مشاهده اولین ترک‌خوردگی تحت خمش مثبت و منفی به ترتیب Fc_r و Fc_{rn} و حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس نیز Fc_B و Fc_{Bn} نامیده می‌شود. تراورس بایستی لنگرهای خمشی مثبت و منفی ناشی از بار طراحی ضریب دار را بدون پدیدار شدن ترک‌خوردگی در وجه کششی آن تحمل کند به عبارت دیگر:

$$Fc_r > k_t \times Fc_0$$

$$Fc_{rn} > k_t \times Fc_{0n}$$

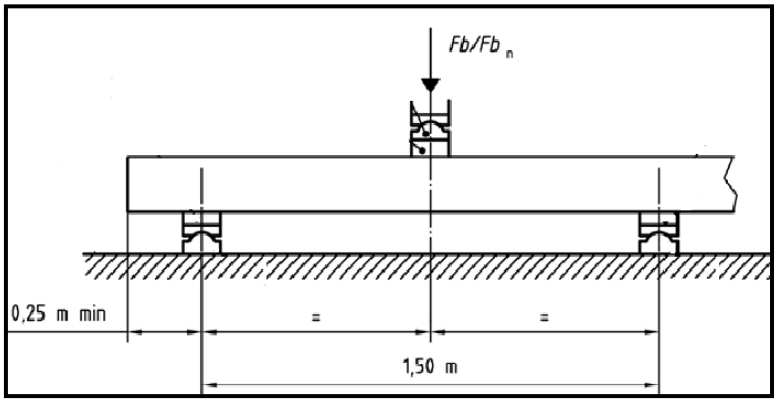
مقادیر بار وارده در آزمایش تست تایپ خمش استاتیکی جهت اخذ تایید طراحی و ساخت نمونه اولیه تراورس‌های بتنی یک تکه مورد استفاده در خطوط با بار محوری ۲۵ تن و ۳۰ تن به شرح جدول شماره (۴-۱۴) است.

جدول ۴-۱۴- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های تایپ خمش استاتیکی تراورس بتنی یک تکه

حالت بارگذاری	وسط تراورس		نشیمن‌گاه ریل		شرط پذیرش آزمایش
	بار محوری ۲۵ تن (۱)	بار محوری ۳۰ تن (۲)	بار محوری ۲۵ تن (۱)	بار محوری ۳۰ تن (۲)	
خمش مثبت	$Fc_0 = 31$	$Fc_0 = 56$	$Fr_0 = 176$	$Fr_0 = 184$	هیچ گونه ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس ظاهر نشود.
خمش منفی	$Fc_{0n} = 43$	$Fc_{0n} = 71$	-	-	
خمش مثبت	$k_t \times Fc_0$	$k_t \times Fc_0$	$k_t \times Fr_0$	$k_t \times Fr_0$	شروع ترک‌خوردگی در نیروهای بیش از میزان بار اعلام شده مجاز است.
خمش منفی	$k_t \times Fc_{0n}$	$k_t \times Fc_{0n}$	-	-	
خمش مثبت	۵۵/۸	۱۰۰/۸	۳۱۶/۸	۳۳۱/۲	مشاهده ترک خوردگی با عرض ۰/۰۵ میلیمتر در نیروهای بیش از میزان بار اعلام شده مجاز است.
خمش منفی	۷۷/۴	۱۲۷/۸	-	-	
خمش مثبت	۷۷/۵	۱۴۰	۴۴۰	۴۶۰	حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس بایستی بیش‌تر از میزان بار اعلام شده باشد.
خمش منفی	۱۰۷/۵	۱۷۷/۵	-	-	

۱- مقادیر درج شده برای آزمایش خمش تراورس B70 است.
۲- مقادیر درج شده برای تراورس‌های بار محوری ۳۰ تن تا حداکثر سرعت بهره‌برداری ۱۶۰ کیلومتر در ساعت است.
۳- مقدار k_t بایستی مطابق دستورالعمل EN13230-6 بر اساس شرایط ساخت و تولید تراورس‌ها محاسبه شود.

انجام تست خمش استاتیکی مثبت و منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات، نمونه مطابق شکل (۴-۱۳) تحت آزمایش لنگر خمشی سه نقطه‌ای قرار گرفته و دهانه بارگذاری ۵ ± ۱۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. تست خمش استاتیکی مثبت و منفی به ترتیب با اعمال بار Fb و یا Fb_n به صورت عمود بر تراورس در وسط دهانه تکیه‌گاه‌های پایین انجام می‌شود و انتهای دیگر تراورس بدون تکیه‌گاه قرار می‌گیرد. مقادیر نیروی های Fb_0 و Fb_{0n} از روابط (۴-۴) و (۴-۵) محاسبه می‌شود.



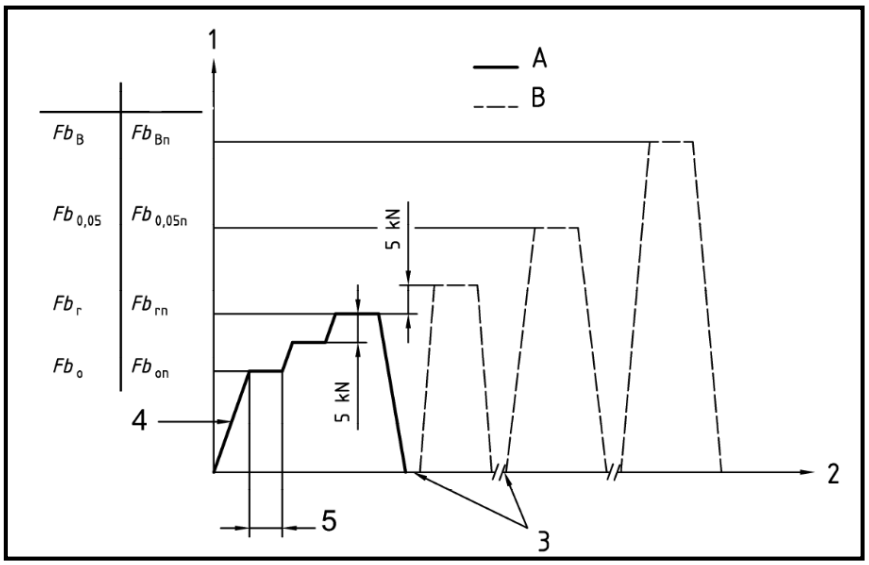
شکل ۴-۱۳- آزمایش لنگر خمشی مثبت و یا منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات

$$Fb_0 = \frac{M}{0.35} \qquad (۴-۴)$$

$$Fb_{0n} = \frac{M_n}{0.35} \qquad (۴-۵)$$

مقادیر لنگرهای خمشی طراحی مثبت و منفی M و M_n مورد استفاده بر اساس آیین‌نامه EN13230-4 تعیین می‌شود. در صورت انجام آزمایش بر روی تراورس‌های با طول بیش‌تر از ۳ متر، لازم است وزن قسمت آویزان در محاسبه لنگر وارده به تراورس منظور گردد.

نحوه انجام آزمایش خمش استاتیکی در آزمایش نمونه اولیه (تایید طراحی) و نمونه‌های تست روتین در شکل‌های (۴-۱۴) و (۴-۱۵) نشان داده شده است. در هر دو بارگذاری خمش مثبت و منفی، بارگذاری نمونه اولیه (تایید طراحی) تا رسیدن به $Fb_{0.05}$ (پدیدار شدن ترک با عرض ۰/۰۵ میلی‌متر) و یا Fb_B (حداکثر بارگذاری قابل تحمل) هر کدام که زودتر فرارسد، ادامه می‌یابد.



۱- محور بار

۲- محور زمان

۳- کنترل ترک‌خوردگی (حداکثر در ۵ دقیقه)

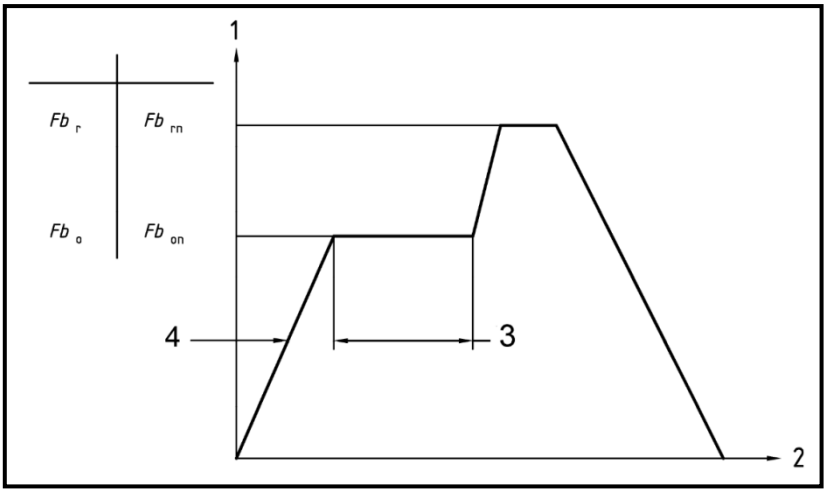
۴- نرخ بارگذاری حداکثر ۱۲۰ کیلونیوتن در دقیقه

۵- از حداقل ۱۰ ثانیه تا حداکثر ۵ دقیقه

A بخش الزامی آزمایش

B بخش اختیاری آزمایش (بخش اختیاری آزمایش‌های ذکر شده در صورت درخواست کارفرما و یا خریدار انجام شود.)

شکل ۴-۱۴- نحوه بارگذاری آزمایش خمش مثبت و منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات برای نمونه اولیه



۱- محور بار

۲- محور زمان

۳- کنترل ترک‌خوردگی (از حداقل ۱۰ ثانیه تا حداکثر در ۵ دقیقه)

۴- نرخ بارگذاری حداکثر ۱۲۰ کیلونیوتن در دقیقه

شکل ۴-۱۵- نحوه بار گذاری آزمایش خمش مثبت و منفی تراورس سوزن‌ها و تقاطعات در تست روتین

در آزمایش لنگر خمشی مثبت و منفی تراورس بتنی سوزن‌ها و تقاطع‌ها، نیروهای قرائت شده در زمان مشاهده اولین ترک‌خوردگی به ترتیب Fb_r و Fb_{rn} و حداکثر نیروهای قابل تحمل تراورس Fb_B و Fb_{Bn} نامیده می‌شوند. در این آزمایش نمونه اولیه برای تست تایپ و نمونه‌های تست روتین باید بار Fb_0 و Fb_{0n} ناشی از لنگر خمشی طراحی مثبت و منفی با ضریب پذیرش k_t را بدون پدیدار شدن ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس تحمل کند به عبارت دیگر بایستی:

$$Fb_r > k_t \times Fb_0$$

$$Fb_{rn} > k_t \times Fb_{0n}$$

در آزمایش نمونه اولیه در صورت ادامه بارگذاری تراورس که می‌تواند بر اساس درخواست کارفرما و یا خریدار باشد، با تناوب افزایش بارگذاری به مقدار ۵ kN و باربرداری کامل، نیروی قرائت شده ای که بعد از باربرداری مقدار عرض ترک‌خوردگی ۰/۰۵ میلی‌متر شود، $Fb_{0.05}$ و $Fb_{0.05n}$ و حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس نیز Fb_B و Fb_{Bn} به ترتیب برای خمش مثبت و منفی نامیده می‌شوند. نیروی قرائت زمان ترک‌خوردگی با عرض به مقدار ۰/۰۵ میلی‌متر ($Fb_{0.05}$ و یا $Fb_{0.05n}$) و یا حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس (Fb_B و Fb_{Bn}) ناشی از لنگر خمشی مثبت و منفی بایستی از نیروی ناشی از لنگر خمشی طراحی ضریبدار با ضریب بارگذاری k_{bs} بزرگ‌تر باشد به عبارت دیگر:

$$Fb_B \text{ یا } Fb_{0.05} > k_b \times Fb_0$$

$$Fb_{Bn} \text{ یا } Fb_{0.05n} > k_{bn} \times Fb_{0n}$$

برای مقدار ضرایب k_b و k_{bn} محدوده ۱/۳ تا ۱/۴ توصیه می‌شود.

مقادیر بار وارده در آزمایش‌های روتین و تایپ خمش استاتیکی تراورس‌های بتنی سوزن مورد استفاده در خطوط با بار محوری ۲۵ تن و ۳۰ تن به شرح جدول شماره (۴-۱۵) است.

جدول ۴-۱۵- مقادیر بار وارده (kN) در آزمایش‌های روتین خمش استاتیکی تراورس بتنی سوزن[۱]

حالت بارگذاری	بار محوری ۲۵ تن	بار محوری ۳۰ تن	شرط پذیرش آزمایش
لنگر خمشی مثبت و یا منفی	$Fb_0 = 76$	$Fb_0 = 91.4$	هیچ گونه ترک‌خوردگی در وجه کششی تراورس ظاهر نشود.
لنگر خمشی مثبت و یا منفی[۲]	$k_t \times Fb_0$ $k_t \times Fb_{0n}$	$k_t \times Fb_0$ $k_t \times Fb_{0n}$	شروع ترک‌خوردگی در نیروهای بیش از میزان بار اعلام شده مجاز است.
لنگر خمشی مثبت و یا منفی	$k_b \times Fb_0$ $k_{bn} \times Fb_{0n}$	$k_b \times Fb_0$ $k_{bn} \times Fb_{0n}$	حداکثر نیروی قابل تحمل تراورس و یا نیروی قابل تحمل تراورس در ترک‌خوردگی با عرض ۰/۰۵ میلی‌متر هر کدام زودتر فرا برسد در نیروهای بیش از میزان بار اعلام شده مجاز است.

۱- مقادیر درج شده برای تراورس‌های تا حداکثر سرعت بهره‌برداری ۱۶۰ کیلومتر در ساعت است.

۲- مقدار k_t بایستی مطابق دستورالعمل EN 13230-6 محاسبه شود.

ب- آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های بتن:

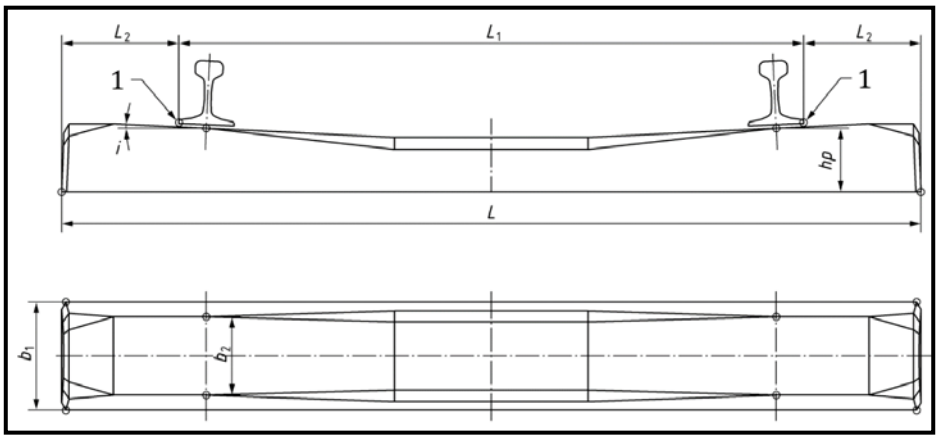
این آزمایش باید بر اساس BS۱۸۸۱ انجام گیرد. توصیه می‌شود بتن تراورس یک تکه بر اساس UIC713 باید حداقل مقاومت فشاری مشخصه بتن دسته C50/60 و یا C45/55 MPa را داشته باشد.

۴-۹-۳-۵- رواداری‌های هندسی تراورس بتنی

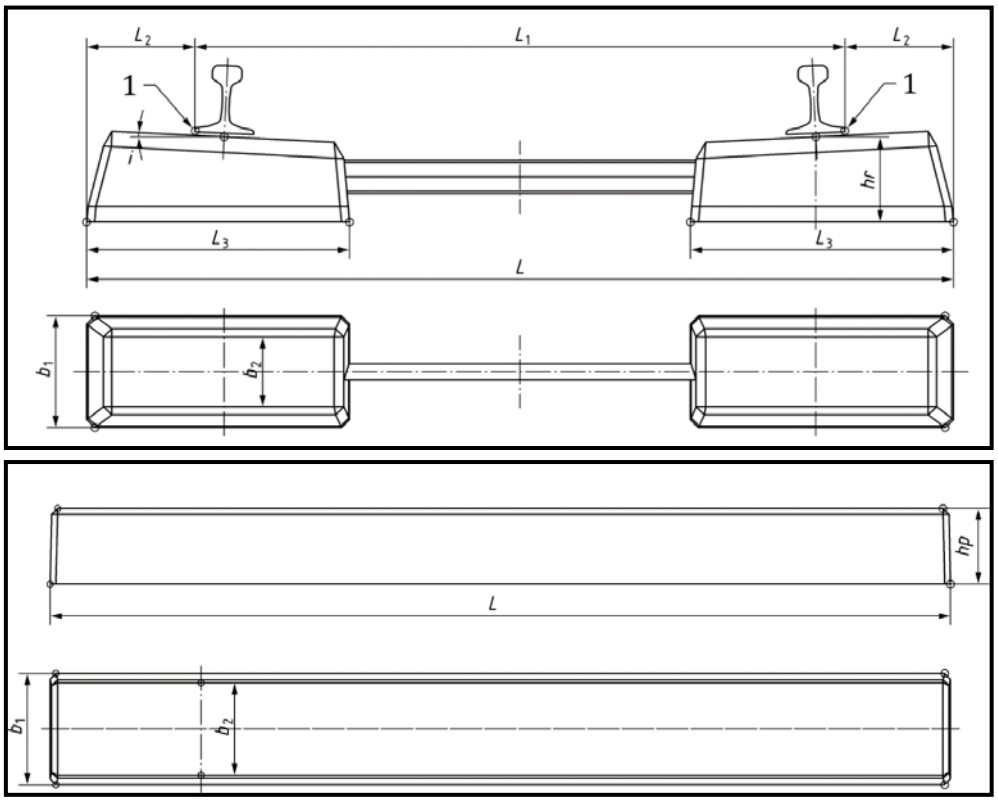
کلیه ابعاد و مشخصات هندسی تراورس‌های بتنی باید مطابق مقادیر ذکر شده در نقشه‌ها باشد. رعایت رواداری‌های هندسی در ساخت تراورس‌های بتنی نشان داده شد در شکل (۴-۱۶) بر اساس استاندارد EN13230-1 مطابق مقادیر جدول (۴-۱۶) الزامی است.

جدول ۴-۱۶- رواداری ابعادی تراورس‌های بتنی[1]

مشخصه ابعادی / پارامتر هندسی	علامت	رواداری (mm)
طول	L	± ۱۰
عرض رویه و کف	b_2وb_1	± ۵
ضخامت (ارتفاع) تراورس یک تکه و سوزن	hr	-۳ +۱۰
ضخامت (ارتفاع) تراورس دو تکه	hp	-۳ +۵
فاصله محل قرارگیری لب بیرونی ریل	L_1	-۱ +۲
فاصله محل قرارگیری لب بیرونی ریل تا انتهای تراورس	L_2	± ۸
طول هر بلوک تراورس دو تکه	L_3	± ۸
شیب طولی نشیمن‌گاه ریل	i	± ۰/۲۵ °
پیچش نسبی مابین نشیمن‌گاه های ریل	T	۰/۵ °
وزن تراورس (نسبت به وزن اسمی)	m	± ٪۵
موقعیت مرکز هندسی مفتول‌های پیش تنیدگی در مقایسه با مرکز هندسی مقطع بتنی	-	±۳
پوشش مفتول‌های پیش تنیدگی	-	±۵

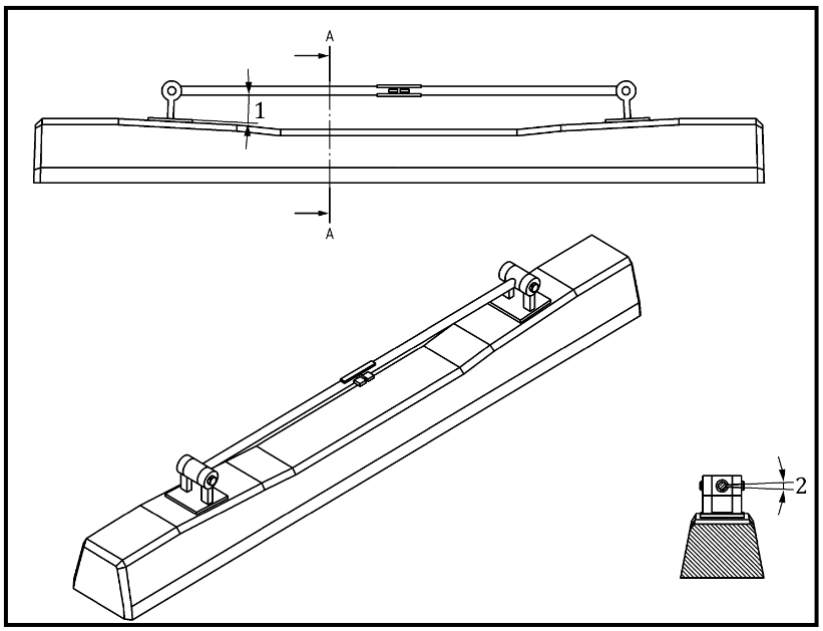


1- EN 13230-1



نقطه ۱: محل قرارگیری پاشنه بیرونی ریل

شکل ۴-۱۶- پارامترهای هندسی تراورس‌های بتنی یک تکه، دو تکه و تراوس سوزن



۱- اندازه‌گیری شیب عرضی نشیمن‌گاه ریل

۲- اندازه‌گیری پیچش طولی بین دو نشیمن‌گاه ریل

شکل ۴-۱- اندازه‌گیری شیب و پیچش نشیمن‌گاه ریل

عمق رول پلاک تراورس‌های بتنی باید از ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر با رواداری ۴/۵ میلی‌متر و موقعیت رول پلاک نسبت به محل صفحه اتصال یا محل استقرار ریل تا ۲ ± میلی‌متر مجاز است. همچنین رواداری قطر داخلی، ضخامت و ارتفاع رول پلاک در محل سوراخ تراورس باید به طور پایدار، بدون لغزش و بدون فشردگی اولیه (پیش از نصب پیچ)، با زاویه پیش بینی شده در نقشه ها (بارواداری ۱/۵ ± درجه) صورت گیرد. این رواداری‌ها شامل ابعاد، محل پابندها، انحراف و چرخش نشیمن‌گاه ریل، و شرایط لازم برای حداقل پوشش بتنی می‌باشد.

۴-۹-۴- ضوابط کنترل کیفی تراورس‌های ترکیبی

ضوابط و معیارهای آیین‌نامه AREMA در مورد الزامات ابعادی تراورس‌های ترکیبی، به شرح زیر است.

- مقطع عرضی تراورس‌های کامپوزیت، به شکل مستطیل و ابعاد استاندارد آن‌ها برابر با ۱۷۸ mm در ۲۲۹ mm در طول ۲/۶ تا ۲/۷ متر می‌باشد.
- رواداری ضخامت تراورس‌های ترکیبی با سطوح آجدار برابر با ۶/۴ mm + و ۰/۰ mm- می‌باشد. (هیچ گونه کاهش ضخامت مجاز نمی‌باشد.)
- رواداری عرض تراورس‌های ترکیبی با سطوح آجدار برابر با ۶/۴ mm ± می‌باشد.
- رواداری طول تراورس‌های ترکیبی با سطوح آجدار برابر با ۱۹ mm + و ۰/۰ mm- می‌باشد. (هیچ گونه کاهش طول مجاز نمی‌باشد.)

فصل ۵

پابند

۵-۱- کلیات

استفاده از پابند به عنوان وسیله‌ای برای ایجاد اتصال ایمن بین ریل و تراورس ضروری است. مهم‌ترین مشخصه یک پابند، نیروی فشاری وارد از طرف آن به ریل است که به عنوان نیروی شاخک خوانده می‌شود. نیروی شاخک وارد از طرف پابند باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند:

- عرض خط را در تمامی قسمت‌های راه‌آهن حفظ کند.
- از لغزش عرضی ریل نسبت به تراورس به ویژه در قوس‌ها جلوگیری کند.
- از لغزش طولی غیرمجاز ریل نسبت به تراورس به ویژه در اثر تغییرات دما جلوگیری کند.
- از چرخش عرضی ریل نسبت به کف آن (کله کردن ریل) در اثر نیروهای عرضی جلوگیری کند.

حداکثر نیروی شاخک لازم بایستی بر حسب حداکثر بار محوری و سرعت ناوگان عبوری و حداقل شعاع قوس‌ها و حداکثر شیب و فراز مسیر تعیین شود. پابند مورد استفاده باید توانایی اعمال حداقل نیروی شاخک لازم را با حداقل ضریب ایمنی داشته باشد.

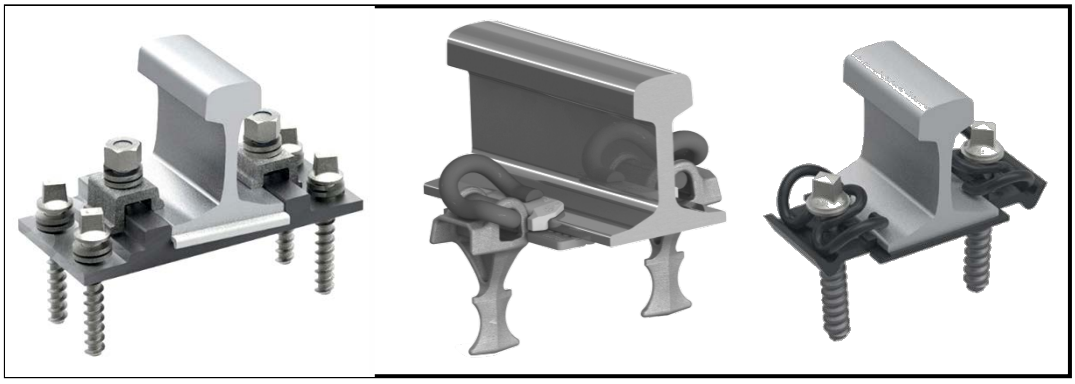
۵-۲- انواع پابند

پابندها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از پابندهای صلب و پابندهای ارتجاعی.

پابندهای صلب می‌توانند در خطوط کم سرعت تا حداکثر ۸۰ کیلومتر در ساعت استفاده شوند. از انواع مهم این پابندها پابند تیپ K می‌باشد.

توصیه می‌شود برای خطوط با سرعت بالای ۸۰ کیلومتر در ساعت و خطوط مسافری پرسرعت از پابندهای ارتجاعی استفاده شوند. از انواع مهم این پابندها پابند وسلو و پاندرول می‌باشد.

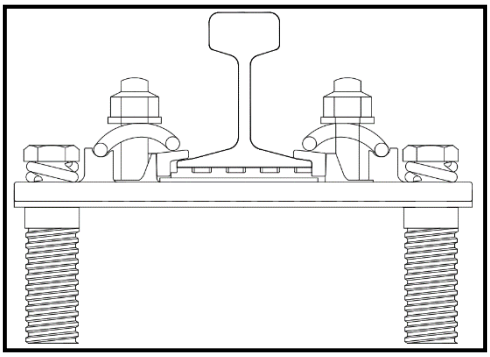
استفاده از پابندهای دیگر نظیر پابند KS به غیر از پابند نوع K، وسلو W14 و پاندرولe-Clip که در این نشریه ذکر شده اند، با رعایت مشخصات فنی مربوطه و توجیه اقتصادی مجاز می‌باشد.



شکل ۵-۱- پابندهای نوع K، وسلو W14 و پاندرول e-Clip

شکل ۵-۲- پابند نوع KS

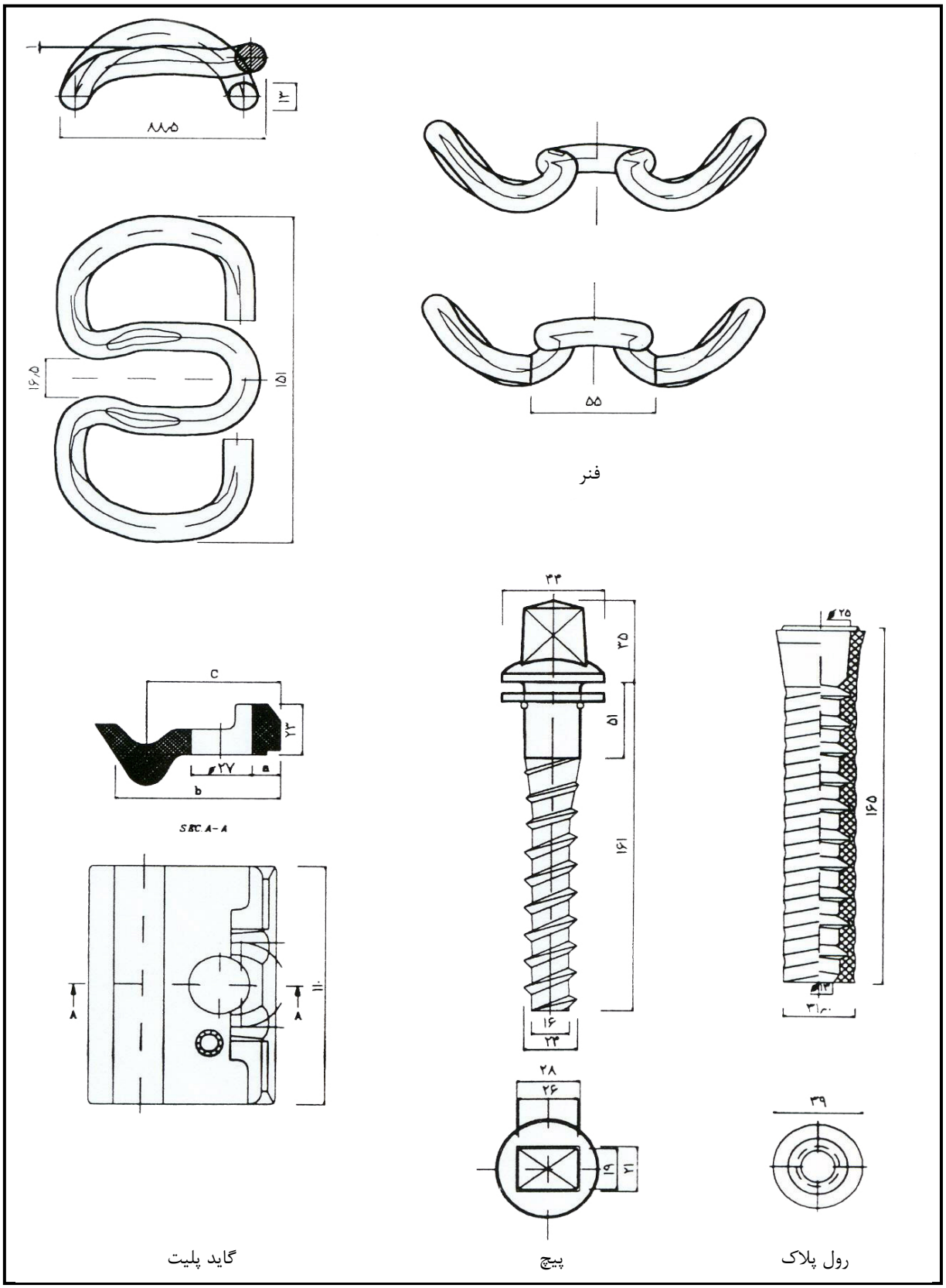
سیستم پابند KS که پابند کا-وسلو هم نامیده می‌شود از ترکیب صفحه‌ای فلزی پابند K و فنر **w** شکل ساخته شده است و بیش‌تر در دستگاه خطوط و انشعاب‌ها کاربرد دارد. در دال خط‌های قطار شهری و حومه نیز استفاده از نوعی از پابند KS به نام DTVI-1 که به تیپ چینی معروف است، متداول می‌باشد.



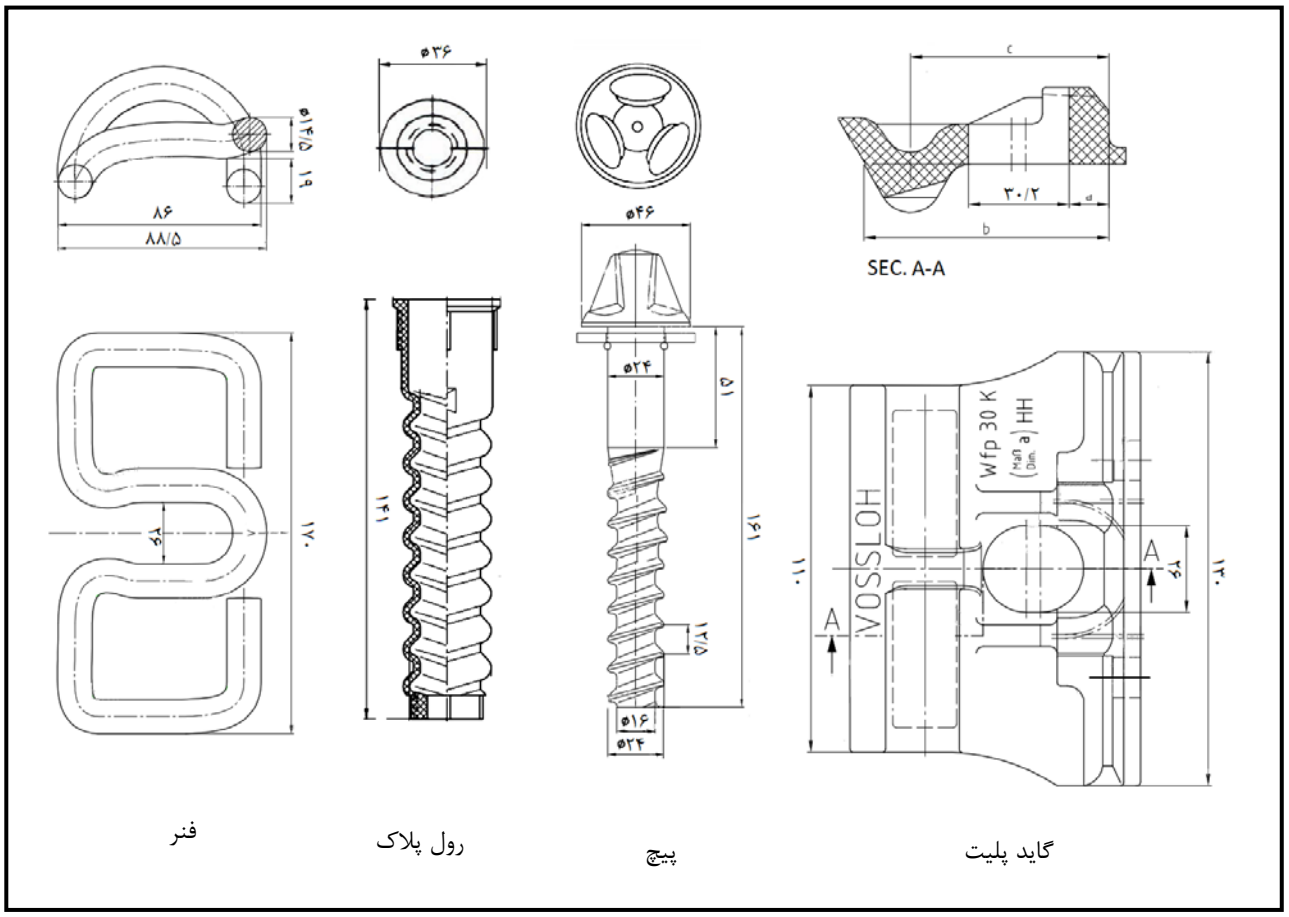
شکل ۵-۳- پابند DTVI-1 تیپ KS مورد استفاده در خطوط قطار شهری

۵-۲-۱- پابندهای وسلو

همان‌طور که پابند نوع وسلو W14 در شکل (۵-۱) نشان داده شده است، این پابندها شامل یک فنر w شکل است که به وسیله یک پیچ بر روی تراورس تثبیت می‌شود. این نوع پابندها انواع مختلفی دارند که می‌توان به سیستم پابندهای نوع W14، W21، W14HH، W30HH، 300 و UTS 300 اشاره کرد. برخی انواع فنرهای وسلو نیز فنرهای SKL1، SKL2، SKL8، SKL12، SKL14، SKL21 و SKL30 اشاره کرد. هر یک از پابندهای مذکور با توجه به جنس و نوع طراحی از ویژگی‌های خاصی برخوردار هستند که امکان استفاده از آن‌ها را در شرایط مختلف بار محوری، نوع روسازی و نوع تراورس‌ها فراهم می‌سازد. پابند وسلو W14 و W30HH با فنرهای SKL14 و SKL30 که از انواع پابند ارتجاعی محسوب می‌شوند، در خطوط بالاستی متداول می‌باشد و تا حداکثر بار محوری ۲۵ تن و ۳۵ تن قابل استفاده است. (شکل ۵-۴ و شکل ۵-۵) استفاده از این نوع پابند با تراورس‌های بتنی امکان‌پذیر است. ابعاد دقیق اجزای این پابند باید با رواداری‌های لازم مطابق مشخصات فنی خصوصی بر حسب نیروی شاخک مجاز کنترل شود.



شکل ۵-۴- قطعات پابند نوع وسلو W14



شکل ۵-۵- قطعات پابند نوع وسلو W30HH

۵-۲-۲- پابندهای پاندرول

این نوع پابندها از انواع مختلفی تشکیل شده‌اند که می‌توان به پابندهای VANGUARD، VIPA، FASTCLIP و e-Clip اشاره کرد. استفاده از پابند VANGUARD با جذب ارتعاش زیاد برای خطوط دال خط در نواحی حساس به ارتعاش کاربرد دارد. متداولترین نوع پابند پاندرول، پابند e-Clip که از نوع پابندهای ارتجاعی بوده و مطابق شکل (۵-۶) شامل فنر و شولدر است. شولدر در داخل تراورس بتنی قرار گرفته و فنر ضمن عبور از داخل سوراخ آن، ریل را به تراورس تثبیت می‌کند. این نوع پابند برای خطوط بالاستی و نیز به دلیل حذف رول پلاک و پیچ تراورس و استفاده از شولدر در نواحی در معرض ماسه نیز کاربرد دارد. نوع اصلاح شده آن ضد سرقت است. استفاده از این نوع پابند برای هر سه نوع تراورس چوبی، بتنی و فلزی امکان‌پذیر است. ابعاد دقیق مربوط به اجزای پابند پاندرول بایستی مطابق مشخصات فنی خصوصی بر حسب نیروی شاخک لازم با رواداری‌های مجاز کنترل شود.

۵-۲-۳- پابند کا (K)

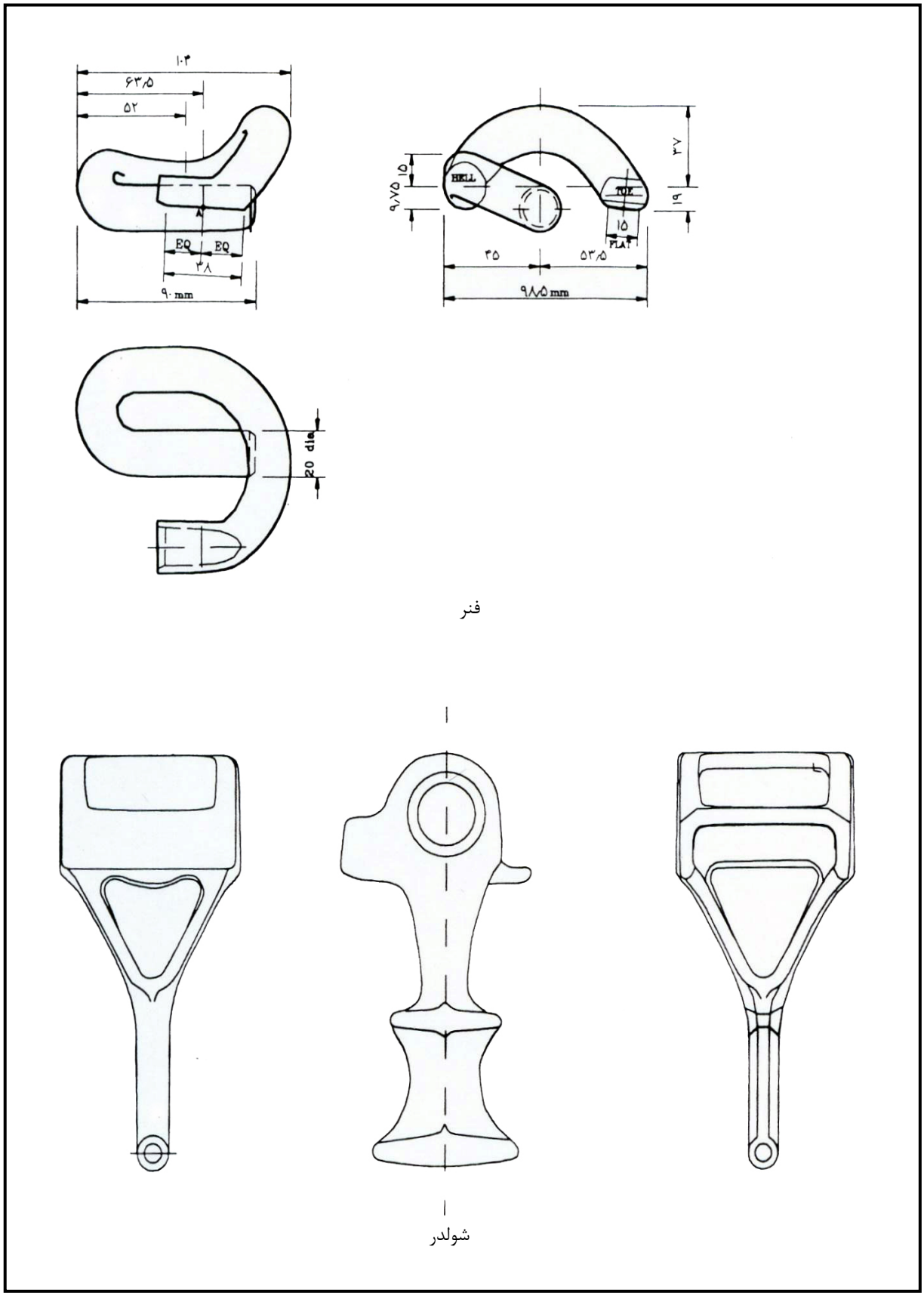
این پابند از نوع پابندهای صلب است. همان‌طور که در شکل (۵-۷) نشان داده شده است این پابند دارای یک صفحه فولادی است که محل نشیمن‌گاه ریل در آن برای موارد مصرف در خطوط راه آهن جمهوری اسلامی ایران دارای شیب

۱:۲۰ می‌باشد. ریل به کمک یک صفحه لاستیکی بر روی صفحه فولادی قرار می‌گیرد و از طریق گیره‌های مخصوص و پیچ آن تثبیت می‌شود.

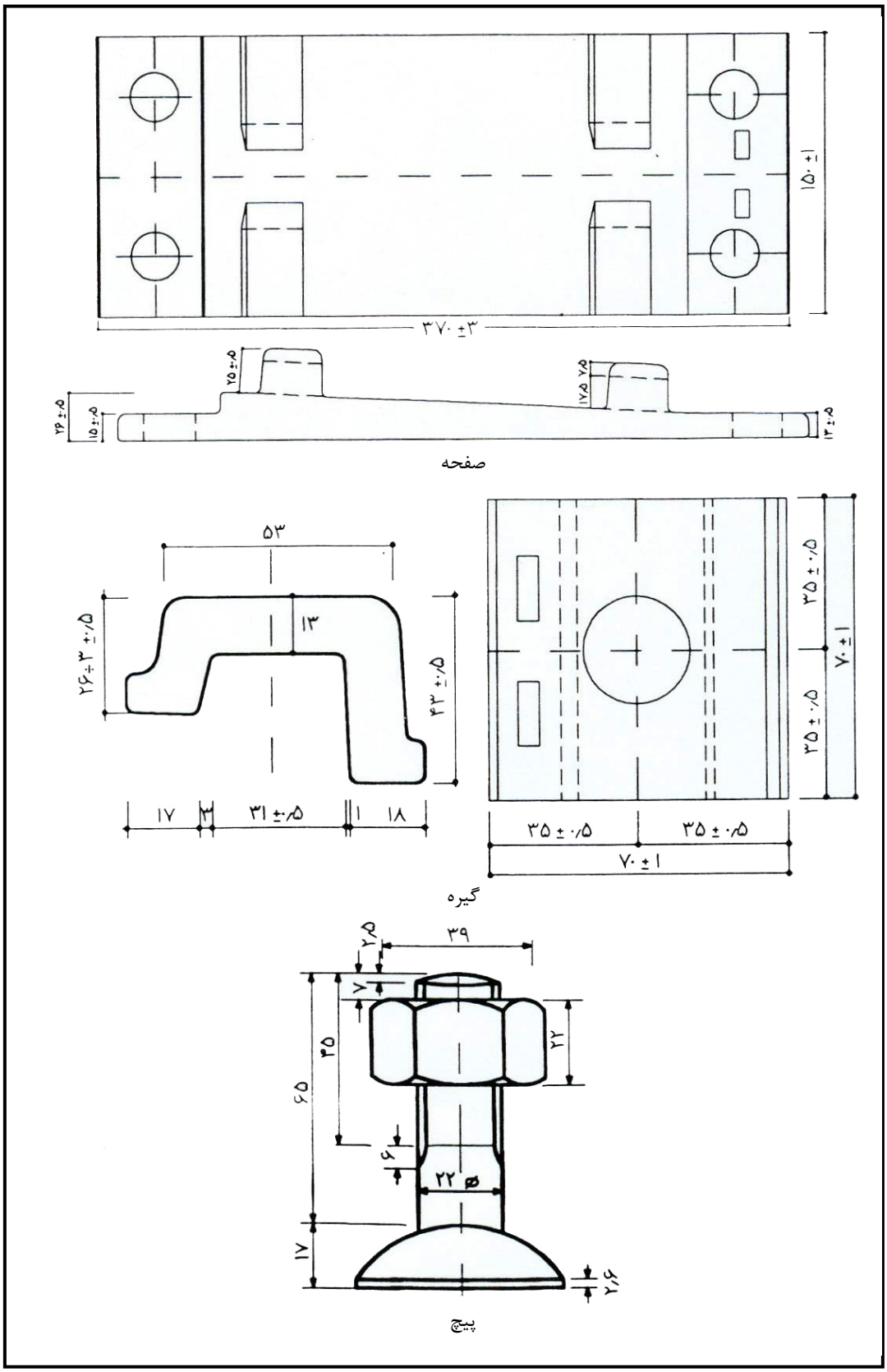
این نوع پابند مخصوص تراورس‌های چوبی است، لیکن در موارد خاص می‌توان با پیش‌بینی اتصالات خاص از آن بر روی تراورس‌های بتنی و فلزی و حتی خطوط چال سرویس تعمیرگاه‌ها نیز استفاده کرد.

۵-۲-۴- پابند KS

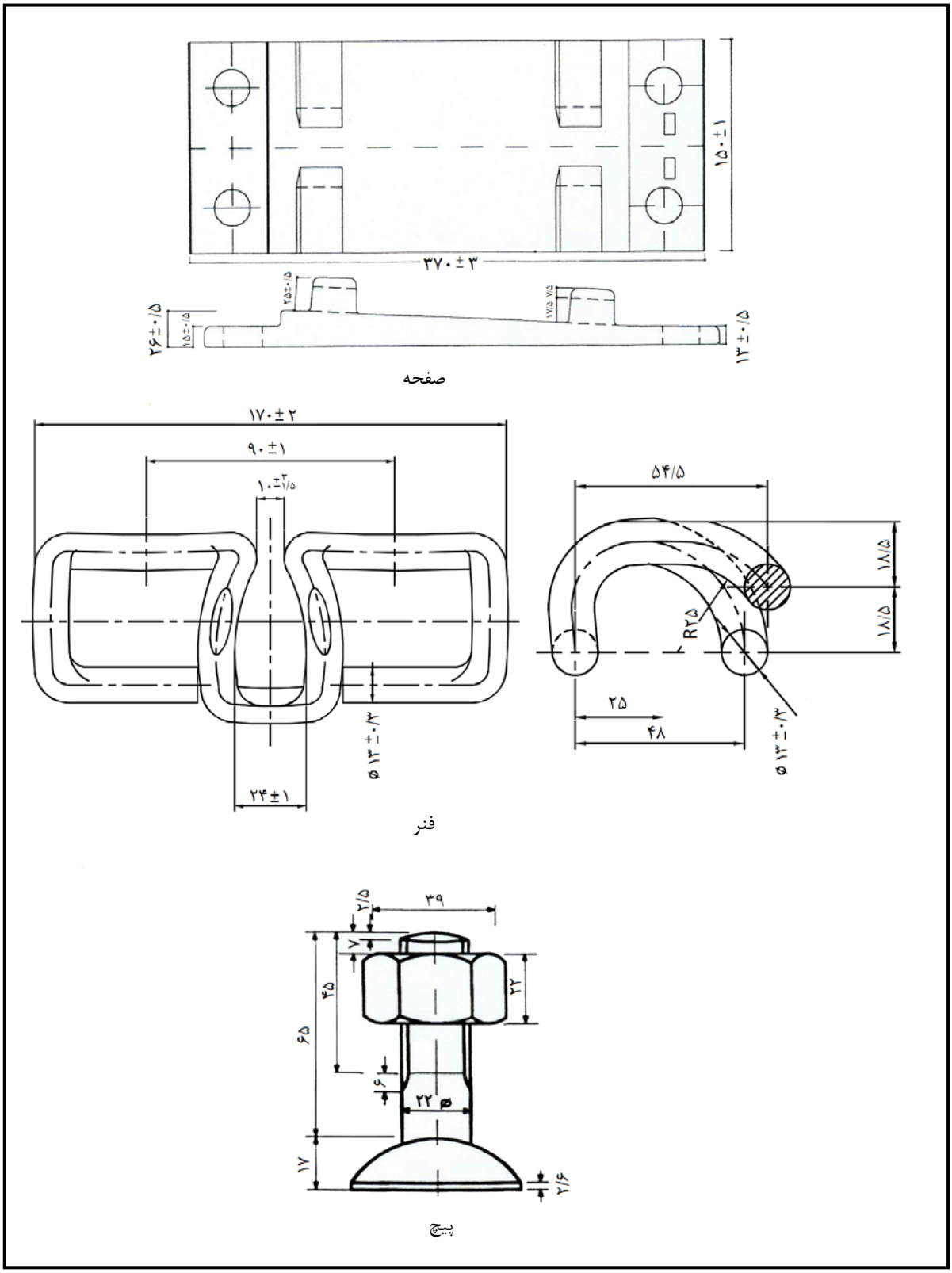
این پابند با توجه به استفاده از فنرهای w شکل از نوع پابندهای ارتجاعی است. همان‌طور که در شکل (۵-۸) نشان داده شده است این پابند دارای یک صفحه فولادی (زینچه) است که کف آن دارای شیب ۱:۲۰ در خطوط راه آهن و ۱:۴۰ در خطوط قطار شهری و حومه می‌باشد. ریل به کمک یک صفحه لاستیکی بر روی صفحه فولادی قرار می‌گیرد و از طریق فنرهای w شکل و پیچ آن تثبیت می‌شود. این نوع پابند مخصوص تراورس‌های چوبی و بتنی است و به ویژه در دستگاه خطوط و انشعاب‌ها با فنر SKL12 کاربرد دارد.



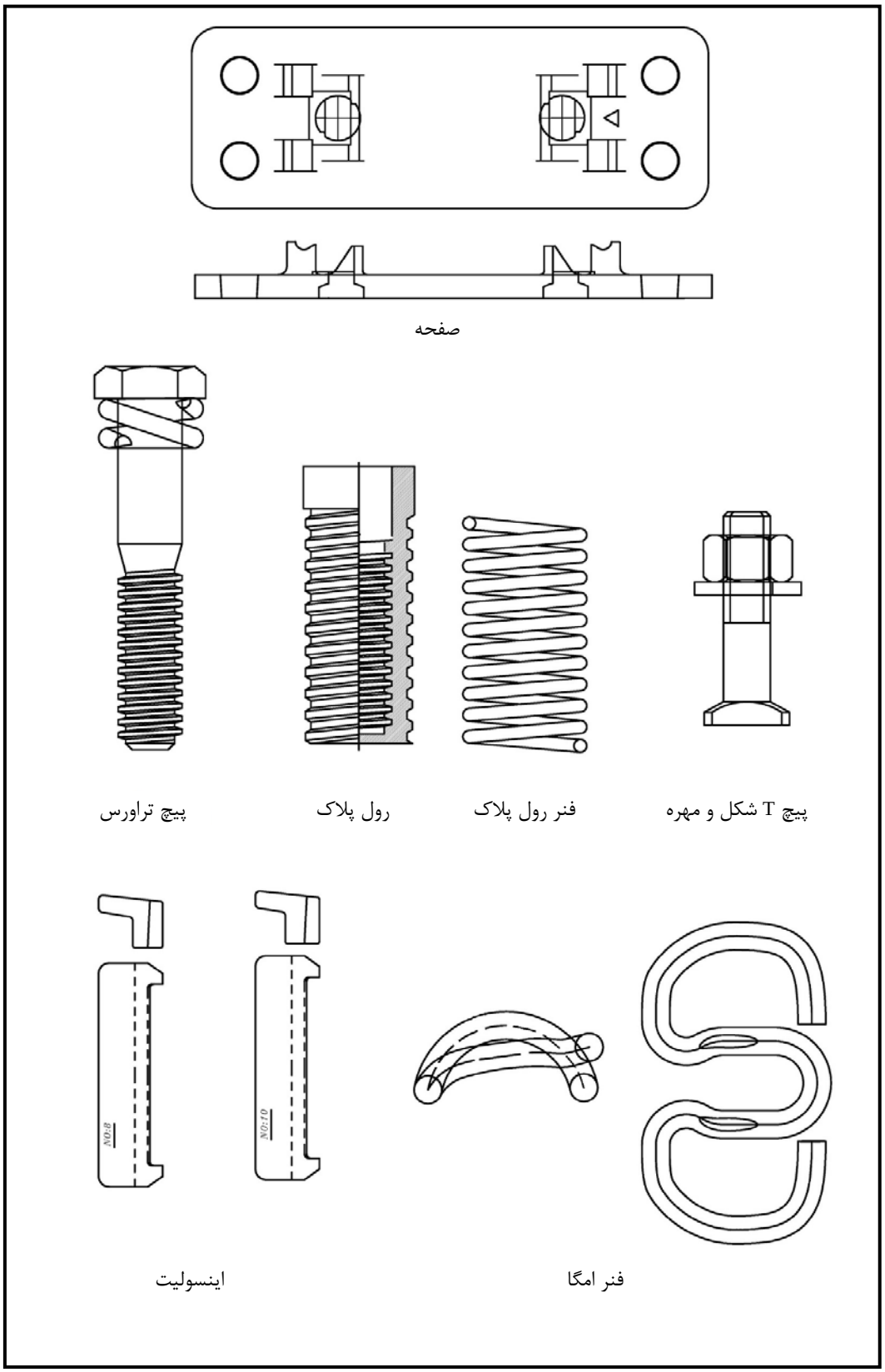
شکل۵-۶- قطعات پابند پاندرول نوع e-clip



شکل ۵-۷- قطعات پابند نوع کا (K)



شکل ۵-۸- قطعات پابند نوع KS



شکل ۵-۹- قطعات پابند نوع KS- DTVI-1

۵-۳- ضوابط کاربرد پابندها

انتخاب نوع سیستم پابند باید با در نظر گرفتن مشخصات فنی لازم، شرایط هندسی مسیر، شرایط آب و هوایی منطقه و توجیه اقتصادی صورت گیرد. استفاده از پابندهای پاندرول و وسلو متناسب با نوع روسازی مورد استفاده، سختی خط، بار محوری و سرعت ناوگان عبوری و مشخصات هندسی مسیر بایستی توسط مهندسین مشاور طراح مورد بررسی قرار گرفته و انتخاب شود. در خطوط دال خط (غیربالاستی) به دلیل صلبیت دال خط بایستی از پابندهای با سختی قائم کم‌تر نسبت به خطوط بالاستی استفاده شود. استفاده از پابند کا (K) در خطوط با طبقه C، D و E مجاز است.

استفاده از سایر انواع پابندها که در این نشریه ذکر نشده است، تنها در صورت داشتن مشخصات فنی لازم از نظر حداقل نیروی شاخک متناسب با نوع روسازی و توجیه اقتصادی با تایید کارفرما، مجاز است.

پابند مورد استفاده باید برای تمام نقاط خط با شرایط هندسی مختلف مناسب باشد و ایجاد عایق الکتریکی بین پابند و ریل امکان‌پذیر باشد. سیستم پابند باید طوری باشد که تنش اضافی به ریل و تراورس وارد نکند.

مطابق با EN13481-2 مقاومت الکتریکی سیستم پابند که به روش مذکور در EN13146-5 اندازه‌گیری می‌شود، نبایستی کم‌تر از ۵ kΩ باشد. مقدار مذکور فقط برای جریان برق سیگنالینگ می‌باشد و برای جریان برق مورد نیاز ترکشن موتورهای قطار در خطوط برقی نظیر خطوط قطار شهری و حومه بایستی بر اساس EN50122-2 باشد.

۵-۴- خصوصیات مکانیکی و ترکیبات شیمیایی فنر پابندها

۵-۴-۱- فنر پابند وسلو

فنر سیستم پابند وسلو W14 از جنس فولادهای فنری مطابق استاندارد EN 10089 و یا EN 10132-4 است و ترکیبات شیمیایی آن مطابق جدول (۵-۱) می‌باشد. متداول‌ترین میلگرد مصرفی برای تولید SKL14 فولاد 38Si7 در استاندارد DIN با شماره ۱/۰۹۷۰ و در استاندارد EN با شماره ۱/۵۰۲۳ مشخص شده است. خواص مکانیکی فولاد 38Si7 مورد استفاده برای تولید پابند فنری پابند وسلو پس از انجام عملیات حرارتی کوئنچ-تمپر می تواند مطابق جدول (۵-۲) باشد. چنانچه در مشخصات فنی خصوصی پیمان پیش‌بینی شده باشد، استفاده از جنس فولاد گرید DIN-60Si7 و فولادهای معادل آن نظیر GB-60Si2MnA نیز برای تولید فنر SKL14 بلامانع است. جنس فولاد مصرفی فنر SKL12 و SKL30 مورد استفاده در پابندهای نوع KS و W30HH از جنس 38Si7 می‌باشد. وزن فنر SKL14 باید بین ۴۹۲ تا ۵۰۳ گرم و فنر SKL30 ۶۹۵ تا ۷۰۳ گرم باشد.

جدول ۵-۱- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی فولاد فنر پابند وسلو W14

عنصر شیمیایی	گوگرد S (٪)	فسفر P (٪)	منگنز Mn (٪)	سیلیسیم Si (٪)	کربن C (٪)
38Si7	≤۰/۰۲۵	≤۰/۰۲۵	۰/۵-۰/۸	۱/۵-۱/۸	۰/۳۵-۰/۴۲

جدول ۵-۲- خواص مکانیکی فولاد فنر پابند وسلو W14

فولاد مصرفی	مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول	سختی ویکرز HV 30
38Si7	۱۳۰۰ - ۱۶۰۰	۱۱۵۰	≥ ۸	۴۰۰-۴۶۰

توصیه می‌شود پوشش‌دهی قطعات فنر با پوشش‌های آلکانی و داکرومات انجام گیرد و پوشش گالوانیزه گرم که موجب کاهش کارایی قطعه (به ویژه خستگی) می‌شود تنها در محیطهای خورنده و پر کلر مجاز می‌باشد.

۵-۴-۲- فنر پابند پاندرول نوع e-Clip

ترکیبات شیمیایی فولاد مورد استفاده در فنر پابند پاندرول باید مطابق جدول (۵-۳) باشد. خصوصیات مکانیکی فولاد 60Si7 در استاندارد DIN با شماره ۱/۰۹۰۹ و در استاندارد EN با شماره ۱/۵۰۲۷ مشخص شده است و مورد استفاده برای تولید فنر نیز باید مطابق جدول (۵-۴) باشد.

جدول ۵-۳- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی فولاد فنر پابند پاندرول نوع e-Clip

فولاد مصرفی	فسفر (P)	گوگرد (S)	مس (Cu)	کروم (Cr)	منگنز (Mn)	سیلیسیم (Si)	کربن (C)
60Si7	≤۰/۰۵	≤۰/۰۵	≤۰/۳۵	۰/۲-۰/۳	۰/۸-۱	۱/۷-۲/۱	۰/۵۲-۰/۵۷
60Si2MnA	≤۰/۰۳۵	≤۰/۰۳۵	≤۰/۲۵	≤۰/۳۵	۰/۶-۰/۹	۱/۶-۲	۰/۵۶ -۰/۶۴

جدول ۵-۴- خواص مکانیکی فولاد فنر پاندرول نوع e-Clip

فولاد مصرفی	مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول نسبی	سختی راکول (HRC)
60Si7	۱۳۲۰-۱۵۷۰	۱۰۸۰-۱۱۳۰	≥ ۶	۴۰-۴۴
60Si2MnA	≥۱۳۷۲	≥۱۲۲۵	≥ ۵	۴۰-۴۴

۵-۴-۳- گیره پابند کا (K)

فولاد گیره پابند کا (K) معمولا از نوع St 37-2 و St 37-3 مطابق استاندارد DIN می‌باشد و بهتر است از فولاد St42 برای این نوع پابند استفاده شود. ترکیبات شیمیایی فولاد گیره پابند کا (K) و مشخصات مکانیکی آن باید مطابق جدول‌های (۵-۵) و (۵-۶) باشد.

جدول ۵-۵- ترکیبات شیمیایی فولاد گیره پابند کا (K)

عنصر شیمیایی	فسفر (P)	گوگرد (S)	منگنز (Mn)	سیلیسیم (Si)	کربن (C)
درصد وزنی	≤۰/۰۵	≤۰/۰۵	۰/۲-۰/۵	۰/۰۳-۰/۳	≤۰/۲

جدول ۵-۶- مشخصات مکانیکی فولاد گیره پابند کا (K)

مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول	سختی برینل
۳۴۰-۴۷۰	۲۲۰	≤ ۲۴	۱۴۰-۱۵۰

۵-۵- ضوابط کنترل کیفی فنر پابندها

ضوابط کنترل کیفی فنر پابندهای وسلو SKL14، پاندرول e-Clip و گیره پابند کا (K) در بندهای (۵-۵-۱) تا (۵-۵-۳) توضیح داده شده است. ضوابط کنترل کیفی سایر پابندها بر طبق مشخصات فنی خصوصی صورت می‌گیرد. همچنین کارفرما در صورت صلاحدید می‌تواند نسبت به تقاضای انجام آزمایش‌های خاص مانند آزمایش خستگی، اقدام کند که نتایج آن باید در محدوده مقادیر مجاز مشخصات فنی خصوصی هر قرار گیرد و متناسب با دستورالعمل‌های سازنده انجام شود.

۵-۵-۱- فنر پابند وسلو W14

جنس مصالح مورد استفاده در فنر پابند وسلو W14 باید از نظر ترکیبات شیمیایی مطابق بند (۵-۴-۱) باشد. فنرهای تولید شده باید عاری از هرگونه عیوب سطحی باشند و هیچ‌گونه تغییر شکل غیرمجاز، ترک‌خوردگی، عدم یکنواختی و پلیسه بر روی آن‌ها مشاهده نشود.

ابعاد بایستی با مقادیر و رواداری‌های ذکر شده در روی نقشه‌ها کنترل شود. درصورتی‌که ابعاد پابند خارج از رواداری‌های مجاز باشد، استفاده از آن ممنوع است.

بر روی فنرهای تولید شده باید آزمایش بارگذاری به شرح زیر انجام شود:

فنر در ابتدا باید به میزان ۲۵ کیلو نیوتن بارگذاری شود و پس از آن نیرو به تدریج کاهش داده می‌شود تا زمانی که تغییر شکل ایجاد شده به میزان ۴ میلی‌متر کاهش یابد در این شرایط باید نیروی باقی‌مانده بیش‌تر از ۵/۵ کیلو نیوتن باشد و در غیر این صورت استفاده از فنر مجاز نیست.

انجام آزمایش‌های مقاومت کششی و سختی بر روی پابند الزامی می‌باشد و نتایج آن باید در محدوده مقادیر ذکر شده در بند (۵-۴-۱) باشد. آزمایش‌های پابند وسلو بایستی مطابق بندهای (۱-۴-۵-۵) و (۲-۴-۵-۵) نشریه باشد.

۵-۵-۲- فنر پابند پاندرول e-Clip

ترکیبات شیمیایی فولاد فنر پابند پاندرول باید مطابق بند (۵-۴-۲) باشد. فنر پابند پاندرول باید عاری از هرگونه عیوب سطحی باشد. هرگونه تغییر شکل اضافی، ترک خوردگی، عدم یکنواختی و پلیسه بر روی فنر مجاز نیست. ابعاد فنر و شولدر باید منطبق بر ابعاد ذکر شده در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی باشد و رواداری آن بیش از مقادیر ذکر شده نباشد.

سختی فنر و مشخصات مکانیکی فولاد و مخصوصا مقاومت کششی آن باید تعیین شود و مطابق مقادیر ذکر شده در بند (۵-۴-۲) باشد. آزمایشات مقاومت استاتیکی و خستگی پابند پاندرول می‌بایست مطابق بندهای (۵-۵-۴-۱) و (۵-۵-۴-۲) این نشریه باشد.

۵-۵-۳- گیره پابند کا (K)

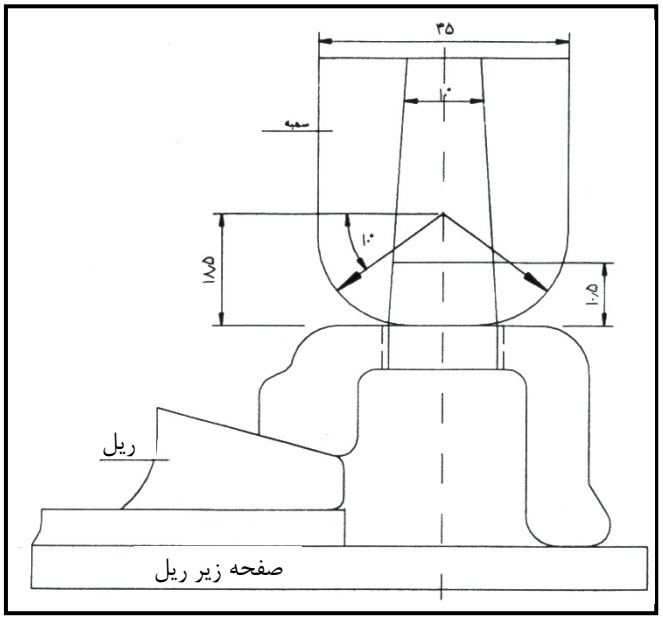
با انجام آزمایش‌های لازم باید ترکیبات شیمیایی فولاد پابند کا (K) در محدوده مقادیر ذکر شده در بند (۵-۴-۳) قرار گیرد.

رواداری وزن پابند تا ۲/۵ درصد مجاز است. سطح پابند باید از هر گونه تغییر شکل اضافی، ترک‌خوردگی، عدم یکنواختی و پلیسه عاری باشد. رواداری طول، ضخامت و قطر سوراخ به ترتیب تا ۲، ۰/۵ و ۱ میلی‌متر مجاز است. رواداری سایر ابعاد پابند نباید بیش از ۰/۵ میلی‌متر باشد. هر گونه اعوجاج در صفحه پابند در اثر ایجاد سوراخ‌ها غیر قابل قبول است.

انجام آزمایش کششی و درصد ازدیاد طول برروی نمونه‌هایی که از فولاد پابند تهیه شده‌اند، ضروری است. نتایج این آزمایش باید مطابق بند (۵-۴-۳) باشد. اخذ حداقل یک نمونه از هر ۵ تن نورد ضروری است.

به ازای هر ۵ تن نورد باید یک نمونه اخذ و آزمایش خمشی بر روی آن انجام شود. نمونه آزمایشی به صورت سرد تا زاویه ۳۰ درجه خم شده و مجددا صاف می‌شود. پس از انجام این آزمایش نباید هیچ‌گونه علائمی از شکست یا ترک ظاهر شود.

انجام آزمایش فشاری برروی پابندها الزامی است. برای این کار از هر ۲۰۰۰ پابند یک نمونه انتخاب و آزمایش بارگذاری مطابق شکل (۵-۵) انجام می‌شود. پابند باید بتواند حداقل نیروی ۶ تن را بدون ایجاد ترک یا شکستگی تحمل کند.



شکل ۵-۱۰- آزمایش بارگذاری بر روی پابند کا (K) (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

۵-۵-۴- آزمایشات کنترل کیفیت پابند وسلو W14 و پاندرول e-Clip

آزمایشاتی که برای سنجش مقاومت و پایداری پابندها توصیه می‌گردد در دو بخش (۵-۵-۴-۱) و (۵-۵-۴-۲) این نشریه آمده است.

۵-۵-۴-۱- آزمایشات جهت سنجش مقاومت استاتیکی پابندها

آزمایش‌های ذکر شده جهت سنجش مقاومت استاتیکی پابندها به عنوان آزمایش‌های تایپ و برای کنترل طراحی و ساخت پابندهای جدید می‌باشد.

الف- آزمایش بارگذاری استاتیکی

این آزمون با هدف به دست آوردن میزان نیروی وارد شده از طرف پابند به ریل، اندازه‌گیری تغییر فرم ماندگار و ضریب پابند انجام می‌شود. سازه این آزمون از یک تراورس، یک ریل و دو پابند تشکیل شده است. نشیمن‌گاه ریل کم‌تر از ارتفاع تراورس قرار گرفته و پابندها نصب می‌شوند. تراورس تثبیت شده و ریل در جهت جدا شدن از آن تا نیروی ۵۰ KN کشیده می‌شود. این آزمون باید در ۱۵ نوبت انجام شود. در نوبت اول پس از اعمال هر ۲ KN فاصله ریل از تراورس ثبت شده و نیرو به اندازه اولیه بر می‌گردد. در این حال باید میزان فشردگی ماندگار فنر اندازه‌گیری شود. این روال تا نیروی ۵۰ KN در دوره اول آزمون تکرار می‌شود. در این حالت هشت نوبت بارگذاری و باربرداری بدون انجام مراحل فوق انجام می‌شود. نوبت دهم نیز مانند نوبت اول انجام شده و میزان جابجایی‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

در نوبت اول آزمون، زمانی که نیروی ۵۰ KN در حال اعمال است، با کاهش نیرو و در نتیجه برگشت ریل به اندازه ۴ میلی‌متر هر پابند باید حداقل نیروئی برابر ۵ KN را تحمل کند. با اندازه‌گیری میزان فشردگی فنر به هنگام نصب در خطوط و با استفاده از منحنی نیرو- تغییر مکان می‌توان میزان نیروی وارد شده از طرف پابند به نشیمن ریل را در هنگام نصب به دست آورد.

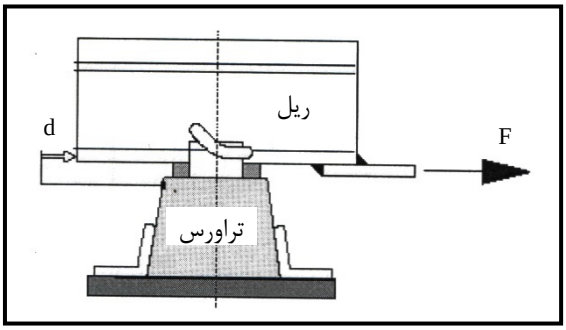
ب- آزمایش اندازه‌گیری مقاومت گیرداری سیستم پابند

مقاومت گیرداری که توسط پابند تامین می‌شود جهت انتقال بار قطار به تراورس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌بایست تاثیر تغییر مکان رو به بالای ریل در اثر حرکت قطار که باعث اعمال نیرویی کششی در جهت قائم بر روی کوپلاژی از ریل، تروارس و پابند انجام یافته و در آن تراورس به همراه سیستم پابند به صورت معلق به ریل متصل می‌باشند، به دست آید.

در این آزمایش تراورس می‌بایست توسط یک قاب کمکی تحت شرایط بارگذاری نیمه استاتیکی قرار گیرد و میزان بار اعمالی و تغییر مکان‌های قائم در محل اتکای سیستم پابند به ریل اندازه‌گیری شوند.

ج- آزمایش اندازه‌گیری مقاومت گیرداری در جهت طولی

به منظور مطالعه پدیده خزش، آسودگی، اثرات درجه حرارت، شکستگی ریل و اثرات نیروی ترمز، آگاهی داشتن از رابطه بین بار وارده به سیستم پابند و میزان جابجایی آن در جهت طولی دارای اهمیت است. از رابطه بار – تغییر مکان نسبی، مقاومت گیرداری قابل اندازه‌گیری است که این آزمایش می‌بایست مطابق شکل (۵-۱۱) انجام شود.



شکل ۵-۱۱- آزمایش مقاومت گیرداری طولی

در این آزمایش تراورس به وسیله سیستم تکیه‌گاهی مناسبی تثبیت شده و موقعیت بار اعمالی بر ریل چنان انتخاب می‌شود که کم‌ترین لنگر خمشی بر روی سیستم پابند ایجاد گردد. بارگذاری به صورت استاتیکی در جهت طولی ریل بدون اعمال هیچ‌گونه بار قائم با گامهای ۳/ ۰ ± ۲/۵ کیلونیوتن انجام می‌شود.

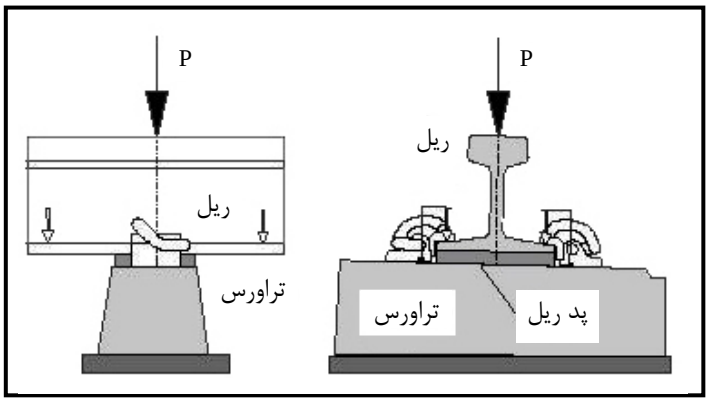
به منظور انجام آزمایش فوق، ریلی به طول ۸۰cm بر روی یک صفحه زیر ریل نصب و در جهت طولی به انتهای آن نیرو اعمال می‌شود، علاوه بر این به منظور شبیه‌سازی شوک‌هایی که در شرایط واقعی به ریل وارد می‌شود ضربه‌هایی نیز به ریل وارد می‌شود. معیار پذیرش این آزمایش بر اساس روش استاندارد EN13146-1 حداقل ۷ KN است.

د- آزمایش پیچش ریل

چنانچه لازم باشد آزمایش خمش خط انجام شود، بایستی قبل از آن، آزمایش پیچش ریل صورت گرفته و از نتایج آن برای آزمایش خمش خط استفاده شود. برای انجام آزمایش پیچش از همان دستگاه مربوط به آزمایش خزش ریل استفاده می‌شود، با این تفاوت که جهت اعمال نیرو ۹۰ درجه تغییر می‌کند. نیروی اعمالی و زاویه پیچش ریل به صورت الکتریکی اندازه‌گیری شده و تغییرات به صورت گرافی رسم می‌شود و از نتایج حاصله به منظور انجام آزمایش خمش خط استفاده می‌شود.

ه- آزمایش اندازه‌گیری سختی در جهت قائم

جهت اندازه‌گیری سختی قائم استاتیکی، مجموعه ریل، تراورس و پابند مطابق شکل (۵-۱۲) تحت بار قائمی به میزان ۱±۸۰ کیلونیوتن با سرعت بارگذاری ۵±۵۰ کیلو نیوتن بر دقیقه قرار می‌گیرد. بعد از گذشت یک دقیقه، باربرداری صورت گرفته و این سیکل بارگذاری و باربرداری دو بار تکرار می‌گردد. در طی سیکل سوم تغییر مکان‌های نسبی قائم در چهارگوشه اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۵-۱۲- آزمایش اندازه‌گیری سختی قائم

از نتایج حاصله حداکثر تغییر مکان نسبی متوسط، d، به میلی‌متر محاسبه گردیده و در نهایت سختی قائم K از تقسیم میزان بار وارده به تغییر مکان نسبی متوسط مربوطه به دست می‌آید.

۵-۵-۴-۲- آزمایشات مقاومت در مقابل خستگی پابندها

ماهیت نیروهای وارده از قطار به خط دوره‌ای می‌باشد. این امر باعث می‌شود که نیروهای وارد شده به پابند نیز دوره‌ای بوده و در حقیقت شرایط خستگی برای پابند مهیا شود. آزمون خستگی بایستی بر روی مجموعه پابند و همچنین بروی فنر پابندها به شرح ذیل صورت گیرد:

الف- آزمون خستگی برروی مجموعه اتصالات

الف-۱- آزمون خستگی با اعمال بار تک محوره:

هدف از انجام این آزمایش ارزیابی تاثیر بارگذاری‌های دینامیکی بر روی عملکرد دراز مدت سیستم پابند است. بارگذاری تناوبی به منظور شبیه‌سازی بارگذاری واقعی ناشی از حرکت قطار اعمال می‌گردد.

کوپلاژ شامل طول کوتاهی از ریل، تراورس (نیمه تراورس) و سیستم پابند است که به منظور آزمایش دینامیک تک محوره مورد استفاده واقع می‌گردد. طریقه آزمایش بدین‌صورت است که با قرار دادن کوپلاژ بر روی سطحی شیب‌دار با زاویه خاص و تثبیت آن توسط یک سیستم تکیه‌گاهی مناسب می‌توان هم‌زمان و تنها با یک جک دو بار عمود بر هم اعمال نمود. با این تکنیک دو بار یکی در جهت عمود بر سطح زیرین تراورس و دیگری موازی آن سطح به ریل وارد می‌شود. جک هیدرولیکی باری سیکلی با شدت ثابت به سیستم وارد می‌نماید. تاج ریل به وسیله ریل‌سابی صاف گردیده و در تاج ریل سطح مقعری جهت اعمال بار و تمرکز بهتر آن ایجاد می‌گردد. انتهای دیگر جک به یک لولا متصل است تا تاج ریل بتواند به طور آزادانه حرکت نماید.

قبل از شروع عملیات بارگذاری دینامیکی کوپلاژ به صورت نیمه استاتیکی ده بار با سرعت ۱۰۰ KN/min بارگذاری و باربرداری می‌شود. در طی آزمایش تغییر مکان نسبی شش محل اندازه‌گیری می‌شود. چهار محل بر روی لبه‌های انتهایی

پایه ریل جهت اندازه‌گیری تغییر مکان نسبی قائم و دو محل دیگر واقع در دو سر ریل جهت اندازه‌گیری تغییر مکان نسبی عرضی ریل در نظر گرفته شده است.

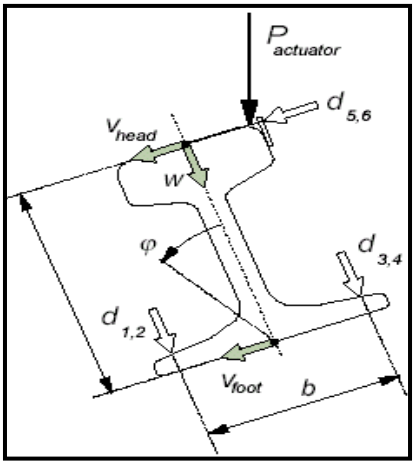
بارگذاری دینامیکی تا ۳×۱۰^{۶} سیکل تکرار و باری بین ۲/۵ تا ۵ کیلونیوتن با فرکانس ۳ تا ۵ هرتز اعمال می‌گردد. تغییر شکل ماندگار بعد از سیکل‌های ۵×۱۰^{۴} و بعد از ۵×۱۰^{۵} و همین‌طور تا ۳×۱۰^{۶} اندازه‌گیری شده و مقدار متوسط آن محاسبه می‌گردد. با توجه به نتایج آزمایش روابط زیر مطابق شکل (۵-۱۳) برای سه درجه آزادی حرکت ریل با فرض اینکه ریل تغییر شکل‌ناپذیر است به دست می‌آیند.

(۵-۱) جابجایی قائم ریل $$W = \frac{1}{4}(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)$$

(۵-۲) چرخش جانبی ریل $$\tan\Phi = \frac{1}{2}(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)/b$$

(۵-۳) جابجایی جانبی تاج ریل $$V_{head} = \frac{1}{2}(d_5 + d_6)$$

(۵-۴) جابجایی جانبی پایه ریل $$V_{foot} = \frac{1}{2}(d_5 + d_6) - h\tan\Phi$$



شکل ۵-۱۳- درجات آزادی حرکت ریل

بعد از اتمام آزمایشات لازم است طوری برنامه‌ریزی شود که بتوان از تمامی اجزا و قطعات مجموعه ریل تراورس و پابند بازرسی چشمی نمود حتی می‌بایست صفحه لاستیکی زیر ریل نیز مورد استفاده قرار گیرد.

الف-۲- آزمون خستگی با اعمال بار متقارن (دو محوره و بیش‌تر):

انجام آزمایش خستگی در طی دو مرحله اعمال بار صورت می‌گیرد. در مرحله اول بار اعمالی به صورت ۷۵ KN عمودی و ۴۶ KN افقی و در طی ۲ میلیون سیکل و با فرکانس $2\frac{1}{3}$HZ وارد می‌شود و در مرحله دوم بار عمودی KN ۱۰۰ و افقی ۶۱ KN، در طی ۰/۵ میلیون سیکل و با فرکانس $2\frac{1}{3}$HZ اعمال می‌شود. بارهای مرحله اول مربوط به شرایط بار محوری ۱۸ تا ۲۳ تن و بارهای مرحله دوم مربوط به شرایط بار محوری ۲۵ تا ۳۱ تن است.

لازم است به منظور بررسی تاثیر بارهای دینامیکی فوق، قبل از انجام آزمایش، در حین انجام آن و پس از اتمام آن، اندازه‌گیری‌های ذیل انجام شده و نحوه تغییرات آن‌ها رسم شود.

- فاصله بین تاج دو ریل
- فاصله پایه بین دو ریل
- فاصله صفحه زیر ریل‌ها
- کج شدن ریل‌ها
- مقدار نیروی محکم شدن مربوط به پیچ پابند

درصورتی‌که تغییرات شدیدا صعودی در شیب منحنی رسم شده مشاهده شود، عملکرد پابندها نامطلوب و چنانچه تغییرات افزایشی به صورت تدریجی باشد عملکرد پابندها مطلوب محسوب می‌شود. پس از انجام آزمایش خستگی، لازم است مجددا آزمایش بارگذاری انجام شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گیرد.

ب- آزمون خستگی برروی فنر پابند

از تست‌های اساسی که مشخص کننده رفتار فنر پابند زیر بارهای متناوب می‌باشد آزمون خستگی فنر پابند است. در این آزمون فنر پابند (وسلو یا پاندرول) در نقاط متصل به ریل تحت بارهای متناوب سیکلی قرار می‌گیرد.

دمای محیط انجام تست $۲۳ \pm ۲^{o}C$ انجام ابتدا محل نشیمن‌گاه پیچ تراورس را تحت نیروی فشاری ۱۱۰۰ kg.f قرار داده و تحت فرکانس ۱۶/۶۷ HZ (۱۰۰۰ بار در دقیقه) و موج سینوسی با دامنه (۱/۴mm ± ۰/۷ mm) فنر پابند را به نوسان در می‌آوریم هنگام تست با کنترل اتوماتیک محدوده ذیل مورد نظر قرار می‌گیرد.

$$15.4\ KN < P < 16.1\ KN \qquad (۵-۵)$$

به صورت دوره‌ای هر ۲۰۰۰۰۰ نوسان مقدار افت را اندازه‌گیری نموده و در انتها تعداد ۴/۸ میلیون سیکل، مقدار افت اندازه‌گیری شده توسط کنترل تغییر مکان دستگاه و نیز به صورت دستی اندازه‌گیری می‌شود.

جزییات کامل آزمایش جهت انجام تست خستگی بروی فنر پابندها در جدول (۵-۷) آمده است.

جدول ۵-۷- خصوصیات لازم برای تست خستگی فنر پابند

شرح / پابند	تعداد نوسان	دامنه نوسان (mm)	مقدار نیرو (KN)	فرکانسHZ	تغییرات دائمی به وجود آمده مجاز (mm)
وسلو SKL14	۵ میلیون	۱/۴	۱۶/۱-۱۵/۴	۱۶/۳	کم‌تر از ۰/۵
پاندرول e-Clip	۵ میلیون	۰/۵	۱۱-۱۰	۲۰	کم‌تر از ۱

تولید کننده باید به ازای هر ۴۰۰۰۰ عدد فنر، نتایج یک سری تست (شامل آزمون‌های آنالیز شیمیایی، عملکرد، سختی و MT) ارائه کند.
تولید کننده موظف است نتیجه یک تست خستگی به ازای هر ۲۰۰۰۰۰ عدد فنر ارائه کند.

به ازای هر ۴۰ هزار قطعه فنر بایستی آزمون‌های شمیایی، عملکرد، سختی و تست MT و به ازای هر ۲۰۰ هزار قطعه تست خستگی انجام شود.

۵-۶- رول پلاگ پلاستیکی

رول پلاگ پلاستیکی قطعه‌ای است که درون تراورس بتنی قرار گرفته و مانع تماس مستقیم پیچ تراورس با بتن شده و بین آن‌ها عایق الکتریکی نیز ایجاد می کند. از آنجایی که بتن از مقاومت سایشی و ارتعاشی ضعیفی در مقایسه با فلزات برخوردار است، اگر پیچ در تماس مستقیم با بتن قرار گیرد، موجب سایش و ریزش دیواره‌های بتن در سطوح تماس به سبب انتقال ضربات و ارتعاشات ریل به تراورس می‌گردد. لذا رول پلاگ عنوان لایه‌ای که از مقاومت سایشی، ارتعاشی و انعطاف‌پذیری مطلوبی برخوردار است، بین پابند و بتن تراورس استفاده می‌شود تا از وقوع چنین امری جلوگیری نماید. به منظور تامین مقاومت کافی رول پلاگ در تراورس به عنوان یک قطعه مدفون، این قطعه بایستی تحمل حداقل نیروی ۶۰kN را در برابر نیروی بیرون کشنده از داخل تراورس را داشته باشد.

ماده اولیه برای تولید رول پلاگ، پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) با سختی زیاد و یا نایلون ۶۶ (PA66)[1] با ۳۰ درصد الیاف شیشه است. رول پلاگ درون تراورس بتنی، تحت شرایط آب و هوایی متفاوت قرار می‌گیرد، از جهت رول پلاگ باید مقاومت مکانیکی و خواص شیمیایی خود را در درجه حرارت‌های زیاد و یا بسیار کم حفظ نماید. مواد اولیه تولید رول پلاگ بایستی از مواد کاملا نو و رول پلاگ تولیدی عاری از هر گونه اعوجاع و یا حفره و مُک باشد. وضعیت ظاهری رول پلاگ نیز باید عاری از هرگونه سوختگی، زدگی و پلیسه و ... باشد. نقشه رول پلاگ پلاستیکی مذکور در شکل (۵-۹) نشان داده شده است. مشخصات گریدهای پلی‌اتیلن سنگین و نایلون ۶۶ که برای تولید رول پلاگ مورد استفاده قرار می‌گیرد باید مطابق بند (۵-۶-۱) باشد.

۵-۶-۱- رول پلاگ پابند وسلو W14 و W30HH

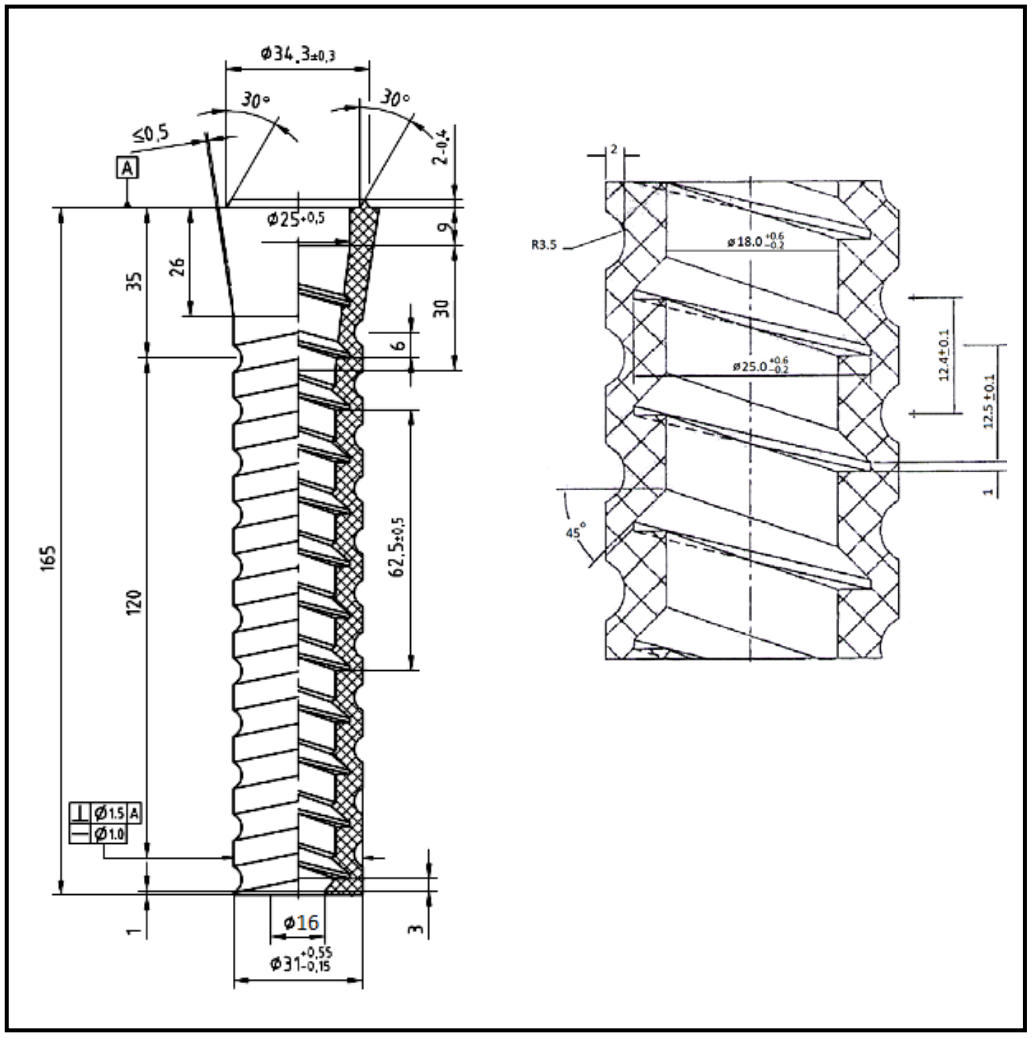
این نوع رول پلاگ‌ها در پابندهای وسلو نوع W14 و W30HH در خطوط راه آهن بالاستی با بار محوری تا ۲۶ تن و ۳۰ تن مورد استفاده است. در شکل‌های (۵-۱۴) و (۵-۱۵) نقشه مربوط به رول پلاگ‌های پلاستیکی این دو سیستم پابند ارائه شده است.

۵-۶-۲- رول پلاگ پلاستیکی پابندKS-DTVI-1

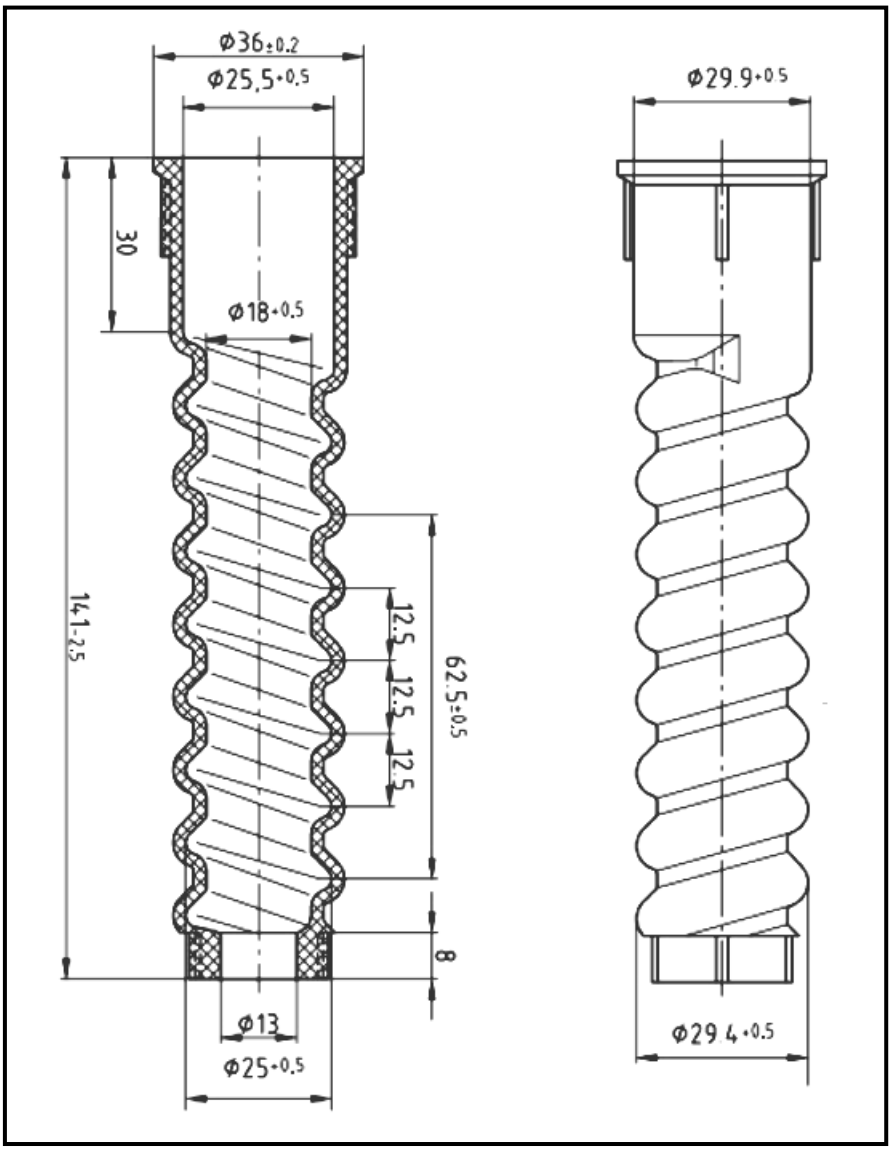
در پابندهای تیپ KS-DTVI-1 که در دال خط‌های بتنی خطوط قطار شهری و حومه متداول است به دلیل صلبیت خط و باز شدن پیچ‌ها در بارگذاری سیکلیک ناشی از عبور چرخ‌های ناوگان با تردد زیاد، از پیچ‌های تراورس M30 که با

۱- پلی‌آمید ۶۶

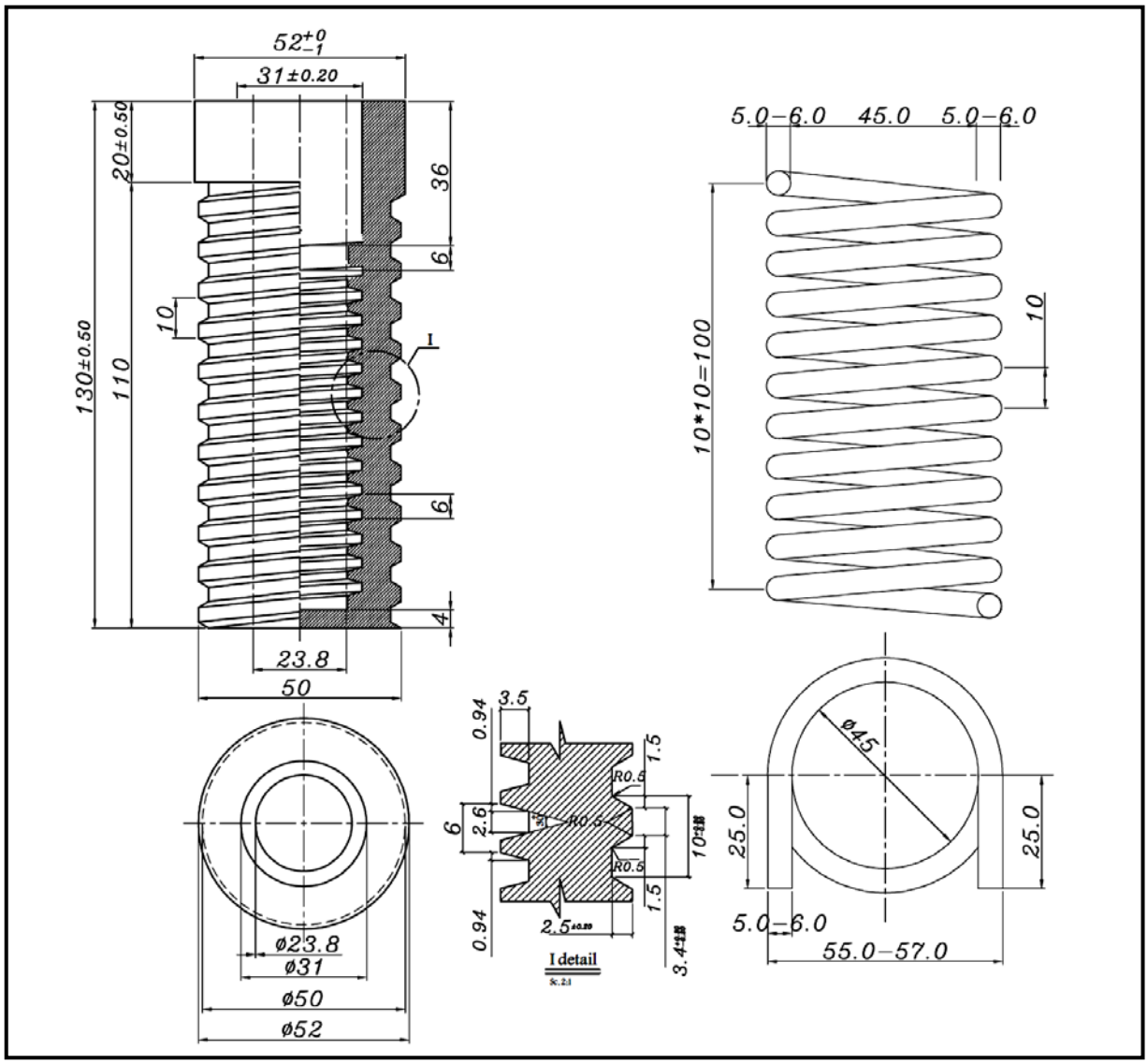
تعداد رزوه بیش‌تری و از نوع دنده ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود. رول پلاگ مورد استفاده جهت بستن پیچ‌های مذکور در این پابندها مطابق شکل (۵-۱۶) است. این رول پلاگ به همراه یک فنر دور پیچ مورد استفاده قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود رول پلاگ‌های مصرفی در این سیستم پابند از نایلون ۶۶ با ۳۰ درصد الیاف شیشه تولید شود.



شکل ۵-۱۴- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند وسلو W14



شکل ۵-۱۵- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند وسلو W30HH



شکل ۵-۱۶- نقشه رول پلاگ پلاستیکی پابند KS-DTVI-1

۵-۶-۳- مشخصات فنی رول پلاگ پلاستیکی

رول پلاگ‌های پلاستیکی تولیدی بایستی مطابق با مشخصات فنی جدول (۵-۸) باشد. آزمون‌های ذکر شده بـه ازای هر ۲۰ تن مواد اولیه و یا ۶۰ هزار قطعه رول پلاگ و بر روی مواد اولیه انجام انجام شود.

جدول ۵-۸- مشخصات فنی رول پلاگ‌های پلاستیکی

مشخصات فنی	واحد	پلی‌اتیلن سنگین[۶]	نایلون ۶۶
وزن مخصوص[۵]	گرم بر سانتی‌مترمکعب	حداقل۹۴۵	۱/۳-۱/۴۵
حداقل مقاومت کششی	MPa	۲۴[۱] ۸[۲]	۱۷۰
حداقل مقاومت خمشی	MPa	-	۲۵۰
ازدیاد طول[۷]	درصد	حداقل۵۰	حداقل۳

ادامه جدول ۵-۸- مشخصات فنی رول پلاگ‌های پلاستیکی

مشخصات فنی	واحد	پلی‌اتیلن سنگین[۶]	نایلون ۶۶
مقاومت الکتریکی حجمی[۸]	kΩ.cm	۱۰^۷	۱۰^۵
حداقل سختی[۳]	-	۹۸[۴]	۱۱۰
الیاف شیشه	درصد	-	۳۰-۳۵
تعیین نوع پلیمر (FTIR)[۹]	-	HDPE	؟
خلوص پلیمر (DSC)[۱۰]	-	Pure HDPE	؟
Pull-out resistance[۱۱]	kN	حداقل ۶۰	حداقل ۶۰

۱- در دمای ۲۰ °C بر روی مواد اولیه مطابق استاندارد ASTM D638

۲- در دمای ۸۰ °C بر روی مواد اولیه مطابق استاندارد ASTM D638

۳- سختی راکول به روش A با اسکیل R می‌باشد.

۴ در صورت انجام آزمایش مطابق استانداردهای ASTM D2240 و ISO 868 بر اساس Shore D مقدار قابل پذیرش حداقل ۵۹ می‌باشد.

۵- مطابق استانداردهای ASTM D792 (Method B) و یا EN ISO 1183-1

۶- نمونه‌سازی بایستی به روش تزریق انجام گیرد و روش فشردن مذاب مورد تایید نمی‌باشد.

۷- مطابق استاندارد ASTM D638

۸- مطابق استاندارد ASTM D257 و یا IEC 62631

۹- مطابق استاندارد ASTM E1252

۱۰- مطابق استاندارد ASTM D3418

۱۱- مطابق استاندارد EN 13481-2

۵-۷- پیچ تراورس پابند

پیچ تراورس برای اتصال سیستم پابند به تراورس مورد استفاده قرار می‌گیرد. دامنه کاربرد این بخش برای پیچ‌هایی است که در سیستم‌های پابند از نوع وسلو، کا (K) و KS برای تراورس بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر موارد تکمیلی و یا مواردی که به آن‌ها اشاره نشده است در فیش UIC864-1 موجود بوده و ملاک عمل خواهد بود. نقشه پیچ‌های تراورس بتنی در شکل‌های (۵-۱۷) تا (۵-۲۰) ارائه شده است. رواداری مربوط به وزن پیچ‌ها بایستی مطابق بند ۲-۶-۱ فیش UIC864-1 باشد.

جدول ۵-۹- طبقه‌بندی انواع پیچ تراورس پابند

نوع سیستم پابند	نام پیچ	سایز
وسلو W14	Ss23-160	M24 × 160
وسلو W30HH	DHS 35	M24 × 161
	Ss35-161	M24 × 160
KS-DTVI-1	Hexagon screw[۱]	M30 × L[۲]

۱- پیچ تراورس دنده ذوزنقه

۲- L طول پیچ M30 بر اساس ضخامت بیس پلیت و پدهای زیر ریل متغیر است.

۵-۷-۱- ماده اولیه پیچ‌های تراورس

نوع فرایند فولادسازی برای تولید میلگردهای مورد استفاده به منظور ساخت پیچ‌های تراورس به نظر سازنده بستگی دارد، لیکن در صورت درخواست خریدار، نوع فرایند باید مشخص و اعلام شود. میلگردهای مصرفی برای پیچ‌های تراورس پابند وسلو W14 باید حداقل در درجه ۴/۶ و برای پیچ‌های پابند W30HH، پابند KS و پابند KS-DTVI-1 حداقل درجه ۵/۶ بر اساس استاندارد UIC864-1 و یا DIN EN 898 قرار گیرند. به طور کلی کفایت مقاومت پیچ و رول پلاگ داخل تراورس در مقابل نیروی بیرون کشندگی آن بر حسب بار محوری و سرعت ناوگان و سختی خط و استفاده از درجه‌های فولاد بالاتر ذکر شده در استاندارد UIC864-1 بایستی توسط مهندسین مشاور بررسی و در مشخصات فنی خصوصی اعلام گردد.

توالی انجام آزمون های بر روی مواد اولیه مطابق بند ۱-۲-۱-۲ کد UIC864-1 به ازای هر ۱۰ تن مواد اولیه یک سری می‌باشد.

۵-۷-۲- مشخصات شیمیایی و مکانیکی پیچ‌های تراورس

در مورد پیچ‌های تراورس بتنی ملاک اصلی برای انتخاب مواد اولیه مناسب، خواص مکانیکی اشاره شده در جدول (۵-۱۰) است لذا انواع مختلف فولادهای تولید داخل و همچنین میلگردهای وارداتی را که در درجه بندی های ارائه شده در این جدول قرار داشته باشند، می‌توان برای تولید پیچ تراورس بتنی مورد استفاده قرار داد.

جدول ۵-۱۰- درجه‌بندی و مشخصات کشش میلگردهای مورد استفاده برای تولید پیچ تراورس بتنی

درجه‌بندی بر اساس استحکام	حداقل مقاومت کششی گسیختگی[1] N/mm^2	حداقل مقاومت کششی تسلیم[2] N/mm^2	حداقل درصد ازدیاد طول[3] نسبی در شکست
۴/۶	۴۰۰	۲۴۰	۲۲
۵/۶	۵۰۰	۳۰۰	۲۰

به عنوان نمونه مشخصات شیمیایی و مکانیکی فولاد شماره ۱.۱۱۴۱ بر طبق استاندارد DIN10084 که می‌توان در تولید پیچ‌های وسلو W14 از آن استفاده کرد در جدول (۵-۱۱) و (۵-۱۲) آورده شده است. با توجه به خواص مکانیکی، این فولاد در درجه ۴/۶ قرار می‌گیرد.

1- Tensile Strength
2- Yield Strength
3- Elongation

جدول ۵-۱۱- ترکیب شیمیایی فولاد ۱.۱۱۴۱

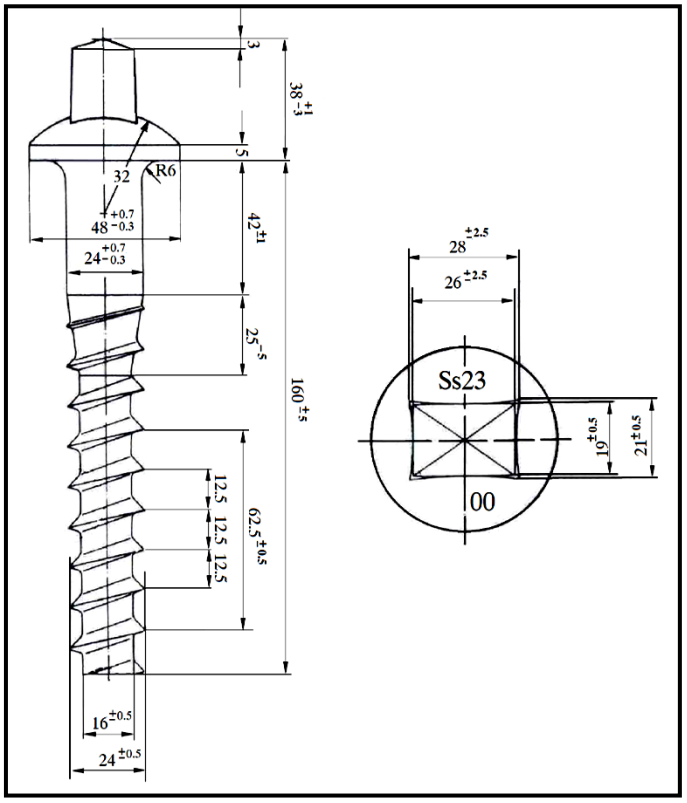
عنصر شیمیایی	% S	% P	% Mn	% SI	% C
درصد وزنی	Max. 0.035	Max. 0.035	0.30-0.6	Max. 0.40	0.12-0.18

جدول ۵-۱۲- خواص مکانیکی فولاد CK15

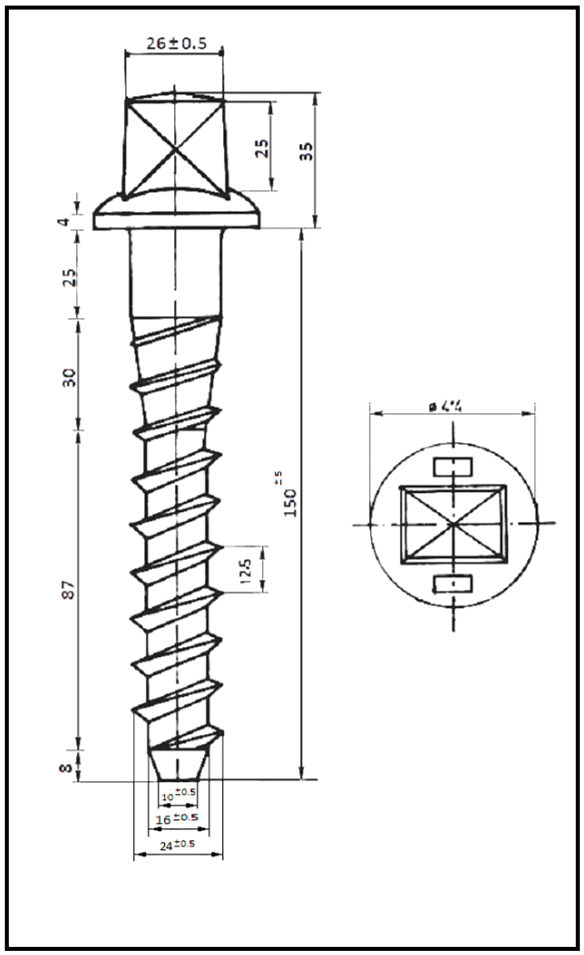
حداقل مقاومت کششی گسیختگی N/mm^2	حداقل مقاومت کششی تسلیم N/mm^2	حداقل درصد ازدیاد طول نسبی در شکست
۴۵۰	۳۶۰	۲۵

واشر تخت مورد استفاده در پیچ پابند W30HH بر اساس EN DIN 10139 و یا EN DIN 10025 و با سختی HV ۳۰ ۱۸۵ تا ۳۱۰ و مقاومت کششی MPa ۵۹۰ تا ۱۰۰۰ است.

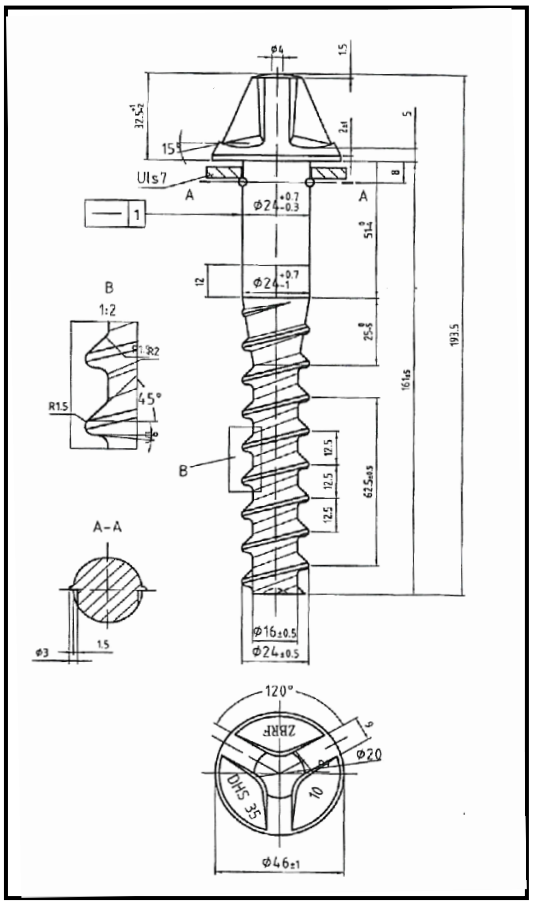
با توجه به شرایط کاربرد این پیچ‌ها، استفاده از پوشش‌های سطحی برای اندود کردن آن‌ها در مقابل خوردگی توصیه می‌شود. توصیه می‌شود پوشش‌دهی پیچ‌ها، با پوشش‌های آلکانی و داکرومات انجام گیرد و استفاده از پوشش گالوانیزه گرم که موجب کاهش کارایی قطعه (به ویژه خستگی) می‌شود تنها در محیطهای خورنده و پر کلر مجاز می‌باشد.



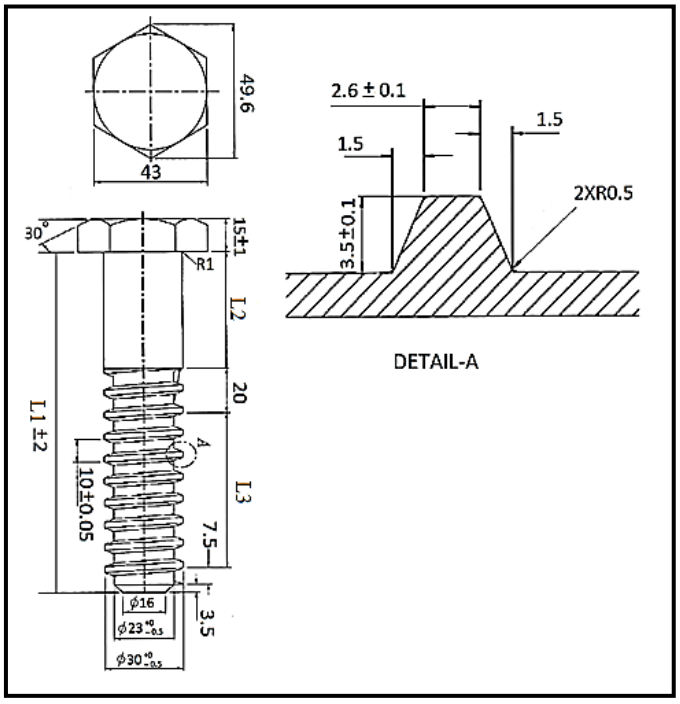
شکل ۵-۱۷- نقشه پیچ تراورس Ss23 وسلو w14



شکل ۵-۱۸- نقشه پیچ تراورس چوبی



شکل ۵-۱۹- پیچ DHS 35

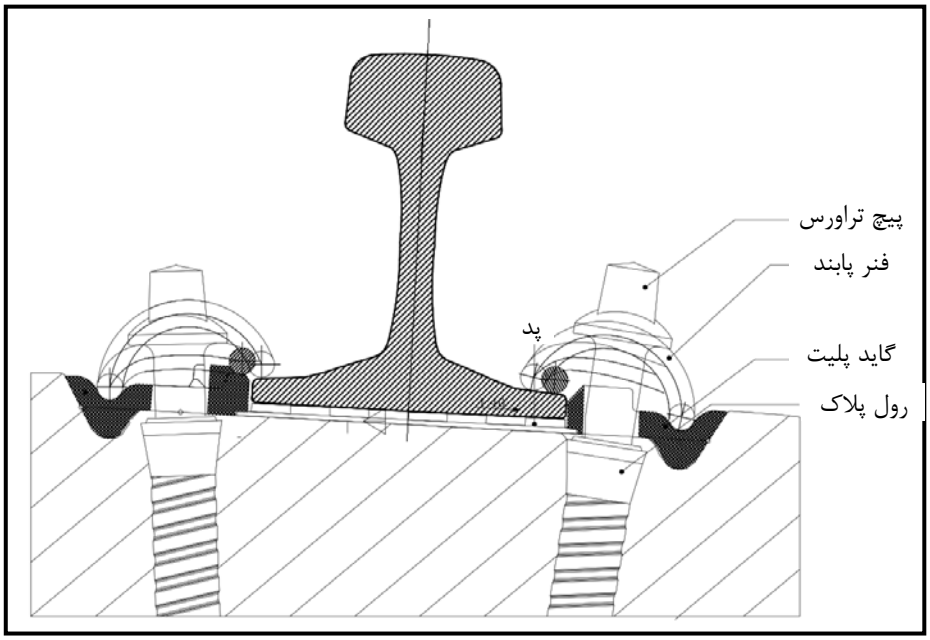


پارامترهای L1، L2 و L3 بر اساس ضخامت صفحه و پدهای مصرفی تعیین شود.

شکل ۵-۲۰- پیچ تراورس دنده ذوزنقه پابند KS-DTVI-1

۵-۸- گایدپلیت

گایدپلیت[1] یکی از اجزای ادوات اتصال در سیستم پابند وسلو W14 و W30HH است که نقش آن فراهم آوردن نشیمن‌گاه مناسب برای فنر پابند است. اتصال آن از طریق پیچ تراورس بتنی صورت می‌گیرد. شکل (۲۱-۵) محل قرارگیری گایدپلیت را در مجموعه سیستم پابند نشان می دهد. این قطعه در دو نوع فلزی و پلاستیکی تولید می شود. هنگام استفاده از گاید نوع فلزی یک واسط پلاستیکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که عایق‌کننده نامیده می‌شود. گایدپلیت پلاستیکی در کنار طرفین کف ریل روی تراورس بتنی قرار گرفته و علاوه بر نقش فراهم آوردن بستر مناسب برای استقرار فنر وسلو وظیفه عایق الکتریکی برای ادوات اتصال خط را نیز بر عهده دارد. لازم به ذکر است که جذب ارتعاشات به وسیله قطعه فوق، نقش بسزایی در به کارگیری آن دارد. گایدپلیت‌های پلاستیکی باید از مقاومت فشاری و ضربه‌ای زیادی برخوردار باشند به همین علت در ساخت آن‌ها از پلاستیک‌های با خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب همانند پلاستیک‌های تقویت شده (کامپوزیت‌های پلاستیکی) استفاده می‌شود.



شکل ۵-۲۱- سیستم پابند وسلو و محل قرارگیری گایدپلیت در تراورس

1- Guide Plate

۵-۸-۱- ماده اولیه گایدپلیت‌های پلاستیکی

ماده اولیه برای تولید گایدپلیت پلاستیکی باید از نایلون ۶ یا ۶/۶ (پلی‌آمید ۶ یا ۶/۶) که با ۳۰ درصد الیاف شیشه تقویت شده است، انتخاب شود. از آنجایی که ممکن است گایدپلیت ها در مناطق بیابانی و گرمسیری، زیر تابش مستقیم اشعه نور خورشید مورد استفاده قرار گیرند، لذا باید ضمن مقاوم بودن در برابر درجه حرارت‌های زیاد در مقابل اشعه ماوراء بنفش خورشید (عامل تخریب کننده پلیمر) نیز مقاوم باشند. از این رو باید پلی‌آمید تقویت شده‌ای در تولید آن مورد استفاده قرار گیرد که مقاوم در برابر درجه حرارت‌های بسیار زیاد و اشعه ماوراء بنفش باشد.

۵-۸-۲- مشخصات مکانیکی و فیزیکی گایدپلیت‌های پلاستیکی

در مورد گایدپلیت های پلاستیکی شاخص اصلی برای انتخاب مواد اولیه مناسب، خواص مکانیکی اشاره شده در جدول (۵-۱۳) است. تمام سطوح گایدپلیت بایستی عاری از هر گونه ترک‌خوردگی و عیوب دیگر باشد.

جدول ۵-۱۳- مشخصات مکانیکی و فیزیکی گایدپلیت‌های پلاستیکی

آزمایش	واحد	حد پذیرش
مقاومت کششی	MPa	≥۱۷۰
ازدیاد طول	٪	≥۳
مقاومت خمشی	MPa	≥۲۵۰
مقاومت ویژه الکتریکی حجمی[۱]	kΩ.cm	$۱۰^{۸}$
مقدار الیاف شیشه	٪	۳۰-۳۵
سختی[۲]	HRR	≥۹۵
مدول برشی	MPa	≥۱۵۰۰
مدول الاستیسیته[۹]	MPa	≥۶۰۰۰
مقاومت ضربه ((IZOD)[۳] - ضربه با ناچ - ضربه بدون ناچ	Kj/m^2	 ۶ ۴۰
جذب آب[۵]	٪	۰/۸-۱/۲
وزن مخصوص[۶]	g/cm^3	۱/۳۵-۱/۴۵
تعیین توع پلیمر (FTIR)[۷]	-	PA with 30±3% GF
خلوص پلیمیر (DSC)[۸]	-	Pure PA 6 / Pure PA 66 (Except Carbon Black)
کنترل تخلخل	-	بدون تخلخل

۱- بر طبق دستورالعمل IEC 62631 و یا ASTM D257 انجام شود.

۲- آزمایش سختی راکول در اسکیل R مطابق با استاندارد ASTM-D785 (راکول روشA) انجام شود.

۳- استحکام ضربه‌ای مطابق با استاندارد ASTM D256 / ISO 179-1 بر روی نمونه‌های تهیه شده از قطعه گایدپلیت انجام شود.

۵- گایدپلیت درون آب در دمای حداقل ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود. تحت این شرایط باید بین ۰/۸ تا ۱/۲ درصد وزنی خود در حالت خشک (حالتی که جوشانده نشده)، آب جذب نماید. همچنین رطوبت در قطعه گایدپلیت در حالت معمول باید بین ۱ تا ۲/۵ درصد وزنی باشد.

۶- بر طبق دستورالعمل DIN EN ISO 1183-1 و یا ASTM D792 انجام شود.

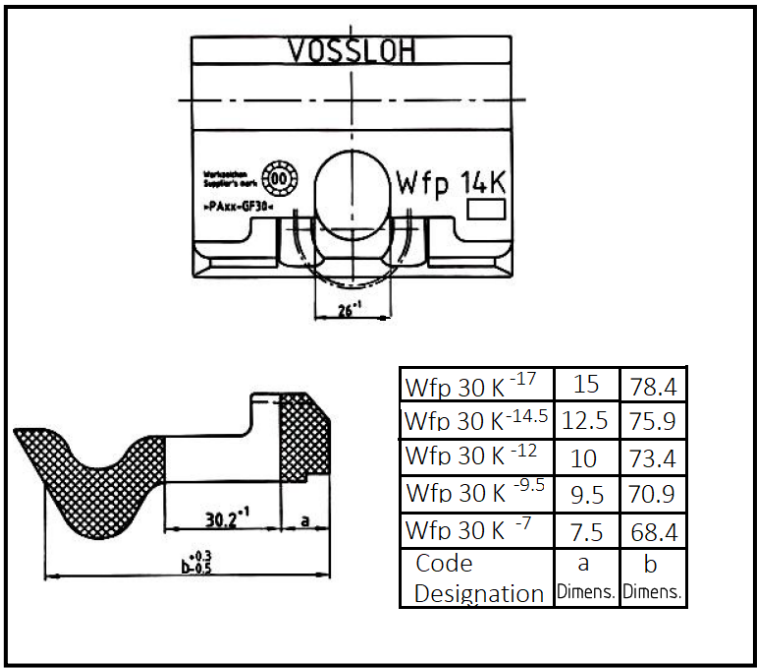
۷- بر طبق دستورالعمل ASTM E1252 انجام شود.

۸- بر طبق دستورالعمل ASTM D3418 انجام شود.

۹- بر طبق دستورالعمل ASTM D638 و یا ISO 527 انجام شود.

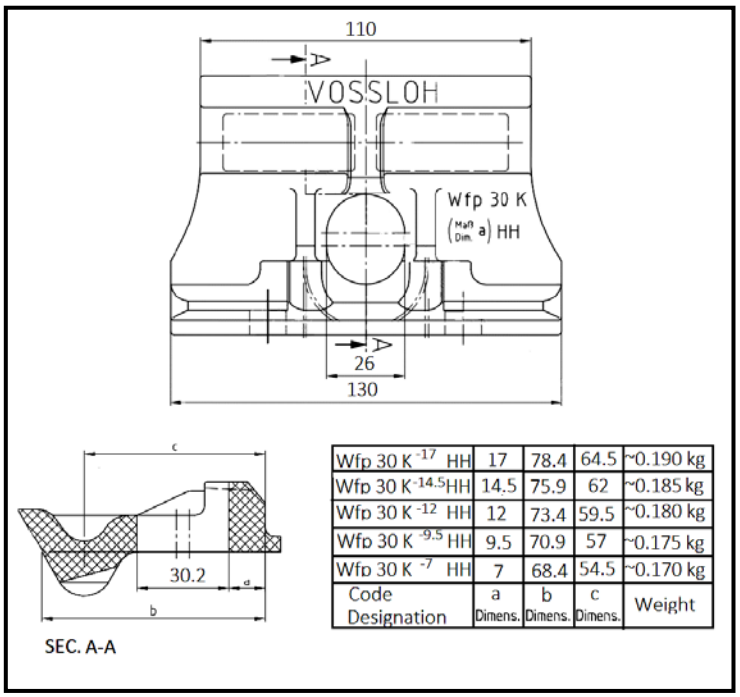
۵-۸-۳- کنترل ابعادی

نمونه‌های گایت‌پلیت پابند W14 و گایدپلیت پابند W30HH باید مطابق با ابعاد و اندازه‌های شکل‌های (۵-۲۲) و (۵-۲۳) و یا نمونه تحویلی به سازنده، کنترل شود.



Code Designation	a Dimens.	b Dimens.
Wfp 30 K -17	15	78.4
Wfp 30 K -14.5	12.5	75.9
Wfp 30 K -12	10	73.4
Wfp 30 K -9.5	9.5	70.9
Wfp 30 K -7	7.5	68.4

شکل ۵-۲۲- ابعاد و اندازه گایت‌پلیت پابند W14

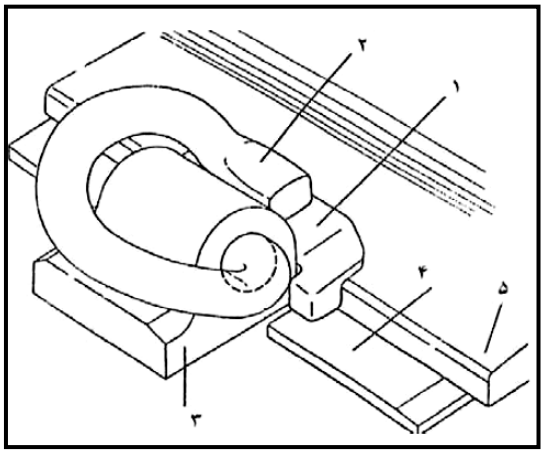


Code Designation	a Dimens.	b Dimens.	c Dimens.	Weight
Wfp 30 K -17 HH	17	78.4	64.5	~0.190 kg
Wfp 30 K -14.5 HH	14.5	75.9	62	~0.185 kg
Wfp 30 K -12 HH	12	73.4	59.5	~0.180 kg
Wfp 30 K -9.5 HH	9.5	70.9	57	~0.175 kg
Wfp 30 K -7 HH	7	68.4	54.5	~0.170 kg

شکل ۵-۲۳- ابعاد و اندازه گایت‌پلیت پابند W30HH

۵-۹- اینسولیت

اینسولیت[1] یا گیج بلاک قطعه‌ای است که از آن به عنوان عایق الکتریکی بین فنر پابند و پایه ریل در سیستم پابند پاندرول e-Clip و پابند KS-DTVI-1 استفاده می‌شود. از آنجا که قطعه فوق باید از استحکام فشاری و ضربه‌ای قابل ملاحظه برخوردار باشد، در ساخت آن از پلاستیک‌های با خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب همچون پلاستیک‌های تقویت شده (کامپوزیت های پلاستیکی) استفاده می‌شود. شکل (۵-۲۴) محل قرار گرفتن قطعه اینسولیت درون سیستم پابند پاندرول را نشان می‌دهد. این قطعه باعث کاهش ارتعاشات سیستم پابند نیز می‌شود، بنابراین استفاده و قرارگیری صحیح از آن مسله مهمی است که همواره باید مورد توجه قرار گیرد.



۱- اینسولیت
۲- فنر پاندرول
۳- شانه
۴- صفحه لاستیکی زیر ریل (پد)

شکل ۵-۲۴- اجزای پابند در سیستم پاندرول

۵-۹-۱- ماده اولیه

ماده اولیه برای تولید اینسولیت از نایلون ۶۶ (پلی‌آمید ۶۶) که با ۳۰ درصد الیاف شیشه تقویت شده، تشکیل شده است. با توجه به اینکه اینسولیت ها در مناطق بیابانی و گرمسیری و در زیر تابش مستقیم اشعه نور خورشید مورد استفاده قرار می گیرند، باید زمان مقاوم بودن در درجه حرارت‌های زیاد، در مقابل اشعه ماورای بنفش نور خورشید (عامل تخریب کننده پلیمر) نیز مقاوم و پایدار باشند. از این‌رو پلی‌آمید تقویت شده‌ای در تولید آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد

1- Rail Insulator

که در برابر حرارت و اشعه ماوراء بنفش مقاوم است. ماده اولیه اینسلولیت باید دارای خواص مکانیکی اشاره شده در جدول (۵-۱۴) باشد. تمام سطوح اینسلولیت بایستی عاری از هرگونه ترک‌خوردگی و عیوب دیگر باشد.

جدول ۵-۱۴- مشخصات مکانیکی و فیزیکی اینسولیت‌های پلاستیکی

آزمایش	واحد	حد پذیرش
ازدیاد طول	٪	≥ ۳
مقاومت خمشی	MPa	≥۲۵۰
مقاومت ویژه الکتریکی حجمی(۱)	kΩ.cm	۲×۱۰^{۱۲}
مقدار الیاف شیشه	٪	۳۰-۳۵
سختی(۲)	HRR	≥۹۵
مدول برشی	MPa	≥۱۵۰۰
مقاومت ضربه(۳) - ضربه با ناچ - ضربه بدون ناچ	Kj/m^2	 ۶ ۴۰
جذب آب(۴)	٪	۰/۸-۱/۲
مقاومت کششی(۵)	MPa	≥۱۷۰
وزن مخصوص(۶)	g/cm^3	۱/۳۵-۱/۴۵
تعیین توع پلیمر (FTIR)(۷)	-	PA with 30±3% GF
خلوص پلیمیر (DSC)(۸)	-	Pure PA 6 / Pure PA 66 (Except Carbon Black)

۱- برای نمونه قالب‌گیری شده (قطعه اینسولیت) مطابق با استاندارد ASTM-D798 باشد.

۲- بر روی اینسولیت‌ها، آزمایش سختی مطابق با استاندارد ASTM-D785 (راکول روش A) با اسکیل R انجام شود. در این حالت سختی اینسولیت باید حداقل ۹۵ باشد و متوسط دو عدد خوانده شده، گزارش شود.

۳- استحکام ضربه‌ای مطابق با استاندارد ASTM-D۲۵ بر روی نمونه‌های تهیه شده از اینسولیت‌ها که در شکل (۵-۲۷) نشان داده شده است، انجام می‌شود. ضربه باید از قسمتی که توسط دستگاه فرز تراشیده نشده است، به نمونه وارد شود. نمونه‌های مربوط به آزمایش ضربه باید به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی درون آب قرار گیرند. تحت این شرایط بر طبق دستورالعمل DIN EN ISO 179-1eU استحکام ضربه‌ای بدون ناچ باید حداقل ۴۰ kj/m^2 و استحکام ضربه‌ای با ناچ حداقل ۶ kj/m^2 باشد. نمونه برای آزمایش ضربه از مکان مشخص شده در اینسولیت (مطابق شکل ۵-۲۷-الف) بریده شده و سپس به وسیله دستگاه فرز سطح برش صاف گشته و در نهایت به ابعاد و اندازه‌های مشخص شده، در شکل(۵-۲۷-ب) درمی‌آید. لازم به ذکر است که تنها وجه بریده شده با دستگاه فرز تراشیده می‌شود و بقیه سطوح به همان حالت باقی می‌ماند. برای اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای در دستگاه، ضربه به وجه مقابل وجه تراشیده شده اعمال می‌گردد. در روش Charpy آزمایش مطابق با استاندارد DIN 53453 بر روی نمونه‌های تهیه شده از قطعه انسولیت به ابعاد ۱۲/۷ mm در ۱۲۷mm انجام می‌شود.

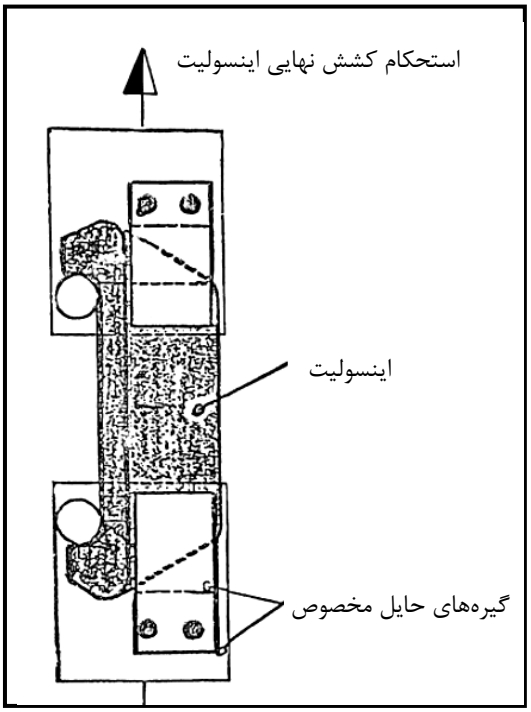
۴- در این آزمایش، اینسولیت‌ها درون آب در دمای حداقل ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شوند. تحت این شرایط باید بین ۰/۸ تا ۱/۲ درصد وزنی خود (در حالت خشک) آب جذب کنند.

۵- نمونه‌ها باید درون یک گیره مخصوص که به همین منظور ساخته شده است، سفت و محکم گشته و نیروی کششی همانند شکل (۵-۲۵) به آن ها اعمال گردد. تحت نیروی کششی حداقل ۴۵۰ کیلوگرم نباید هیچ‌گونه علایمی از تخریب در اینسولیت اتفاقی بیافتد. (یعنی ترک و یا تغییر شکلی در آن به وجود بیاید. علاوه بر آن برای اطمینان از آنکه ساختار قطعه تولید شده یکنواخت باشد، نمونه‌هایی مطابق با شکل (۵-۲۶-الف) از قطعات تهیه و مقاومت کششی آن‌ها، تحت شرایط مندرج در شکل (۵-۲۶-ب) تعیین می‌شود در این حالت مقاومت کششی باید حداقل ۹۰ Mpa و درصد ازدیاد طول حداکثر ۱۵ درصد باشد.

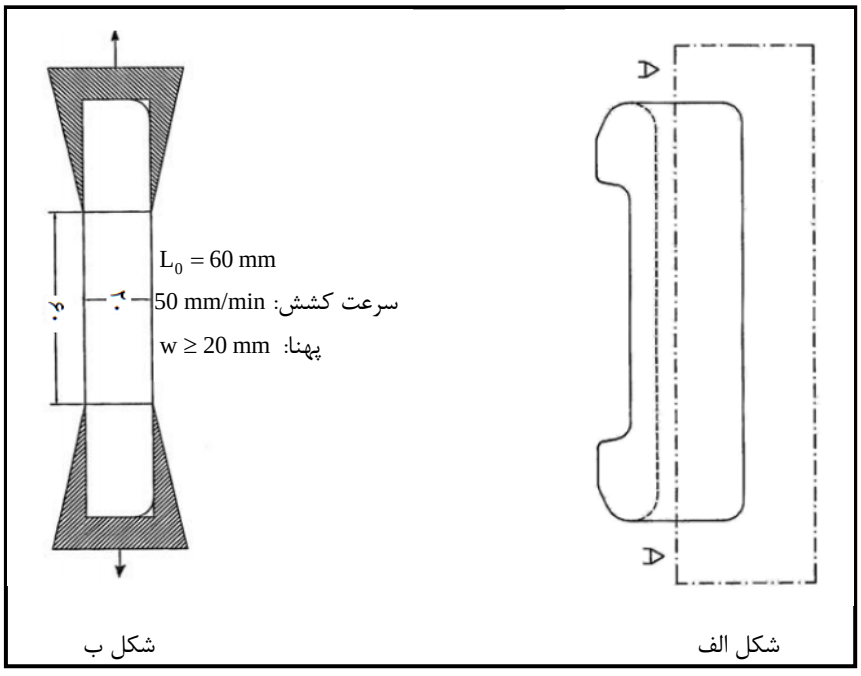
۶- بر طبق دستورالعمل DIN EN ISO 1183-1 انجام شود.

۷- بر طبق دستورالعمل ASTM E1252 انجام شود.

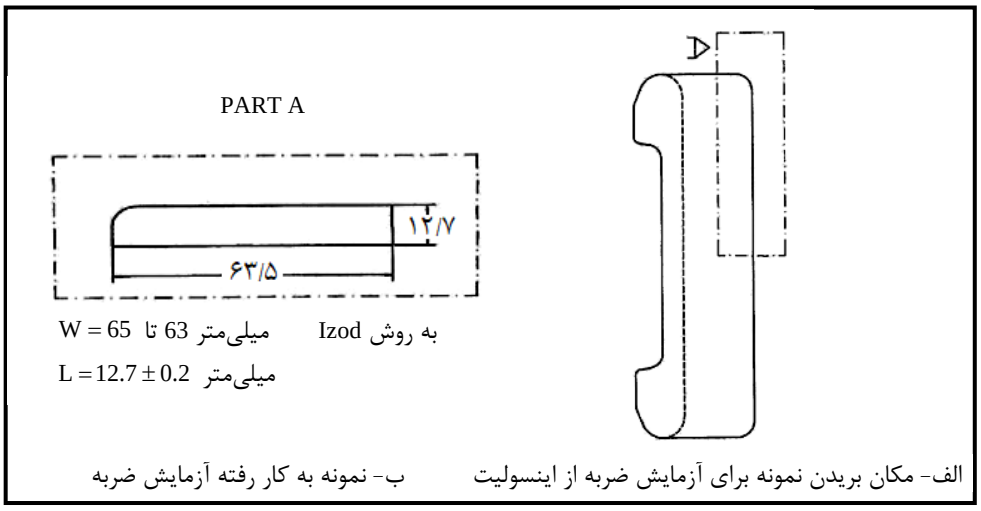
۸- بر طبق دستورالعمل ASTM D3418 انجام شود.



شکل ۵-۲۵- آزمایش کشش بر روی قطعه اینسولیت با استفاده از دستگاه آزمایش کشش



شکل ۵-۲۶- نمونه آزمایش کشش



شکل ۵-۲۷- نمونه برای آزمایش ضربه از اینسولیت

۵-۹-۲- کنترل ابعادی

نمونه های اینسولیت پابند e-Clip پاندرول و پابند KS-DTVI-1 باید مطابق با ابعاد و اندازه‌های ذکر شده در نقشه‌ها و یا نمونه تحویلی به سازنده، کنترل شود.

۵-۱۰- پد زیر ریل

پد زیر ریل برای قرار دادن بین ریل و صفحه فلزی زیر ریل (بیس پلیت) یا بین ریل و تراورس به کار می‌رود. صفحات زیر ریل از جنس لاستیک و پلاستیک می‌باشند. پدهای لاستیکی زیر ریل که برای آن‌ها باید منحنی بار-خمیدگی تعیین شده باشد، عمدتا با پابندهای ارتجاعی مورد استفاده قرار گرفته تا نیروی گیرش کنترل شده‌ای را بر پایه ریل اعمال کنند.

۵-۱۰-۱- مشخصات فنی مربوط به پد لاستیکی

بر طبق UIC864-5 مشخصات فنی مربوط به پد لاستیکی تولید شده بایستی بر اساس مقادیر جدول‌های (۵-۱۵) و (۵-۱۶) باشد.

جدول ۵-۱۵- مشخصات مکانیکی و فیزیکی پدهای لاستیکی قبل از فرسایش

آزمایش	واحد	حد پذیرش
سختی[1]	Shore A	حداقل ۶۵
مقاومت کششی	N/mm^2	حداقل ۱۲
ازدیاد طول تا حد پارگی	٪	حداقل ۲۵۰
ضریب مربوط به ٪۱۰۰ زیاد طول	N/mm^2	حداقل ۳ حداکثر ۵

ادامه جدول ۵-۱۵- مشخصات مکانیکی و فیزیکی پدهای لاستیکی قبل از فرسایش

آزمایش	واحد	حد پذیرش
ماکزیمم درصد تغییر شکل[۲] (ترمو پلاستیسیتی)	٪	[۳]۲۵ [۴]۳۰
مقاومت الکتریکی	MΩ	حداقل ۱۰۰
منحنی بار- تغییر مکان	-	مطابق منحنی موجود در فیش UIC864-5
مانایی فشاری[۵]	٪	حداکثر ۱۵

۱- حداقل در یک سانتی‌متری گوشه صفحات و در پنج محل، در بین شیارها انجام شود. کم‌ترین عدد به دست آمده ملاک است.

۲- این آزمایش تنها در مورد لاستیک سنتتیکی به کار می‌رود و میانگین سه بار آزمایش ملاک است.

۳- تعیین میزان Set روی نمونه آزمایش کشش که در معرض ازدیاد طول ۵۰ درصد قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

۴- فشردن قطعه تا ۵۰ درصد طول اولیه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت.

۵- بر اساس ASTM D 395-B

جدول ۵-۱۶- مشخصات مکانیکی و فیزیکی پدهای لاستیکی بعد از فرسایش

آزمایش	واحد	حد پذیرش
سختی[۱]	Shore A	حداکثر ۱۵ واحد بیش‌تر از بزرگ‌ترین عدد خوانده شده در گرمایش قبل از فرسایش
مقاومت کششی[۲]	N/mm^2	حداقل ۱۰
زیاد طول تا حد پارگی	٪	حداقل ۱۸۰
ابقای خواص در خلال فرسایش	٪	(۳) ۷۰ (۴) ۶۰
مدول ٪ ۱۰۰ ازدیاد طول	N/mm^2	نباید بیش از ۴۰ درصد با مقادیر قبل از فرسایش تفاوت داشته باشد

۱- هفت روز فرسایش در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد

۲- نحوه فرسایش در مورد لاستیک سنتتیکی به مدت چهار روز در دمای $100\pm2^{\circ}C$ و در مورد لاستیک طبیعی به مدت ۷ روز در دمای $70\pm2^{\circ}C$

۳- حداقل ابقای استحکام کششی در نمونه پس از فرسایش

۴- حداقل ابقای ازدیاد طول در نمونه پس از فرسایش

۵-۱۰-۲- مشخصات فنی مربوط به پدهای پلاستیکی

در سیستم پابند وسلو W14 و W30HH از پدهای پلاستیکی Zw687a و Zw148/175/7 از جنس HDPE و EVA استفاده می‌شود. (شکل ۵-۲۳) مشخصات فنی مربوط به صفحات پلاستیکی تولید شده بایستی بر اساس مقادیر جدول (۵-۱۷) باشد.

جدول ۵-۱۷- مشخصات فنی پدهای پلاستیکی جنس HDPE

آزمایش	واحد	HDPE	EVA
وزن مخصوص[۱]	g/cm^3	۰/۹۵ -۰/۹۸	۰/۹۳۰ – ۰/۹۵۲
سختی[۲]	Shore A	حداقل ۹۸	حداقل ۹۰
مقاومت کششی	N/mm^2	حداقل ۱۹	حداقل۱۵
ازدیاد طول	٪	حداقل ۸۰	حداقل۵۰۰
مقاومت الکتریکی[۳]	MΩ	حداقل 10^4	حداقل ۱۰۰

ادامه جدول ۵-۱۷- مشخصات فنی پدهای پلاستیکی جنس HDPE

آزمایش	واحد	HDPE	EVA
تعیین توع پلیمر (FTIR)[۴]	-	HDPE	Ethylene-Vinyl Acetate
خلوص پلیمر (DSC)[۵]	-	HDPE	EVA without any filler (Excluding Carbon Black)
مقدار کربن سیاه[۶]	٪	-	۱/۵ – ۱/۰

۱- بر اساس دستورالعمل استاندارد ISO 1183 و یا ASTM D792

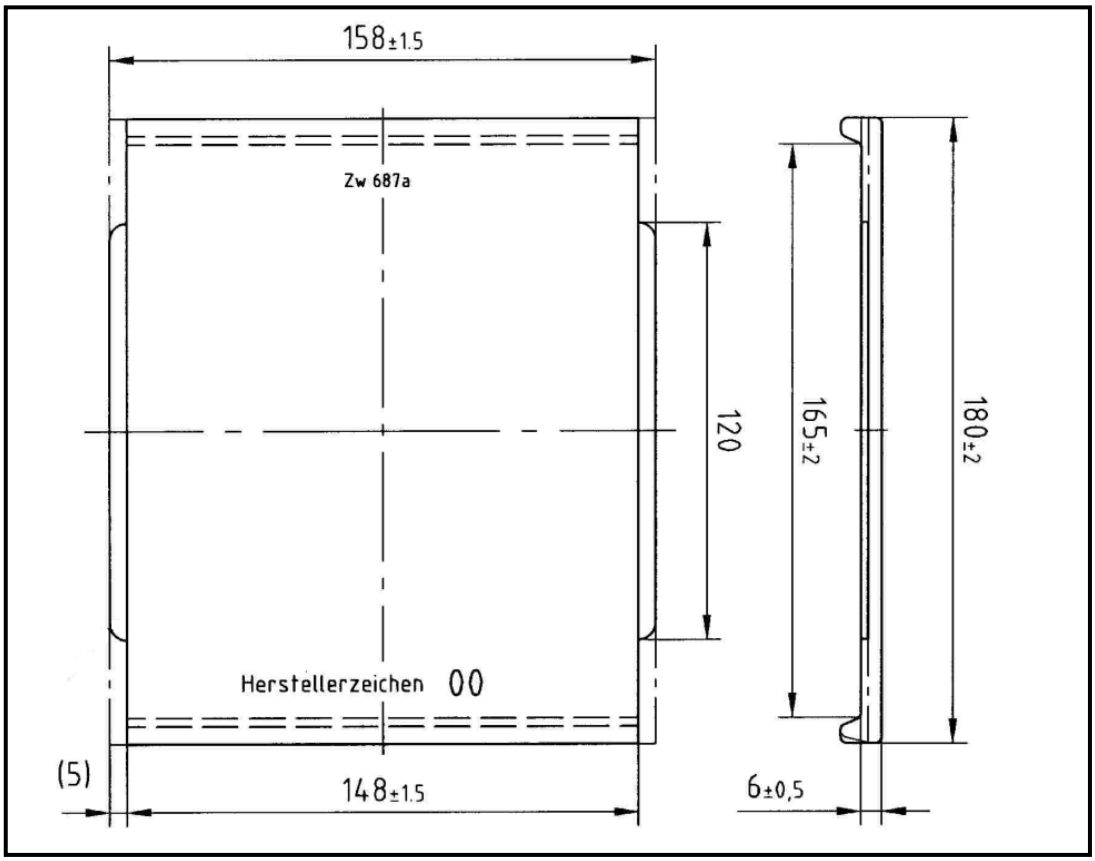
۲- بر اساس دستورالعمل استاندارد ISO 868 و یا ASTM D2240 انجام شود. در صورت انجام آزمایش ShoreD برای پدهای با جنس EVA مقدار پذیرش در محدوده ۳۲-۴۷ است.

۳- بر اساس دستورالعمل استاندارد UIC 864-5

۴- بر طبق دستورالعمل استاندارد ASTM E1252

۵- بر طبق دستورالعمل استاندارد ASTM D3418

۶- بر اساس دستورالعمل استاندارد ASTM D1603



شکل ۵-۲۸- نمونه پد پلاستیکی پابند وسلو W14

۵-۱۱- صفحه فلزی زیر ریل

صفحه فلزی زیر ریل (بیس پلیت)[1] که زینچه نیز نامیده می‌شود، قطعه‌ای هست که به عنوان نشیمن‌گاه ریل بر روی تراورس‌های چوبی و بتنی و یا بستر بتنی دال خط مورد استفاده قرار می‌گیرند. این قطعه نیروها و تنش‌های وارده به ریل را در سطح گسترده‌ای بر روی تراورس و یا بستر بتنی توزیع می‌نماید.

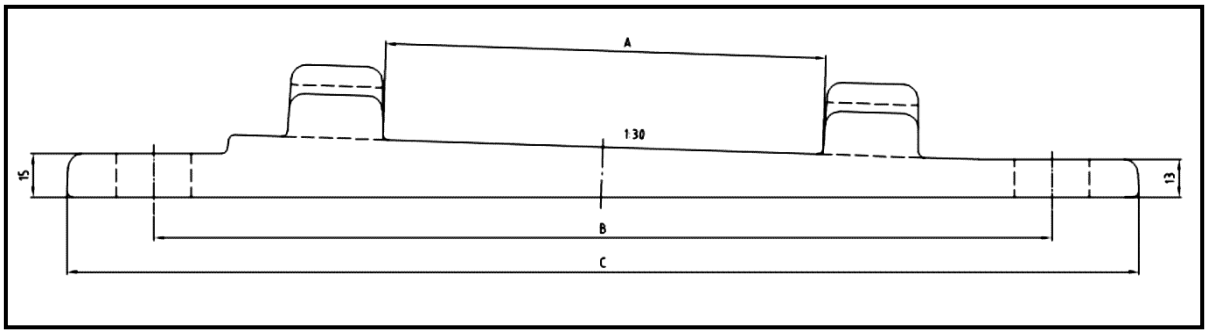
۵-۱۱-۱- مشخصات فنی صفحه فلزی زیر ریل در خطوط راه آهن

صفحات فلزی زیر ریل مورد مصرف در راه آهن از برش فولادهای نورد شده تهیه می‌شود. جنس فولاد مصرفی بایستی مطابق استاندارد EN 10025 با خواص مکانیکی جدول (۵-۱۸) باشد.

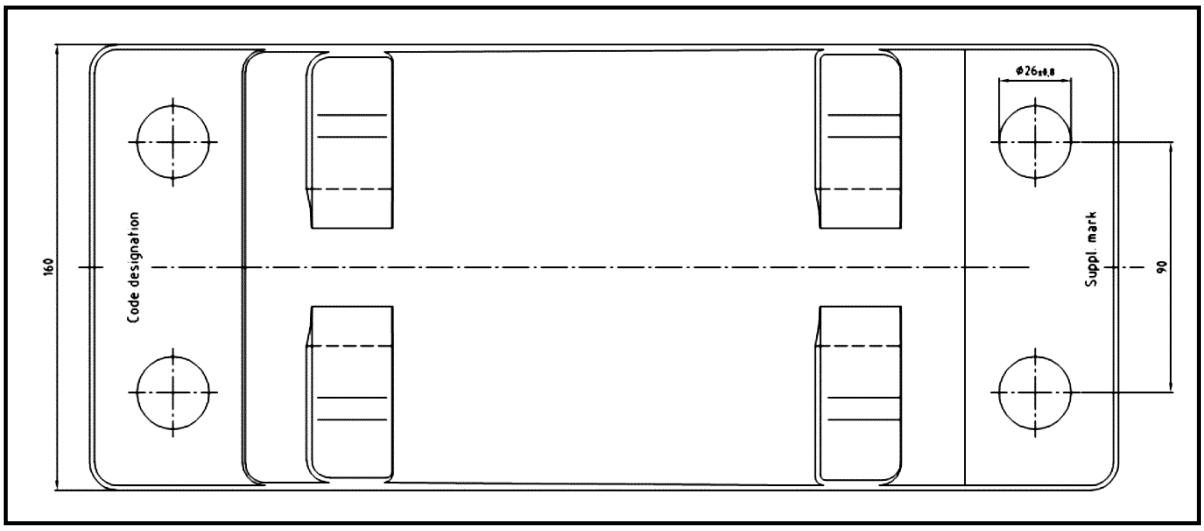
جدول ۵-۱۸- خواص مکانیکی صفحات فلزی زیر ریل

مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول
≥۴۱۰	≥۲۶۵	≥ ۲۴

دیگر مشخصات فنی شامل ابعاد، نوع پوشش، عملیات حرارتی لازم، علامت‌گذاری و غیره بایستی مطابق با ISO6305-2 و UIC864-6 در نظر گرفته شود. صفحات باید دارای سطوح صاف و یکنواخت بوده و عاری از ناپیوستگی، تعمیرات، ترک، خط و خش، عیوب عمیق یا هرگونه عیب دیگر باشد.



1- Base Plate



مقادیر A، B و C بر اساس عرض پاشنه ریل متغیر است.

شکل ۵-۲۹- صفحه زیر ریل پابند نوع KS

۵-۱۱-۲- مشخصات فنی صفحه فلزی زیر ریل در خطوط قطار شهری و حومه

آلیاژی که برای تولید صفحات فلزی زیر ریل مورد مصرف در خطوط قطار شهری و حومه متداول می‌باشد، بر اساس نام‌گذاری استاندارد DIN 1963 چدن نشکن فریتی (چدن داکتیل[1])، GGG40 و GGG50 است که مشخصات مکانیکی و ترکیبات شیمیایی آن‌ها در جدول‌های (۵-۱۹) و (۵-۲۰) معرفی شده است.

مقادیر اعلام شده حداقل مشخصات فنی مورد نیاز برای جنس صفحه فلزی زیر ریل مورد مصرف در خطوط قطار شهری و حومه است. مشاور طرح بایستی نسبت به تعیین نوع آلیاژ، محاسبه ابعاد و ضخامت مورد نیاز بر اساس بار محوری، سرعت ناوگان عبوری و غیره و کنترل کلیه تنش‌های وارده به صفحه و تعیین تعداد پیچهای مورد نیاز جهت بستن صفحه به تراورس و یا دال بتنی اقدام نماید.

جدول ۵-۱۹- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی چدن داکتیل GGG40 و GGG50

ردیف	گوگرد (S)	فسفر (P)	منگنز (Mn)	سیلیسیم (Si)	کربن (C)
GGG40	≤۰/۰۲	≤۰/۰۸	۰/۵ – ۰/۲	۲/۵ – ۰/۵	۳/۸ – ۲/۵
GGG50	≤۰/۰۲	≤۰/۰۵	≤۰/۰۵	۲/۳ – ۳/۰	۳/۴ – ۳/۸

1- Ductile Cast Iron

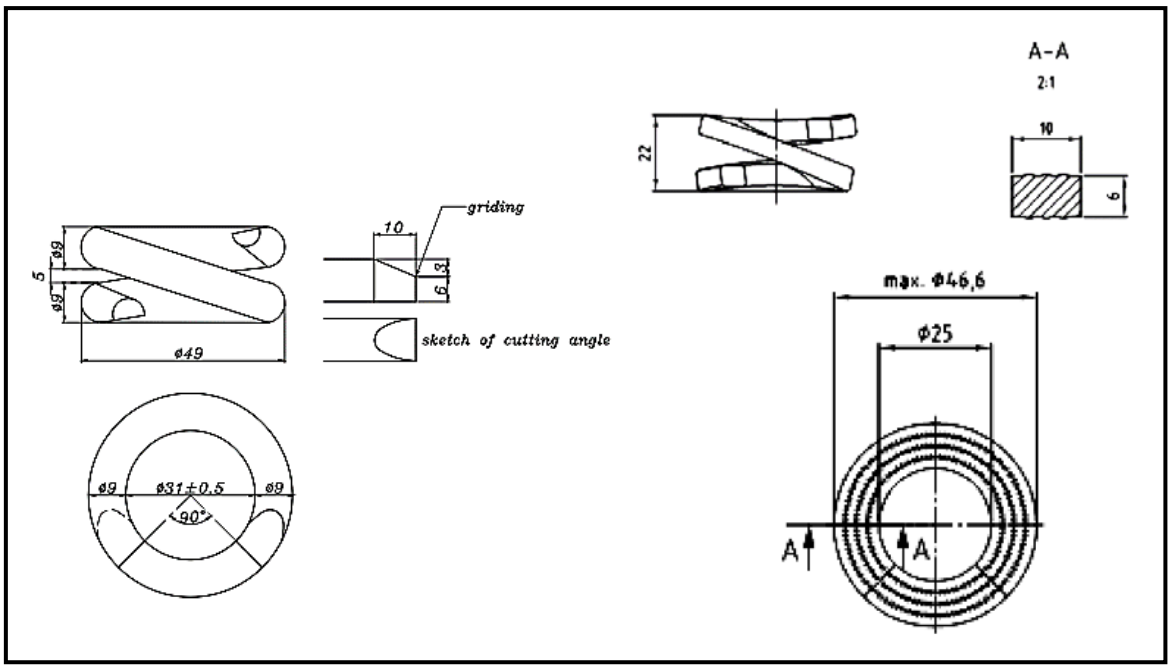
جدول ۵-۲۰- خواص مکانیکی چدن داکتیل GGG40 و GGG50

علامت	مقاومت کششی گسیختگی[1] (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول (۱)	سختی برینل HBW
GGG40	≥۴۰۰	≥۲۵۰	≥۱۵	۱۸۰-۱۳۵
GGG50	≥۵۰۰	≥۳۲۰	≥۷	۲۴۱-۱۸۷

۱- ضخامت کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر

۵-۱۲- واشر فنری دوبل

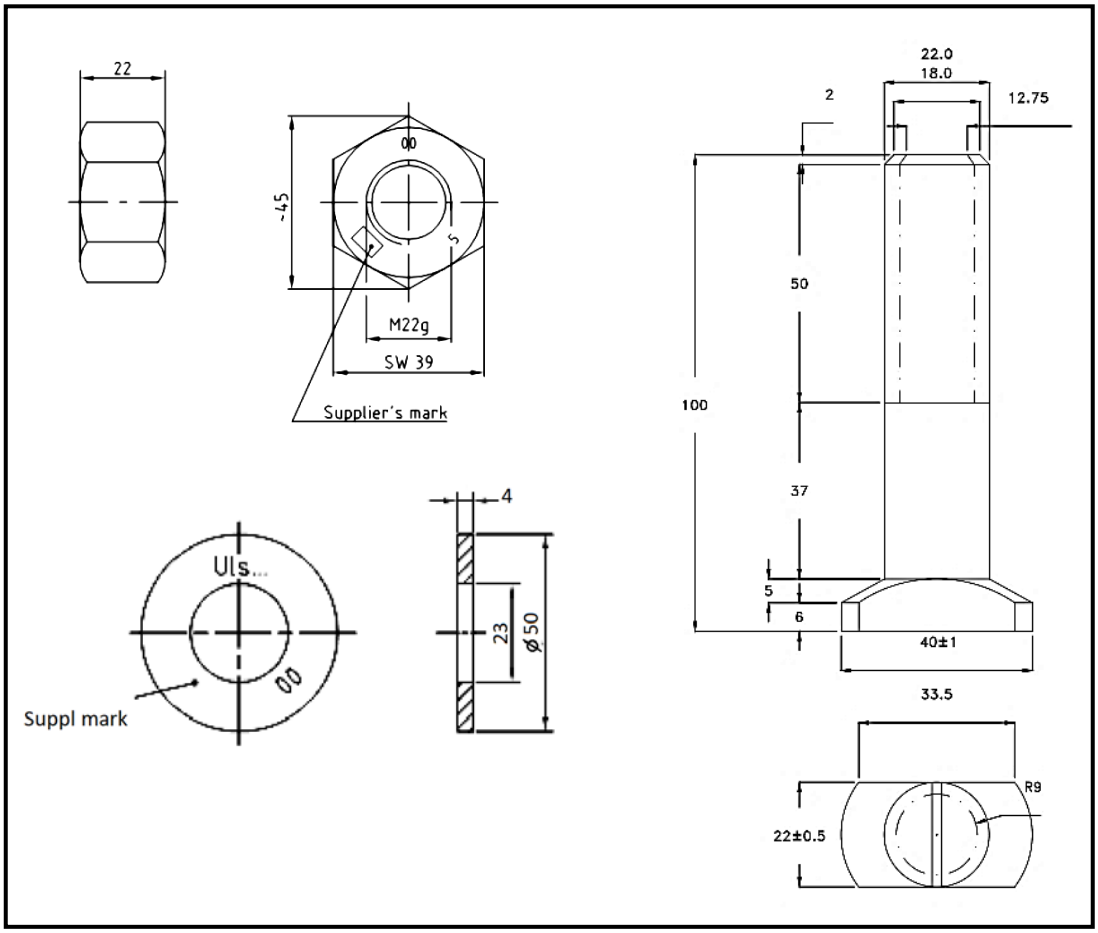
از واشر فنری دوبل در انواع پابندهای K، KS مورد استفاده قرار می گیرد. واشر فنری دوبل از جنس فولادهای فنری مطابق استاندارد DIN EN 10089 ترکیبات شیمیایی آن مطابق جدول (۵-۱) می‌باشد. متداول‌ترین میلگرد مصرفی برای تولید آن فولاد فنری 38Si7 به شماره ۱/۰۹۷۰ است. خواص مکانیکی فولاد 38Si7 مورد استفاده باید مطابق جدول (۵-۲) باشد. واشرهای دو فنری به دست آمده باید از میله‌های ریخته‌گری یکسان باشد. واشر فنری دوبل باید سخت‌کاری شده و سختی آن بر اساس دستورالعمل ISO6507 باید ۴۳۰HV30 تا ۵۱۵ باشد. واشر فنری باید مطابق یا الزامات ISO10684 با پوشش گالوانیزه گرم باشد و تمام سطوح باید کاملا پوشانده شوند. فنرهای تولید شده باید عاری از هرگونه عیوب سطحی باشند و هیچ‌گونه تغییر شکل غیرمجاز، ترک خوردگی، عدم یکنواختی و پلیسه بر روی آن‌ها مشاهده نشود. ابعاد بایستی با مقادیر و رواداری‌های ذکر شده در روی نقشه‌ها کنترل شود. نمونه واشر فنری دوبل در شکل (۵-۳۰) نشان داده شده است. درصورتی‌که ابعاد پابند خارج از رواداری‌های مجاز باشد، استفاده از آن ممنوع است. دیگر شرایط پذیرش مطابق UIC 864-3 در نظر گرفته شود.



شکل ۵-۳۰- نقشه دو نمونه واشر فنری دوبل

۵-۱۳- پیچ T و مهره و واشر

واشر تخت، مهره و پیچ T شکل[1] آن که یک پیچ M22 است، در سیستم‌های پابند K، KS و S-DTVI-1 به کار می‌رود (شکل ۵-۳۱). مطابق با UIC864-2 میلگرد مصرفی برای تولید پیچ T از فولاد درجه ۵/۶ است. خواص مکانیکی فولاد مصرفی مورد استفاده باید مطابق با مقادیر جدول (۵-۱۰) باشد. کیفیت ساخت، آزمایش و شرایط پذیرش این قطعه باید مطابق UIC864-2 باشد. برای تولید مهره بایستی از فولاد دسته ۵ در EN20898-2 استفاده شود. پیچ و مهره و واشر تخت بایستی گالوانیزه شوند. قطعات قبل از گالوانیزه شدن بایستی عاری از هرگونه عیوب سطحی باشند و هیچ گونه تغییر شکل غیرمجاز، ترک‌خوردگی، عدم یکنواختی و پلیسه بر روی آن‌ها مشاهده نشود. استفاده از میلگرد AIII برای تولید پیچ و مهره در صورت پیش‌بینی در مشخصات فنی خصوصی نیز قابل استفاده است.



شکل ۵-۳۱- نقشه نمونه پیچ T، مهره و واشر

1- T-Head Bolt screws and Nuts

۵-۱۴- شولدر تراورس بتنی

شولدر تراورس بتنی که در سیستم پابندهای e-Clip پاندرول به کار می‌رود، در هنگام تولید تراورس در داخل آن قرار می‌گیرد و وظیفه آن ایجاد مهاری برای قرار گرفتن فنر پاندرول بر روی تراورس است. شکل (۵-۳۲) آلیاژی که به طور معمول برای تولید این قطعه به کار می‌رود چدن مالبیل فریتی است که مشخصات مکانیکی و ترکیبات شیمیایی آن در جدول‌های (۵-۲۱) و (۵-۲۲) معرفی شده است. با توجه به مزایای نسبی چدن نشکن فریتی (چدن داکتیل) از این آلیاژ نیز استفاده می‌شود که مشخصات مکانیکی و ترکیبات شیمیایی آن مطابق جدول‌های (۵-۱۹) و (۵-۲۰) است.

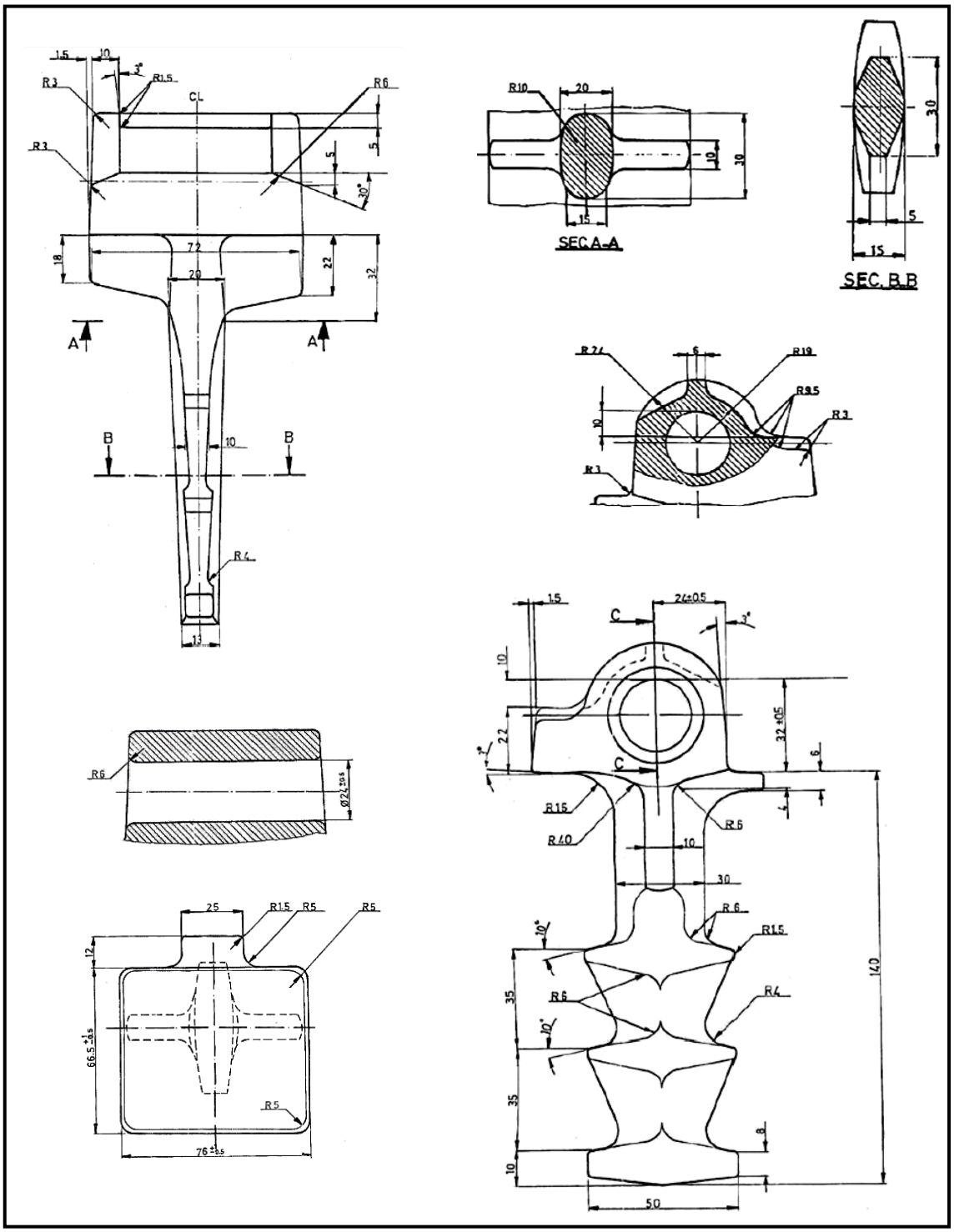
جدول ۵-۲۱- درصد وزنی ترکیبات شیمیایی چدن مالبیل

گوگرد (S)	فسفر (P)	منگنز (Mn)	سیلیسیم (Si)	کربن (C)
≤۰/۱۸	۰/۲۵-۰/۵۵	۰/۲۵-۰/۵۵	۰/۹-۱/۴	۲/۳-۳/۶۵

جدول ۵-۲۲- خواص مکانیکی چدن مالبیل

مقاومت کششی گسیختگی (MPa)	مقاومت کششی تسلیم (MPa)	درصد ازدیاد طول	سختی برینل HB
≥۱۳۰	≥۱۹۰	≥ ۱۰	۱۲۵-۱۴۹

با توجه به شرایط آب و هوای مختلف از چدن‌های مالیبل پرلیتی نیز استفاده می‌شود که استاندارد این نوع چدن‌ها در کشورهای مختلف ASTM32510، DIN GTS-35 و BS10-310 می‌باشد.



شکل ۵-۳۲- نقشه شولدر تراورس بتنی

فصل ۶

بالاست و زیربالاست

۶-۱- دامنه کاربرد

مجموعه مشخصات فنی این فصل، برای استفاده در خطوط اصلی راه‌آهن الزامی است و برای خطوط فرعی، جنبه توصیه دارد.

۶-۲- وظایف لایه بالاست

لایه بالاست، لایه فوقانی روسازی از مصالح سنگی شکسته با اندازه حدود ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر است که مجموعه تراورس و ریل روی آن قرارگرفته و به کارگیری آن برای رسیدن به اهداف زیر ضروری است:

- تحمل نیروهای قائم، افقی و جانبی وارده بر تراورس‌ها به‌منظور نگه‌داشتن خط در موقعیت معین خود
- تامین بخشی از برجهندگی و جذب انرژی وارده به خط
- پخش و انتقال بارها به لایه‌های تحتانی
- زهکشی آب‌های سطحی
- تنظیم و تراز نمودن سطح ریل حین ریل‌گذاری و تعمیرات
- میرایی و استهلاک ضربات، ارتعاشات و صداهای حاصل از حرکت وسایل نقلیه ریلی
- محافظ یخبندان برای لایه زیر خود

۶-۳- وظایف لایه زیر بالاست

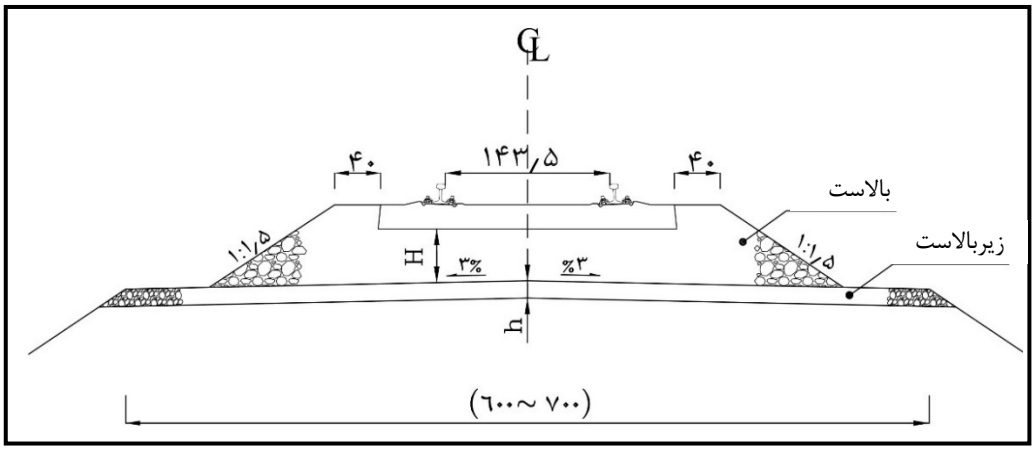
زیربالاست لایه‌زیرین روسازی، متشکل از مصالح سنگی ریزتر از بالاست است که به‌منظور دستیابی به اهداف زیر، بین بالاست و بستر روسازی اجرا می‌شود:

- کاهش تنش‌های وارد بر لایه‌های زیرسازی
- نگه‌داری بستر روسازی در مقابل نفوذ سنگدانه‌های بالاست
- محافظت از سطح بستر روسازی در برابر یخبندان
- جلوگیری از نفوذ ذرات ریز بستر روسازی به لایه بالاست
- تسهیل زهکشی
- بهینه سازی ضخامت لایه بالاست

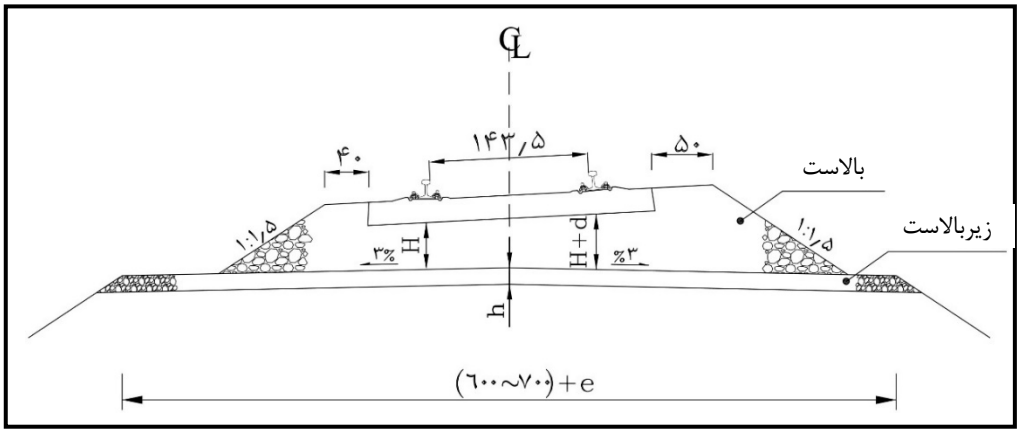
اجرای زیر بالاست در خطوط اصلی الزامی بوده و در خطوط فرعی با تشخیص مشاور و تصویب کارفرما قابل اجرا می‌باشد.

۶-۴- مقاطع عرضی روسازی بالاستی و مشخصات هندسی آن

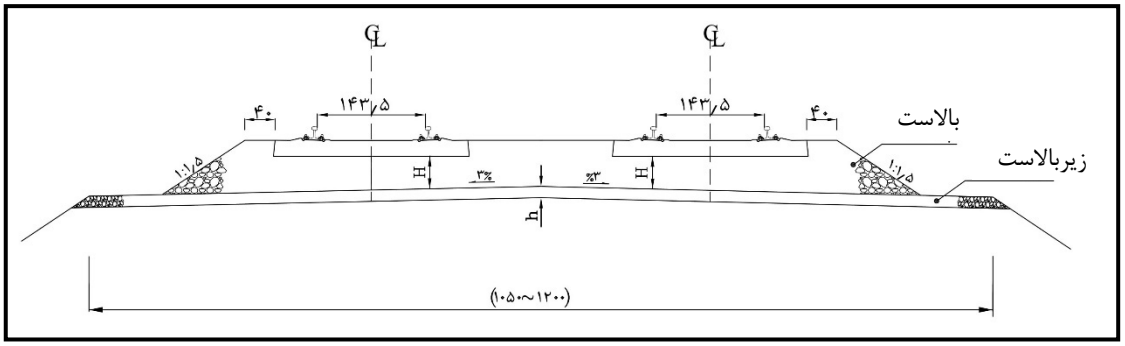
مقاطع عرضی مربوط به روسازی بالاستی و مشخصات هندسی آن در خطوط یک‌خطه، دوخطه، مستقیم و قوسی مطابق شکل‌های (۶-۱) تا (۶-۴) می‌باشد.



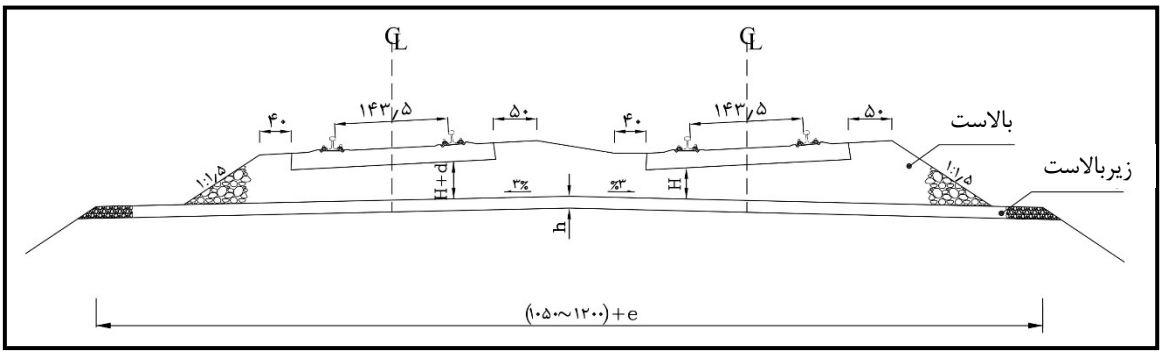
شکل ۶-۱- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن یک‌خطه مستقیم (ابعاد به سانتی‌متر)



شکل ۶-۲- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن یک‌خطه در قوس (ابعاد به سانتی‌متر)



شکل ۶-۳- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن دوخطه مستقیم (ابعاد به سانتی‌متر)



شکل ۶-۴- مقطع عرضی روسازی بالاستی در راه‌آهن دوخطه در قوس (ابعاد به سانتی‌متر)

۶-۴-۱- نحوه انتخاب ضخامت لایه بالاست

ضخامت لایه بالاست (H) در زیر نشیمن‌گاه ریل تراورس بتنی، در خطوط اصلی نباید کم‌تر از ۳۵ سانتی‌متر انتخاب شود. در خطوط فرعی، ضخامت لایه بالاست (H) را می‌توان در خطوط با تراورس چوبی حداقل ۲۵ سانتی‌متر و با تراورس فلزی و یا بتنی حداقل ۳۰ سانتی‌متر انتخاب نمود. برای تامین پایداری خط، نباید ضخامت لایه بالاست در زیر تراورس از ۵۰ سانتی‌متر تجاوز کند.

ضخامت‌های فوق با منظور نمودن الزام استفاده از لایه زیربالاست می‌باشد. در صورت عدم امکان اجرای لایه زیربالاست، بایستی ضخامت لایه زیربالاست به ضخامت لایه بالاست افزوده شود. مقادیر بربلندی (دور) تعادلی (d) و اضافه عرض زیرسازی در قوس‌ها (e) بر اساس آیین‌نامه طرح هندسی راه آهن (نشریه شماره ۲۸۸) خواهد بود. مقدار (h) ضخامت لایه زیربالاست می‌باشد که در بخش ۱۸-۶ توضیح داده شده است.

۶-۴-۲- نحوه انتخاب عرض شانه لایه بالاست

عرض شانه لایه بالاست باید به‌اندازه‌ای باشد که بتواند پایداری عرضی خط را در برابر نیروهای ناشی از نوسانات جانبی و نیروهای جانب مرکز در قوس‌ها حفظ کند. عرض شانه لایه بالاست مطابق شکل‌های (۶-۱) تا (۶-۴) نباید کم‌تر از ۴۰ سانتی‌متر در خطوط مستقیم و ۵۰ سانتی‌متر در قوس‌های با شعاع کم‌تر از ۳۰۰۰ متر انتخاب شود.

۶-۴-۳- شیب طرفین لایه بالاست

شیب‌های طرفین لایه بالاست بر چگونگی انتقال بار از سطح زیر تراورس به روی زیربالاست تاثیر می‌گذارند. این شیب‌ها با توجه به نوع مصالح بالاست به‌کاررفته، معمولا ۱:۱/۵ تا ۱:۲ می‌باشند.

۶-۵- مصالح مناسب برای بالاست

کیفیت لایه بالاست به جنس مصالح و تراکم آن‌ها بستگی دارد. مصالح بالاست باید از مصالح سنگ‌های آذرین (گرانیت، بازالت، کوارتز،دیوریت، ...) و سنگ‌آهک منطبق با مشخصات جدول (۶-۱) و زیرنویس این جدول باشد.

سنگ‌های رسی و لایه‌ای و به‌شدت هوازده برای به‌کارگیری در لایه بالاست مناسب نمی‌باشد. به‌کارگیری سرباره‌های آهنی[1] و سرباره‌های فولادی[2] نیز، در صورت انطباق با ویژگی‌های مندرج در جدول یادشده و تایید دستگاه نظارت بلامانع است.

مصالح مورد مصرف در لایه بالاست برای انجام وظایف خود، باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- مقاوم در برابر ساییدگی، خردشدن و شکستن در برابر بارهای اعمالی باشند؛
- دارای استحکام کافی و مقاوم در برابر تاثیرات جوی و هوازدگی باشند؛
- از نوع سنگدانه‌های شکسته و دارای لبه‌های تیز و حتی‌المقدور مکعبی شکل باشند. بالاست باید پایداری خود را حفظ کند؛
- بالاست خوب باید اجازه زهکشی سریع آب‌های سطحی را فراهم آورد؛
- مصالح باید تا حد امکان در نزدیکی خط وجود داشته باشد تا هزینه‌های حمل‌ونقل و تجهیزات افزایش نیابد.

۶-۶- مشخصات فنی بالاست

آزمایش‌های کنترل کیفی بالاست باید بر اساس استانداردهای ذکرشده در جدول (۶-۱)، روی نمونه معرف مشخص‌شده در روش آزمایش انجام شود. سپس نتایج آزمایش‌ها با مقادیر مجاز ذکرشده مقایسه و کنترل شود. به ازای ۲۰۰ مترمکعب تولید اولیه بالاست، حداقل دو نمونه‌برداری صورت پذیرد و آزمایش‌های کامل به شرح جدول (۶-۱) روی نمونه‌های مذکور انجام شود و سپس نتایج آن‌ها با مقادیر مجاز مقایسه و کنترل شود. ادامه تولید مصالح بالاست، پس از تایید کیفیت مصالح یاد شده توسط دستگاه نظارت امکان‌پذیر خواهد بود.

جدول ۶-۱- مشخصات فنی مصالح بالاست

ویژگی	مقدار مجاز	روش آزمایش	تواتر نمونه‌برداری
دانه‌بندی	مطابق جدول ۶-۲	ASTM C136	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
درصد مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰	≤ ۱	ASTM C117	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
درصد کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده	≤ ۰/۵	ASTM C142	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
درصد افت وزنی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس[1]	≤ ۲۰	C131یاASTM C535	هر ۵۰۰۰ مترمکعب
درصد افت وزنی در برابر سولفات سدیم	≤ ۵	ASTM C88	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب
چگالی حقیقی	≥ ۲/۶۰	ASTM C127	هر ۵۰۰۰ مترمکعب
وزن واحد حجم (Kg/m^3)	≥ ۱۴۰۰	ASTM C29	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب

1- Blast Furnace Slags
2- Steel Furnace Slags

ادامه جدول ۶-۱- مشخصات فنی مصالح بالاست

ویژگی	مقدار مجاز	روش آزمایش	تواتر نمونه‌برداری
درصد جذب آب[۲]	≤ ۱	ASTM C127	هر ۵۰۰۰ مترمکعب
درصد پولکی یا کشیده بودن (نسبت ۱:۳)	≤ ۵	ASTM D4791	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
درصد افت وزنی سایشی در حضور آب با روش میکرودوال[۳] (MDE)	≤۱۵	ASTM D6928	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب
درصد افت وزنی در برابر یخ زدن و آب شدن، ۲۰ سیکل[۴]	≤ ۴	EN 1367-1	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب

۱- برای مصالح با دانه‌بندی بزرگ‌تر از ۱ اینچ از روش (ASTM C 535) و مصالح کوچک‌تر از ۱ اینچ از روش(ASTM C131) استفاده شود. چنانچه در مشخصات فنی خصوصی پیمان پیش‌بینی شده باشد درصد ساییدگی تا ۳۰ درصد قابل افزایش است.

۲- جذب آب مصالح سنگی مورد مصرف در بالاست، درصورتی‌که از انواع سنگ‌آهک و سنگ‌آهک دولومیتی (پس از تشخیص دقیق سنگ) باشند، به ۲ درصد محدود می‌شود.

۳- مطابق با استاندارد(ASTM D6928) مصالح مورد مصرف در این آزمایش بایستی از الک $\frac{3}{4}$ اینچ (۱۹ میلی‌متر) عبور نماید. در صورت لزوم تعیین افت وزنی سایشی مصالح بالاست در اندازه‌های بزرگ‌تر در حضور آب به روش میکرودوال، می‌توان از پیوست الف استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۴۸۷۴ (معادل پیوست A استاندارد (BS EN 1097-1)) استفاده شود.

۴- درصورتی‌که نتیجه جذب آب مصالح سنگی، کم‌تر از ۰/۵ درصد باشد نیازی به انجام آزمایش افت وزنی در برابر یخ زدن و آب شدن نخواهد بود. علاوه بر این، در نواحی‌ای که چرخه یخ زدن و آب شدن در شرایط استفاده از مواد یخ‌زدا و یا همراه با پخش نمک و آب‌شور روی دهد (شرایط حدی)، با نظر دستگاه نظارت روش استاندارد EN 1367-6 ملاک عمل قرار می‌گیرد. در آن صورت، معیار پذیرش به ۸ درصد محدود می‌شود. این آزمایش، با توجه به شرایط اقلیمی، بر اساس تشخیص مهندسین مشاور انجام شود.

۵- توصیه می‌شود به ازای هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب از مصالح بالاست مطابق با استاندارد ASTM C29 وزن واحد حجم اندازه‌گیری شود و مقدار آن بایستی بیش‌تر از ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد.

۶-۶-۱- نمونه‌گیری

نمونه‌گیری بالاست باید مطابق استاندارد (ASTM D75) انجام شود. مقدار نمونه‌های لازم برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق با (ASTM C702) کاهش داده شوند. نمونه‌برداری بیانگر خواص کل توده بالاست باشد. ظروف نمونه‌گیری و وسایل به کار گرفته شده باید طوری باشد که باعث به هم خوردن دانه‌بندی بالاست نشود.

۶-۶-۲- دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی و تعیین درصد دانه‌های عبوری از الک‌های مختلف باید مطابق استاندارد (ASTM C136) صورت گیرد. دانه‌بندی بالاست مصرفی باید منطبق بر یکی از گروه‌های ۱ تا ۵ جدول (۶-۲) باشد.

جدول ۶-۲- حدود مشخصات دانه‌بندی مصالح بالاست

گروه	اندازه چشمه‌های الک (اینچ) یا شماره آن								
	۳	۲$\frac{1}{2}$	۲	۱$\frac{1}{2}$	۱	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	#۴
۱	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	-	۲۵-۶۰	-	۰-۱۰	۰-۵	-	-
۲	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۵	۵۰-۷۰	۲۵-۵۰	-	۵-۲۰	۰-۱۰	۰-۳
۳	-	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۳۵-۷۰	۰-۱۵	-	۰-۵	-	-
۴	-	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۶۰-۹۰	۱۰-۳۵	۰-۱۰	-	۰-۳	-
۵	-		۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۲۰-۵۵	۰-۱۵	-	۰-۵	

۶-۶-۳- تعیین مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰

درصد مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰ باید مطابق استاندارد ASTM C117 تعیین شود. مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰ مطابق جدول (۶-۱) نباید از ۱ درصد بیش‌تر باشد.

۶-۶-۴- تعیین درصد کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده

آزمایش تعیین درصد کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده باید مطابق استاندارد ASTM C142 روی نمونه‌های گرفته شده انجام شود. مقدار کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های شکننده مجاز بالاست طبق جدول (۶-۱) نباید از ۰/۵ درصد بیش‌تر باشد.

۶-۶-۵- افت وزنی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس

آزمایش تعیین درصد ساییدگی مصالح بالاست باید مطابق روش‌های استاندارد لوس‌آنجلس (C131 یا ASTM C535) انجام گیرد. درصد سایش بالاست مطابق جدول (۶-۱) نباید از ۲۰ درصد بیش‌تر باشد.[۱]

۶-۶-۶- آزمایش افت وزنی در مقابل سولفات سدیم

آزمایش افت وزنی در برابر سولفات سدیم بایستی طبق استاندارد ASTM C88 انجام گیرد. افت وزنی در برابر سولفات سدیم مطابق جدول (۶-۱) نباید از ۵ درصد بیش‌تر باشد.

۶-۶-۷- آزمایش تعیین وزن واحد حجم و چگالی حقیقی

وزن واحد حجم توده بالاست مصرفی باید مطابق استاندارد (ASTM C29) تعیین و حداقل آن ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد و چگالی حقیقی بالاست باید مطابق استاندارد (ASTM C127) تعیین شود و مطابق جدول (۶-۱) نباید کم‌تر از ۲/۶۰ باشد.

۶-۶-۸- آزمایش جذب آب

آزمایش تعیین درصد جذب آب مصالح بالاست باید مطابق استاندارد (ASTM C127) انجام شود و از ۱ درصد بیش‌تر نباشد. برای سنگ‌های کربناتی ازجمله سنگ‌آهک (پس از تشخیص دقیق جنس سنگ)، میزان جذب آب حداکثر ۲ درصد مجاز خواهد بود.

۱- درصد ساییدگی در صورت درج در مشخصات فنی خصوصی پیمان تا ۳۰ درصد مجاز خواهد بود.

۶-۶-۹- آزمایش پولکی و کشیده بودن

آزمایش تعیین پولکی یا کشیده بودن مصالح بالاست باید مطابق روش A استاندارد ASTM D4791 بر اساس نسبت ۱:۳ انجام گیرد. درصد پولکی و کشیده بودن طبق جدول (۶-۱) نباید بیش‌تر از ۵ درصد باشد.

۶-۶-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری

در انتخاب معدن بالاست بایستی مقاومت فشاری خشک و اشباع شده مصالح سنگی معدن مورد آزمایش قرار گیرد. به‌طوری‌که مقاومت فشاری تک محوری نمونه استوانه‌ای سنگ مطابق با موارد مندرج در استاندارد ASTM D7012، در شرایط خشک و اشباع به ترتیب حداقل ۱۲۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع باشد.

پس از تایید نتایج آزمایش فوق مابقی آزمایش‌های مذکور در جدول (۶-۱) بایستی انجام شود. در صورت تایید مابقی نتایج، نمونه‌گیری‌های بعدی جهت انجام آزمایش‌های جدول (۶-۱) بایستی از مصالح موجود در دپوی معدن صورت گیرد و در صورت تایید نتایج، مصالح بالاست مجاز به حمل به محل دپو کارگاه پروژه خواهد بود. در صورتی که از حمل مصالح بالاست به دپوی کارگاه و انجام آزمایش‌های یاد شده زمان قابل توجهی گذشته شده باشد و یا زمان طی شده نامشخص باشد، بایستی آزمایش‌ها مجددا تکرار شود.

۶-۷- ذخیره‌سازی و حمل بالاست

انبار و دپوی مصالح بالاست بایستی روی زمین مسطح، مستحکم، تمیز و با شرایط زهکشی خوب انجام شود. ارتفاع دپوی بالاست بایستی بین ۲/۵ تا ۳/۵ متر باشد. عبور و مرور ماشین‌آلات از روی دپو مجاز نیست. ظرفیت ماشین‌آلات تولید و حمل، بایستی متناسب با نیاز روزانه انبارش و همچنین بارگیری جهت حمل به محل مصرف بدون هرگونه تاخیر باشد. عملیات اختلاط و انبارش مصالح بالاست بایستی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و انجام گیرد که کم‌ترین جداشدگی در محصول بالاست نهایی ایجاد شود. عرض سطح بالایی دپو، حتی‌الامکان موازی با سطح زمین و شیب‌های کناری دپو نبایستی بیش‌تر از ۱:۱/۵ باشد.

حمل بالاست آماده‌شده باید با واگن یا کامیون‌های مخصوص حمل بالاست صورت گیرد. حمل باید به‌گونه‌ای انجام شود که دانه‌بندی بالاست به هم نخورد و موجب جدایی سنگدانه‌ها نشود. بالاست آماده‌شده نبایستی در طی حمل و عملیات اجرایی به مواد خارجی و زیان‌آور آلوده شود. در صورت وجود آلودگی و ریزدانه‌های بیش از حد در دپوی مصالح بالاست، ممکن است شستشو و یا حتی الک کردن مجدد آن ضروری باشد.

۶-۸- ضوابط اجرای بالاست

از بالاست‌ریزی لایه اول و اجرای لایه‌های بعدی نبایستی زمان زیادی گذشته باشد و درصورتی که در مناطق کویری پس از اجرای لایه اول، مصالح بالاست با ماسه‌های روان آلوده شود بایستی نسبت به جمع‌آوری آن اقدام و از مصالح عاری از آلودگی استفاده شود. همچنین دپوی مصالح بالاست در مناطق کویری بایستی در برابر هجوم ماسه‌های روان محافظت شود. پخش کردن بالاست بایستی توسط دستگاه فینیشر و به صورت یکنواخت انجام شود به نحوی که از آلوده شدن بالاست با مواد خارجی و زیان آور جلوگیری شود و دانه‌بندی بالاست به هم نخورده و از هم تفکیک نشود.

کنترل نیمرخ بالاست خط و ابعاد مربوطه بر اساس مقاطع عرضی تیپ انجام شود. رواداری قائم پروفیل ۲۰- میلی‌متر و رواداری شانه‌های بالاست، ۲۰± میلی‌متر است. کنترل دانه‌بندی و سایر مشخصات فنی بالاست ریخته شده در محل با توجه به نتایج آزمایشگاهی انجام شود. در صورت نیاز ناظر می‌تواند دستور انجام آزمایش بالاست ریخته شده در خط را صادر کند. بالاست ریزی باید طوری انجام شده باشد که سطح رویی تراورس‌ها در حدود یک سانتی‌متر بالاتر از سطح بالاست باشد.

۶-۹- مصالح مناسب برای زیربالاست

زیربالاست از نظر خصوصیات تغییر شکل‌پذیری می‌بایست دارای ضریب تغییر شکل‌پذیری بالا باشد به عبارتی می‌بایست هم بتواند بارهای وارده را تحمل کند و هم نشست آن در حد قابل قبول باقی بماند. برای دستیابی به چنین منظوری، چهار ویژگی اساسی برای مصالح زیربالاست ضروری است:

- جداسازی و فیلتراسیون به‌منظور جلوگیری از نفوذ مصالح بستر در بالاست و همچنین فرورفتن بالاست در بستر روسازی
- تراوایی کافی برای زهکشی آب
- دوام مصالح
- عدم حساسیت نسبت به تغییر رطوبت

مصالح مناسب مورد مصرف در لایه زیربالاست، مطابق با ویژگی‌های مصالح مورد مصرف در لایه‌های اساس و زیراساس بزرگراه‌ها (ASTM D1241) می‌باشد. سنگ‌های شکسته، شن‌های شکسته یا طبیعی همراه با ماسه‌های طبیعی یا مصنوعی، سرباره‌های شکسته یا مخلوطی از آن‌ها در صورت مطابقت با مشخصات فنی می‌توانند بدین منظور مورد استفاده قرار گیرند و مطابق با مشخصات فنی این فصل تهیه و روی بستر روسازی راه‌آهن حمل و به ضخامت نشان داده شده در نقشه‌ها و در تمام عرض بستر روسازی، پخش و سپس طبق شرایط مورد نظر آبپاشی و کوبیده شوند.

۶-۱۰- مشخصات فنی زیربالاست

مطابق جدول (۶-۳) آزمایش‌های لازم روی زیربالاست انجام و نتایج آن در محدوده‌های مجاز کنترل شود.

جدول ۶-۳- مشخصات فنی مصالح زیربالاست

ویژگی	روش آزمایش	مقدار مجاز	تواتر نمونه‌برداری
دانه‌بندی	ASTM C136	مطابق جدول ۶-۴	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
نوع دانه‌بندی و ضریب یکنواختی (C_u)	ASTM C136	خوب دانه‌بندی شده (C_c بین ۱ تا ۳) و $6 \leq C_u \leq 20$	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰	ASTM C117	حداکثر، $\frac{2}{3}$ عبوری از الک شماره ۴۰	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
حد روانی و نشانه خمیری (برای مواد عبوری از الک شماره ۴۰)	ASTM D4318	$LL \leq 25$ و $PI \leq 6$	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)، روی نمونه‌هایی که با تراکم ۱۰۰ درصد به روش AASHTO T180-D انجام می‌شود. بر حسب درصد	ASTM D1883	≥ ۳۰	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب
ارزش ماسه‌ای (بعد از کوبیده شدن)، بر حسب درصد	ASTM D2419	≥ ۲۵	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
افت وزنی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس (LA)	ASTM C131, C535	≤ ۵۰	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب
درصد افت وزنی سایشی در حضور آب با روش میکرودوال (MDE)	ASTM D6928, D7428	≤ ۲۲	هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب
درصد شکستگی مصالح زیربالاست، دو وجه	ASTM D5821	≥ ۵۰	هر ۱۰۰۰ مترمکعب
با توجه به اهمیت سرعت طرح در خطوط راه آهن (V، سرعت قطار برحسب Km/h) در نتایج حاصل از آزمایش‌های میکرودوال (MDE) و لوس‌آنجلس (LA) محدودیت‌های زیر بایستی کنترل شود: - برای V≥160Km/h رابطه LA+MDE<40 و - درصورتی‌که V<160Km/h باشد رابطه LA+MDE<50 برقرار شود. حداکثر تنش تماسی مجاز بین بالاست و سابگرید مطابق AREMA-2015 برابر با ۱۸۰ مگاپاسکال است.			

۶-۱۰-۱- نمونه‌گیری

نمونه‌گیری زیربالاست از مصالح تولیدی و ذخیره‌شده باید مطابق استاندارد ASTM D75 انجام شود. مقدار نمونه‌های لازم برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی مطابق با ASTM C702 کاهش داده شوند. نمونه‌برداری بیانگر خواص کل توده زیربالاست باشد. ظروف نمونه‌گیری و وسایل به کار گرفته‌شده باید طوری باشد که باعث به هم خوردن دانه‌بندی زیربالاست نشود.

۶-۱۰-۲- حدود مشخصات دانه‌بندی زیربالاست

آزمایش دانه‌بندی باید بر اساس روش استاندارد ASTM C136 انجام گیرد. دانه‌بندی زیربالاست باید مطابق با یکی از گروه‌های ۱ تا ۴ جدول (۶-۴) باشد. توصیه می‌شود دانه‌بندی زیربالاست مطابق دانه‌بندی گروه (۱) باشد.

جدول ۶-۴- حدود مشخصات دانه‌بندی زیربالاست

دانه‌بندی	درصد رد شده						
	۳″	۱″	$\frac{3^2}{8}$	نمره ۴	نمره ۱۰	نمره ۴۰	نمره ۲۰۰
۱	۱۰۰	-	۳۰-۶۵	۲۵-۵۵	۱۵-۴۰	۸-۲۰	۲-۱۰
۲	۱۰۰	۷۵-۹۵	۴۰-۷۵	۳۰-۶۰	۲۰-۴۵	۱۵-۳۰	۵-۱۵
۳	-	۱۰۰	۵۰-۸۵	۳۵-۶۵	۲۵-۵۰	۱۵-۳۰	۵-۱۵
۴	-	-	۶۰-۱۰۰	۵۰-۸۵	۴۰-۷۰	۲۵-۴۵	۸-۱۵

برای کاهش حساسیت مصالح زیربالاست در مقابل یخبندان، می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت، درصد مواد رد شده از الک ۲۰۰ را کاهش داد و برای اطمینان بیش‌تر لازم است درصد مواد ریزتر از ۲۰ میکرون نیز از ۳ درصد تجاوز نکند.

درصد وزنی مواد رد شده از الک ۲۰۰ نباید از $\frac{2}{3}$ درصد وزنی رد شده از الک ۴۰ بیش‌تر باشد.

۶-۱۰-۳- آزمایش تعیین ذرات ریزتر از الک نمره ۲۰۰

درصد مواد عبوری از الک نمره ۲۰۰ باید به کمک استاندارد ASTM C117 انجام گیرد. مقدار درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ نباید از ۰/۶۷ یا ($\frac{2}{3}$) عبوری از الک نمره ۴۰ بیش‌تر باشد.

۶-۱۰-۴- آزمایش تعیین حد روانی و نشانه خمیری

انجام آزمایش تعیین نشانه خمیری و حد روانی مطابق استاندارد ASTM D4318 روی مواد عبوری از الک نمره ۴۰ ضروری است. حد روانی و نشانه خمیری مصالح عبوری از الک نمره ۴۰ باید به ترتیب کم‌تر از ۲۵ و ۶ باشد ($LL\leq25$ و $PI\leq6$).

۶-۱۰-۵- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش تعیین نسبت باربری کالیفرنیا باید مطابق استاندارد ASTM D1883 روی مصالح زیربالاست انجام شود. نسبت باربری کالیفرنیا، روی نمونه‌های با تراکم ۱۰۰ درصد به روش AASHTO T180-D انجام می‌شود. عدد نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) مصالح زیربالاست نباید از ۳۰ کم‌تر باشد.

۶-۱۱- تهیه مصالح زیربالاست

شن و ماسه، قلوه‌سنگ یا سنگ کوهی معادن به عنوان زیربالاست، با ذکر مقدار تقریبی مصالحی که از آن‌ها باید استفاده شود، روی نقشه‌ها و در دفترچه مشخصات فنی خصوصی به‌عنوان راهنما مشخص شده باشد. در مواردی که حجم مصالح معادن در هنگام اجرای عملیات، به میزان پیش‌بینی‌شده نباشد یا مصالح حاصله با مشخصات داده‌شده تطبیق ننماید، باید از معدن یا معادن جدید که مصالح آن منطبق با مشخصات باشد استفاده کرد. درصورتی‌که مصالح موجود در معدن دانه‌های بزرگ‌تر از اندازه موردنظر داشته باشد، باید آن‌ها را از سنگ‌شکن و یا سرند رد نموده تا مصالح به‌دست‌آمده

با مشخصات تطبیق نماید. قبل از بهره‌برداری از معادن بایستی لایه‌های خاک نباتی و یا لای و لجن و یا مواد نامناسب دیگر را از روی سطح معادن پاک نمود و پس از اتمام بهره‌برداری محل معدن را به شکل مناسب درآورد. قبل از باز کردن کامل معدن جهت بهره‌برداری، باید اطمینان حاصل نمود که مصالح مورد نیاز با مشخصات مورد نظر، به حد کافی در معدن وجود داشته باشد تا درحد امکان احتیاج به تغییر معدن نباشد. به هنگام حمل، مصالح باید رطوبت کافی داشته باشد تا در جریان حمل دانه‌ها از یکدیگر جدا نشوند.

۶-۱۲- آماده نمودن بستر روسازی

قبل از اجرای عملیات، بستر روسازی باید عاری از هرگونه مواد زاید و اضافی بوده و طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده شده باشد. ناهمواری این بستر با استفاده از شمشه کنترل می‌شود. درصورتی‌که شمشه ۴ متری در جهات مختلف روی بستر قرار گیرد، ناهمواری‌های آن در زیر شمشه نباید از ۲۵ میلی‌متر تجاوز نماید.

۶-۱۳- پخش مصالح زیربالاست و آبپاشی

مصالحی که طبق مشخصات فنی تهیه شده است، به پای‌کار حمل و روی بستر روسازی راه‌آهن به فواصل مساوی و یکنواخت تخلیه و سپس پخش شود. دانه‌بندی مصالح باید قبل از حمل تامین شده باشد. دانه‌های درشت‌تر از اندازه‌های مجاز مندرج در جدول (۶-۴) بایستی از سطح بستر برداشته شده و به خارج از حریم حمل شود. به هنگام پخش مصالح، نباید دانه‌های درشت و ریز از هم جدا شوند. توسط گریدر و یا هر وسیله دیگر، مصالح باید آن‌چنان پخش شود که پس از آبپاشی و کوبیدن، ابعاد آن برابر با رقوم، اندازه‌ها و شیب‌ها در نقشه‌های اجرایی باشد. با توجه به کم شدن حجم در اثر تراکم، مصالح در ضخامتی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد بیش از ضخامت مندرج در مشخصات فنی پخش شود.

پس از پخش، تسطیح و تنظیم نمودن مصالح، آبپاشی به‌وسیله ماشین آبپاش به‌طور یکنواخت آغاز می‌شود. آبپاشی به‌گونه‌ای انجام شود که تمام دانه‌های مصالح به‌طور یکنواخت مرطوب شود. توقف آبپاش به هنگام آبپاشی روی لایه زیربالاست مجاز نیست. آبپاشی نباید به نحوی انجام شود که موجب صدمه به بدنه خاکی راه‌آهن شود.

مقدار آب لازم برای آب‌پاشی بر مبنای درصد رطوبت بهینه که با روش AASHTO T180-D در آزمایشگاه به‌دست آمده است، می‌باشد. رواداری مجاز آب مصرفی ۱/۵± درصد نسبت به رطوبت بهینه می‌باشد.

۶-۱۴- کوبیدن لایه زیربالاست

پس از آبپاشی، بلافاصله کوبیدن با غلتک ۱۰ تا ۱۲ تنی استوانه‌ای فلزی استاتیک و یا غلتک‌های چرخ لاستیکی آغاز می‌شود. علاوه بر این غلتک‌ها می‌توان از غلتک‌های لرزشی یا کششی- لرزشی استفاده نمود، ولی کوبیدن مصالح باید در

ابتدا با غلتک‌های استاتیک انجام شود. نوع و وزن دقیق غلتک‌ها باید متناسب با نوع مصالح مصرفی بوده تا موجب خرد شدن دانه‌های مصالح نشود.

عملیات تراکم از کناره‌های مسیر شروع و به محور آن ختم شود، به‌استثنای قوس‌ها که از داخل قوس و از پایین‌ترین نقطه، شروع‌شده و به بلندترین رقوم در خارج قوس ختم می‌شود. غلتک‌زنی و درصورت لزوم توام با آبپاشی، باید آن‌قدر ادامه یابد تا اینکه لایه کوبیده‌شده و منسجمی مطابق ابعاد و شیب داده‌شده در نقشه‌ها به دست آید.

در سطوحی که کوبیدن آن‌ها با غلتک‌های خودرو امکان‌پذیر نباشد، می‌توان از وسایل کوبنده موتوری کوچک استفاده نمود، مشروط بر اینکه تراکم موردنظر تامین شود. قبل از اتمام عملیات تراکم، سطح زیربالاست مجددا کنترل می‌شود تا انطباق رقوم اجراشده با رقوم پروژه محرز شود. در صورت لزوم با برداشتن قسمتی از مصالح در نقاط مرتفع و اضافه نمودن آن در سطوحی که کمبود مصالح دارد ناهمواری‌ها باید اصلاح و سپس کوبیدگی تا حصول نتیجه ادامه یابد. حداکثر ضخامت هر لایه کوبیده شده از قشر زیربالاست ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. درصورتی‌که ضخامت کل محاسبه‌شده قشر زیربالاست از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز نماید، مصالح در دو و یا چند لایه پخش و کوبیده خواهد شد.

۶-۱۵- تراکم نسبی و ضریب تغییر شکل زیربالاست

درصد کوبیدگی لایه‌های زیربالاست بایستی کنترل شود. این موارد معمولا شامل کنترل دانسیته و ضریب تغییر شکل (EV) است. در ارتباط با دانسیته می‌توان هم از روش‌های رایج و هم از روش دانسیته‌سنج هسته‌ای (در این حالت بایستی در مشخصات خصوصی ذکر شود) استفاده نمود. تراکم نسبی لایه زیربالاست، با آزمایش (AASHTO T191) باید برابر ۱۰۰ درصد حداکثر وزن مخصوص خشک همان مصالحی باشد که در آزمایشگاه با روش (AASHTO T180-D) به‌دست می‌آید. در مواردی که ضخامت لایه تا ۲۰ سانتی‌متر است، این تراکم باید در تمام ضخامت لایه تامین‌شده و کنترل شود.

به منظور ارزیابی خصوصیات شکل‌پذیری لایه زیربالاست بایستی نسبت به تعیین ضریب شکل‌پذیری ثانویه (EV_2) اقدام نمود. جهت تعیین ضریب تغییر شکل‌پذیری ثانویه (EV_2) می‌توان به طور مستقیم از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه‌ای مطابق با استاندارد (DIN18134) و یا به طور غیرمستقیم با تایید مهندسین مشاور و دستگاه نظارت، از طریق برقراری رابطه همبستگی ما بین نتایج ضریب تغییر شکل‌پذیری دینامیکی (EV_d) حاصل از آزمایش بارگذاری دینامیکی با LWD (ASTME 2835) و نتایج بارگذاری صفحه‌ای مطابق استاندارد (DIN18134) استفاده نمود.

در خطوط در دست احداث حداقل ضریب تغییر شکل‌پذیری ثانویه (EV_2)، بایستی ۱۰۰ مگا نیوتن بر مترمربع باشد در شرایطی که حداقل مقدار ضریب تغییر شکل‌پذیری اولیه در اولین مرحله کامل بارگذاری (EV_1)، از ضریب تغییر شکل‌پذیری ثانویه در دومین مرحله کامل بارگذاری (EV_2)، در لایه زیربالاست کم‌تر باشد، رعایت برقراری رابطه

$\frac{EV_2}{EV_1} \leq 2.2$ الزامی است. جزییات این آزمایش در استاندارد (DIN18134) ارائه گردیده است. حداقل ضریب تغییر شکل‌پذیری دینامیکی (EV_d) مناسب برای لایه‌های زیر بالاست متراکم به مقدار ۵۰ مگا نیوتن بر مترمربع می‌باشد.

در بازسازی خطوط موجود برای احداث خطوط پرسرعت، ضوابط خطوط در دست احداث برای خطوط پرسرعت، بایستی در نظر گرفته شود.

۶-۱۶- کنترل سطح تمام‌شده زیربالاست

رقوم سطح تمام‌شده هر لایه از قشر زیربالاست و قبل از پوشش با لایه بعدی با توجه به نیمرخ‌های طولی و عرضی اندازه‌گیری شود. در هر نقطه، اختلاف بین رقوم نقشه‌ها و آنچه ساخته شده نباید از ۲۰ میلی‌متر تجاوز نماید (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). شیب‌های طولی و عرضی باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. ناهمواری سطح تمام شده قشر زیربالاست با استفاده از شمشه کنترل شود. درصورتی‌که شمشه ۴ متری در جهات مختلف روی سطح زیربالاست قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۱۵ میلی‌متر تجاوز نماید.

۶-۱۷- حفاظت سطح بستر روسازی به هنگام اجرای عملیات

به‌منظور حفاظت از مشخصات قشر زیربالاست، پیمانکار باید برنامه اجرایی عملیات را طوری تنظیم کند که پس از پخش و کوبیدن قشر زیربالاست و حصول اطمینان از دارا بودن مشخصات موردنظر، از عبور و مرور وسایط نقلیه و ماشین‌آلات از روی آن جلوگیری شود.

۶-۱۸- آزمایش‌های کنترل کیفیت زیربالاست (تواتر)

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده بایستی از مصالح تهیه شده قبل و بعد از مصرف و نیز حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت آن‌ها آزمایش‌های لازم به عمل آید. تعداد و نوع این آزمایش‌ها به شرح زیر است:

الف- به ازای هر ۱۰۰ متر از طول هر خط، یک آزمایش تعیین دانسیته در محل انجام شود. ضخامت لایه زیربالاست در هر آزمایش اندازه‌گیری و گزارش شود.

ب- آزمایش تراکم آزمایشگاهی به ازای هر ۱۰۰۰ متر طول هر خط، یک بار صورت می‌گیرد و درصورتی‌که جنس مصالح تغییر کند، آزمایش بیش‌تری به تشخیص دستگاه نظارت به عمل آید.

پ- از مصالحی که روی خط پخش می‌شود از هر ۱۰۰۰ متر طول هر خط، یک بار آزمایش دانه‌بندی، حد روانی و دامنه خمیری و ارزش ماسه‌ای انجام شود.

ت- با تشخیص دستگاه نظارت، به منظور تعیین ضریب تغییر شکل‌پذیری (EV2)، آزمایش بارگذاری صفحه‌ای به فواصل حداکثر ۱۰۰۰ متر طول از سطح تمام شده هر خط مطابق با استاندارد (DIN18134) انجام شود و یا در

صورت لزوم با در نظر گرفتن نکات مندرج در بند ۶-۱۵، نسبت به تعیین ضریب تغییر شکل‌پذیری دینامیکی (EVd) مطابق با استاندارد (ASTM E 2835) در فواصل ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر طول از سطح تمام شده هر خط اقدام شود.

۶-۱۹- روش اجرای زیربالاست

اجرای زیربالاست بعد از آماده سازی بستر روسازی قابل انجام است. ابتدا باید سطح بستر روسازی مطابق آیین‌نامه زیرسازی راه آهن (نشریه شماره ۲۷۹) آماده و سپس زیربالاست به صورت لایه یا لایه‌هایی با درصد رطوبت مناسب با استفاده از غلتک، متراکم و پخش شود. حداقل ضخامت کل لایه زیربالاست نبایستی کم‌تر از ۱۵ سانتی‌متر شود. درصورتی‌که ضخامت کل لایه بالاست بیش از ۲۰ سانتی‌متر باشد، بایستی در دو لایه به ضخامت‌های تا حداکثر ۱۵ سانتی‌متر اجرا شود. عدم دستخوردگی و آسیب دیدن لایه زیربالاست در هنگام بالاست ریزی باید مد نظر قرار گیرد، لذا توصیه می‌شود جهت حفظ کیفیت خط پیمانکار بخش روسازی وظیفه اجرای لایه زیر بالاست را بر عهده گیرد.

۶-۲۰- نقش زیربالاست در زهکشی آب‌های سطحی و ویژگی‌های فیلتراسیون

مصالح زیربالاست جدا از وظایفی چون محافظت از خاکریز در برابر فرسایش و یخبندان، فراهم کردن سطحی صاف و مناسب برای بستر، توزیع بار وارده از لایه بالاست به بستر در حد قابل قبول برای آن، نقش بسیار مهمی به‌عنوان یک‌لایه زهکش و فیلترینگ جهت عدم اختلاط مصالح بستر با دانه‌های بالاست، دارند.

زهکشی نقش چشمگیری در پایداری و ایمنی زیرسازی و روسازی خط ایفا می‌کند. روسازی اشباع در خط می‌تواند سبب ایجاد فشار آب حفره‌ای اضافی تحت بارگذاری قطار شود. اگر تراوایی اجزای روسازی (خصوصا لایه زیربالاست) به‌شدت کاهش پیدا کند، فشار آب حفره‌ای اضافی که تحت بار محوری ایجاد می‌شود، اغلب قبل از بارگذاری بعدی زایل نخواهد شد؛ بنابراین فشار آب حفره‌ای پسماند با افزایش تعداد دوره‌ای بارگذاری انباشته می‌شود. پس از چند دوره بارگذاری، فشار آب حفره‌ای اضافی کل، به‌شدت زیاد شده و سبب پمپاژ ذرات ریزدانه به سمت بالا می‌شود. در این شرایط، ضروری است که لایه زیربالاست دو نقش اصلی زیر را ایفا نماید:

الف- به‌عنوان یک واسطه نفوذپذیر برای انتقال آب به سمت کانال‌های زهکشی عمل نماید.

ب- باعث زوال فشار آب حفره‌ای اضافی در بستر اشباع، توسط حرکت رو به بالای جریان شود.

به همین منظور زیربالاست باید تراوایی بیش‌تری از خاک بستر داشته باشد. وظیفه زیربالاست جلوگیری از درهم آمیختن بالاست و مصالح بستر روسازی و حرکت رو به بالای ذرات بستر به داخل بالاست است. اختلاط، نتیجه نفوذ ذرات درشت بالاست در بستر ریزدانه است که با جابجایی رو به بالای ذرات بستر به داخل فضای خالی بین دانه‌های

بالاست همراه می‌باشد. این روند ممکن است در هر شرایط رطوبتی رخ دهد. انتقال رو به بالای ذرات بستر، حداقل از سه منبع نشات می‌گیرد:

الف- تراوش از بستر (که با حمل ذرات خاک رخ می‌دهد)

ب- پمپاژ هیدرولیکی دوغاب حاصل از فرسایش بستر

پ- پمپاژ هیدرولیکی از طریق باز و بسته شدن درز و ترک‌های بستر

پیشگیری از انتقال و اختلاط ذرات، می‌تواند با استفاده از زیربالاست با دانه‌بندی مناسب حاصل شود. برای آنکه سیستم زهکشی بتواند در دراز مدت با بهره‌دهی مؤثر و مفید عمل کند، ضروری است معیارهای زیر در طراحی رعایت شود. در کلیه روابطی که در ذیل ارائه می‌شود، F معرف مصالح فیلتر، B معرف خاک پایه و D_{10}، D_{15}، D_{50}، D_{60} و D_{85} نشانه اندازه دانه‌ای است که روی نمودار دانه‌بندی به ترتیب از ۱۰ تا ۸۵ درصد مواد رد شده را مشخص می‌کند.

برای جلوگیری از حرکت، جابجایی و فرار ذرات خاک پایه:

$$\frac{D_{15}F}{D_{95}B} \le 5 \qquad (۶-۱-\text{الف})$$

$$\frac{D_{50}F}{D_{50}B} \le 25 \qquad (۶-۱-\text{ب})$$

$$\frac{D_{15}F}{D_{15}B} \le 20 \qquad (۶-۱-\text{پ})$$

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 20 \qquad (۶-۱-\text{ت})$$

نه تنها زیربالاست باید روابط (الف) و (ب) را در ارتباط با بستر صدق کند، بلکه این معیار باید در ارتباط زیربالاست با بالاست نیز برقرار باشد. این شرایط به‌طور هم زمان حد بالایی و پایینی مرز قابل قبول زیربالاست را به وجود می‌آورد. اگر شرایط به‌گونه‌ای باشد که به‌وسیله یک‌لایه زیربالاست نتوان در کنار بستر و بالاست مشخص، معیارها را برآورده کرد، آنگاه زیربالاست به‌صورت دولایه اجرا شود. لایه بالایی جهت انطباق با بالاست، درشت‌تر در نظر گرفته می‌شود. درحالی‌که لایه زیرین جهت مطابقت با بستر، حاوی دانه‌های کوچک‌تری است. رابطه بین دولایه زیربالاست نیز باید روابط (الف) و (ب) را برآورده نماید.

در صورت ضرورت می‌توان از مصالح زمین‌پارچه (ژئوتکستایل) جهت ایفای نقش جداسازی و فیلتراسیون به‌جای لایه زیربالاست استفاده نمود.

۶-۲۰-۱- مشخصات فنی زمین پارچه‌ها (ژئوتکستایل)

ژئوتکستایل‌ها که به آن‌ها زمین پارچه نیز گفته می‌شود، پارچه‌های نفوذپذیری هستند که معمولا از پلیمرهای پلی اتیلن (PE)، پلی پروپیلن (PP)، نایلون یا پلی‌آمید(PA)، پلی اتیلن ترفتالات(PET) «که به طور معمول با نام کلی پلی‌استر

شناخته می‌شوند» ساخته می‌شوند. ژئوتکستایل‌ها به سه گروه کلی بافته شده[۱]، بافته نشده[۲] وکشباف یا گردباف[۳] تقسیم می‌شوند.

از ژئوتکستایل در زیر لایه بالاست و یا زیربالاست در خطوط اصلی، فرعی، با تناژ بار زیاد، سوزن‌ها، گذرگاه‌ها و ... جهت ساخت خطوط جدید و یا بازسازی استفاده می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی خاک بستر روسازی مطابق با سیستم طبقه‌بندی متحد می‌توان الزام به استفاده از ژئوتکستایل را تعیین کرد. جدول (۶-۵) راهنمایی برای تعیین استفاده از ژئوتکستایل است. ژئوتکستایل مصرفی باید از نوع نبافته پانچ شده باشد. لازم است ژئوتکستایل جهت ایفای نقش‌های جداکنندگی و فیلتراسیون دینامیکی[۴] و براساس شرایط بستر روسازی راه‌آهن طراحی شود. تمامی مشخصات به جز اندازه ظاهری روزنه‌ها[۵] (AOS) باید بر اساس کوچک‌ترین مقدار میانگین در رول‌ها[۶] (MARV) در جهت ضعیف‌تر تعیین شوند، مقادیر میانگین به دست آمده از آزمایشات کنترل کیفیت، لازم است شرایط بیان شده در جدول (۶-۶) را برآورده کنند. مقدار اندازه ظاهری روزنه‌ها بر اساس میانگین حداکثر مقادیر رول‌ها بیان می‌شود.

برای کنترل فیلتراسیون توسط ژئوتکستایل لازم است پارامترهای هیدرولیکی و ظاهری ژئوتکستایل ابتدا بر اساس معیارهای جدول (۶-۷) طراحی شود و در نهایت حداقل مقادیر به دست آمده از جدول‌های (۶-۵) و (۶-۶) مورد استفاده قرار گیرد.

لازم به ذکر است استفاده از ژئوتکستایل به منظور ایفای نقش فیلتراسیون در مناطق با بارندگی متوسط و شدید از ارجحیت بیش‌تری برخوردار است، اما استفاده از ژئوتکستایل به منظور جداسازی لایه بالاست از بستر تابع شرایط بارندگی نیست.

جدول ۶-۵- حدود مشخصات طبقه‌بندی خاک بستر روسازی و امکان استفاده از ژئوتکستایل

نماد		شناسایی میدانی	ژئوتکستایل معمول مورد نیاز(۱)
۴۰	GW	شن با دانه‌بندی خوب با دامنه، مقادیر قابل توجهی از تمام اندازه های متوسط و در حالت خشک فاقد مقاومت	نیاز نیست
	GP	شن با دانه‌بندی بد با دانه‌های میان تهی و در حالت خشک فاقد مقاومت با دانه‌های میان تهی و در حالت خشک فاقد مقاومت	نیاز نیست

1- Woven
2- Nonwoven
3- Knitted
۴- فیلتراسیون دینامیکی: با توجه به ماهیت سیکلیک و دینامیکی بودن بار وارده بر زیرسازه خطوط راه‌آهن، جریان آب موجود درخطوط راه‌آهن به صورت سیکلیک و دینامیکی است. لذا بر این اساس از جریان دینامیکی جهت انتخاب نوع طراحی فیلتر ژئوتکستایلی استفاده شده است.
5- Apparent Opening Size
6- Minimum Average Roll Values

ادامه جدول ۶-۵- حدود مشخصات طبقه‌بندی خاک بستر روسازی و امکان استفاده از ژئوتکستایل

نماد			شناسایی میدانی	ژئوتکستایل معمول مورد نیاز(۱)
	GM		شن لای‌دار حاوی ریزدانه‌های بدون خاصیت خمیری و تقریبا در حالت خشک فاقد مقاومت	نیاز نیست
	GC		شن رس‌دار حاوی ریزدانه‌های دارای خاصیت خمیری و مقاومت متوسط تا زیاد در حالت خشک	نیاز نیست
ماسه	SW		ماسه با دانه بندی خوب با دامنه گسترده‌ای در اندازه دانه‌ها، دارای مقادیر قابل توجهی از همه اندازه های متوسط و فاقد مقاومت در حالت خشک	نیاز نیست
	SP		ماسه با دانه‌بندی بد دارای دانه‌بندی میان تهی و در حالت خشک فاقد مقاومت	نیاز نیست
	SM		ماسه لای دار با خاصیت خمیری اندک و تقریبا در حالت خشک فاقد مقاومت	ژئوتکستایل تقریبا سبک
	SC		ماسه رس دار دارای خاصیت خمیری و مقاومت متوسط تا زیاد در حالت خشک	ژئوتکستایل تقریبا سبک
رس و سیلت	ML	خاصیت پلاستیک پایین	لای با خاصیت خمیری کم و تقریبا فاقد مقاومت در حالت خشک	ژئوتکستایل سبک
	CL		رس باخاصیت خمیری کم با مقاومت متوسط تا زیاد در حالت خشک	ژئوتکستایل سنگین
	MH	خاصیت پلاستیک بالا	لای با خاصیت خمیری زیاد با مقاومت متوسط تا زیاد در حالت خشک	ژئوتکستایل سنگین
	CH		رس با خاصیت خمیری زیاد با ویژگی چسبنده در حالت تر و مقاومت زیاد در حالت خشک	ژئوتکستایل خیلی سنگین

(۱) ژئوتکستایل مورد استفاده بستگی به بستر روسازی موجود و یا طراحی شده دارد. الیاف قابلیت بهبود طبقه‌بندی خاک را ندارند. اگر مقاومت نیاز باشد باید از مصالح با مقاومت (بالاست و یا زیربالاست) استفاده شود.

جدول ۶-۶- مقادیر حداقل برای مشخصات ژئوتکستایل

روش آزمایش برای ژئوتکستایل نبافته		وزن معمول		
پارامتر	استاندارد انجام آزمایش	سبک* (۳۴۰-۴۱۰ گرم برمترمربع)	سنگین* (۴۱۰ -۵۴۵ گرم بر مترمربع)	خیلی سنگین* (۵۴۵ – ۶۸۰ گرم بر مترمربع)
مقاومت کششی[1] (نیوتن N)	ASTM D4632	۷۷۵	۱۰۰۰	۱۵۵۵
کشیدگی نهایی[2] (٪)	ASTM D4632	۲۰	۲۰	۲۰
مقاومت در برابر شکافتگی[3] (kPa)	ASTM D3786	۲۷۵۰	۳۱۰۰	۴۲۷۰
انتقال جریان آب در صفحه[4]	ASTM D4716	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۵۶
ثابت گذردهی قائم (K)[5] (cm/sec)	ASTM D4491	۰/۱	۰/۱	۰/۱

1- Grab Tensile Strength
2- Elongation at Failure
3- Mullen Burst Strength
4- Planar Water Flow/Transmissivity
5- Coefficient of Normal permeability

ادامه جدول ۶-۶- مقادیر حداقل برای مشخصات ژئوتکستایل

روش آزمایش برای ژئوتکستایل نبافته		وزن معمول		
پارامتر	استاندارد انجام آزمایش	سبک* (۳۴۰-۴۱۰ گرم برمترمربع)	سنگین* (۴۱۰ -۵۴۵ گرم بر مترمربع)	خیلی سنگین* (۵۴۵ – ۶۸۰ گرم بر مترمربع)
ثابت گذردهی[1] (sec^{-1})	ASTM D4491	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲
اندازه ظاهری روزنه‌ها (AOS)[2] (میکرون)	ASTM D4751	۷۰	۷۰	۷۰
مقاومت در برابر پارگی[3] (N)	ASTM D4533	۴۴۴	۵۵۵	۸۲۰
مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی[4] (N)	ASTM D4833	۴۸۵	۶۶۵	۸۲۰
مقاومت در برابر سایش[5] ٪ مقاومت باقی مانده در بار نهایی پارگی	ASTM D4886	**۸۰	**۸۰	**۸۰
مقاومت در برابر اشعه فرابنفش (٪)	ASTM D4355	۵۰ ٪ بعد از ۵۰۰ ساعت قرارگیری در معرض اشعه فرابنفش		
*: وزن واحد سطح: مقادیر نشان داده شده در هر طبقه‌بندی فقط برای اطلاع و مقادیر به صورت پیشنهادی هستند. انتخاب مصالح ژئوتکستایل نباید بر اساس وزن واحد سطح محدود شود، یعنی ممکن است ژئوتکستایلی با وزن کم‌تر و یا بیش‌تر مشخصات مورد نظر را دارا باشد.				
**: مقاومت سایشی ژئوتکستایل: مقاومت سایشی ژئوتکستایل دارای کاربرد مشخص است. مهندس طراح باید ارزیابی لازم را انجام داده و کاربرد را مشخص و بر اساس شرایط محل استفاده آن را تعیین کنند.				
در صورتی که ضخامت بالاست روی ژئوتکستایل و زیر تراورس از ۳۵ سانتی‌متر کم‌تر باشد توصیه می‌شود بر روی ژئوکستایل به مقدار ۵ سانتی‌متر پوشش ماسه‌ای مطابق با الزامات فیلتر خاکی (مطابق بخش ۶-۱۹ مشخصات زیربالاست در زهکشی) استفاده شود.				

جدول ۶-۷- معیارهای طراحی فیلتر ژئوتکستایلی

۱- معیارها و روابط نگهداری خاک بستر روسازی[1]	
اگر بیش‌تر از ۳۰ درصد خاک بستر روسازی رس باشد. (D_{30}<0.002mm)	استفاده از ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر ماسه در زیر ژئوتکستایل متناسب با شرایط فیلتر خاکی (ماسه) و سپس طراحی فیلتر ژئوتکستایلی مناسب با خاک فیلتر انجام شود.
اگر کم‌تر از ۳۰ درصد خاک بستر روسازی رس باشد. (D_{30}>0.002mm) و بیش‌تر از ۵۰ درصد ریزدانه یاشد (D_{50}<0.75mm) و شاخص خمیری خاک بستر روسازی (PI) >5	استفاده از ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر ماسه در زیر ژئوتکستایل متناسب با شرایط فیلتر خاکی (ماسه) و سپس طراحی فیلتر ژئوتکستایلی مناسب با خاک فیلتر انجام شود.
اگر کم‌تر از ۳۰ درصد خاک بستر روسازی رس باشد. (D_{30}>0.002mm) و بیش‌تر از ۵۰ درصد ریزدانه یاشد (D_{50}<0.75mm) و شاخص خمیری خاک بستر روسازی (PI) >5	O_{95} (geotextile)<D_{50} (soil)[2و3]
اگر کم‌تر از ۵۰ درصد خاک بستر روسازی ریزدانه باشد (D_{30}>0.75mm) و یا بیش‌تر خاک شنی باشد.	O_{95} (geotextile)<D_{50} (soil)

1- Permittivity
2- Apparent Opening Size
3- Trapezoid Tear Strength
4- Puncture Resistance
5- Abrasion Resistance

ادامه جدول ۶-۷- معیارهای طراحی فیلتر ژئوتکستایلی

۲- معیار نفوذپذیری ژئوتکستایل[۴]	
نفوذپذیری ژئوتکستایل باید بیش از ۱۰ برابر نفوذپذیری خاک بستر روسازی باشد.	$(k_{geo} \geq 10k_{soil})$
۳- معیارهای انسداد و گرفتگی روزنه‌های ژئوتکستایل	
الف- در شرایط بحرانی جریان آزمایش گرادیان هیدرولیکی[۵] (GR) و یا آزمایش نسبت هدایت هیدرولیکی[۶] (HCR) انجام شود. [۷]	عدد آزمایش گرادیان هیدرولیکی GR باید کم‌تر از ۳ (GR≤3) باشد. عدد نسبت هدایت هیدرولیکی باید 0.07<HCR<0.3 باشد.
ب- در شرایط غیر بحرانی جریان	اگر در خاک بستر روسازی Cu ≥3 باشد باید O_{95} (geotextile)< 3 D15(soil) باشد. اگر در خاک بستر روسازی Cu<3 باشد باید تخلخل ژئوتکستایل > ۳۰-۴۰ ٪ باشد.
۴- معیارهای ماندگاری و مقاومتی	
پارامترهای ماندگاری و مقاومتی تضمین کننده دوام و پایداری فیلتر ژئوتکستایلی در طول دوره عمر و بهره‌بردای و شامل موارد زیر می‌باشند: - مقاومت در برابر اشعه فرابنفش - مقاومت کششی - مقاومت در برابر سوراخ شدگی - مقاومت در برابر پارگی - مقاومت در برابر شکافتگی - مقاومت درزهای دوخته شده	مقدار حداقلی از حدود این پارامترها که در جدول (۶-۶) ارائه شده است بایستی رعایت شود. در صورتی که تنش‌های وارد شده در طول دوره بهره‌برداری و اجرا بیش‌تر از مقادیر حداقل پیشنهادی جدول (۶-۶) باشند لازم است کارفرما مقادیر لازم برای پارامترها را اعلام نماید.
۱- مشخصات خاک بستر روسازی، دانه‌بندی، شاخص پلاستیک برای کنترل جریان دینامیکی و غیریکنواخت	
۲- O_{95} اندازه دانه ها در آزمایش تعیین ظاهری روزنه‌ها (ASTM D4751) از ژئوتکستایل عبور می‌کند و بیانگر مقدار اندازه ظاهری روزنه‌ها (AOS) می‌باشد.	
۳- لازم به ذکر است در انتخاب مقادیر O_{95} مقادیر حداقل جدول فوق و جدول (۶-۶) ملاک عمل قرار گیرد.	
۴- تعیین مشخصات نفوذپذیری و ثابت گذردهی با استفاده از آزمایش ASTM D4491 انجام شود.	
۵- آزمایش گرادیان هیدرولیکی بر اساس استاندارد ASTM D5101 انجام شود.	
۶- آزمایش نسبت هدایت هیدرولیکی بر اساس آزمایش ASTM D5567 انجام شود.	
۷- نسبت هدایت هیدرولیکی خاک-ژئوتکستایل در هر لحظه از زمان به مقدار اولیه این نسبت است.	

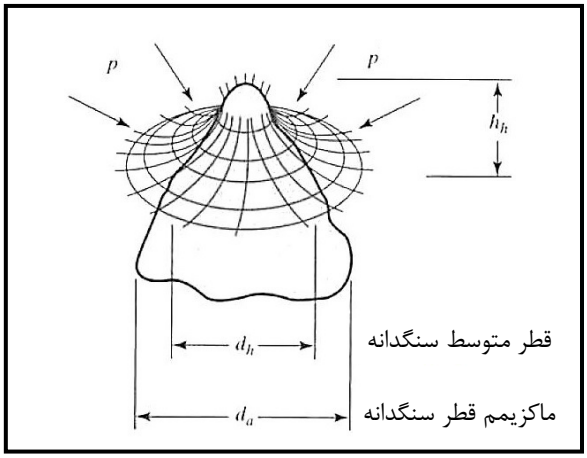
۶-۲۰-۲- ملاحظات به کارگیری ژئوتکستایل به عنوان جایگزین لایه زیربالاست از نظر توزیع تنش روی بستر

در صورت استفاده از ژئوتکستایل به جای لایه زیربالاست، با توجه به کاهش ضخامت ایجاد شده در مصالح دانه‌ای، لازم است تنش وارده بر سطح بستر روسازی کنترل شود و در صورت بیش‌تر بودن این تنش از مقاومت مجاز سطح بستر، کاهش ضخامت ناشی از حذف زیربالاست با افزایش ضخامت لایه بالاست جبران شود. در عین حال به علت تماس مصالح ژئوتکستایل با بالاست مقاومت آن در برابر کشش و سوراخ شدگی با روابطی که در ادامه بیان می‌شود کنترل گردند.

۶-۲۰-۲-۱- کنترل نیروی سوراخ کننده در سطح ژئوتکستایل

لازم است ژئوکستایل در تمامی مراحل نصب سالم بماند. این شرایط محدود به استفاده از این مصالح به عنوان جداساز نمی‌باشد و در واقع سالم ماندن ژئوتکستایل یک الزام برای تمامی کاربردهای آن است. لذا سنگ‌های تیز، ریشه درختان، زباله‌های مختلف و چیزهای دیگری که روی سطح زمین و زیر ژئوتکستایل یا روی آن قرار دارند پس از خاکریزی و یا بار ترافیک می‌توانند باعث سوراخ‌شدن ژئوتکستایل شوند. روش طراحی که در این مورد پیشنهاد می‌شود

مانند شکل (۶-۵) است و همچنین نیروی قائمی که به ژئوتکستایل جایگزین لایه زیربالاست وارد می‌شود به صورت رابطه (۶-۲) و نیروی وارد بر ژئوتکستایل در حضور زیربالاست مطابق با رابطه (۶-۳) است.



شکل ۶-۵- فشار پانچ‌شدگی وارده از سنگ‌دانه‌ها به ژئوتکستایل

$$F_{reqd} = 0.65(P \times d_{ab}^2) \quad (۲-۶)$$

$$F_{reqd} = 0.25(P \times d_{ab}^2) \quad (۳-۶)$$

F_{reqd}: نیروی سوراخ شدن

d_{ab}: قطر متوسط دانه یا شئ سوراخ کننده که با قرارگیری بالاست روی ژئوتکستایل این قطر مطابق با اندازه دانه‌های بالاست تعیین می‌شود.

d_{asb}: قطر متوسط دانه یا شئ سوراخ کننده که با قرارگیری زیربالاست بر روی ژئوتکستایل این قطر بر اساس اندازه دانه‌های زیربالاست تعیین می‌شود.

p: فشار وارده به ژئوتکستایل (حداکثر مقدار فشار ناشی از بار محوری دینامیکی ناوگان یا فشار استاتیکی ناشی از عبور واگن حمل بالاست بر روی لایه بالاست با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر در سطح بستر روسازی)

مقدار نیروی مجاز برای ژئوتکستایل با استفاده از روش حالت حدی (LRFD)[1]، از رابطه (۶-۴) تعیین می‌شود. مقدار ضریب کاهش مقاومت بسته به عمر سرویس طرح می‌تواند عددی بین ۲/۵ تا ۲۵ در نظر گرفته شود که مقدار ۲/۵ مربوط به زمانی است که عمر طراحی کم و امکان بروز خرابی در اجرا و یا اثر خزش بلند مدت و همچنین عوامل زیستی، شیمیایی و درز وجود نداشته باشد. مقدار ۲۵ مربوط به زمانی است که عمر طراحی زیاد و امکان بروز خرابی در اجرا،

1- Load and Resistance Factor Design

خزش ناشی از عوامل شیمیایی، زیستی و همچنین درز وجود داشته باشد. لازم به ذکر است حداقل ضریب اطمینان ($FS = \frac{F_{allow}}{F_{reqd}}$) در برابر فشار سوراخ کننده باید ۲ در نظر گرفته شود.

$$F_{allow} = F_{ult}\left[\frac{1}{RF}\right] \qquad (۴-۶)$$

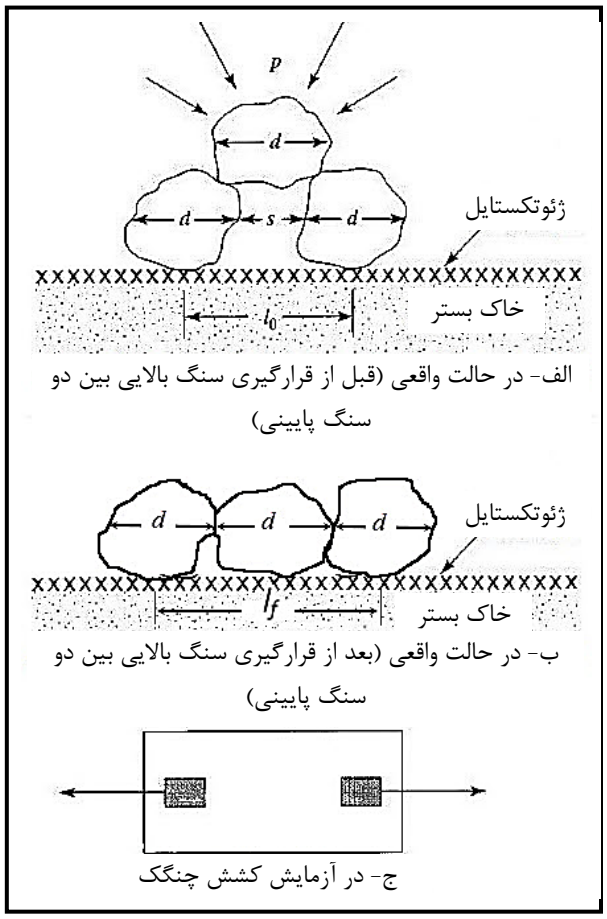
F_{allow}: مقاومت مجاز دربرابر سوراخ شدگی

F_{ult}: مقاومت نهایی در برابر سوراخ شدگی (بر اساس آزمایشات کنترل کیفی محصول)

RF: ضریب کاهش مقاومت ناشی از خرابی های نصب، زوال شیمیایی و زیستی و وجود درز

۶-۲۰-۲-۲- کنترل نیروی کششی در سطح ژئوتکستایل

مقاومت کششی ژئوتکستایل یکی دیگر از فاکتورهای انتخاب آن به عنوان جداساز است. زمانی این مقاومت اهمیت پیدا می‌کند که ژئوتکستایل به وسیله ذرات سنگ‌دانه از بالا و خاک بستر روسازی از پایین مهار شده باشد و تنش کششی در صفحه ژئوتکستایلی که بین دو سنگدانه قرار دارد در اثر فشار وارده از سنگ‌دانه‌ی بالایی به وجود آید. مقایسه آزمایش کششی چنگک و کشش ناشی از سنگ‌دانه‌ها در شکل (۶-۶) نشان داده شده است. لذا باید حداکثر نیروی کششی که در اثر قرارگیری گوه‌ای سنگ بالایی بین دو سنگ دیگر، در ژئوتکستایل به وجود می‌آید محاسبه شود. با استفاده از ابعاد نشان داده شده (که $s \cong d/2$، l_f طول تغییر شکل یافته ژئوتکستایل و l_0 طول اولیه ژئوتکستایل) حداکثر کرنش ژئوتکستایل نبافته، ۳۳ درصد است.



شکل ۶-۶- مقایسه آزمایش کشش چنگک و کشش ناشی از سنگ دانه‌ها

بنابراین نیروی کششی که ناشی از فشار سنگدانه‌ها است و باعث ایجاد نیروی کششی در ژئوتکستایل می‌شود که از رابطه (۶-۵) به دست می‌آید:

$$T_{reqd} = 0.7p \times (d_v)^2 \qquad (۵-۶)$$

T_{reqd}: نیروی کششی

p: فشار وارده به ژئوتکستایل (حداکثر مقدار فشار ناشی از بار محوری دینامیکی بهره‌برداریا فشار استاتیکی ناشی از عبور واگن حمل بالاست بر روی لایه بالاست با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر در سطح بستر روسازی)

d_v: حداکثر قطر حفرات $\approx 0.33d_a$

d_a: قطر متوسط سنگدانه‌ها

مقدار نیروی مجاز برای ژئوتکستایل با استفاده از روش حالت حدی (LRFD)[1] و مطابق با رابطه(۶-۶) تعیین می‌شود. مقادیر ضرایب کاهش مقاومت نیز همانند بند آخر مقاومت در برابر سوراخ شدگی ژئوتکستایل محاسبه می‌شوند. لازم به ذکر است حداقل ضریب اطمینان $FS = \frac{T_{allow}}{T_{reqd}}$ در برابر مقاومت کششی باید ۲ باشد.

$$T_{allow} = T_{ult}\left[\frac{1}{RF}\right] \qquad (۶-۶)$$

T_{allow}: مقاومت مجاز در برابر نیروی کششی

T_{ult}: مقاومت نهایی در برابر نیروی کششی (بر اساس آزمایشات کنترل کیفی محصول).

RF: ضریب کاهش مقاومت ناشی از خرابی های نصب، خزش، زوال شیمیایی و زیستی و وجود درز.

در بررسی وضعیت تنش‌های وارده بر سطح بستر روسازی و همچنین تنش‌های کششی و سوراخ کنندگی در سطح ژئوتکستایل حالات مندرج در جدول (۶-۸) امکان‌پذیر است بنابراین بسته به هر حالت، تمهید لازم در جدول مذکور قابل اتخاذ می‌باشد.

جدول ۶-۸- الزامات کنترل تنش وارد بر بستر و پارامترهای مقاومتی ژئوتکستایل

حالت ممکن در بررسی تنش‌ها	تمهیدات لازم
تنش وارده بر بستر روسازی بیش‌تر از تنش قابل تحمل بستر روسازی است.	افزایش ضخامت لایه بالاست
تنش کششی وارده بر سطح ژئوتکستایل بیش‌تر از تنش کششی قابل تحمل ژئوتکستایل است.	استفاده از لایه ژئوگرید مناسب(۱) بر روی ژئوتکستایل جهت کاهش تنش وارده بر بستر روسازی و سطح ژئوتکستایل (در این حالت لازم است تنش سطح ژئوتکستایل کنترل شود که کم‌تر از مقدار مقاومت ژئوتکستایل باشد).
تنش سوراخ کننده سطح ژئوتکستایل بیش‌تر از مقاومت ژئوتکستایل در مقابل سوراخ شدگی است.	استفاده از ژئوتکستایل با پارامترهای مقاومتی بیش‌تر (مواردی که تنش‌های وارده بر آن بیش‌تر از مقاومت ژئوتکستایل باشند).
۱- مطابق با مشخصات ارائه شده در بخش (۱۰) آیین‌نامه AREMA	

۶-۲۰-۳- ملاحظات اجرایی استفاده از ژئوتکستایل

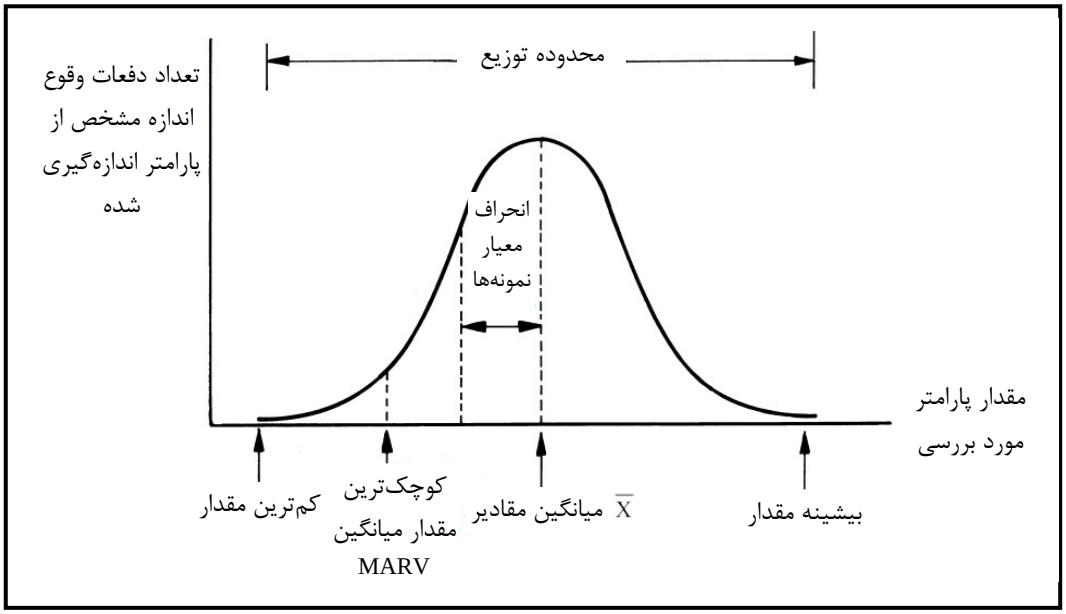
۶-۲۰-۳-۱- گواهینامه‌های تایید محصول

پیمانکار موظف است گواهینامه‌ها شامل اطلاعاتی از نام تولیدکننده، نام و کد محصول، ترکیبات شیمیایی محصول و سایر اطلاعات مربوطه که ژئوسنتتیک را معرفی کند، در اختیار مهندس ناظر قرار دهد.

1- load and Resistance Factor Design

تولیدکننده یا فروشنده محصول موظف است در خصوص برقراری برنامه کنترل کیفیت، پاسخگو باشد. ضمن آنکه مستندات کنترل کیفیت در هر زمان باید در دسترس قرار گیرد. گواهینامه ارائه شده توسط تولیدکننده یا فروشنده، باید تضمین کننده این مطلب باشد که محصول استفاده شده، کوچک‌ترین مقدار میانگین در رول‌ها (MARVs)[1] مد نظر را تحت برنامه کنترل کیفیت ارائه شده، تامین خواهد کرد. این گواهینامه باید مهر و امضای رسمی تولیدکننده یا فروشنده را داشته باشد. در صورت عدم ارائه مستندات ذکر شده در بالا، محصول قابل تایید نمی‌باشد.

کوچک‌ترین مقدار میانگین (MARV) بر اساس توزیع نرمال آزمایش‌ها انجام شده شکل (۶-۷) برای نتایج آزمایش‌ها تمامی رول‌ها مطابق با روابط (۶-۷) تا (۶-۹) به دست می‌آیند.



شکل ۶-۷- توزیع نرمال نتایج آزمایش‌ها کنترل کیفیت و تضمین کیفیت

$$\text{کوچک‌ترین مقدار میانگین } MARV = \overline{x} - 2S \quad (۶-۷)$$

$$\text{کم‌ترین مقدار } = \overline{x} - 3S \quad (۶-۸)$$

$$\text{بیش‌ترین مقدار} = \overline{x} + 3S \quad (۶-۹)$$

در روابط ذکر شده، $\overline{x}$ مقدار میانگین پارامترها و S انحراف از معیار مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

1- Minimum (or Maximum) Average Roll Values (MARVs)

۶-۲۰-۳-۲- تعداد نمونه مورد نیاز جهت آزمایش‌های کنترل کیفیت

نمونه‌برداری جهت انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت باید بر اساس الزامات آیین‌نامه ASTM D4354 و تایید محصول نیز طبق دستورالعمل ASTM D4759 انجام می‌شود. لذا لازم است محصول خریداری شده علاوه بر نمونه‌های انتخابی متناسب با جدول (۶-۹) گزارشی از نمونه‌های کنترل کیفیت[1] و تضمین کیفیت[2] انجام شده توسط تولید کننده را دارا باشد. جدول زیر تعداد نمونه انتخابی را بر اساس تعداد واحد تولیدی نشان می‌دهد. منظور از میزان واحد تولیدی، تعداد رول تولیدی است که دارای ویژگی‌های کاملا یکسانی باشند. حداقل نمونه انتخابی از هر رول جهت انجام آزمایش‌های کنترلی بسته به نظر کارفرما می‌باشد، اما توصیه می‌شود این مقدار از ۷ نمونه برای هر آزمایش کم‌تر نباشد.

جدول ۶-۹- تعداد رول انتخابی جهت انجام آزمایشات کنترل کیفیت

تعداد واحد تولیدی	تعداد نمونه انخابی جهت انجام آزمایش‌ها
۱ تا ۲۰۰	۱
۲۰۱ تا ۵۰۰	۲
۵۰۱ تا ۱۰۰۰	۳
۱۰۰۱ و بیش‌تر	۴

۶-۲۰-۳-۳- حمل و انبار

برچسب محصولات، حمل و انبار آن‌ها مطابق ASTM D4873 انجام شود. برچسب محصول باید به طور شفاف، نام تولید کننده یا فروشنده، کد محصول و شماره رول را نشان دهد. در مدارک هر محموله باید به گواهینامه محصول که از طرف تولید کننده ارائه می‌شود، اشاره گردد.

هر رول باید به وسیله پوشش مخصوص در مقابل آسیب‌های ناشی از نور خورشید، رطوبت (بسته به نوع محصول و در صورت نیاز) و آلاینده‌های مضر، محافظت شود. این پوشش باید در تمام مراحل حمل و انبار، باقی بماند.

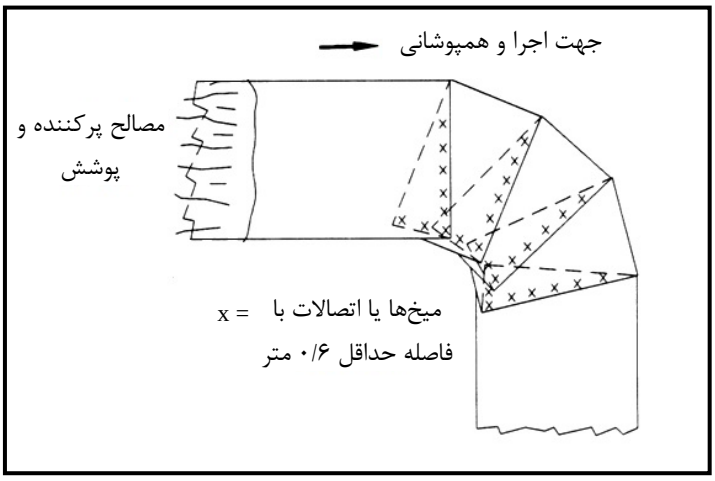
در زمان انبارکردن ژئوتکستایل، این مصالح نباید در تماس مستقیم با زمین بوده و لازم است توسط حفاظی در مقابل آسیب‌های کارگاهی (رطوبت و بارش، اشعه فرابنفش، تابش مستقیم نور خورشید، مواد شیمیایی بازی و اسیدی، جرقه‌های جوشکاری، حرارت بیش از 60 درجه سانتی‌گراد) و سایر شرایط محیطی که می‌تواند به مشخصات فیزیکی ژئوتکستایل آسیب وارد کند، محافظت شود.

1- Manufacturer’s Quality Control (MQC)
2- Manufacturer’s Quality Assurance (MQA)

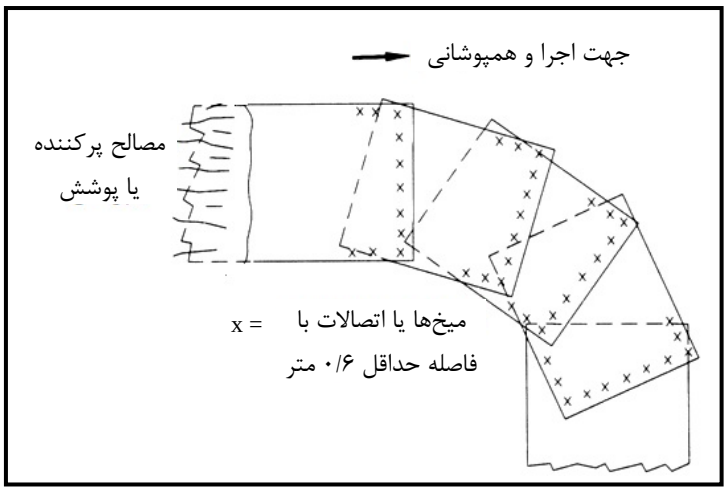
۶-۲۰-۳-۴- اجرای ژئوتکستایل به عنوان زیر بالاست

رعایت موارد زیر در روند اجرای ژئوتکستایل الزامی است:

- ژئوتکستایل ها نباید به منظور اجرای مراحل بعدی کار، بیش از ۷ روز (یک هفته) به صورت پهن شده و در معرض آسیب‌های محیطی و تابش نور خورشید قرار گیرند.
- قبل از پهن کردن ژئوتکستایل‌ها، بستر روسازی باید به نحو مناسبی از هرگونه مصالح یا مواد اضافی که باعث آسیب رسیدن به ژئوتکستایل می‌شود، تمیز شود.
- ژئوتکستایل بایستی در کل عرض مقطع لایه زیربالاست و یا لایه بالاست پهن شود.
- ژئوتکستایل باید به صورت صاف و بدون چین و چروک، مستقیما بر روی بسترِ روسازی آماده شده و در جهت رفت و آمد ماشین‌آلات اجرایی، پهن شود.
- ژئوتکستایل نباید به صورت عرضی در خط نصب شود.
- درصورتی‌که ضخامت کل طراحی برای لایه‌های بالاست زیر تراورس کم‌تر از ۳۵ سانتی‌متر باشد، ژئوگرید به طور مستقیم بر روی ژئوتکستایل پهن می‌شود. در غیر اینصورت باید لایه‌ای ماسه‌ای به ضخامت حداقل ۵ سانتی‌متر روی ژئوتکستایل اجرا شود.
- ژئوتکستایل‌های مجاور باید همپوشانی داشته و به مقدار همپوشانی حداقل ۳۰ سانتی‌متر به هم متصل گردند. جهت همپوشانی‌ها باید مطابق نقشه‌ها و مشخصات اجرایی باشد. در محل همپوشانی‌ها می‌توان از میخ یا بست‌های فولادی جهت ثابت نگهداشتن لبه‌ها در محل خود استفاده کرد. طول میخ‌ها ۲۵ الی ۳۰ سانتی‌متر و فواصل آن‌ها برای درزهای طولی، ۱۵متر (حداقل طول یک رول) و برای درزهای عرضی ۱/۵ متر می‌باشد.
- عرض رول ها باید طوری انتخاب شوند که محل درزهای طولی در محور خط و در خطوط دو خطه در انتهای پاشنه شانه بالاست قرار گیرد. از قرار گرفتن درز طولی در زیر نشیمن‌گاه ریل (محل قرارگیری کلنگ‌های ماشین زیرکوب) اکیدا اجتناب شود. مازاد عرض ژئوتکستایل نیز در صورتی مجاز به استفاده می‌باشد که محل درز آن شرایط فوق را داشته باشد و مورد تایید دستگاه نظارت باشد.
- در محل قوس‌های افقی تاخوردگی یا برش‌هایی در ژئوتکستایل به منظور تبعیت از قوس ایجاد می‌شود. همپوشانی در این نقاط باید در جهت رفت و آمد ماشین‌آلات اجرایی بوده و به وسیله میخ‌ها یا بست‌های فولادی در فواصل ۰.۶ متری ثابت شود (شکل۶-۸ و شکل۶-۹).
- همپوشانی در محل انتهای رول‌ها نیز باید در جهت اجرای مصالح رویه باشد (رول قبلی، روی رول بعدی).



شکل ۶-۸- نحوه اجرا با یک رول پیوسته



شکل ۶-۹- اجرا با استفاده از قطعات بریده شده

- قبل از اجرای مصالح بالاست روی ژئوتکستایل، بازدید لازم توسط مهندس ناظر به منظور اطمینان از عدم آسیب دیدگی در آن انجام پذیرد. در صورت مشاهده نقطه آسیب دیده، باید به وسیله یک قطعه ژئوتکستایل و یا ژئوگرید (از جنس مصالح آسیب دیده) با لحاظ حداقل طول همپوشانی ترمیم یا بخش آسیب دیده را تعویض نمود. ریختن، پخش و تراکم مصالح بالاست باید از لبه انتهایی ژئوتکستایل یا از محلی که قبلا لایه بالاست اجرا شده است، انجام شود.
- ماشین‌آلات چرخ زنجیری و همچنین غلتک‌ها به هیچ‌وجه نباید به طور مستقیم روی ژئوتکستایل حرکت کنند. ماشین‌آلات نصب ژئوتکستایل در صورت مقاومت کافی بستر، می‌توانند با تایید مهندس ناظر به منظور عملیات نصب بر روی ژئوتکستایل بدون پوشش خاکی تردد نمایند. عبور کامیون بالاست و فینیشر از روی لایه ژئوتکستایل منوط به تایید دستگاه نظارت مبنی بر عدم آسیب به ژئوتکستایل می‌باشد و لازم است طول عبور از روی لایه بستر دارای ژئوتکستایل حداکثر برابر طول یک رول پهن شده باشد. حداقل ضخامت قشر اول بالاست پهن شده توسط فینیشر روی ژئوتکستایل نباید کم‌تر از ۱۵ سانتی‌متر باشد. در صورت وجود خط

کناری تخلیه مصالح بالاست باید از واگن حمل بالاست و با استفاده از ماشین‌آلات مخصوص به صورتی انجام شود که دانه های بالاست از ارتفاع، مستقیما بر روی ژئوتکستایل سقوط نکنند.

- جهت استفاده از ژئوتکستایل در بهسازی خط می‌توان ژئوتکستایل و ژئوگرید را مطابق شکل (۱۰-۶) به پشت زنجیر دستگاه سرند بالاست متصل کرد.

شکل ۶-۱۰- نحوه قرارگیری ژئوتکستایل و ژئوگرید پشت ماشین سرند بالاست

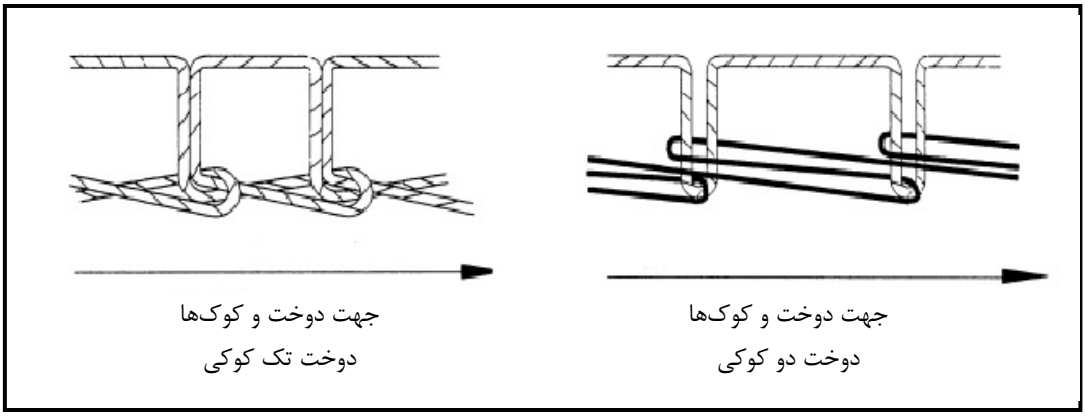
۶-۲۰-۳-۵- درزها و ناپیوستگی‌ها

انواع پیوستگی و درزگیری در محل مجاورت دو قطعه ژئوتکستایل، اعمال می‌شود. روش‌های درزگیری عبارتند از همپوشانی، دوختن، بست و گیره، مهار کردن و چسب زدن که باید با توجه به نوع و عملکرد ژئوتکستایل و شرایط پروژه، انتخاب و اعمال شود. از آنجا که ممکن است محل درزها به نقطه ضعف سیستم تبدیل شود، باید تعداد آن‌ها تا حد امکان محدود شود.

معمول‌ترین روش برای درزها در ژئوتکستایل‌ها و ژئوگریدها، همپوشانی حداقل ۰/۳ متری می‌باشد. درصورتی‌که مقدار همپوشانی زیاد (بیش از ۱متر) یا انتقال تنش مد نظر باشد، دوختن دو قطعه مجاور، روش مناسب‌تری است.

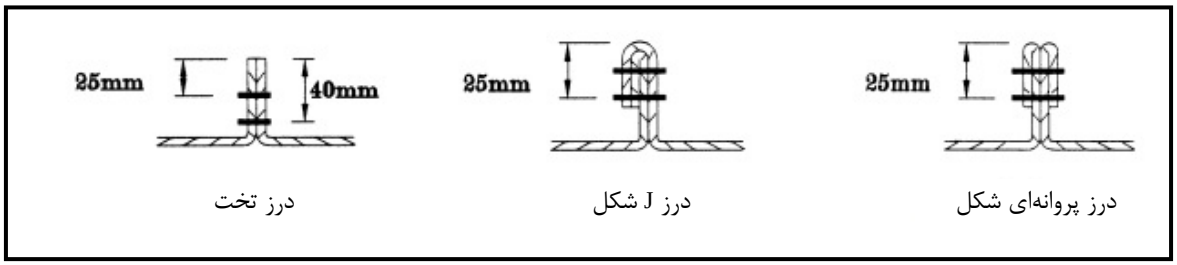
در زمان دوختن درزها در ژئوتکستایل‌ها باید موارد ذیل رعایت شود:

- جنس و دوام نخ: از جنس پلی اتیلن یا پلی استر بوده و دوام آن مطابق نیازهای پروژه باشد (مثلا دوام کافی در برابر اشعه فرابنفش). استفاده از نخ نایلونی، مجاز نیست.
- کشش نخ: به اندازه کافی محکم بوده و باعث برش ژئوتکستایل نشود.
- تراکم کوک‌ها: برای ژئوتکستایل‌های سبک، ۲۰۰ الی ۴۰۰ گره در هر متر طول و برای سنگین، ۱۵۰الی ۲۰۰ گره در هر متر طول می‌باشد.
- نوع و تعداد ردیف‌های کوک: دو نمونه کوک‌زنی در شکل (۶-۱۱) نشان داده شده است. به طور کلی دو ردیف دوخت یا بیش‌تر استفاده می‌شود، مگر آنکه ژئوتکستایل‌های با لبه کارخانه‌ای، مجاور هم قرارگیرند. در این صورت یک ردیف دوخت نیز کافی است.



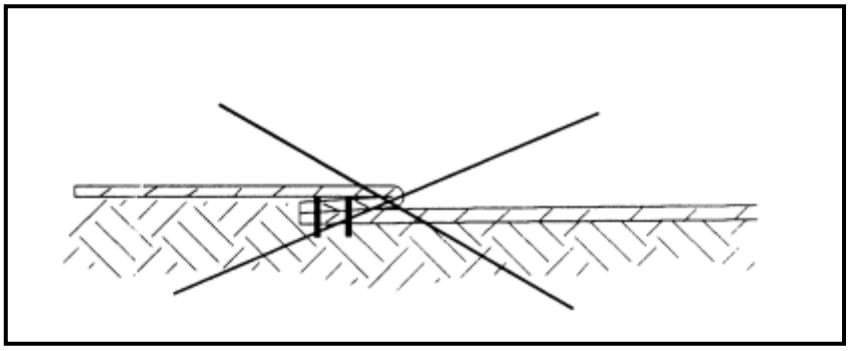
شکل ۶-۱۱- دوخت دوکوکه و تک کوکه

- نوع درز: سه نوع متداول درز شامل تخت، دوبل J و پروانه‌ای در شکل (۱۲-۶) نشان داده شده است. درز نوع J با کوک‌های قفل و بستی ارجحیت دارند. ضمن آنکه دو ردیف دوخت با فاصله ۵ تا ۱۰ میلی‌متر از اطمینان بیش‌تری برخوردار بوده و توصیه می‌شود.



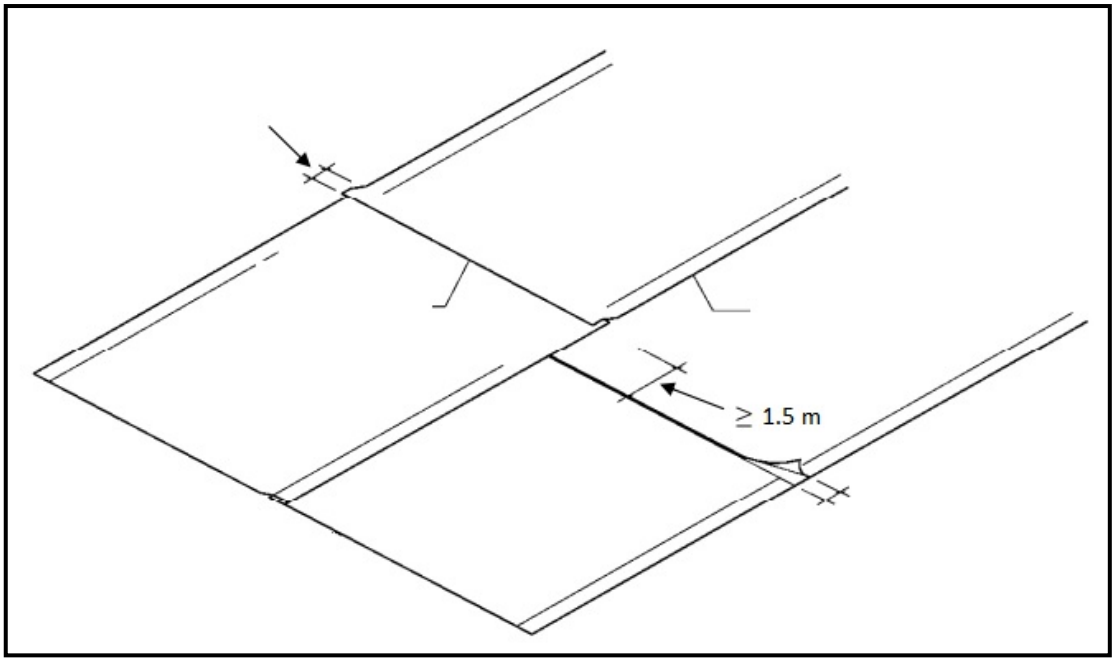
شکل ۶-۱۲- سه نوع متداول دوخت درزها

- مقاومت کششی درز دوخته شده باید برابر با مقاومت کششی ژئوتکستایل مصرفی باشد. درصورتی‌که درزهای دوخته شده مقاومت کششی مورد نیاز را برآورده نکرد، باید از ژئوتکستایل با مشخصات بالاتری استفاده کرد تا مقاومت مورد نیاز در درز، تامین شود.
- به دلیل آسیب‌های ناشی از سوزن در هنگام دوخت و درز، درزها نسبت به قسمت‌های عادی ژئوتکستایل، استعداد بیش‌تری به خرابی و گسیختگی خواهند داشت. از این نظر برای بازدید و تعمیرات احتمالی، باید دوخت‌ها رو به بالا بوده و در زیر کار، پنهان نشوند (شکل ۶-۱۳). ضمن آنکه استفاده از نخ‌های با رنگ متفاوت نسبت به رنگ ژئوتکستایل، می‌تواند دقت بازرسی را بیش‌تر کند.



شکل ۶-۱۳- درز غیر قابل بازدید و تعمیر (غیر قابل قبول)

- درزهای عرضی به هیچ عنوان نباید در یک امتداد افقی قرار گیرند. فاصله افقی بین درزهای عرضی حداقل ۱/۵ متر می‌باشد شکل (۶-۱۴).



شکل ۶-۱۴- فاصله درزهای افقی حداقل ۱/۵ متر

فصل ۷

دال خط بتنی

۷-۱- کلیات

انواع مختلف روسازی دال خط،[1] به عنوان روسازی غیر بالاستی، بر اساس اهدافی نظیر سرعت اجرا، سادگی عملیات اجرایی و دوام بیش‌تر در طول بهره‌برداری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع روسازی بیش‌تر در خطوط شهری، تونل‌ها و پل‌های طویل کاربرد دارد. توصیه می‌شود در پل‌های با طول بیش‌تر از ۴۰۰ متر و تونل‌های با طول بیش‌تر از ۷۰۰ متر از روسازی غیر بالاستی استفاده شود. در این فصل، با توجه به استفاده از سیستم روسازی دال خط بتنی به دو صورت پیش‌ساخته و یا درجا به صورت عمومی، به مشخصات فنی این نوع از روسازی پرداخته می‌شود. موارد مربوط به محاسبه و طراحی دال خط شامل این نشریه نمی‌باشد.

۷-۲- انواع روسازی بدون بالاست

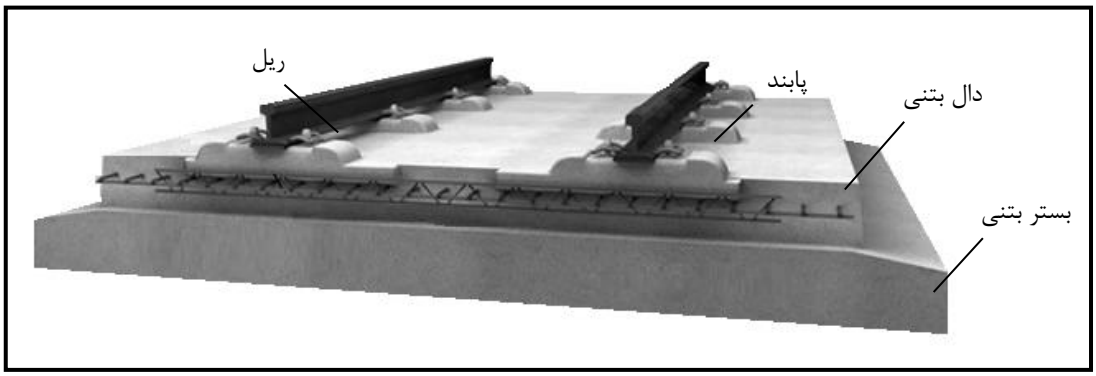
به طور کلی سیستم‌های روسازی بدون بالاست عبارتند از:

- روسازی با تکیه‌گاه مجزای ریل
  - دال خط پیش‌ساخته
  - دال خط درجا
- روسازی با تکیه‌گاه پیوسته ریل

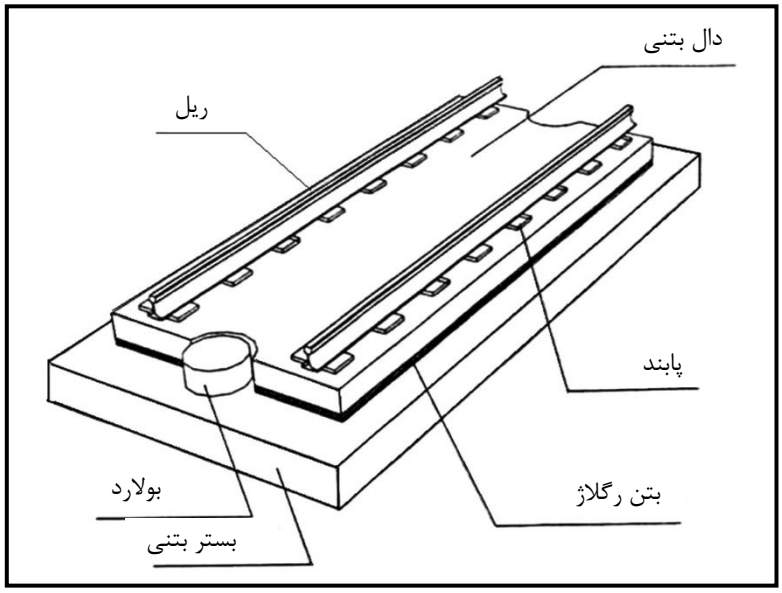
در این طبقه‌بندی، منظور از تکیه‌گاه مجزا و پیوسته نحوه اتصال ریل به تراورس‌ها و یا به سازه روسازی است. در سیستم‌های روسازی با تکیه‌گاه مجزای ریل، اتصال ریل به سازه روسازی به صورت منقطع و در فواصل مشخص توسط پابندها انجام می‌شود. این سیستم روسازی از نظر عملکرد سازه‌ای به دو صورت دال بتنی مسلح[2] درجا و یا دال بتنی پیش‌ساخته پیش تنیده[3] طراحی و اجرا می‌شود. در دال بتنی پیش‌ساخته از تراورس استفاده نمی‌شود و برخی از اهداف استفاده از تراورس نظیر عرض خط، شیب محل نشیمنگاه ریل و محل نصب پابند در طراحی و اجرای دال‌های پیش‌ساخته در نظر گرفته می‌شود. دال بتنی درجا نیز همانند دال بتنی پیش‌ساخته در برخی شرایط بدون تراورس طراحی و اجرا می‌شود که ریل توسط پابند به صورت اتصال مستقیم[4] به دال متصل می‌شود. در سیستم روسازی با تکیه‌گاه پیوسته که اغلب ریل به صورت مدفون[5] در خطوط هم‌سطح استفاده می‌شود، کف ریل به همراه یک لایه ارتجاعی به صورت پیوسته بر روی دال بتنی قرار می‌گیرد.

1- Slab Track
2- Reinforced Concrete
3- Pre-stressed Concrete
4- Direct Fixation
5- Embedded

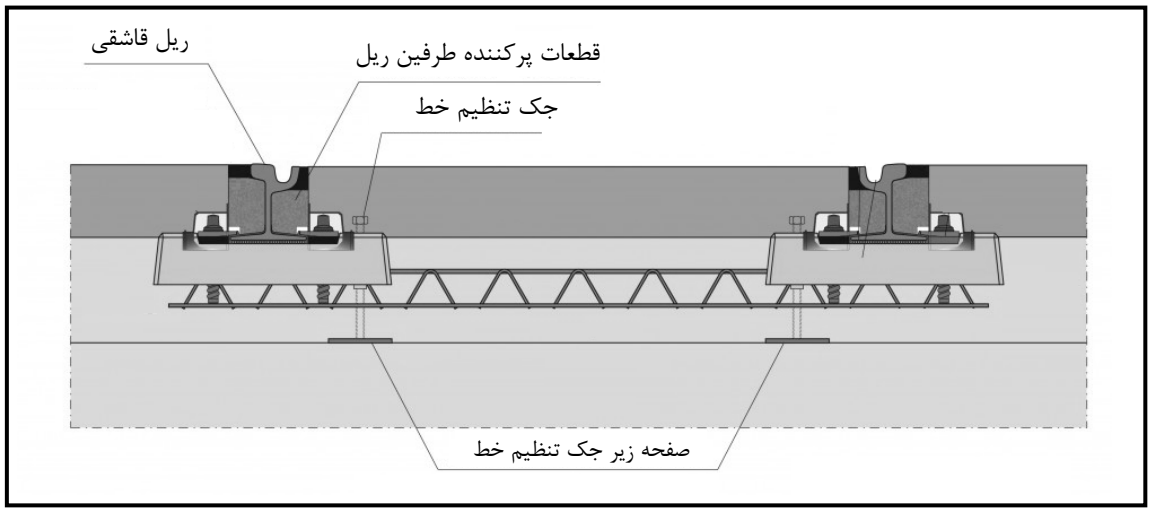
در پروژه‌های ساخت و اجرای روسازی خط راه‌آهن با توجه به اولویت‌بندی معیارهایی نظیر تکنولوژی ساخت روسازی، ساده بودن اجرا، سرعت اجرا، میزان مقاومت روسازی در زمان بهره‌برداری، کاهش ضخامت روسازی به خصوص در تونل‌ها و ... روسازی دال خط به صورت پیش‌ساخته و یا درجا ساخته می‌شوند. هر چند مشخصات ظاهری دال‌های بتنی نظیر عرض، ضخامت، نوع ساخت، نحوه مسلح نمودن یا پیش‌تنیدگی می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند ولی از دیدگاه کلی رفتار آن‌ها یکسان می‌باشد و تمام آن‌ها به صورت یک دال رفتار می کنند. در شکل‌های (۷-۱) تا (۷-۳) نمونه سیستم‌های روسازی دال خط پیش‌ساخته و درجا نمایش داده شده است.



شکل ۷-۱- نمونه دال خط بتنی درجا



شکل ۷-۲- نمونه دال خط بتنی پیش‌ساخته



شکل ۷-۳- نمونه دال خط بتنی خطوط هم‌سطح

در طراحی و به کارگیری دال خط‌های بتنی، توصیه می‌شود موارد زیر در نظر گرفته شوند:

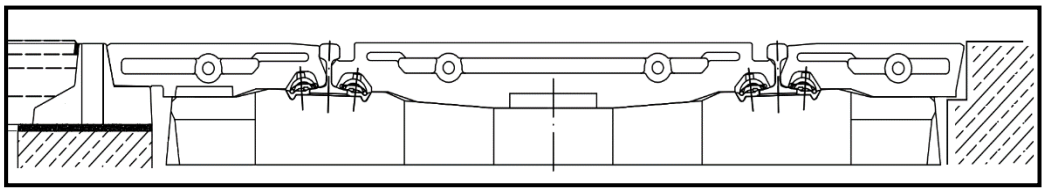
- طول عمر خط برای ۵۰ سال در نظر گرفته شود مگر آنکه در مشخصات فنی مدت دیگری ذکر شده باشد.
- با توجه به حساسیت زیاد خطوط بدون بالاست در برابر نشست‌های غیریکنواخت به خصوص زمانی که روسازی بر روی خاکریز واقع شده است، باید کنترل بیش‌تری انجام گیرد.
- با توجه به صلبیت بیش‌تر روسازی دال خط بتنی نسبت به روسازی بالاستی جهت جلوگیری از بروز خرابی‌های روسازی و سیستم تعلیق ناوگان ناشی از استفاده پابند نامناسب، سیستم پابند مناسب خط توسط مشاور بررسی و مورد استفاده قرار گیرد.
- قراردادن لایه‌های الاستیک ثانویه در اطراف تراورس و یا دال خط در برخی موارد جهت کنترل سختی خط به کار می‌روند. در استفاده از این موارد بایستی عمر مفید لایه‌های مصرفی و امکان تعمیرات آتی متناسب با عمر خط در نظر گرفته شود.
- به منظور کنترل تغییر سختی خط در اتصال خطوط بالاستی به دال خط بتنی ناحیه انتقال[1] با طول مناسب بر اساس نوع ترافیک خط طراحی و اجرا شود.
- در خطوط جوشکاری شده طویل[2] به منظور کنترل تنش ریل ناشی از تغییر مکان طولی بستر روسازی در محل درز انبساط ابنیه فنی نظیر پل‌ها و تونل‌ها، تعبیه درز انبساط ریل[3] توصیه می‌شود. موقعیت نصب درز

1- Transition Zone
2- Continuous Welded Rail
3- Expansion Device

انبساط ریل، باید به گونه‌ای باشد که کم‌ترین تاثیر را بر ایمنی، آسایش و بارگذاری دینامیکی وارده به خط و قطار در خلال بهره‌برداری داشته باشد. انتخاب نوع درز انبساط ریل که در فصل ۸ معرفی شده که بایستی بر اساس ضوابط EN 13232-8 باشد.

- در خطوط دال خط بتنی روی پل‌ها جهت جلوگیری از جابجایی افقی دال نیاز به طراحی برش‌گیر می‌باشد. برش‌گیرهای مذکور می‌تواند به صورت برآمدگی (کلید برشی) در سطح دال عرشه، یا آرماتورهای برشی متصل به عرشه پل در طول دال‌های روسازی یا به صورت متمرکز برای احداث بولارد[1] در فواصل ما بین دال‌های روسازی مطابق شکل (۷-۲) و یا در میانه هر دال باشد. در صورت بررسی عدم امکان جابجایی دال‌ها به صورت طولی توسط مشاور طراح به واسطه وجود تکیه‌گاه‌های جانبی مناسب نظیر بتن پرکننده طرفین دال که بیش‌تر در تونل‌ها جهت تعبیه داکت‌های عبور کابل برق و پیاده رو احداث می‌شود، نیازی به این برش‌گیرها نمی‌باشد.
- تراورس‌های مورد استفاده در خطوط درجا اغلب از نوع دی‌بلوک است. لیکن جهت سبک‌سازی بار مرده روی عرشه پل‌ها در صورت تامین مقاومت برشی کافی و جلوگیری از حرکت جانبی دال‌ها می‌توان سیستم دال خط بتنی را ضمن حذف تراورس به صورت نردبانی[2] و یا دو تیر مجزا نیز طراحی و اجرا نمود.
- روسازی دال خط در بنادر و خطوط هم‌سطح شهری به صورت ریل مدفون طراحی و اجرا می‌شود. در این نوع روسازی ریل‌های قاشقی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- روسازی تقاطعات هم‌سطح جاده و خط ریلی و گذرگاه‌های محوطه دپو و پارکینگ ایستگاه‌ها به صورت ریل مدفون طراحی و اجرا می‌شود. جهت ایجاد گذرگاه هم‌سطح استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی و یا قطعات لاستیکی متداول می‌باشد. در شکل (۷-۴) نمونه روسازی در گذرگاه‌ها با استفاده از قطعات لاستیکی نشان داده شده است. مشخصات ماده مورد مصرف در ساخت این قطعات لاستیکی می‌تواند مطابق مقادیر جدول (۷-۱) باشد. طراحی بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی بایستی توسط مهندسین مشاور بر اساس ضوابط آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انجام شود.

1- Bollard
2- Ladder Track

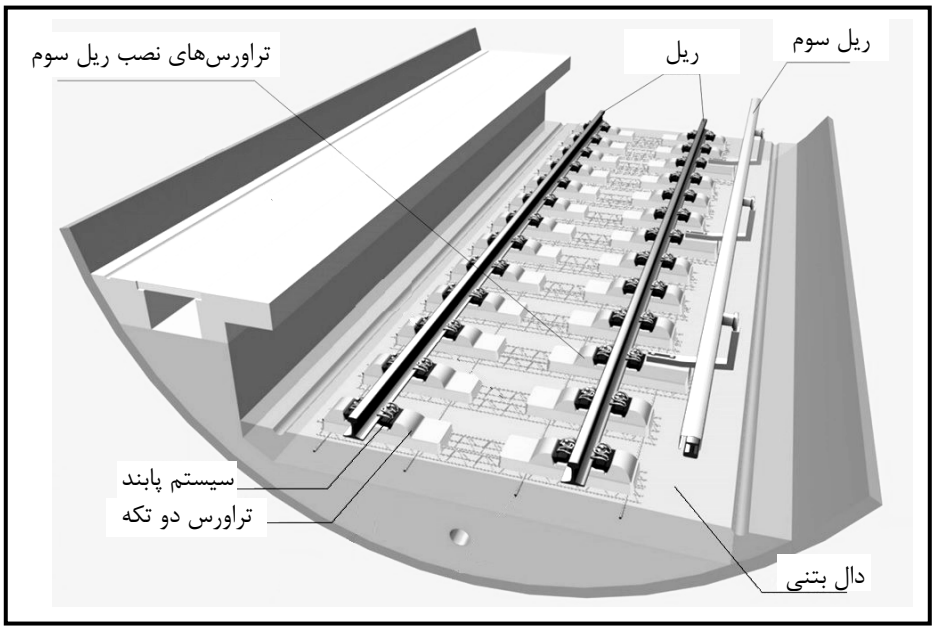


شکل ۷-۴- هم‌سطح‌سازی روسازی درگذرگاه‌ها

جدول ۷-۱- مشخصات قطعات لاستیکی

شرح	استاندارد	واحد	مقدار	
چگالی	ISO 1183 (DIN 53479)	g/cm^3	۱/۱۳ ± ۰/۰۱۵	۱/۱۵ ± ۰/۰۴
سختی	DIN 53505 / ISO 868	Shore A	۶۵ ± ۵	۷۰ ± ۵
مقاومت کششی	DIN 53504-S1 / ISO 37	N/mm^2	> ۱۰	> ۲
درصد ازدیاد طول در شکست	DIN 53504-S1 / ISO 37	%	> ۲۵۰	> ۴۰
مقاومت گسیختگی	DIN 53507 / DIN ISO34-1 Method A	N/mm	> ۱۷	۷
مقاومت سایشی	ISO 4649 (DIN 53516)	mm^2	۱۳۰ ± ۳۰	-
مقاومت در برابر ازون	DIN ISO 1431-1:2000	ترک ها	رواداری ترک ۰	-

- در سیستم‌های روسازی بدون بالاست که از دال‌های پیش‌ساخته به عنوان عضو باربر روسازی استفاده می‌باشد، باید طول مناسب دال با توجه به مواردی نظیر سهولت حمل و نقل، میزان تشدید فرکانسی بدنه واگن‌ها، ارتعاشات و شتاب قائم واگن، پایداری دال و غیره انتخاب شود. از نظر حمل و نقل طول‌های کوتاه‌تر مناسب است. از نظر پایداری دال در هنگام حرکت قطار داشتن طول‌های بیش‌تر از ۴/۵ متر مناسب‌تر خواهد بود. با دال‌هایی به طول ۵ متر می‌توان خط واقع در قوسی با حداقل شعاع ۲۰۰ را اجرا کرد.
- در خصوص جمع‌آوری جریان سرگردان به بند ۵-۲-۴-۲ آیین‌نامه راهنمای «طراحی دپو و پارکینگ قطار شهری و حومه» (نشریه شماره ۸۰۳) سازمان برنامه و بودجه مراجعه شود.
- به منظور ایجاد شرایط مناسب جهت اتصال ریل سوم در خطوط قطار شهری (در صورت نیاز)، باید در دال بتنی و یا تراورس‌های مدفون دال خط تمهیدات لازم در نظر گرفته شود. (شکل ۷-۵)
- در خطوط دال خط توزیع بار قائم و جانبی اعمال شده بر تراورس بر اساس EN 16432-2 تعیین گردد. در مواردی که توزیع بار جانبی مشخص نشده باشد، می‌توان ۶۰ درصد بار جانبی را به تراورس زیر چرخ و ۲۰ درصد بار جانبی را به هر یک از تراورس‌های طرفین آن اختصاص داده شود.
- بر اساس EN 16432-2 محدوده مجاز فاصله تراورس‌ها در خطوط با دال بتنی ۰/۶ m تا ۰/۷۵ m می‌باشد که توسط مهندسین مشاور بایستی طراحی شود.
- در محل درزهای انبساطی دال‌های روسازی از مصالح مناسب بر اساس موقعیت خط استفاده شود.



شکل ۷-۵- نمونه نصب ریل سوم در دال خط تونل

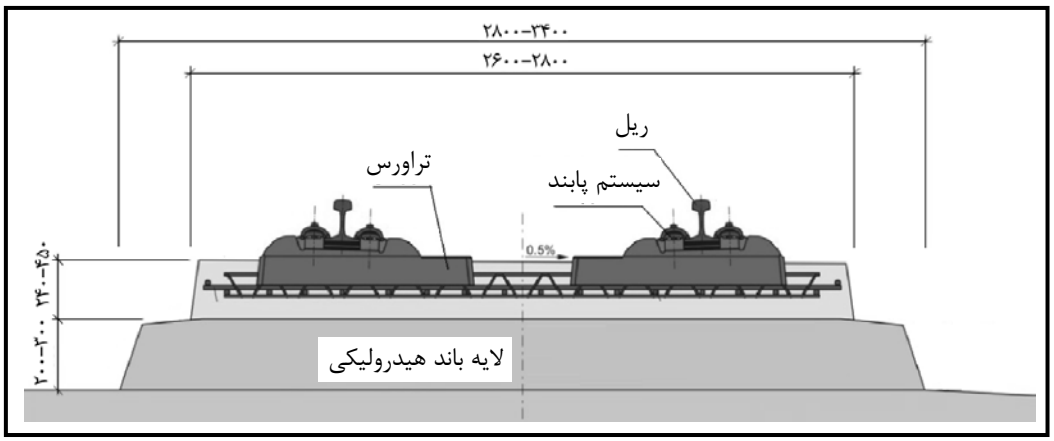
۷-۳- بستر دال خط

تغییر شکل‌های بستر دال خط بایستی در محدوده الاستیک باقی بماند و نبایستی تغییرشکل‌های ماندگار نداشته باشد. بر اساس EN16432-2 بستر دال‌های بتنی روسازی غیربالاستی متشکل از زیرسازی و لایه تکیه‌گاه هیدورلیکی[1] (HBL) زیر دال خط در صورت نیاز، جهت کنترل تغییر شکل‌های ماندگار است. ارائه مشخصات فنی زیرسازی دال خط‌ها خارج از محدوده این نشریه می‌باشد.

لایه های HBL به عنوان بخشی از ساختار روسازی چند لایه (ساخته شده توسط بتن یا آسفالت) یا به عنوان لایه پشتیبان برای دال‌های پیش‌ساخته جهت جلوگیری از نشست خط، به خصوص در محل درزهای انبساط دال فوقانی، روسازی قابل اجرا می‌باشد. استفاده از آسفالت به عنوان لایه HBL در مناطق با شرایط آب و هوایی گرم توصیه نمی‌شود. لایه HBL باید به گونه‌ای طراحی شود که به اندازه کافی به ظرفیت تحمل سیستم کمک و الزامات مقاومت در برابر یخ‌زدگی بایستی تامین شود. در لایه بتنی مذکور نوع بتن مسلح و حداقل رده مقاومت بتن کلاس C12/15 تا C20/25 است. دانه‌بندی و دیگر مشخصات بتن بر اساس آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) باشد.

1- Hydraulically Bond Layer

در تونل‌ها و پل‌ها بخاطر صلبیت بستر روسازی، لایه HBL مورد نیاز نیست و دال خط بتنی به صورت مستقیم بر روی بستر تونل و پل قرار می‌گیرد و درنتیجه ارتفاع کلی روسازی کاهش می‌یابد.



شکل ۷-۶- اجرای لایه تکیه‌گاه هیدورلیکی

۷-۴- ضوابط کنترل کیفی آرماتورهای مصرفی دال خط

آرماتورهای مورد استفاده در دال خط باید طبق آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۱-۱۲۰ و ۲-۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) یا معادل آن، با پیش‌بینی و رعایت شرایط آب و هوایی و شیمیایی منطقه مورد استفاده و حداکثر بارها و نیروهای وارده بر آن در دوره ۵۰ ساله کاربرد، توجیه فنی و اقتصادی و تایید کارفرما طراحی شود.

در صورتی که از روش پیوسته بتن‌ریزی درجا با استفاده از ماشین‌آلات مخصوص برای اجرای دال روسازی بتنی استفاده شود، باید در فواصل طولی مناسب درز انبساط پیش‌بینی شود. انتخاب محل و میزان این درز با توجه به شرایط آب و هوایی و مشخصات مصالح مصرفی توسط مهندسین مشاور تعیین می‌شود. جهت کنترل نشست می‌توان در درزهای انبساط دال خط استفاده از میلگرد اتصال (داول[1]) استفاده کرد. در صورت نیاز به استفاده از میلگرد اتصال ضوابط EN13877-3 از قبیل حداقل قطر ۲۵mm و حداقل طول ۵۰۰mm داول‌ها بایستی رعایت شود.

۷-۵- ضوابط کنترل کیفی بتنی دال

بر طبق EN 16432-2 لازم است توصیه‌های زیر برای بتن دال خط درجا در نظر گرفته شود:

- حداقل رده مقاومتی بتن دال خط کلاس C30/37 باشد.

1- Dowel Bar

- سیمان مصرفی پرتلند تیپ I است مگر شرایطی که دوام بتن تحت شرایطی خاص مد نظر باشد و در مشخصات فنی مناقصه نوع دیگری اشاره شده باشد.
- اسلامپ بتن مصرفی بدون استفاده از روان‌کننده نباید از ۲۰ میلی‌متر تجاوز کند.
- عرض ترک در دال بایستی تحت بارهای طراحی به ۰/۵ میلی‌متر محدود شود.

برای دال خط‌های پیش‌ساخته ضوابط ساخت قطعات بتنی پیش‌ساخته مطابق آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر دوم (آبا نشریه شماره ۱- ۱۲۰ و ۲-۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) در نظر گرفته شود.

۷-۵-۱- مواد تشکیل دهنده بتن

به طور کلی مواد تشکیل دهنده شامل آب، سیمان، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی می‌باشند. هر یک از آن‌ها باید دارای شرایط خاصی باشد که در ادامه ارائه خواهد شد.

الف- آب مصرفی

آب مصرفی باید مطابق مشخصات آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر دوم (آبا نشریه شماره ۲-۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) باشد و آزمایشات شیمیایی مطابق این دستورالعمل انجام گیرد نسبت آب به سیمان نباید از ۴۵ درصد بیش‌تر باشد و این نسبت جهت دوام بتن باید رعایت شود.

ب- سیمان

سیمان مصرفی هنگام استفاده از پوزولان‌ها باید از نوع تیپ II مطابق استاندارد ASTM باشد و در صورت عدم استفاده از پوزولان‌ها می‌تواند از نوع تیپ I مطابق استاندارد ASTM باشد. حداقل سیمان مصرفی بایستی $۳۴۰ kg/m^3$ باشد. کلیه آزمایشات فیزیکی و شیمیایی مورد درخواست دستگاه نظارت (نماینده کارفرما) باید مطابق آیین‌نامه ASTM انجام گیرد و با محدوده تعیین شده مقایسه شود.

ج- سنگدانه‌ها

مشخصات شیمیایی کلیه سنگدانه‌های ریزدانه و درشت‌دانه باید مطابق ASTM-C33 84 باشد. اندازه بزرگ‌ترین مصالح سنگی باید به ۲۰ میلی‌متر محدود شود و دانه‌بندی این مصالح باید مطابق ASTM-C33 84 انجام گیرد. آزمایش اندازه‌گیری مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها باید مطابق بند ۳-۳-۴-۲ آیین‌نامه بتن ایران (آبا نشریه شماره ۲-۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه) انجام گیرد. SE ماسه نباید کم‌تر از ۸۰ درصد باشد. افت سایش لس‌آنجلس نیز به ۲۵ درصد محدود می‌شود. کلیه محدوده‌های آیین‌نامه آبا در مورد آزمایشات فیزیکی و شیمیایی باید رعایت شود و آزمایشات خاص مورد درخواست دستگاه نظارت (نماینده کارفرما) باید انجام گیرد.

۷-۵-۲- دستورالعمل نمونه‌برداری، آزمایش و پذیرش بتن

تمامی ضوابط مربوط به مقاومت فشاری مشخصه بتن در ساخت دال خط بتنی بر اساس نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد با ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر، باید مقاومت آن‌ها به مقاومت نظیر آن‌ها در نمونه‌های استوانه‌ای تبدیل شود. جهت ساخت و عمل آوردن نمونه‌ها از دستورالعمل‌های ASTM C92، BS1881 به ترتیب برای نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی استفاده شود.

۷-۶- شیب عرضی (زهکشی)

در دال خط‌ها بسته به محل قرارگیری کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی شیب عرضی روی دال خط می‌تواند یک‌طرفه و یا دوطرفه باشد. به طور معمول شیب عرضی ۱ درصد برای سطح روی دال در نظر گرفته می‌شود که در شرایط مختلف آب و هوایی بایستی توسط مهندسین مشاور در مشخصات فنی اعلام شود. در اکثر تونل‌های موجود زهکشی تونل یک‌طرفه است. بنابراین استفاده از شیب مناسب در سطح روسازی و لایه‌های زیرین و مشخصات مناسب در این لایه‌ها باید مورد نظر باشد.

۷-۷- صدا و ارتعاش

در خطوط قطار شهری و خطوط راه‌آهن مجاور مکان‌های حساس به صدا و ارتعاش نظیر ساختمان‌های مسکونی، ساختمان‌های تجاری، بیمارستان‌ها، هتل‌ها، ابنیه میراث فرهنگی و تاریخی و نیز آزمایشگاه‌های دارای تجهیزات حساس از جمله میکروسکوپ‌های الکترونیکی و غیره علاوه بر کنترل سختی خط، جهت کنترل صد و ارتعاش زمین برد (منتقل شونده از طریق زمین)[1] ناشی از حرکت قطار استفاده از سیستم‌های میراکننده در روسازی متداول است. لازم است در انتخاب سیستم جاذب ارتعاش، علاوه بر کفایت فنی سیستم، امکان انجام تعمیرات آتی و قابلیت تعویض‌پذیری آن نیز با توجه به راندمان مفید سیستم و دوره عمر خط در نظر گرفته شود.

۷-۷-۱- میزان ارتعاش مجاز

مقادیر ارتعاش مجاز وارده به سازه بستگی به کاربری و نوع آن دارد. بر اساس FTA-2018[2] میزان مجاز صدا و ارتعاش منتقل شونده از طریق زمین برای ساختمان‌هایی که سطح ارتعاش کم برای انجام فعالیت‌های داخل آن‌ها نیاز است و

1- Ground-Borne Noise and Vibration
2- Federal Transit Administration -Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual

ساختمان‌ها و مناطق مسکونی و اداری و ساختمان‌هایی که بیش‌تر در روز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، نباید از مقادیر جدول (۷-۲) و برای ساختمان‌های فرهنگی- هنری نباید از مقادیر جدول (۷-۳) بیش‌تر شود.

جدول ۷-۲- میزان مجاز صدا و ارتعاش منتقل شونده از طریق زمین

نوع کاربری سازه	سطح ارتعاش[۱]			سطح صدا[۲]		
	رویدادهای با تکرار نادر[۳]	رویدادهای با تکرار کم[۴]	رویدادهای با تکرار زیاد[۵]	رویدادهای با تکرار نادر[۳]	رویدادهای با تکرار کم[۴]	رویدادهای با تکرار زیاد[۵]
سطح ۱: ساختمان‌هایی که سطح ارتعاش کم برای انجام فعالیت‌های داخل آن‌ها نیاز است	۶۵ dB[۶]	۶۵ dB[۶]	۶۵ dB[۶]	N/A[۷]	N/A[۷]	N/A[۷]
سطح ۲: ساختمان‌ها و مناطق مسکونی	۸۰ dB	۷۵ dB	۷۲ dB	۴۳ dB	۳۸ dB	۳۵ dB
سطح ۳: ساختمان‌های اداری و ساختمان‌هایی که بیش‌تر در روز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند	۸۳ dB	۷۸ dB	۷۵ dB	۴۸ dB	۴۳ dB	۴۰ dB

۱- ارتعاش VdB بر اساس سرعت مرجع micro-inch/sec ۱

۲- ارتعاش VdB بر اساس سرعت مرجع micro-Pascals ۲۰

۳- رویداد با تکرار نادر، به ارتعاش‌هایی با تکرار خیلی کم در روز اتلاق می‌باشد.

۴- رویداد با تکرار کم، ارتعاش‌هایی با تکرار کم‌تر از ۷۰ بار در روز اتلاق می‌باشد.

۵- رویداد با تکرار زیاد، ارتعاش‌هایی با تکرار بیش‌تر از ۷۰ بار در روز اتلاق می‌باشد.

۶- معیار درج شده در این قسمت بر اساس ابزار و تجهیزات بسیار حساس به ارتعاش (مانند میکروسکوپ‌های نوری) پیشنهاد شده است. سایر دستگاه‌ها و فعالیت‌های تحقیقاتی بسیار حساس یه ارتعاش باید برای تعیین سطح ارتعاش مجاز مورد بررسی بیش‌تر قرار گیرند.

۷- تجهیزات و دستگاه‌های حساس به ارتعاش اغلب به صدای زمین برد حساس نیستند؛ ولی در هر صورت مشخصات تولید کننده تجهیزات و دستگاه‌ها از نظر عایق‌های صدای مورد نیاز و حساسیت به صدا باید مورد بررسی قرار گیرد. (N/A: کابرد ندارد)

جدول ۷-۳- مقادیر صدا و ارتعاش مجاز منتقل شونده از طریق زمین برای داخل ساختمان‌های فرهنگی- هنری

نوع کاربری ساختمان	سطح ارتعاش		سطح صدا	
	رویدادهای با تکرار زیاد	رویدادهای با تکرار کم و یا نادر	رویدادهای با تکرار زیاد	رویدادهای با تکرار کم و یا نادر
سالن کنسرت و استدیو ضبط صدا و فیلمبرداری	۲۵ dB	۲۵ dB	۶۵ dB	۶۵ dB
سالن اجتماعات	۳۸ dB	۳۰ dB	۸۰ dB	۷۲ dB
سالن تئاتر و سینما	۴۳ dB	۳۵ dB	۸۰ dB	۷۲ dB

در خصوص ابنیه تاریخی بر اساس مصالح به کار رفته در آن بایستی نسبت به تعیین میزان ارتعاش مجاز از استانداردهای معتبر اقدام شود. همچنین حوزه فرکانسی قابل تحمل ابنیه نیز به همراه بزرگی ارتعاش وارده بر آن بایستی مد نظر قرار گیرد. محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش بلند مدت ارتعاش دائمی و کوتاه مدت وارده بر ساختمان بر حسب حداکثر سرعت نوسان بر اساس DIN4150-3 در جدول‌های (۷-۴) و (۷-۵) و شکل (۷-۷) ارائه شده است. ارتعاشی که موجب خستگی سازه نشود و در سازه تشدید

ایجاد نمی‌کند ارتعاش کوتاه مدت نامیده می‌شود. انواع ارتعاشات دیگر که در تعریف ارتعاش کوتاه مدت قرار نگیرد، ارتعاش بلند مدت خواهد بود.

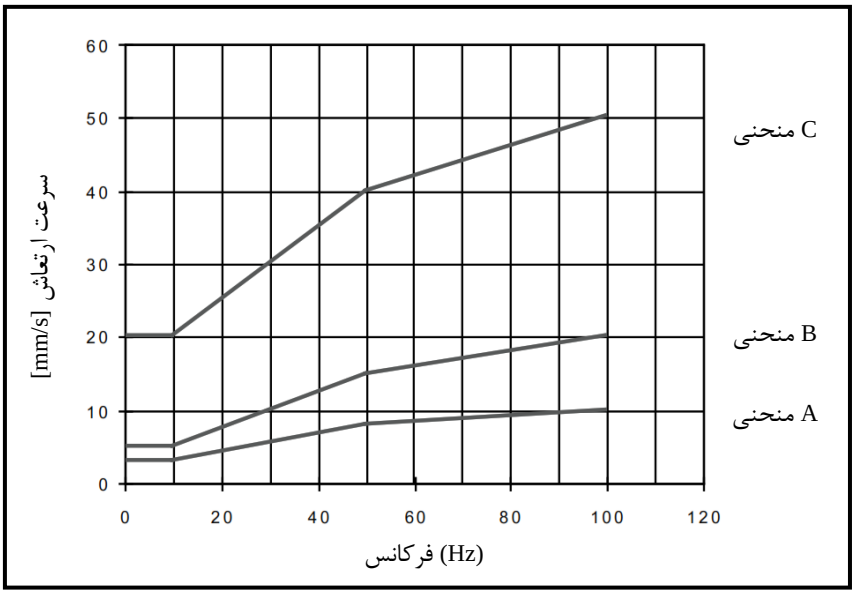
جدول ۷-۴- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش بلند مدت

ردیف	نوع ساختمان	مقدار سرعت ارتعاش در تراز افقی بالاترین طبقه در همه فرکانس‌ها (mm/s)
۱	ساختمان‌های با کاربری صنعتی و ساختمان‌های با طراحی مشابه	۱۰
۲	ساختمان‌های مسکونی، تجاری و ساختمان‌های با طراحی و یا کاربری مشابه	۵
۳	ساختمان‌هایی که بخاطر حساسیت خاص به ارتعاش شامل ردیف‌های ۱ و ۲ نمی‌باشند	۲.۵

جدول ۷-۵- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش کوتاه مدت

ردیف	نوع سازه	مقدار سرعت ارتعاش (mm/s)			
		در فونداسیون ساختمان در فرکانس‌های زیر			در تراز افقی بالاترین طبقه در همه فرکانس‌ها
		۱۰ Hz تا ۱ Hz	۵۰ Hz تا ۱۰ Hz	۱۰۰ Hz تا ۵۰ Hz *	
۱	ساختمان‌های با کاربری صنعتی و ساختمان‌های با طراحی مشابه	منحنی A			۴۰
		۲۰	۴۰-۲۰	۵۰-۴۰	
۲	ساختمان‌های مسکونی، تجاری و ساختمان‌های با طراحی و یا کاربری مشابه	منحنی B			۱۵
		۵	۱۵-۵	۲۰-۱۵	
۳	ساختمان‌هایی که بخاطر حساسیت خاص به ارتعاش شامل ردیف‌های ۱ و ۲ نمی‌باشند	منحنی C			۸
		۳	۸-۳	۱۰-۸	
* در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰Hz بر اساس دستورالعمل DIN4150-3 اقدام شود.					

مقدار قابل پذیرش سرعت قائم وارده به ابنیه تاریخی و میراث فرهنگی در همه فرکانس‌ها ۱mm/s توصیه می‌شود.



شکل ۷-۷- محدوده سرعت ارتعاش توصیه شده بر حسب فرکانس برای کنترل خسارت در ساختمان‌ها بر اثر ارتعاش کوتاه مدت در فونداسیون

۷-۷-۲- تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاش باید شامل قسمت‌های زیر باشد:

- مبدل[1] یا حسگر برداشت[2]
- دستگاه تقویت کننده
- نشانگر دامنه یا سطح یا ضبط کننده و/یا آنالیزور سیگنال

در صورت لزوم، باید فیلترهای (گذر کم، بالا گذر) برای محدود کردن محدوده فرکانس تجهیزات و اعمال فیلترهای توصیه شده بر روی سیگنال ورودی قرار داده شود.

مبدل‌های ارتعاشی باید مطابق با IEC184 و تجهیزات کمکی (تقویت کننده‌ها، تجهیزات انتخاب فرکانس و سیستم‌های حامل) مطابق با IEC222 باشند. تجزیه و تحلیل فرکانس ارتعاش یا آنالیز سیگنال با پهنای باند یک سوم اکتاو و یا باند باریک FFT (تغییر سریع فوریه) در محدوده فرکانس حداقل ۱ تا ۱۰۰ هرتز انجام شود. کلیه تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاش باید مطابق با استانداردهای معتبر یا توصیه‌هایی که بر اساس دستورالعمل سازنده تجهیزات در خصوص کالیبراسیون تجهیزات ارائه می‌شود، کالیبره شوند.

۷-۷-۳- سیستم‌های جاذب ارتعاش در روسازی دال خط

یکی از روش‌های موثر جهت مقابله با ارتعاش ناشی از سیستم حمل ونقل ریلی استفاده از سیستم‌های جاذب ارتعاش در روسازی به عنوان منبع تولید ارتعاش است. در روسازی‌های بالاستی استفاده از فرش‌های ارتجاعی زیر بالاست[3] و پدهای نصب شده در زیر تراورس[4] از روش‌های متداول است. در دال خط‌ها نیز استفاده از فرش‌های گستره در دال خط‌های[5] با بتن درجا، و فرش‌های نواری و موزائیکی برای دال خط‌های پیش‌ساخته به عنوان سیستم‌های دال شناور و نیز سیستم‌های پابند ارتجاعی و فوق ارتجاعی از روش‌های متداول می‌باشد. در خصوص انتخاب سیستم جاذب ارتعاش بایستی شرایط محیطی، شرایط نگهداری و تعمیر و راندمان سیستم جاذب با توجه به افت راندمان میرایی ارتعاشی آن و طول عمر خط مورد نظر قرار گیرد.

1-Transducer
2- Pick-up Sensor
3- Ballast Mat
4- Sleeper Pad
5- Slab Mat

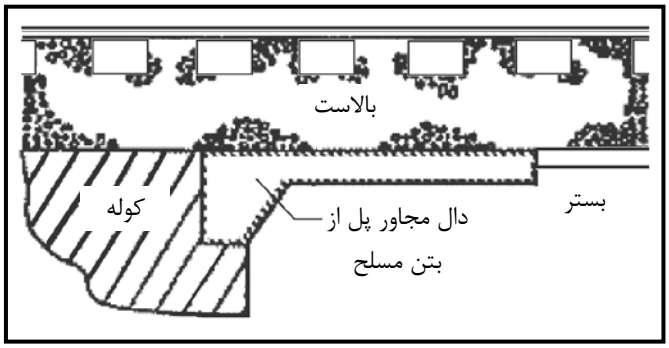
۷-۸- ناحیه انتقال

تغییر سختی خط نیازمند کنترل است. در صورت تغییر ناگهانی سختی خط، نشست خط و خرابی‌های روسازی نظیر خوردشدگی بالاست، شکستگی فنر پابند، شکستگی تراورس، خرابی‌های ریل، خرابی‌های دال خط و شتاب بیش از حد به ناوگان رخ می‌دهد و در نتیجه افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیر در زمان بهره‌برداری در محل تغییر سختی خط وجود خواهد داشت. در این مورد توصیه‌هایی در بخش بخش ۲۷ استاندارد AREMA شده است.

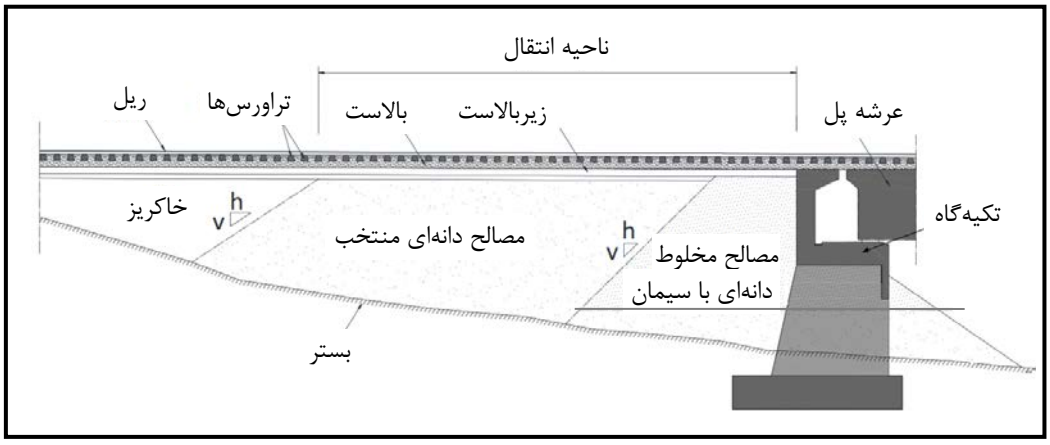
نواحی انتقال گوناگونی بین انواع مختلف روسازی و زیرسازی قابل تصور است:

- ناحیه انتقال بین خاکریز، پل و تونل که عموما در زیرسازی اجرا می‌شود.
- ناحیه انتقال بین روسازی بالاستی و دال خط در روسازی اجرا می‌شود.

در ساخت ناحیه انتقال بین خاکریز و پل یا تونل، استفاده از پیش دال طره[1] افقی و یا شیبدار (شکل ۷-۸) و یا استفاده از مصالح منتخب در زیرسازی (شکل ۷-۹) در قبل و بعد سازه پل یا تونل متداول می‌باشد.



شکل ۷-۸- نمونه اجرای ناحیه انتقال بین خاکریز و پل در زیرسازی



شکل ۷-۹- نمونه اجرای ناحیه انتقال بین خاکریز و پل در زیرسازی

1- Approach Slab

ناحیه انتقال در زیرسازی (محل اتصال خاکریز به تونل و یا پل) و نیز ناحیه انتقال در روسازی (محل اتصال روسازی بالاستی به روسازی دال خط) باید به گونه‌ای طراحی شود که میزان نشست را به حداقل برساند و انتقال سختی به صورت یکنواخت و همگن صورت گیرد.

کنترل سختی خط در روسازی با استفاده از یک یا ترکیبی از روش‌های زیر جهت افزایش توزیع بار و کاهش نشست امکان پذیر است:

- استفاده از پد زیر ریل[1]
- استفاده از پد زیر تراورس
- استفاده از فرش‌های زیر دال
- استفاده از فرش زیر بالاست
- تغییر در ابعاد و فواصل تراورس‌ها
- استفاده از ریل اضافی نصب شده روی تراورس‌ها
- امتداد لایه HBL به طولی مشخص در زیر لایه بالاست
- استفاده از روش‌های چسباندن سنگ‌های بالاست[2]
- نصب ریل‌های اضافی روی خط

بر اساس EN16432-2 توصیه می‌شود بین سیستم‌های مختلف روسازی بدون بالاست و برای تغییر مکان‌های قائم مختلف، طول ناحیه انتقال از مقدار حاصل از رابطه ۷-۱ کم‌تر نباشد.

$$L = V \times t \qquad (۱-۷)$$

که در آن:

L: طول حداقل ناحیه انتقال (m)

V: سرعت طرح (m/s)

t: زمان حداقل مورد نیاز برای تغییر سختی خط که برابر ۰/۵ s در نظر گرفته می‌شود.

1- Rail Pad
2- Glued Ballast

۷-۹- رواداری‌های دال خط

محدود شدن تغییر مکان‌ها و تغییر شکل‌های روسازی بخاطر کاهش بارهای وارده به جسم خط و آلات ناقله گذرنده از روی آن و تامین راحتی و ایمنی سفر می‌باشد. با توجه به اینکه تصحیح بی‌نظمی‌های خط در این نوع روسازی مشکل است رعایت رواداری‌های اعلام شده الزامی می‌باشد.

برطبق استاندارد AREMA تغییر مکان قائم ریل در خطوط با روسازی دال خط تحت بار محوری سنگین نبایستی از ۶ mm بیش‌تر شود.

۷-۹-۱- رواداری‌های اجرایی دال خط

در طول خط میانگین ضخامت روسازی بتنی نباید از ضخامت طراحی شده کم‌تر باشد و نباید بیش ۱۰ میلی‌متر از ضخامت طراحی شده بیش‌تر باشد. همچنین ضخامت در هیچ نقطه از دال روسازی نباید نسبت به ضخامت طراحی شده کم‌تر از ۵ میلی‌متر و بیش‌تر از ۱۵ میلی‌متر باشد.

میانگین عرض روسازی نیز نباید از عرض طراحی شده کم‌تر باشد. حداکثر انحراف مقادیر عرض روسازی نباید بیش از ۱٪± عرض طراحی شده شود.

در سیستم روسازی بدون بالاست اقدامات مربوط به عایق الکتریکی بودن خط بر اساس EN16432-1 انجام شود و صحت عایق بودن خط باید بلافاصله قبل از بتن‌ریزی به صورت بصری بررسی شود. بر اساس EN16432-2 قطر و تعداد میلگردهای دال بتنی مسلح پیوسته و یا درزدار بایستی مطابق نقشه‌های طرح اجرا شود. حداکثر رواداری قائم و افقی موقعیت هر یک از میلگردهای دال به ترتیب ۲۰ و ۵۰ میلی‌متر است. در صورت استفاده میلگردهای اتصال (داول) در درز انبساط بین دو دال، حداکثر رواداری قائم و افقی موقعیت هر یک از میلگردهای اتصال به ترتیب ۲۰ و ۵۰ میلی‌متر و حداکثر رواداری شیب آن‌ها نیز ۱ به ۲۵ است.

۷-۹-۲- رواداری‌های هندسی خطوط راه‌آهن

بر اساس EN16432-3 رواداری مطلق انحراف در اجرای موقعیت دال خط بر اساس طبقه AP1 مندرج در EN13231-1 بوده و مطابق جدول (۷-۶) است.

جدول ۷-۶- رواداری مطلق انحراف اجرای دال خط

شرح	رواداری
موقعیت قائم	۱۰±mm
موقعیت جانبی	۱۰±mm
موقعیت دستگاه خطوط در طول خط	۱۰±mm
فاصله تراورس‌ها و یا تکیه‌گاه‌های ریل	± ۱۰mm
گونیا نبودن تراورس‌ها	± ۱۰mm
تعداد تراورس‌ها و یا تکیه‌گاه‌های ریل در طول ۱۰۰۰ متر خط	بایستی دقیقا با تعداد طراحی شده در نقشه‌ها یکی باشد.

۷-۹-۳- رواداری‌های هندسی خطوط قطار شهری و حومه

رواداری‌های ساخت ارائه شده در این بخش به عنوان مقادیر حداکثر است و توصیه می‌شود رواداری تجمعی اجرای روسازی خط (شامل تمامی خطاهای ساخت) از مقادیر جدول (۷-۷) بیش‌تر نشود.

جدول ۷-۷- رواداری ساخت خطوط قطار شهری و حومه

نوع خط	خط اصلی	خط فرعی	خط تعمیرگاه و کارگاه
تغییرات عرض خط [۱] (میلی‌متر)	+۲ -۲	+۲ -۲	+۳ -۳
انحراف در تراز افقی [۲] [۳] (میلی‌متر)	+۳ -۳	+۳ -۳	+۵ -۵
انحراف در تراز عمودی [۴] (میلی‌متر)	+۵ -۵	+۵ -۵	+۶ -۶
اختلاف تراز عرضی [۶] (میلی‌متر)	+۲ -۲	+۲ -۲	+۲ -۲

۱- نرخ تغییرات عرض خط در طول یک متر حداکثر ۲ میلی‌متر است.

۲- انحراف در تراز افقی در محدوده سکوی ایستگاه صفر میلی‌متر به سمت سکو و ۳ میلی‌متر خلاف سمت سکو است.

۳- حداکثر رواداری انحراف تراز افقی وسط وتر ۲۰ متری مثبت ۲ و منفی ۲ میلی‌متر است.

۴- انحراف در تراز عمودی در محدوده سکوی ایستگاه مثبت صفر و منفی۶ میلی‌متر است.

۵-حداکثر رواداری تراز عمودی وسط وتر ۲۰ متری مثبت ۲ و منفی ۲ میلی‌متر است.

۶- اختلاف تراز عرضی، اختلاف تراز دو ریل نسبت به یکدیگر است. حداکثر اختلاف ارتفاع مجاز بین ریل چپ و راست خط در طول ۲۰ متر ۲ میلی‌متر است.

معیار اصلی اندازه‌گیری توسط وترگیری با طناب ۲۰ متری می‌باشد ولی در مواردی که امکان استفاده از وتر ۲۰متری وجود ندارد در صورت موافقت دستگاه نظارت می‌توان از وتر ۱۰ متری با شرایط زیر استفاده نمود:

- رواداری راستای افقی خط در طول طناب ۱۰ متری نبایستی از ۲± میلی‌متر تجاوز نماید.
- ناترازی سطح رولمان ریل در طول طناب ۱۰ متری نبایستی از ۲ میلی‌متر تجاوز نماید.

برای روسازی‌های هم‌سطح (مدفون[۱]) و روسازی‌های بدون تراورس (اتصال مستقیم[۲]) که با اتصال مستقیم ریل توسط سیستم پابند به دال صورت می‌گیرد، مقادیر رواداری‌های مجاز هندسی ساخت مندرج در جدول (۷-۸) توصیه می‌شود.

1- Embedded
2- Direct Fixation

جدول ۷-۸- رواداری‌های مجاز هندسی ساخت سیستم‌های روسازی‌های ریل مدفون و اتصال مستقیم [۱]

نوع خط مشخصه هندسی	ریل مدفون	اتصال مستقیم
تغییرات عرض خط [۴] (میلی‌متر)	-۱ +۳	-۱ +۳
انحراف تراز افقی [۱] [۴] (میلی‌متر)	۶ [۲]	۶ [۲]
انحراف تراز عمودی [۱] [۴] (میلی‌متر)	۶ [۳] [۷]	۶ [۳] [۷]
اختلاف تراز عرضی [۴] [۵] (میلی‌متر)	-۳ +۳	-۳ +۳
موقعیت افقی خط [۶] (میلی‌متر)	۶	۶
موقعیت قائم خط [۶] (میلی‌متر)	۶	۶

۱- انحراف، اختلاف مجاز بین خط استاندارد طراحی شده و خط ساخته شده واقعی است.

۲- انحراف (افقی) در محدوده سکوی ایستگاه صفر میلی‌متر به سمت سکو و ۳ میلی‌متر خلاف سمت سکو است.

۳- انحراف (عمودی) در محدوده سکوی ایستگاه مثبت صفر و منفی۶ میلی‌متر است.

۴- نرخ تغییرات هندسی عرض خط، انحراف تراز افقی، انحراف تراز عمودی و اختلاف تراز عرضی به مقدار ۱:۱۵۰۰ (۳ میلی‌متر در طول ۴۵۰۰ میلی‌متر) محدود گردد.

۵- اختلاف تراز عرضی، اختلاف تراز دو ریل نسبت به یکدیگر است.

۶- موقعیت خط، اختلاف موقعیت ساخته شده خط در برداشت ازبیلت نسبت به موقعیت تئوریک است.

۷- در روسازی ریل مدفون انحراف تراز عمودی روی سطح ریل مثبت ۶ میلی‌متر و منفی صفر است.

۱- بر اساس TCRP Report 155

فصل ۸

دستگاه خطوط

۸-۱- کلیات

دستگاه خطوط ادواتی هستند که اتصال مسیرهای مختلف ریلی و حرکت وسایل نقلیه ریلی از مسیری به مسیر دیگر را ممکن می‌سازند. این ادوات علاوه بر تامین انعطاف لازم در خطوط ریلی، به عملیات مانور در محوطه ایستگاه‌ها نیز کمک می‌کنند.

دستگاه خطوط به لحاظ ایمنی از نقاط ضعف خطوط ریلی محسوب می‌شوند. استعداد خروج از خط وسایل نقلیه ریلی در این نقاط نسبت به سایر بخش‌های خط بالاتر است. این بخش از خطوط ریلی، محدودیت‌هایی را به لحاظ کاهش سرعت در پی دارد.

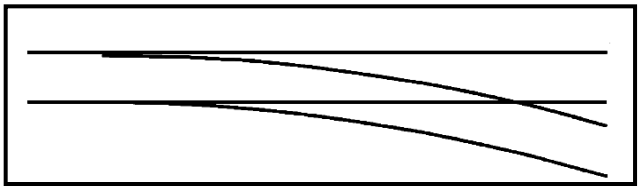
در طراحی و به کارگیری دستگاه خطوط، موارد ذیل می‌بایستی در نظر گرفته شوند:

- تعداد محدودیت‌های سرعتی که به وجود می‌آورند، حداقل باشد و فقط در محل‌هایی قرار گیرند که نیازهای بهره‌برداری حکم می‌کنند.
- حداکثر انعطاف‌پذیری را در بهره‌برداری تامین کنند.
- تولید آن‌ها ارزان، نصب آن‌ها ساده و تعویض آن‌ها نیز به سادگی انجام شود.
- در مقابل سایش، خوردگی و فرسودگی مقاوم بوده و حداقل نگهداری را لازم داشته باشند.
- با مشخصات لازم برای مهندسی ارسال علائم سازگاری داشته باشند.

۸-۲- انواع دستگاه خطوط

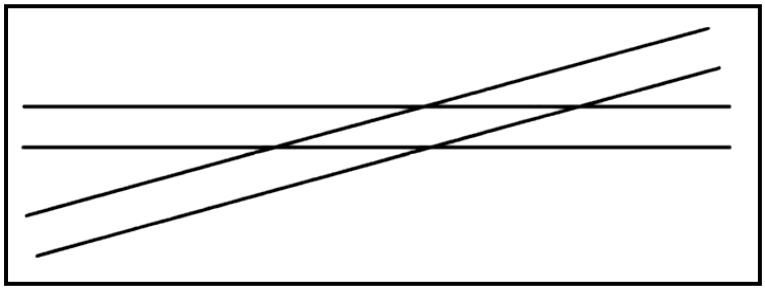
دستگاه خطوط به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

الف-انشعاب: یک انشعاب، خط را مطابق شکل (۸-۱) به دو یا سه خط تقسیم نموده و تغییر مسیر وسیله نقلیه ریلی را ممکن می‌سازد. اجزای یک انشعاب باید مطابق بند (۸-۴) این نشریه اجرا شوند.



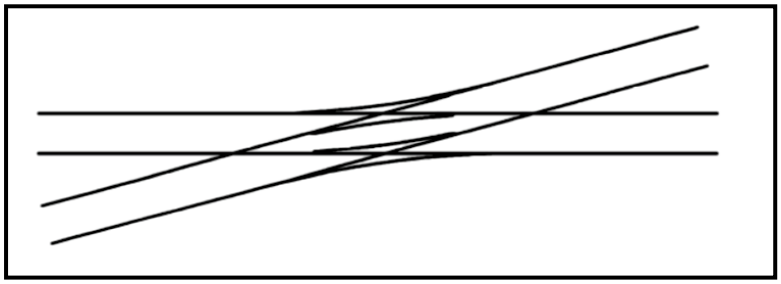
شکل ۸-۱- انشعاب

ب- تقاطع: در یک تقاطع مطابق شکل (۸-۲) دو ریل به طور هم‌سطح یکدیگر را قطع می‌کنند. اجزای یک تقاطع باید مطابق بند (۸-۵) این نشریه اجرا شوند.



شکل ۸-۲- تقاطع

ج- **چلیپا (تقاطع- انشعاب)**: وظایف انشعاب و تقاطع را با هم انجام می‌دهد، شکل (۸-۳).



شکل ۸-۳- چلیپا

۸-۳- اجزای دستگاه خطوط

دستگاه خطوط از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود. این اجزا عبارتند از:

- قسمت سوزن[1] و متعلقات آن
- قسمت تکه مرکزی[2] و متعلقات آن

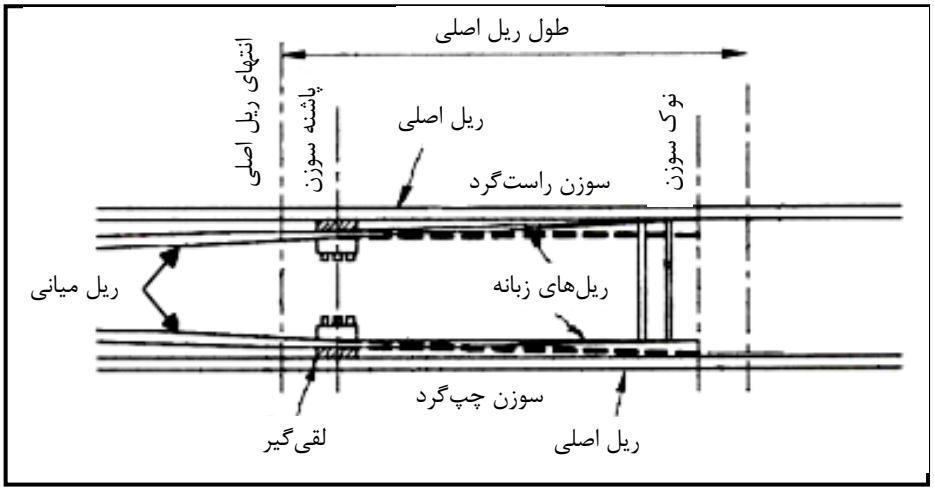
۸-۳-۱- قسمت سوزن

۸-۳-۱-۱- اجزای سوزن

سوزن‌ها بخش‌های متحرک دستگاه خطوط هستند. مطابق شکل (۸-۴)، سوزن شامل ریل اصلی، ریل زبانه و ریل میانی است. یک مجموعه از سوزن‌ها، شامل یک سوزن چپ گرد و یک سوزن راست گرد است. ریل‌های زبانه با حرکت خود، مسیر حرکت را تغییر داده و براساس موقعیت خود به وسیله نقلیه ریلی اجازه حرکت در خط اصلی و یا خط دیگر

1- Switch panel
2- Crossing panel

را می‌دهند. طرف نازک ریل سوزن، نوک و طرف دیگر، پاشنه می‌باشد. ریل‌های اصلی، ریل‌هایی هستند که ریل‌های سوزن به خوبی در کنار آن‌ها جفت شده و مقطع آن‌ها مشابه ریل‌های خط اصلی است. «لقی‌گیر» مطابق شکل، مانعی است که بین پاشنه ریل زبانه و ریل اصلی قرار گرفته و فاصله لازم برای عبور لبه چرخ را تامین می‌کند.



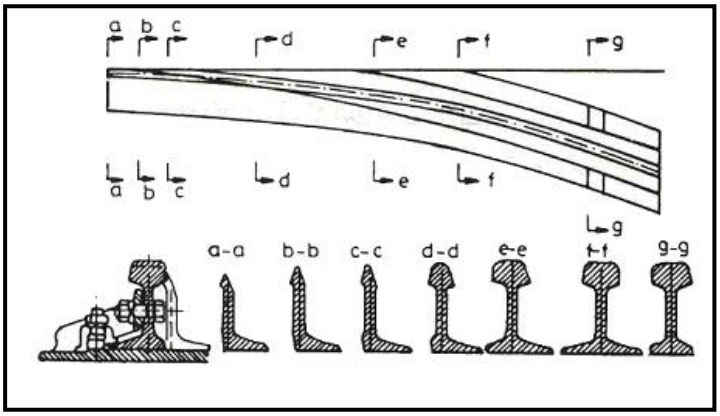
شکل ۸-۴- اجزای سوزن

در خطوط راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران حداقل درجه سختی فولاد در ریل زبانه[1] (تیغه) و ریل پهلویی[2] می‌بایست برابر با R350HT و ریل میانی با درجه سختی فولاد R260 مطابق با EN13674-2 در نظر گرفته شود. تراورس‌های مورد استفاده در دستگاه خطوط نیز باسیتی مطابق ضوابط فصل ۴ باشد.

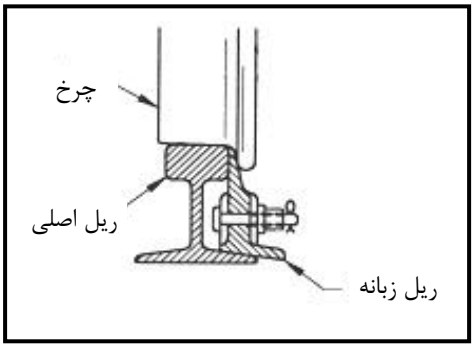
۸-۳-۱-۲- تغییر مقطع ریل‌های سوزن

برای تغییر مسیر در یک سوزن، ریل‌های اصلی و زبانه باید به خوبی در راس سوزن جفت شوند، به طوری که چرخ بتواند از ریل اصلی به ریل زبانه منتقل شود. برای انجام این کار، مقطع ریل اصلی در طول سوزن بایستی ثابت مانده و مقطع ریل زبانه از راس تا انتهای سوزن تغییر کند. تغییر شکل مقطع ریل‌های سوزن در شکل (۸-۵) و مقطع ریل‌های سوزن در راس و انتها در شکل‌های (۸-۶) و (۸-۷) نشان داده شده است.

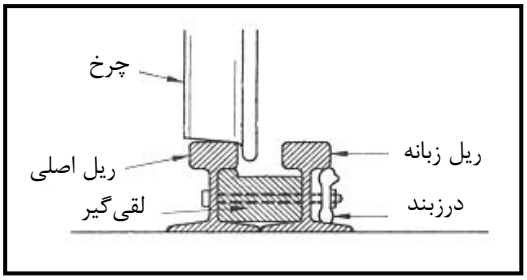
1- Switch Rail
2- Stock Rail



شکل۸-۵- مقطع ریل سوزن



شکل ۸-٦- مقطع ریل‌ها در راس سوزن



شکل ۸-۷- مقطع ریل‌ها در انتهای سوزن

۸-۳-۱-۳- طبقه‌بندی سوزن‌ها

الف- طبقه‌بندی سوزن‌ها بر مبنای گیرداری پاشنه

۱- سوزن‌ها با پاشنه متحرک یا مفصلی:

در این سوزن‌ها ریل‌های زبانه توسط درزبند، به ریل‌های میانی متصل شده‌اند، به طوری که دو پیچ جلویی آن هنگام بسته شدن سوزن آزاد و هنگام باز شدن ریل زبانه محکم می‌شوند و شرایط مفصل ایجاد می‌گردد. این روش برای سوزن‌های با طول کوتاه توصیه می‌شود.

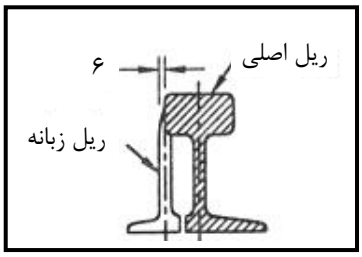
۲- سوزن‌های با پاشنه گیردار:

در این سوزن‌ها هر چهار پیچ هنگام بسته شدن ریل سوزن محکم می‌شوند، به‌طوری‌که شرایط صلب ایجاد می‌شود. این روش برای سوزن‌های با طول بلند توصیه می‌شود.

ب- طبقه‌بندی سوزن‌ها بر مبنای نحوه قرارگیری ریل‌های اصلی و زبانه:

۱- سوزن‌های برش خورده:

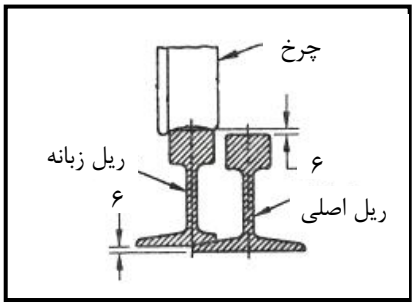
در این سوزن‌ها مطابق شکل (۸-۸) بخشی از پایه ریل اصلی بریده شده و ریل زبانه در همان ارتفاع در کنار ریل اصلی قرار می‌گیرد. عیب این سوزن‌ها، کاهش مقاومت به واسطه برش قسمتی از ریل اصلی است. این سوزن‌ها برای عرض خط باریک توصیه می‌شوند.



شکل ۸-۸- سوزن‌های برش خورده

۲- سوزن‌های سوار شده:

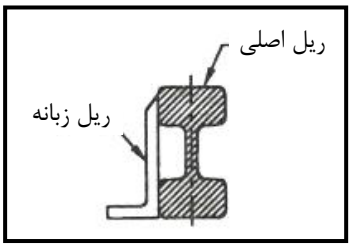
در این سوزن‌ها مطابق شکل (۸-۹)، ریل اصلی بدون برش باقی مانده و ریل زبانه برروی ریل اصلی سوار می‌شود. به طوری که اختلاف ارتفاع ۶ میلی‌متر نسبت به یکدیگر پیدا می‌کنند. در این سوزن‌ها، استفاده از درزبند برای اتصال پاشنه ریل‌ها ضروری است. در این سوزن‌ها ریل زبانه به خوبی بر روی ریل اصلی پشتیبانی شده و امکان اشتباه در قرارگیری چرخ بر روی ریل اصلی به علت اختلاف ارتفاع دو ریل، وجود نخواهد داشت. این سوزن‌ها برای عرض خط معمولی تا زیاد توصیه می‌شوند.



شکل ۸-۹- سوزن‌های سوار شده

۳- سوزن‌های برش مستقیم:

در این سوزن‌ها مطابق شکل (۸-۱۰)، ریل زبانه به صورت مستقیم بریده شده که منتج به افزایش ضخامت در ریل زبانه و در نتیجه افزایش مقاومت خواهد شد. این سوزن‌ها برای خطوط با عرض زیاد توصیه می‌شوند.



شکل ۸-۱۰- سوزن‌های برش مستقیم

۸-۳-۱-۴- نحوه جابجایی سوزن‌ها

سوزن‌های دو طرف به وسیله یک میله به هم متصل می‌شوند و این میله در سطحی پایین‌تر از تراورس‌ها قرار می‌گیرد. سوزن‌ها نباید تحت تاثیر ارتعاشات ناشی از عبور قطارها جابجا شوند که این نقش می بایست توسط ادوات مربوط به باز و بسته کردن آن‌ها ایفا شود. این ادوات دو نوع می‌باشند:

نوع اول: اتصال سوزن را با ریل پشت آن بدون اینکه موجب جلوگیری از حرکت سوزن طرف مقابل شود، تضمین می‌کند.

نوع دوم: ثابت بودن هر دو سوزن را با هم و به کمک قفل و بست تضمین می‌کند، به طوری که یکی از سوزن‌ها بسته و سوزن دیگر باز است. تنها این نوع دوم است که بی‌حرکتی مطلق سوزن‌ها را تامین می‌کند.

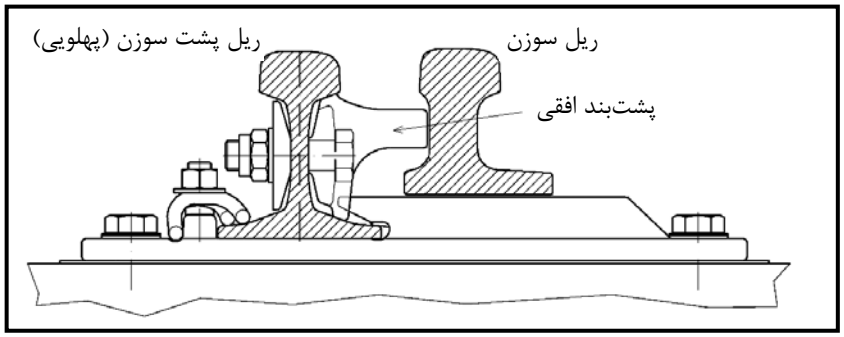
یک سوزن می‌تواند به صورت دستی و با اهرم یا اتوماتیک عمل کند. اهرم‌ها یا روی میله اتصال سوزن‌ها و یا روی هر یک از سوزن‌ها به طور مستقل می‌توانند عمل کنند. این سوزن‌ها بایستی توسط سوزن‌بان تغییر وضعیت داده و به وسیله وزنه‌ای سنگین در وضعیت خود نگه داشته شوند. عملکرد سوزن‌های اتوماتیک به وسیله فعال کننده‌های الکتریکی و با فرمان‌هایی که از صفحه کنترل الکتریکی توسط افراد مستقر در ایستگاه و مسئول ترافیک خط ارسال می‌شود، انجام می‌گردد.

۸-۳-۱-۵- نصب سوزن‌ها

مطابق رواداری‌های بند ۸-۹ نصب و تنظیم سوزن‌ها باید بسیار دقیق و با کم‌ترین خطا صورت گیرد تا از آسیب رسیدن به ریل و چرخ و نیز خارج شدن چرخ از خط جلوگیری به عمل آید. سوزن‌ها در کارخانه تولید شده و اجزای آن‌ها در همان جا مونتاژ می‌گردد و سپس در طول خط قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه وزن سوزن با همه ادوات آن بسیار بالا است، جهت جابجایی و نصب آن‌ها باید از جرثقیل و یا دستگاه‌های مخصوص این کار استفاده شود.

ریل‌های مجاور سوزن را نمی‌توان مستقیما روی تراورس‌ها نصب کرد، زیرا قسمتی از پایه داخلی آن‌ها برای تماس قارچ ریل زبانه با قارچ آن‌ها، بریده شده است. بنابراین باید آن‌ها را مطابق شکل (۸-۱۱) به کمک بالشچه‌های لغزشی

(صفحه سرسره[1]) روی تراورس نصب کرد. ابعاد این بالشچه‌ها به اندازه‌ای است که در زیر ریل زبانه نیز قرار می‌گیرند. وقتی سوزن و ریل پشت سوزن در تماسند، قسمت فوقانی آن‌ها در محدوده تماس به یکدیگر تکیه می‌کنند. در قسمت‌های دیگر پشت بندهای افقی مانع تغییر شکل ریل سوزن تحت تاثیر نیروهای وارده می‌شوند. نصب این پشت بندها روی جان ریل پشت سوزن، به وسیله پیچ‌هایی که در عین حال این ریل را روی بالشچه نصب می‌کنند، صورت می‌گیرد.



شکل ۸-۱۱- بالشچه لغزشی

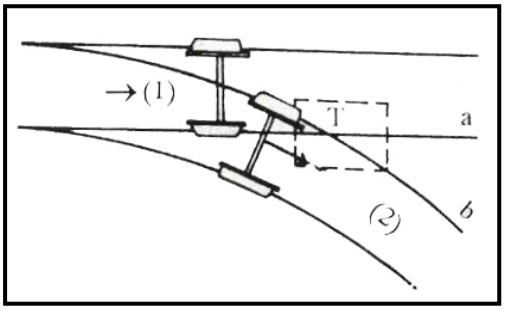
در نصب سوزن‌ها پایداری و زهکشی مناسب زیرسازه سوزن باید رعایت شود، چرا که در صورت وجود بستر ضعیف، بالاست نامناسب و رطوبت اضافی ناشی از عدم زهکشی مناسب، سطح مطلوبی برای قرار گرفتن سوزن ایجاد نمی‌شود.

۸-۳-۲- قسمت تکه مرکزی

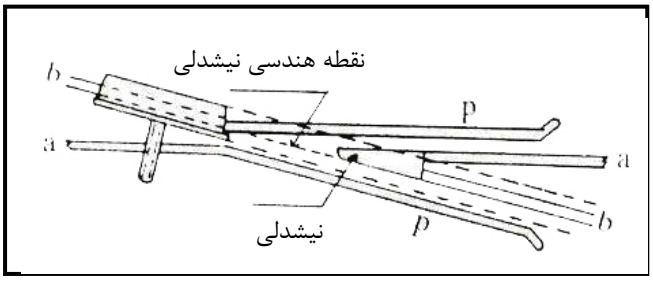
تکه مرکزی[2] قسمتی است که هنگام برخورد دو ریل با یکدیگر ایجاد شده و عبور وسایل نقلیه را در این حالت ممکن می‌سازد. محل این قسمت در شکل (۸-۱۲) مشخص شده است. وقتی محوری در امتداد (۱) حرکت می‌کند، برای اینکه لبه چرخ واقع روی ریل a بتواند از نقطه T بگذرد، باید ریل b در این نقطه قطع شده باشد. به همین ترتیب برای امکان حرکت در امتداد (۲)، باید ریل a در نقطه T بریده شود. نقطه تقاطع ریل‌های a و b را نیش‌دلی می‌گویند.

برای اجتناب از این که در اثر حرکت عرضی ناگهانی، چرخ از روی یک ریل به ریل دیگر منتقل شود، باید در حوالی نقطه T، چرخ‌ها را به وسیله دو قطعه ریل p مطابق شکل (۸-۱۳) هدایت کرد که به آن‌ها بال می‌گویند.

1- Slide Chair
2- Frog



شکل ۸-۱۲- محل تکه مرکزی در انشعاب



شکل ۸-۱۳- ریل‌های بال در محل تکه مرکزی

در طراحی، نصب و نگهداری تکه مرکزی باید موارد ذیل در نظر گرفته شوند:

- تکه مرکزی باید کاملا صلب باشد تا بتواند در برابر ارتعاشات ناشی از عبور وسایل نقلیه ریلی پایدار مانده و سست شدن اجزا در آن روی ندهد. این کار باید با استفاده از یک صفحه تخت که تمام اجزا تکه مرکزی بر روی آن نصب شده‌اند، صورت گیرد.
- میزان سایش بخش‌های مختلف تکه مرکزی، به خصوص نوک نیش‌دلی که در معرض برخورد مستقیم با چرخ قرار دارد، باید کنترل شود. برای این منظور از فولادهای منگنزدار استفاده مطابق با UIC866-O می‌شود. رعایت این ترکیبات شمیایی و مقادیر مجاز فولاد مصرفی در تکه مرکزی طبق جدول (۸-۱) الزامی است.

جدول ۸-۱- درصد وزنی عناصر شیمیایی فولاد مصرفی در تکه مرکزی [۳]

کربن (c)	منگنز [۱] (Mn)	سیلیسیم (Si)	فسفر [۲] (P)	گوگرد (S)
۰/۹۵-۱/۳	۱۱/۵-۱۴	<۰/۶۵	≤۰/۰۴	≤۰/۰۳

۱- منگنز مصرفی باید بیش از ۱۰ برابر کربن باشد.

۲- مقدار حداکثر فسفر در صورتی که در مشخصات فنی خریدار تصریح شده باشد، می‌تواند تا مقدار ۰/۰۸ باشد.

۳- ساختار بلوری فولاد باید کاملا آستنیکی و عاری از هر گونه کاربید آزاد باشد.

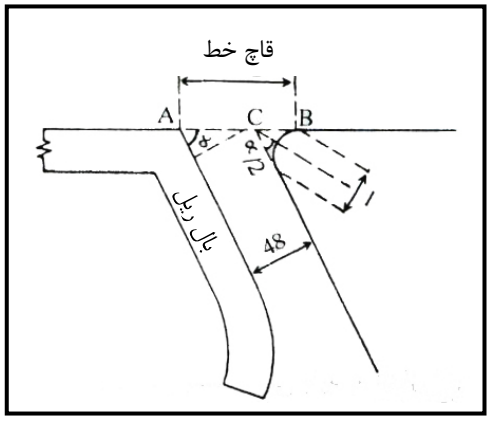
- برای جلوگیری از برخورد چرخ با نیش‌دلی، نیش‌دلی باید شیبی همراه با انحنا داشته باشد.
- ریل شاخک‌های تکه مرکزی‌های یک پارچه[1] با درجه سختی فولاد R260 می‌باشند و بایستی به روش جوش الکتریکی[2] به تکه مرکزی متصل شده باشند.
- در خطوط بار محوری سنگین[3] بایستی از تکه مرکزی‌های تقویت شده استفاده شود.
- انجام آزمایش‌های تکه مرکزی بایستی بر اساس UIC866-O انجام شود. به جز کنترل ابعادی، بررسی شکل ظاهری و آنالیز شمیایی و تست خمش و ضربه، قطعات ریخته‌گری شده باید به وسیله آزمایشات غیرمخرب نظیر تست رادیوگرافی، آلتراسونیک و مایع نافذ نیز بازرسی شوند.

۸-۳-۲-۱- انواع تکه مرکزی

تکه مرکزی و دو بخش کلی ثابت و متحرک تقسیم می‌شود. تکه مرکزی متحرک در خطوط پرسرعت مورد استفاده قرار می‌گیرد که خارج از محدوده این نشریه می‌باشد. انواع تکه مرکزی ثابت عبارتند از:

الف- تکه مرکزی با نیش‌دلی حاده

مطابق شکل (۸-۱۴) چنانچه زاویه α کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، تکه مرکزی را حاده می‌گویند. این شرایط برای انشعابات ساده که یک خط از خط دیگر جدا می‌شود، همواره وجود دارد.



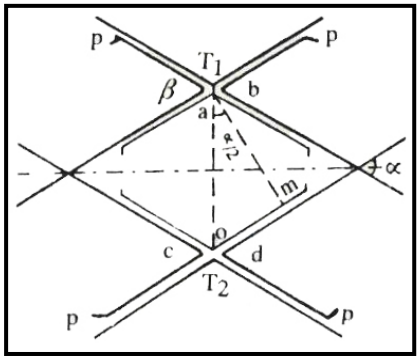
شکل ۸-۱۴- تکه مرکزی حاده

1- Mono block
2- Flash Butt Welding
3- Heavy Haul

ب- تکه مرکزی با نیش‌دلی منفرجه

این تکه مرکزی وقتی ایجاد می‌شود که ریل سمت چپ یک خط با ریل سمت راست خط دیگر و بالعکس همدیگر را با زاویه منفرجه قطع کنند. شکل (۱۵-۸) یک تکه مرکزی منفرجه را در نقاط T1 و T2 نشان می‌دهد. در این شکل ریل‌ها در نقاط a، b، c و d قطع شده‌اند تا لبه چرخ‌ها بتوانند از تقاطع عبور کنند. به منظور جلوگیری از برخورد چرخ ها با سر ریل‌های قطع شده و تقویت این ریل‌ها و همچنین برای هدایت بهتر چرخ‌ها، باید بال‌های p و پشت ریل‌های om باید در کنار این تکه مرکزی نصب شوند.

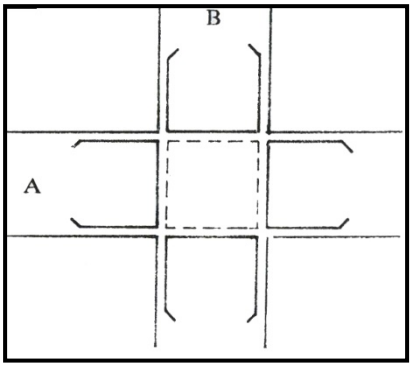
وقتی α کوچک‌تر از ۹ درجه باشد، تکه مرکزی خطرناک است و برای بی‌خطر کردن آن بایستی ارتفاع پشت ریلی را اضافه نموده تا لبه در طول بیش‌تری به پشت ریلی گیر کند.



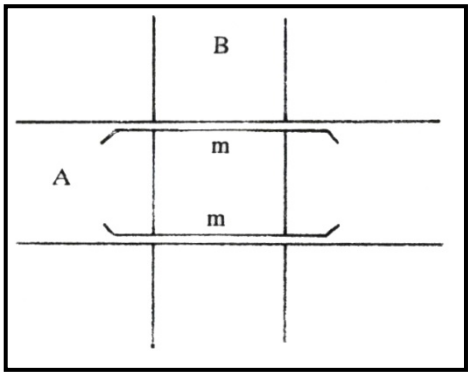
شکل ۸-۱۵- تکه مرکزی منفرجه

ج- تکه مرکزی با نیش‌دلی قائمه

این نوع تکه مرکزی نباید در خطوط درجه ۱ مورد استفاده قرار گیرند و فقط در ایستگاه‌ها و خطوط فرعی، استفاده از آن‌ها مجاز است. در این حالت شکاف خط خیلی کم‌تر از تکه مرکزی مایل است و شیب ریل در برابر قاچ خط قرار نمی‌گیرد. مطابق شکل (۸-۱۶) اگر ریل‌های A و B دارای یک درجه اهمیت باشند، ریل‌های هر دو خط را برای عبور لبه چرخ‌ها قطع می‌کنند و پشت ریلی‌ها را نصب می‌کنند. ولی اگر مطابق شکل (۸-۱۷) خط A اصلی باشد، ریل‌های A را قطع نمی‌کنند و برای اینکه لبه چرخ‌هایی که روی خط B حرکت می‌کنند، با ریل‌های A برخورد نکنند، ارتفاع ریل‌های B باید در حدود ۴۰ میلی‌متر بالاتر از ارتفاع ریل‌های A اختیار شود.



شکل ۸-۱۶- تکه مرکزی قائمه

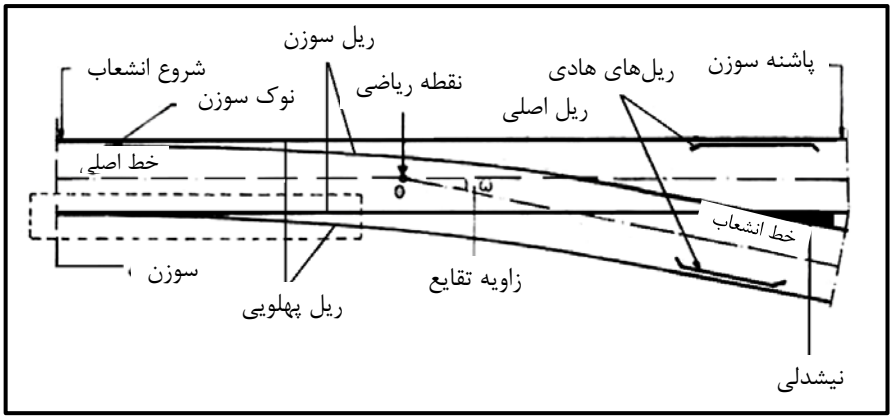


شکل ۸-۱۷- تکه مرکزی قائمه در حالتی که خط A اصلی است

۸-۴- انشعاب

اجزای یک انشعاب در شکل (۸-۱۸) نشان داده شده است. این بخش‌ها شامل مجموعه سوزن و تکه مرکزی است و ادواتی نیز به منظور هدایت صحیح چرخ در انشعاب مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین این ادوات ریل هادی است که درست در محل دماغه قرار می‌گیرد. کمی قبل از دماغه چرخ به شکاف تکه مرکزی می‌رسد و لازم است چرخ دیگر طوری هدایت شود که از حرکتهای کنترل نشده و نامنظم جلوگیری به عمل آید. برای انجام این کار باید ریل هادی[1] نصب شود. طول ریل هادی بین ۳ تا ۱۰ متر متغیر است. درجه سختی فولاد ریل هادی بایستی حداقل R260 مطابق EN13674 در نظر گرفته شود.

جهت نصب ریل هادی از پایه‌های نگهدارنده[2] مخصوص استفاده می‌شود. در خطوط با بار محوری سنگین بایستی از پایه‌های تقویت شده استفاده شود.



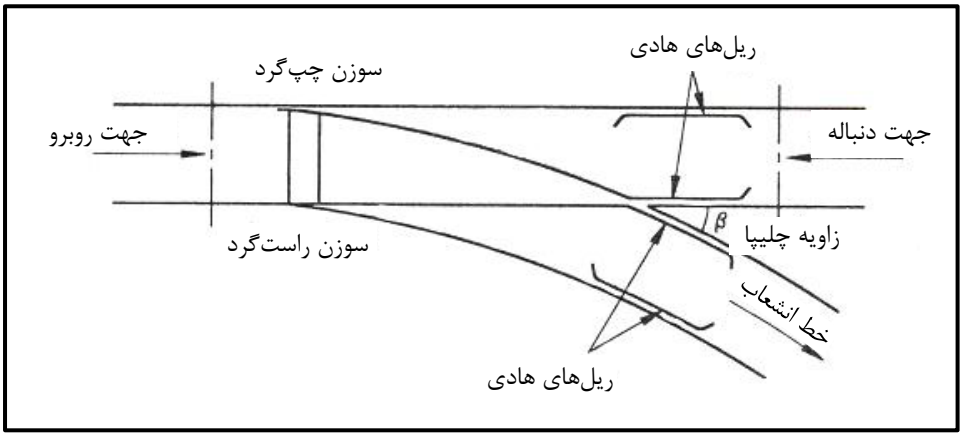
شکل ۸-۱۸- اجزای یک انشعاب

1- Check Rail (Guard Rail)
2- Check-Rail Support

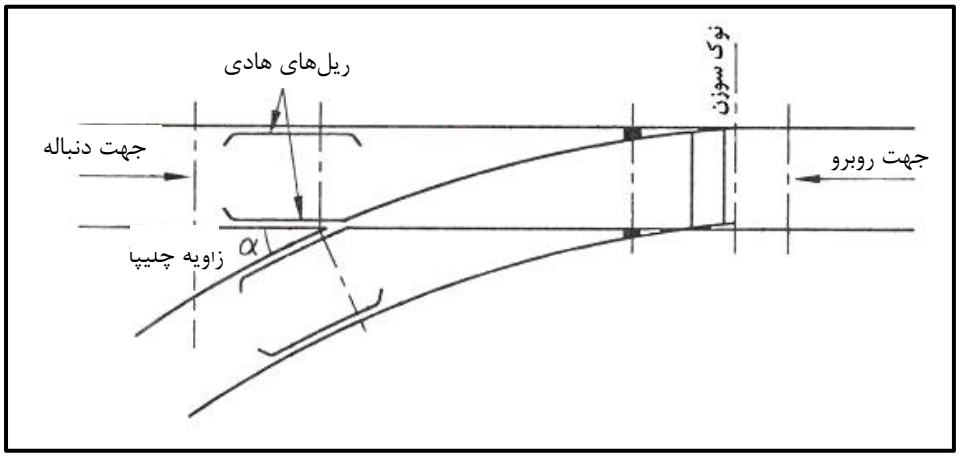
در انشعاب‌ها از اصطلاحاتی به قرار زیر استفاده می‌شود:

- جهت روبرو: به جهت حرکت از سمت سوزن به طرف تکه مرکزی اطلاق می‌شود.
- جهت دنباله: به جهت حرکت از سمت تکه مرکزی به طرف سوزن اطلاق می‌شود.
- چپ گرد و راست گرد بودن: اگر انشعاب، وسیله نقلیه ریلی را به ترتیب به سمت چپ یا راست مسیر اصلی منحرف کند، به آن انشعاب چپ گرد یا راست گرد گفته می‌شود.

اصطلاحات بالا در شکل‌های (۸-۱۹) و (۸-۲۰) نشان داده شده‌اند.



شکل ۸-۱۹- انشعاب راست گرد

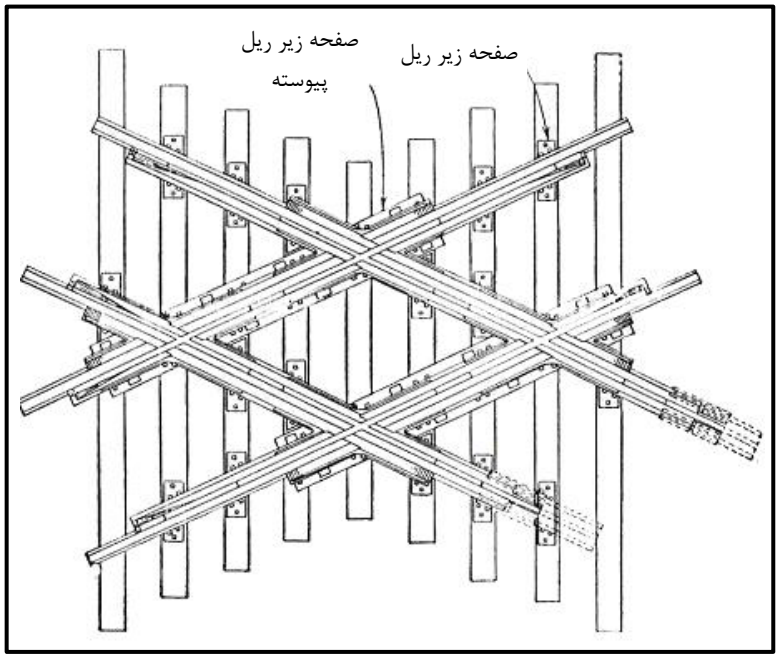


شکل ۸-۲۰- انشعاب چپ گرد

۸-۵- تقاطع

تقاطع از چهار تکه مرکزی و ادواتی تشکیل شده است که می‌بایست ایمنی لازم را در طی عبور چرخ‌ها از ریل‌های متقاطع تامین کنند. ایمنی هدایت به وسیله ریل‌های کناری تامین می‌گردد. مجموعه تقاطع برای یک جفت خط آهن باید در خارج از خط آهن به هم متصل شده و به وسیله جرثقیل در محل نصب شوند. قبل از نصب تقاطع در محل باید زیربنای نگهدارنده مستحکم باشد. پی‌ریزی نامناسب باعث ایجاد اتصالات نامناسب و فرسایش و خرابی بیش از حد

می‌شود. به منظور ایجاد این بستر مناسب باید از یک لایه سنگریزه به ضخامت حداقل ۶۰ سانتی‌متر در زیر تقاطع‌ها استفاده کرد. نحوه قرارگیری تراورس‌ها و صفحات زیر ریل در شکل (۸-۲۱) نشان داده شده است.

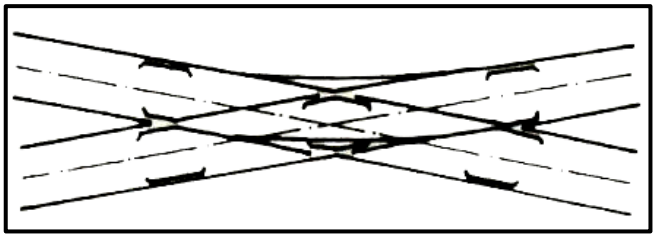


شکل ۸-۲۱- نحوه قرار گیری تراورس‌ها و صفحات زیر ریل در محل تقاطع

۸-۶- چلیپا (تقاطع- انشعاب)

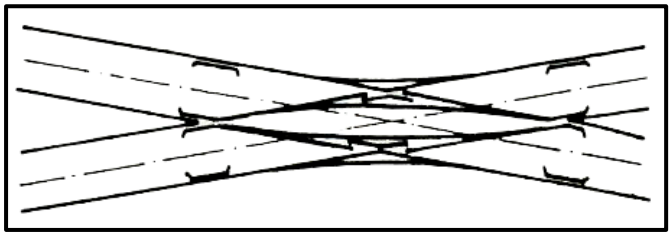
چلیپا وظایف انشعاب و تقاطع را با هم ترکیب می‌کند. در طراحی، نصب و به کارگیری چلیپاها باید نکات بندهای (۸-۴) مربوط به انشعاب و (۸-۵) مربوط به تقاطع رعایت شوند. انواع چلیپاها به قرار زیرند:

۱- **چلیپای ساده:** که در آن دو خط یکدیگر را قطع کرده و مسیر آن‌ها فقط از یک خط به خط دیگر و در یک جهت قابل تغییر است، (شکل ۸-۲۲).



شکل ۸-۲۲- چلیپای ساده

۲- **چلیپای مضاعف:** که در آن دو خط یکدیگر را قطع کرده و مسیر آن‌ها می‌تواند از یک خط به خط دیگر و در هر دو جهت تغییر کند، (شکل ۸-۲۳).

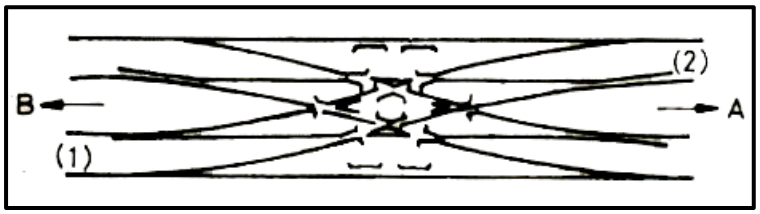


شکل ۸-۲۳- چلیپای مضاعف

۳- **تغییر خط ساده بین دو خط موازی:** این چلیپا که کراس اور ساده[1] نیز نامیده می‌شود، می‌تواند تغییر مسیری از (۱) به (۲) در جهت A یا از (۲) به (۱) در خلاف جهت A داشته باشد، (شکل ۸-۲۴).

شکل ۸-۲۴- تغییر خط ساده بین دو خط موازی

۴- **تغییر خط مضاعف بین دو خط موازی (قیچی):** این چلیپا که کراس اور دوبل[2] یا کراس اور قیچی[3] نیز گفته می‌شود می‌تواند تغییر مسیری از (۱) به (۲) یا بالعکس در هر دو جهت A یا B داشته باشد. (شکل ۸-۲۵)

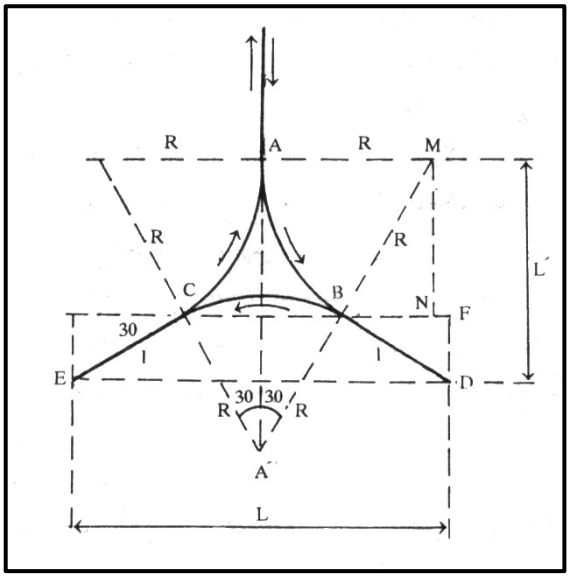


شکل ۸-۲۵- تغییر خط مضاعف بین دو خط موازی (قیچی)

۸-۷- دستگاه‌های مخصوص سروته کردن لکوموتیو

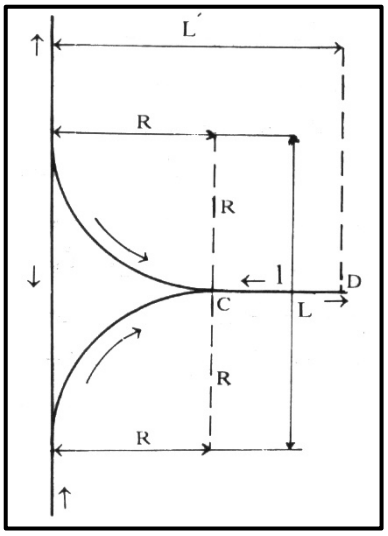
۱- **مثلث با اضلاع منحنی:** این مثلث شامل سه دوراهه A، B و C دو قطعه خط بن بست BD و CE می‌باشد، شکل (۸-۲۶). روی قطعه DBCE لکوموتیو باید حرکت به عقب انجام دهد و در نتیجه باعث اتلاف وقت می‌شود. مساحت زمین لازم برای احداث چنین مثلثی زیاد است. این مثلث در کنار ایستگاه‌ها و در محل مناسبی احداث می‌شود.

1- Single Crossover
2- Double Crossover
3- Scissors Crossover



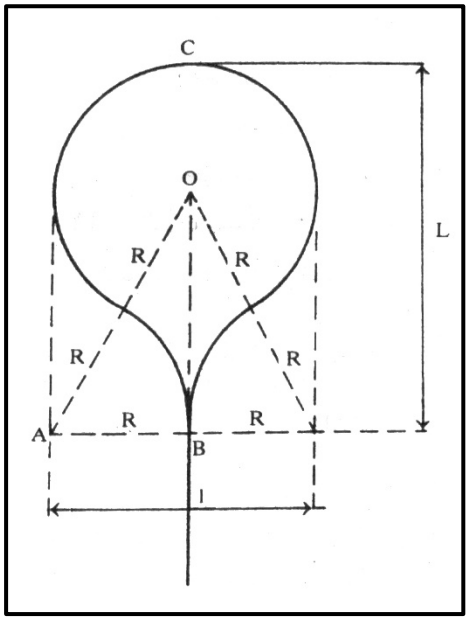
شکل ۸-۲۶- مثلث با اضلاع منحنی

۲- **مثلث مختلط:** دو ضلع این مثلث منحنی و ضلع سوم آن مستقیم است، شکل (۸-۲۷).



شکل ۸-۲۷- مثلث مختلط

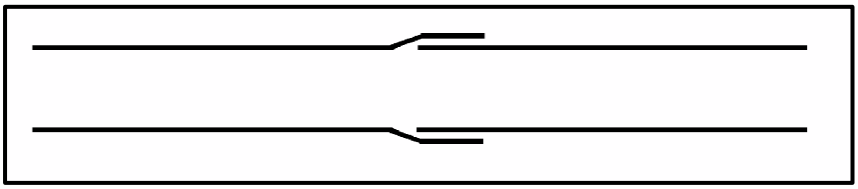
۳- **چوگان:** در این روش مطابق شکل (۸-۲۸) حرکت رو به عقب لکوموتیو که باعث کندی می‌شود، وجود نـدارد. ضمنا می‌توان در صورت لزوم قطار را هم سروته کرد. سوزن‌های دو راهه همیشه یک جهت را باز نگه داشـته و به سوزنبان و یا دستگاه خودکار خاصی نیاز نیست. این دستگاه نیاز به زمین زیاد دارد. اگر این زمین در حوالی ایستگاه‌های پایانه‌ای موجود باشد و بتوان از قسمت وسط آن استفاده مطلوب نظیـر ایجـاد کارگـاه، تعمیرگـاه، انبار و غیره کرد، استفاده از چوگان توصیه می‌شود. ولی در ایسـتگاه‌هـای بـزرگ اسـتفاده از پـل دوار توصـیه می‌شود.



شکل ۸-۲۸- چوگان

۸-۸- درز انبساط ریل[1]

دستگاهی که امکان حرکت طولی دو ریل در امتداد یکدیگر را فراهم می‌کند. از درز انبساط ریل در پل‌ها، تونل‌ها و محل اتصال روسازی غیربالاستی به بالاستی استفاده می‌شود. در انتخاب نوع درز انبساط ضوابط استاندارد EN13232-8 بایستی رعایت شود.



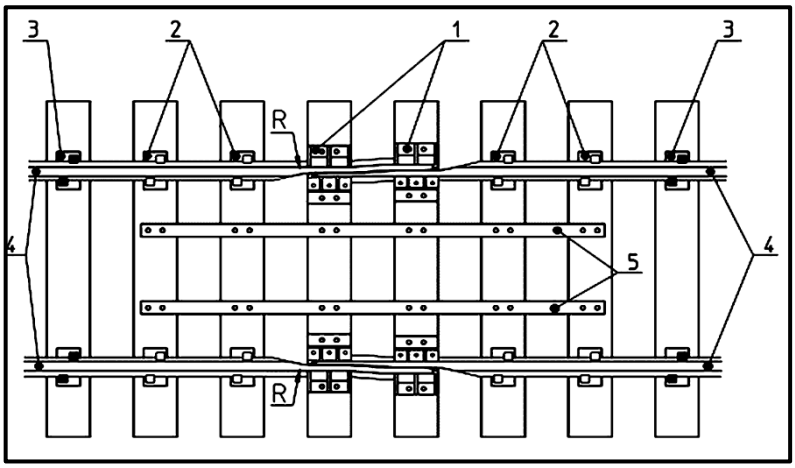
شکل ۸-۲۹- درز انبساط ریل

دو نوع اصلی درز انبساط با قطع لبه ریل[2] (مدل سرنیزه‌ای[3]) و بدون قطع لبه ریل ساخته می‌شوند.

انواع درز انبساط ریل با قطع لبه ریل در شکل‌های (۸-۳۰) تا (۸-۳۳) و بدون قطع لبه ریل در شکل‌های (۸-۳۴) تا (۸-۳۶) نمایش داده شده است که عبارتند از:

1 -Adjustment Switch (Expansion Joint)
2- Running Edge
3- Bayonet Type

- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (هر دو طرف متحرک)
- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (یک طرف متحرک)
- درز انبساط ریل با ریل هادی (هر دو طرف متحرک)
- درز انبساط ریل با ریل هادی (یک طرف متحرک)
- درز انبساط ریل با ریل پهلویی متحرک
- درز انبساط ریل با ریل زبانه متحرک



۱- صفحه سرسره [1]

۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم

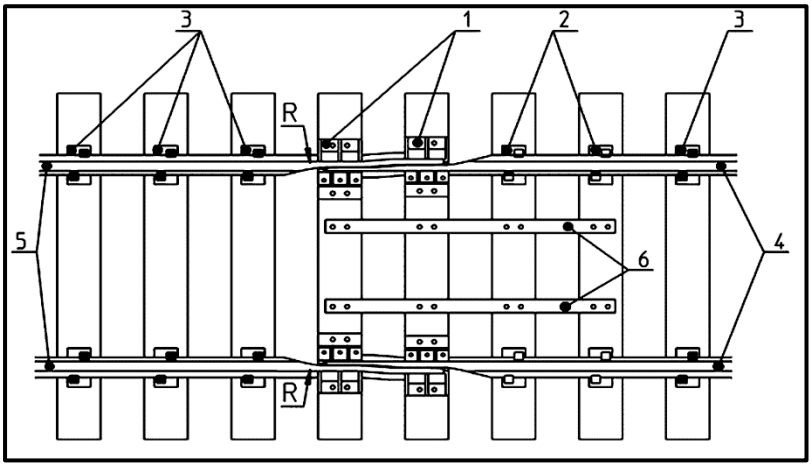
۳-سیستم پابند استاندارد

۴-ریل‌های متحرک

۵-تسمه‌های اتصال[2]

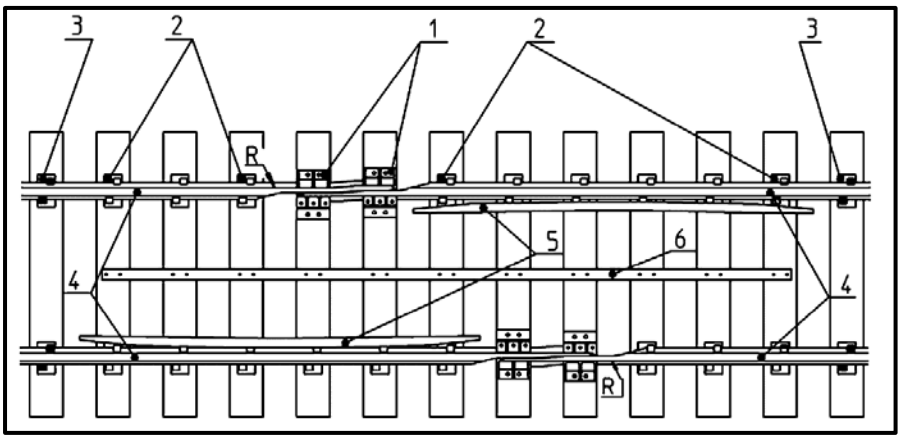
شکل ۸-۳۰- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (هر دو طرف متحرک)

1- Slide Chair
2- Bearer Straps



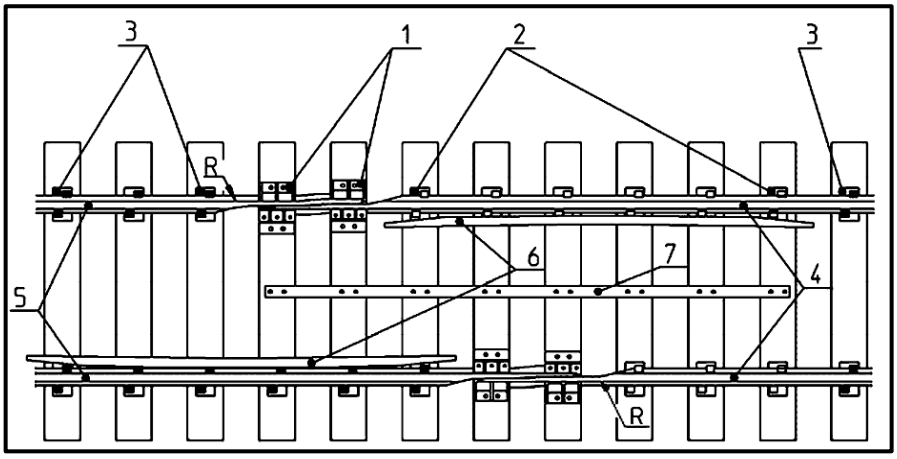
۱-صفحه سرسره
۲-سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳-سیستم پابند استاندارد
۴-ریل‌های متحرک
۵-ریل‌های ثابت
۶-تسمه‌های اتصال

شکل ۸-۳۱- درز انبساط ریل بدون ریل هادی (یک طرف متحرک)



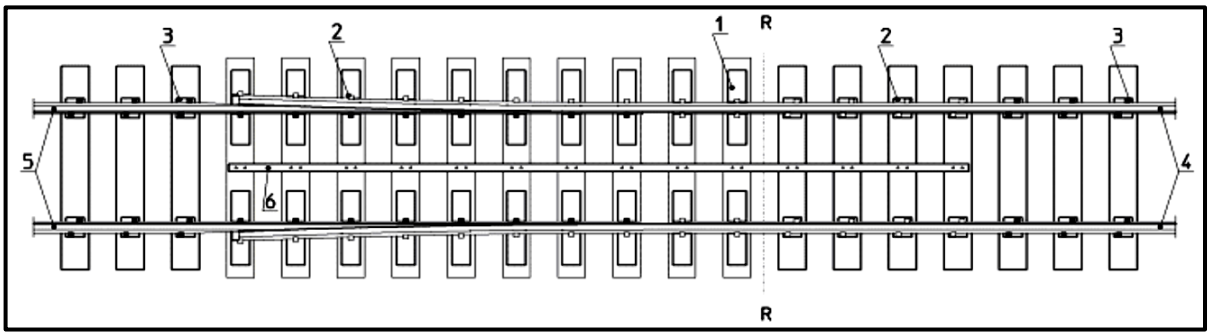
۱- صفحه سرسره
۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳- سیستم پابند استاندارد
۴- ریل‌های متحرک
۵- ریل‌های هادی
۶- تسمه‌های اتصال

شکل ۸-۳۲- درز انبساط ریل با ریل هادی (هر دو طرف متحرک)



۱- صفحه سرسره
۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳- سیستم پابند استاندارد
۴- ریل‌های متحرک
۵- ریل‌های ثابت
۶- ریل‌های هادی
۷- تسمه‌های اتصال

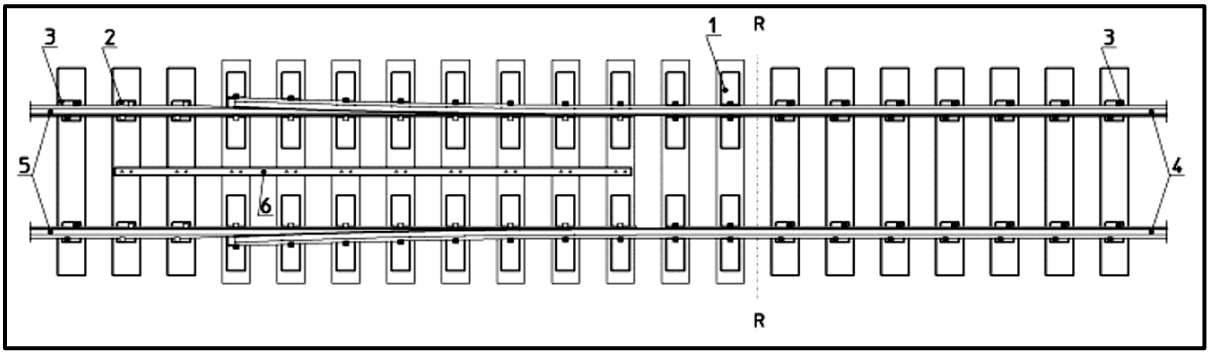
شکل ۸-۳۳- درز انبساط ریل با ریل هادی (یک طرف متحرک)



۱- صفحه سرسره
۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳- سیستم پابند استاندارد
۴- ریل‌های پهلویی متحرک[1]
۵- ریل‌های زبانه ثابت[2]
۶- تسمه اتصال

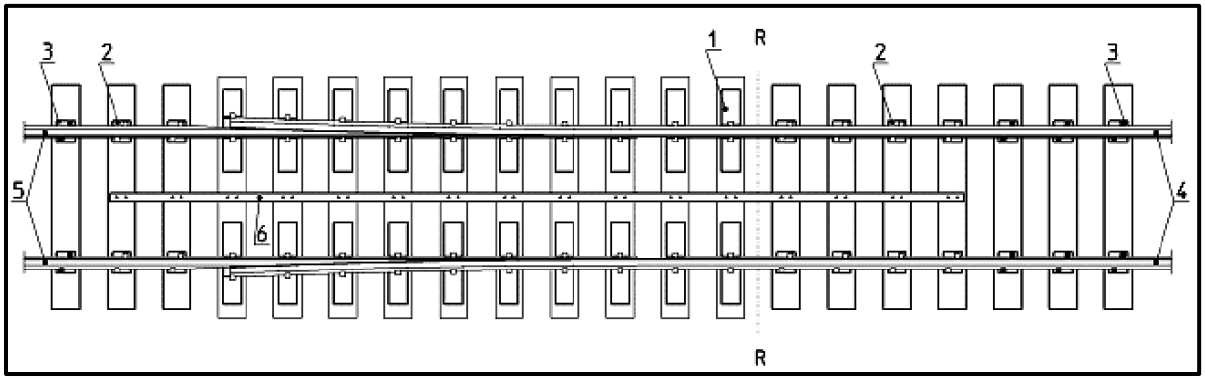
شکل ۸-۳۴- درز انبساط ریل با ریل پهلویی متحرک

1- Moveable Stock Rails
2- Fixed Switch Rails



۱- صفحه سرسره
۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳- سیستم پابند استاندارد
۴- ریل‌های پهلویی ثابت[1]
۵- ریل‌های زبانه متحرک[2]
۶- تسمه اتصال

شکل ۸-۳۵- درز انبساط ریل با ریل زبانه متحرک



۱- صفحه سرسره
۲- سیستم پابند با مقاومت طولی کم
۳- سیستم پابند استاندارد
۴- ریل‌های پهلویی متحرک
۵- ریل‌های زبانه متحرک
۶- تسمه اتصال

شکل ۸-۳۶- درز انبساط ریل دو طرف متحرک

1- Fixed Stock Rails
2- Moveable Switch Rails

۸-۹- رواداری‌های ابعادی ساخت دستگاه خطوط

رواداری‌های ابعادی ساخت دستگاه خطوط بر طبق EN13231-1 و UIC866-O بایستی در ساخت و تحویل‌گیری رعایت شود. این رواداری‌ها تمامی بخش‌ها را پوشش نداده و لازم است کلیه قطعات دستگاه خطوط بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر ساخته و تحویل شود.

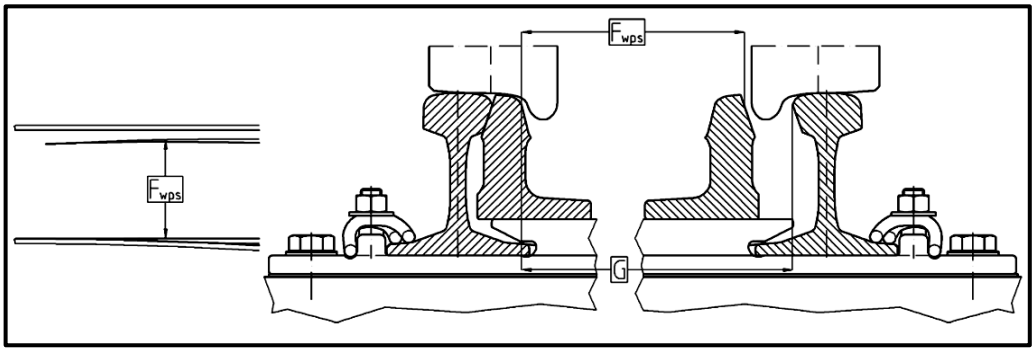
رواداری مجاز فاصله دو تراورس متوالی در دستگاه خطوط حداکثر ۱۰ میلی‌متر است.

رواداری‌های تکه مرکزی‌های ریخته‌گری شده به شرح جدول (۸-۲) است.

جدول ۸-۲- رواداری‌های تکه مرکزی‌های ریخته‌گری شده

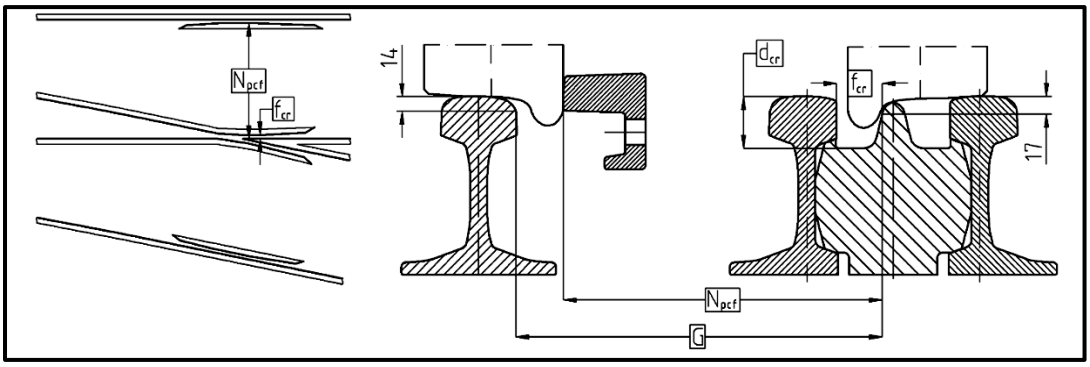
شرح	رواداری
طول	۵ mm
ارتفاع	۳ mm
عرض کف	۲ mm
مسیرهای عبور چرخ	۱ mm
صافی سطح	۱ mm
ارتفاع تاج ریل شاخک‌های انتهایی	۱ mm
ارتفاع محل قرار گرفتن اتصالی	۱ mm
لبه داخلی تماس چرخ و ریل	۱ mm
لبه بیرونی ریل شاخک‌های انتهایی	۲ mm
ضخامت جان ریل شاخک‌های انتهایی	۲ mm
قطر و محل سوراخ‌های پیچ اتصالی	۱ mm

رواداری محل عبور آزاد چرخ در قسمت سوزن که با Fwps در شکل (۸-۳۷) مشخص شده نسبت به نقشه حداکثر ۳+ mm است. پارامتر G عرض خط می‌باشد.

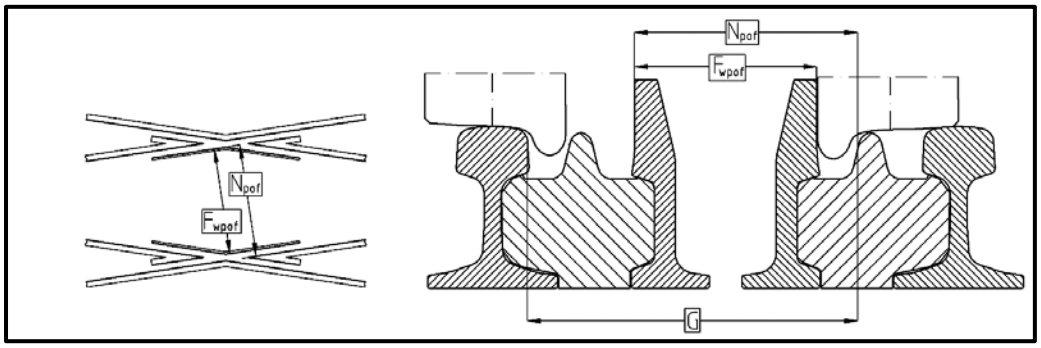


شکل ۸-۳۷- اندازه‌گیری محل عبور آزاد چرخ در قسمت سوزن

جهت حفاظت دماغه نیش‌دلی در تکه مرکزی ثابت انشعاب و نیز تقاطع منفرجه، رواداری فواصل لبه تکه مرکزی تا لبه ریل هادی[1] و ریل بالی شکل[2] نگهدارنده چرخ مقابل که با N_{pcf} و N_{pof} که در شکل‌های (۸-۳۸) و (۸-۳۹) مشخص شده است بایستی برابر ۲± mm و رواداری عمق شیار عبور لبه چرخ[3] d_{cr} حداکثر ۳– mm مطابق شکل (۸-۳۸) در نظر گرفته شود. عرض شیار عبور لبه چرخ[4] f_{cr} است.



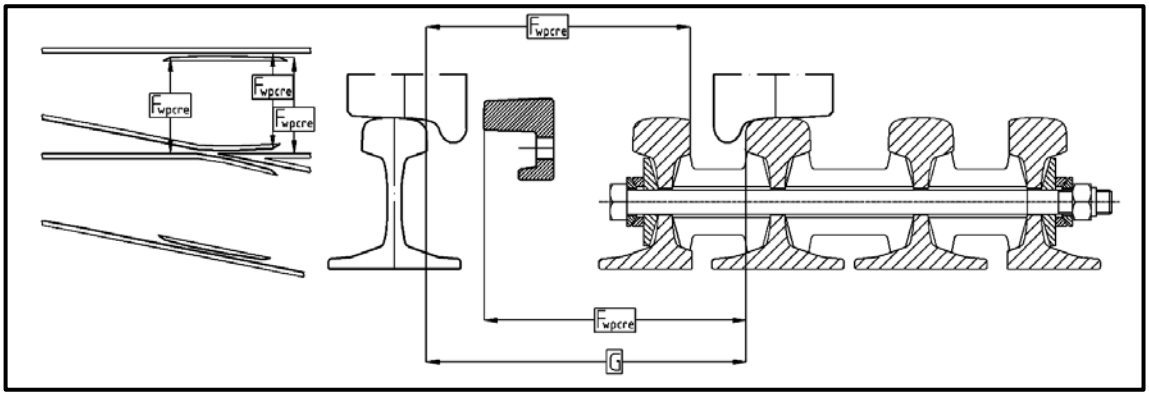
شکل ۸-۳۸- اندازه‌گیری فاصله حفاظت دماغه نیش‌دلی در تکه مرکزی انشعاب



شکل ۸-۳۹- اندازه‌گیری فاصله حفاظت دماغه در تکه مرکزی تقاطع

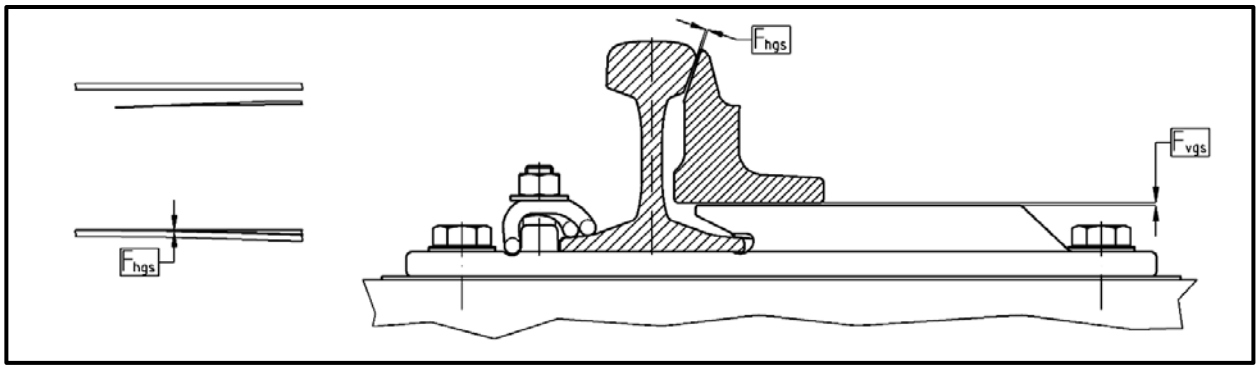
میزان رواداری محل ورود چرخ به تکه مرکزی در ریل هادی و ریل بال F_{wpcre} که در شکل (۸-۴۰) مشخص شده است حداکثر تا ۴mm+ می‌باشد.

1- Guard Rail
2- Wing Rail
3- Flangeway depth
4- Flangeway width



شکل ۸-۴۰- اندازه‌گیری فاصله محل ورود چرخ به تکه مرکزی در ریل هادی و ریل بال

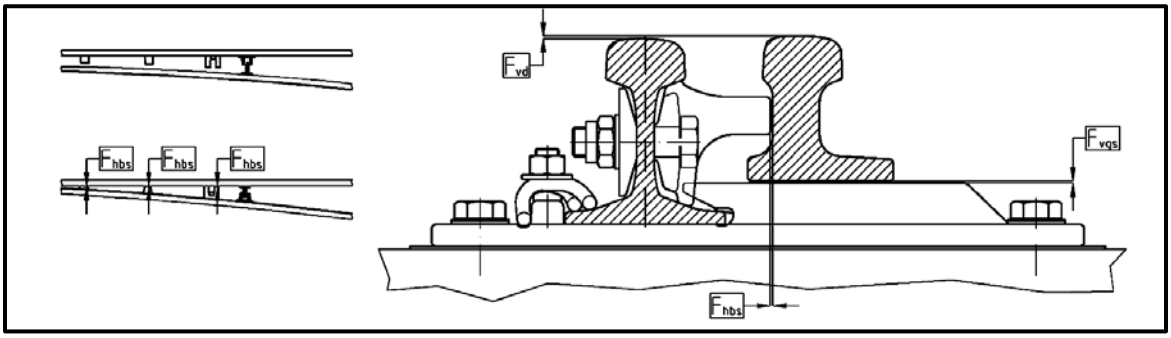
فاصله قائم مابین صفحه سرسره[1] تا زیر ریل زبانه F_{vgs} و فاصله افقی لبه زبانه تا ریل پهلویی F_{hgs} نبایستی بیش‌تر از mm ۱+ شود.



شکل ۸-۴۱- اندازه‌گیری چسبیدگی زبانه به ریل پهلویی و صفحه سرسره

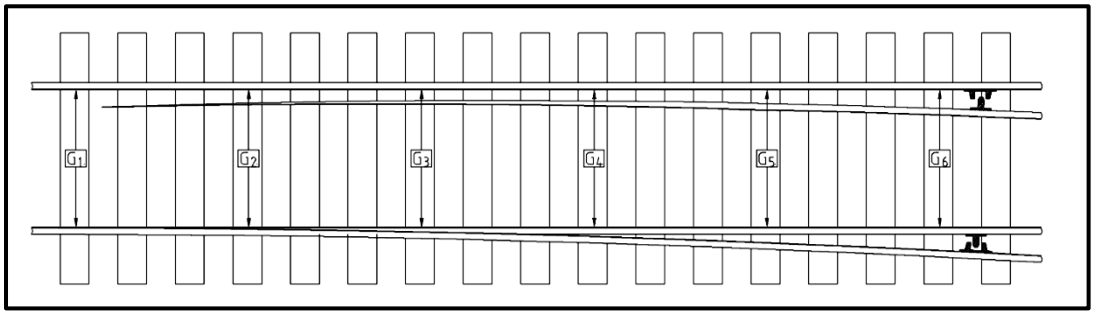
مطابق شکل (۸-۴۲) فاصله افقی مابین زبانه تا پشت بندهای افقی[2] آن F_{hbs} در حالت چسبیده نباید بیش‌تر از mm ۱+ باشد. همچنین مقدار بلندشدگی زبانه از روی صفحه سرسره F_{vgs} نیز نبایستی بیش‌تر از mm ۱ شود. فاصله قائم روی ریل زبانه تا روی ریل پهلویی F_{vd} حدکثر تا mm ۱ مجاز می‌باشد.

1- Sliding Chair
2- Distance Block (Stud)



شکل ۸-۴۲- اندازه‌گیری چسبیدگی ریل سوزن به پشت بندهای افقی و صفحه سرسره و تراز آن با ریل پهلویی

رواداری انحراف عرض خط در حد فاصل هر ۳ تراورس (G_n-G_{n+1}) حداکثر ۳ mm است. این مقدار پس از عملیات تعمیر انشعاب تا ۴ mm مجاز است شکل (۸-۴۳).

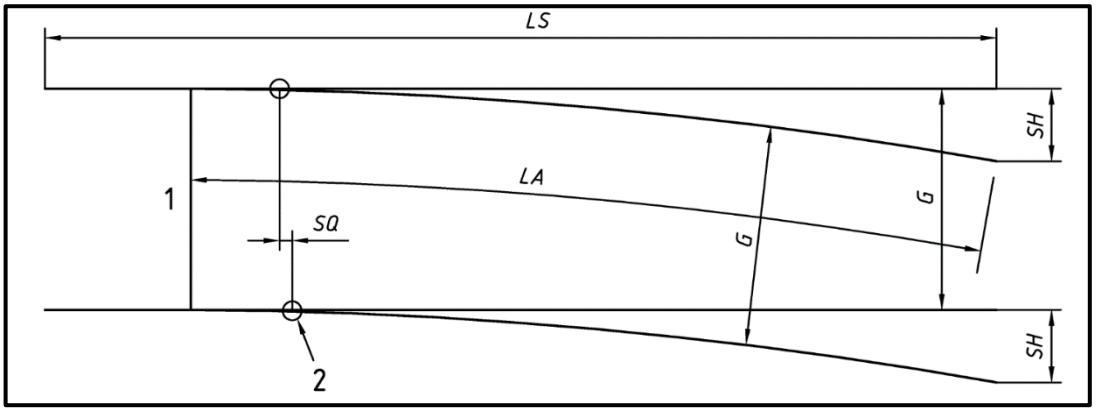


شکل ۸-۴۳- انحراف عرض خط در انشعاب

رواداری‌های پذیرش ابعاد ضروری یک انشعاب بر طبق EN13232-5 به شرح جدول (۸-۳) است. دمای محیط جهت اندازه‌گیری ابعاد انشعاب مطابق با دمای تولید درکارخانه سازنده انشعاب باشد.

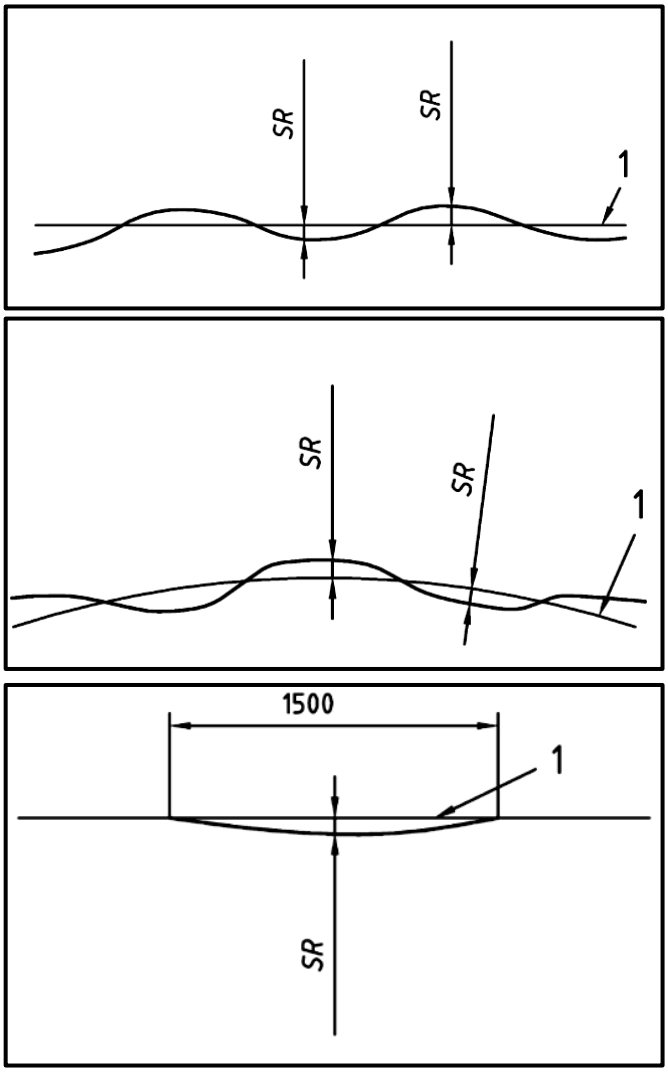
جدول ۸-۳- رواداری‌های ساخت و پذیرش ابعاد قطعات در انشعاب

پارامتر	شرح	رواداری
LS	طول ریل پهلویی (شکل ۸-۴۴)	± ۳ mm (برای طول تا ۲۴ متر) ± ۴ mm (برای طول بیش از ۲۴ متر)
LA	طول ریل سوزن (شکل ۸-۴۴)	± ۳ mm (برای طول تا ۲۴ متر) ± ۴ mm (برای طول بیش از ۲۴ متر)
SH	فاصله ریل پهلویی و ریل سوزن در انتهای قسمت سوزن (شکل ۸-۴۴)	± ۲ mm
G	عرض خط (شکل ۸-۴۴) تغییر عرض خط در کلیه نقاط طول سوزن نسبت به یکدیگر نبایستی بیش از ۳ mm شود.	± ۲ mm
SQ	عدم هم راستایی (گونیا نبودن) سوزن	± ۲ mm
SR	صاف بودن سطوح غلتشی ریل (شکل۷-۴۵)	± ۱ mm ۰/۵ mm در طول وتر ۱۵۰۰ mm
-	قطر سوراخ‌های نصب صفحه اتصالی	+۱ /- ۰/۵ mm
-	موقعیت عمودی سوراخ‌های نصب صفحه اتصالی	± ۱ mm
-	موقعیت افقی سوراخ‌های نصب صفحه اتصالی	± ۱/۵ mm
-	پخ سوراخ‌های نصب صفحه اتصالی	۰/۵ mm حداقل



۱- نوک سوزن

شکل ۸-۴۴- اندازه‌گیری هندسی انشعاب



۱- سطح تئوری غلتشی چرخ بر روی ریل

شکل ۸-۴۵- ناهمواری سطح ریل مستقیم و قوس

۸-۱۰- حمل و انبار کردن قطعات دستگاه خطوط

به طور کلی حمل قطعات مطابق دستورالعمل سازنده انجام شود. جهت انبار کردن قطعات دستگاه خطوط لازم است موارد زیر رعایت شود. قطعاتی نظیر ماشین سوزن، تجهیزات متحرک، جعبه‌های چوبی محتوی قطعات کوچک، تجهیزات ایمنی و تراورس‌های چوبی در انبارهای مسقف قرار گیرند. قراردادن دیگر قطعات از قبیل ریل، ریل هادی، تکه مرکزی و تراورس‌های چوبی در انبارهای غیرمسقف بلامانع است.

برای انبار کردن تمامی قطعات با طول بیش‌تر از ۴ متر باید:

- تمامی قطعات بر روی سطوح صاف و خشک قرار بگیرد. این سطوح باید قادر به تحمل وزن‌های زیاد باشد.
- زیر قطعات چوب‌هایی با سطح مقطع ۸۰ ×۸۰ میلی‌متر و با فواصل منظم ۳ تا ۵ متر قرار گیرد.
- محل انبار حتی برای انبار کردن موقت نباید در معرض موارد زیر باشد:
  - محل تردد و عبور و مرور مکرر وسایل نقلیه اعم از لیفتراک و ...
  - مواد شیمیایی و مواد خورنده، رطوبت و ارتعاش

برای انبار کردن قطعات قسمت سوزن[1] سطح تراز و پایدار در نظر گرفته شود. قسمت سوزن با شعاع‌های مختلف می‌توانند بر روی هم (حداکثر تا ۵ عدد) قرار بگیرند در صورتی که توسط قطعات چوبی که دقیقا بر روی هم و در یک امتداد قرار گرفته‌اند از هم جدا شده باشند. ارتفاع انباشتن قطعات حداکثر تا ۲ متر باشد.

انبار کردن تکه مرکزی مشابه قطعات قسمت سوزن بوده و حداکثر ۳ تکه مرکزی می‌تواند بر روی تکه مرکزی اول قرار بگیرد. تکه مرکزی‌ها باید بر اساس تانژانت و نوع پروفیل تفکیک شده باشند. قطعات چوب مابین تکه مرکزی‌ها کامل بر روی هم و در یک امتداد قرار گیرند.

انبار کردن ریل‌ها تا حداکثر ۸ ردیف مجاز است. فاصله قطعات چوبی جدا کننده زیر ریل‌ها با ابعاد ۱۱ تا ۱۵ سانتی‌متر و حداکثر ۵ متر می‌باشد. انتهای آزاد ریل‌ها نبایستی بیش از ۲/۵ متر بدون تکیه‌گاه قرار گیرند. قطعات چوب بایستی به طور کامل بر روی هم و در یک امتداد باشند. لازم است فاصله کافی جهت عبور هوا وجود داشته باشد.

انبار کردن تراورس‌های چوبی و بتنی تفکیک شده بر اساس ابعاد حداکثر تا ۱ متر ارتفاع مجاز است. جهت امکان تردد و بارگیری تراورس‌های انبار شده مابین ردیف‌ها حداقل ۶۰ سانتی‌متر فاصله در نظر گرفته شود.

1- Switch Panel

انبار کردن قطعات فولادی در مکان‌های مسقف ارجحیت دارد. جعبه‌های چوبی به منظور جلوگیری از پوسیدگی باید در محیط‌هایی که مرطوب نیستند نگهداری شوند. به نشانه‌های موجود بر روی جعبه‌های چوبی و دیگر کالاهای بسته‌بندی شده نظیر علائم و نشانه‌های جدول (۸-۴) توجه شود.

جدول ۸-۴- علامت‌های موجود بر روی بسته‌بندی کالاها

نشانه	معنی و مفهوم
	محتویات جعبه شکستنی می‌باشد و موقع حمل احتیاط شود.
	جهت بلند کردن نباید از قلاب استفاده شود.
	هنگام بلند کردن کاملا به صورت عمودی برداشته شود.
	محتویات جعبه دور از آفتاب و گرما نگهداری شود.
	محتویات جعبه دور از آفتاب و تشعشعات نگهداری شود.
	محل بلند کردن با زنجیر را بر روی جعبه نشان می‌دهد.

منابع و مراجع

[1] Hay, W., (1982), Rail Road Engineering, John Wiley and Sons, USA.
[2] Esveld, (2003), “Modern railway track, Delft University of Technology Pub. Serv. ,Holland.
[3] Selig T. E., and Waters J. M., (1994), Track geotechnology and substructure management, University of Massachusetts, USA.
[4] Saxena S.C, and Arora S.P, (2001), a Text Book of Railway Engineering, Dhanpat Rai Publications (p) LTD, New Dehli.
[5] Munddrey, R. (2003), Railway Engineering, Dhanpat Rai Publications (p) LTD, New Dehli.
[6] Kerr, A. D., (2003), Fundamentals of Railway Track Engineering, Simmons-Boardman Books, Inc.
[7] AREMA (2004), Manual for Railway Engineering, Chapter 1, Roadway and Ballast
[8] AREMA (2004), Manual for Railway Engineering, Chapter 4, Rail
[9] AREMA (2004), Manual for Railway Engineering, Chapter 5, Tracks
[10] AREMA (2004), Manual for Railway Engineering, Chapter 30, Ties
[11] EN 13146-4 (2002) Railway Applications-Track-Test methods for fastening systems Part 4: Effect of repeated loading CEN/ TC256
[12] Final Working Draft of WG 17.CEN/ TC256/ SCI/ WG 17. Railway application- Track Fastening Systems: draft EN AAA.
[13] Profillidis, V., A. (1998), Railway Engineering, V., L. Pub Germany.
[14]- Railway applications / Track-concrete sleepers and bearers - part 1, EUROPEAN STANDARD-PrEN 13230-1, March 2000
[15] Sadeghi J., and Kohoutek R., (1995), “Analytical modeling of railway track system,” Rail Track Journal, No. 10.
[16] Sadeghi J., (1998), “Stress optimization of Concrete Sleepers,” Second International Conference on Stress Optimization, Saul, Korea.
[17] Sadeghi, J., (1999), “Investigation on Modeling of Railway track system, SCIENTIA IRANICA, International Journal of science and Technology, vol. 6, No.3&4.
[18] Sadeghi, J., (2003), “Investigation of stress analysis of railway track sleepers”, 6th International Conference on Civil Eng., IUT, Iran.
[19] Sadeghi, J., (2003), “Investigation of wheel and rail wear in Iranian railway lines”, 6th International Conference on Civil Eng., IUT, Iran.
[20] UIC Leaflets: “UIC 861-1 O (1969), Standard 54 kg/m rail profiles - Types UIC 54 and 54E”, “UIC 861-2 O (1989), Standard sections for point’s rails adapted to the UIC 54 and 60 kg/m rail sections”, “UIC 861-3 O (1969), Standard 60 kg/m rail profiles - Types UIC 60 and 60E”, “UIC 863 O (1981), Technical specification for the supply of non-treated track support (wooden sleepers for standard and broad-gauge track and crossing timbers)”, “UIC 864-1 O (1982), Technical specification for the supply of sleeper screws”, “UIC 865-1 (1983), Technical specification for the supply of steel sleepers”, “UIC 700 O (2004), Classification of lines - Resulting load limits for wagons”, “UIC 712 R (2002), Rail defects”, “UIC 714 R (1989), Classification of lines for the purpose of track maintenance”, “UIC 715-2 R (2003), Recommendations for management of rails”, “UIC 720 R (2005), Laying and Maintenance of CWR Track”, “UIC 721 R (2003), Recommendations for the use of rail steel grades”.

فهرست منابع در تجدید نظر اول

علاوه بر منابع ذکر شده قبلی سایر منابع مورد استفاده در تجدید نظر اول، به شرح زیر است.

[1] UIC 712 R (2002), Rail defects.
[2] UIC 721 R (2005), Recommendations for the use of rail steel grades
[3] UIC 713 R (2004), Design of Monoblock concrete sleepers.
[4] UIC 860 R (2008), Technical specification for the supply of rails.
[5] UIC 866 O (1985), Technical specification for the supply of cast manganese steel crossings for switch and crossing work.
[6] BS EN 1563 (2018), Founding-Spheroidal graphite cast irons.
[7] BS EN ISO 6507-1 (2018), Metallic materials- Vickers hardness test - Test method.
[8] BS EN 10025 2 (2019), Hot rolled products of structural steels - Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.
[9] DIN EN 10089 (2003), Hot rolled steels for quenched and tempered springs - Technical delivery conditions.
[10] EN 13230-1(2016) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers, General requirements.
[11] EN 13230-2 (2009) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers,
Prestressed Monoblock sleepers.
[12] EN 13230-3(2009) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers, Twin-block reinforced sleepers.
[13] EN 13230-4(2009) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers, Prestressed bearers. for switches and crossings.
[14] EN 13230-5 (2009) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers, Special elements.
[15] EN 13230-6 (2020) Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers, Design.
[16] BS EN 13231-1 (2013), Railway applications -Track - Acceptance of works - Works on ballasted track - Plain line, switches and crossings.
[17] EN 13232-1, (2013), Railway applications - Track - Switches and crossings- Definitions.
[18] EN 13232-4, (2005), Railway applications - Track - Switches and crossings- Requirements for Actuation, Locking and Detection.
[19] EN 13232-5, (2005), Railway applications - Track - Switches and crossings- Switches.
[20] EN 13232-6, (2005), Railway applications - Track - Switches and crossings- Fixed common and obtuse crossings.
[21] EN 13232-7, (2006), Railway applications - Track - Switches and crossings- Crossings with moveable parts.
[22] EN 13232-8, (2007), Railway applications - Track - Switches and crossings- Expansion devices.
[23] EN 13232-9, (2006), Railway applications - Track - Switches and crossings- Layouts.
[24] BS EN 13481-2+A1-2017, Railway applications - Track - Performance requirements for fastening systems.
[25] EN 13674-1 (2011), Railway applications - Track - Rail - Vignole railway rail 46 kg/m and above.
[26] EN 13674-2 (2010), Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway.
[27] DIN EN 14811 (2010-05) + A1 (2009), Railway applications - Track –Special purpose rail, Grooved and associated construction.

[28] DIN EN 15528 (2016) +A1 (2008), Railway applications - Line categories for managing the interface between load limits of vehicles and infrastructure.
[29] BS EN 16432-1 (2017), Railway applications - Ballastless track systems – General requirements.
[30] BS EN 16432-2 (2017), Railway applications - Ballastless track systems – System Design, Subsystems and Components.
[31] BS EN 16432-3 (2020), Railway applications - Ballastless track systems -Acceptance.
[32] DIN 17100 (1980), STEELS FOR GENERAL STRUCTURAL PURPOSES.
[33] DIN 17221 (1988), Hot rolled steels for springs suitable for quenching and tempering, technical delivery conditions.
[34] BS EN 20898-2 (1994), Mechanical properties of fasteners - Nuts with specified proof load values - Coarse thread.
[35] DIN 4150-3 (2016), Vibrations in buildings - Effects on structures.
[36] BS EN 50122-2 (2010), Railway applications - Fixed installations - Electrical safety, earthing and the return circuit - Provisions against the effects of stray currents caused by D.C. traction systems Current.
[37] AREMA (2012), Manual for Railway Engineering, Part 5, Engineered Composite Ties.
[38] Turnout TG 1/9-R300, Layout for Heavy Haul- Concrete Bearers, Vossloh Cogifer S.A., (2016).
[39] Rail Fastening System, Heavy Haul Component Description, Vossloh Cogifer S.A., (2017).
[40] Turnouts Technical specifications for 25T (Standard) and 30T (Heavy Haul), Vossloh Cogifer SA, (2016).
[41] Doyle N. F., (1980), Railway Track Design - A Review of Current Practice, BHP Melbourne Research Laboratories, Australia.
[42] Track Design Handbook for Light Rail Transit, TCRP, REPORT 155, (2012).
[43] FTA-Federal Transit Administration, Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual, (2018).
[44] Technical Specification for Manufacture and Supply of Rail Fastening System KS with SKL W12, No. E-01-0001.1, (2019).
[45] Zakeri, J. A., Kooban, F., (2010), “Variation of dynamic wheel-rail forces in high- speed trains”, Journal of Civil Engineering and Architecture, Volume 4, No.5, ISSN 1934-7359, USA.
[46] Esmaeili, M., Mosayebi, S. A., Kooban, F., (2014), “Effect of rail corrugation on the amount of train induced vibrations near a historic building”. Advances in Railway Engineering Journal, Vol.2, No.1.
[47] R. M. Koerner, Designing with geosynthetics. Xlibris Corporation, (2012)
[48] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, part 10,"Geosyntrthics", (2013).
[49] Holz, R. D., Barry R. Christopher, and Ryan R. Berg. Geosynthetic design and construction guidelines. No. FHWA HI-95-038. (1998).
[50] ASTM D4354-12, Standard Practice for Sampling of Geosynthetics and Rolled Erosion Control Products (RECPs) for Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2012).

[۵۱] نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه، (۱۴۰۰) " آیین نامه بتن ایران (آبا) تجدید نظر دوم".
[۵۲] نشریه شماره ۷۷۳ سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۹۸) " دستورالعمل ارزیابی کیفیت و مشخصات فنی عملیات اجرا شده".
[۵۳] نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه، "مشخصات فنی عمومی راه"،سازمان برنامه و بودجه ۱۳۹۲.

[۵۴] میر محمد صادقی جواد، خواجه دزفولی امین، مقدس‌نژاد فریدون، (۱۳۹۸) " اصول و مبانی تحلیل و طراحی روسازی دال خط راه آهن" انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۵۵] دستور العمل انبار کردن قطعات سوزن، کد سند۴۵□، شرکت گسترش صنایع ریلی ایران، (۱۳۹۳).

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Railway Track Super Structure General Technical Specifications [301]

Technical Committee

The main members of the research Committee

Morteza Esmaeili	Professor of Railway Engineering Department, Iran University of Science and Technology
Farhad Kooban	MSc. Railway Engineering
Maryam Saraei	MSc. Railway Engineering

The Cooperators

Mohammad Salageghe	MSc. Railway Engineering
Javid Shirkavand	BSc. Railway Engineering
Farhad Ahmadniya	MSc. Civil Engineering
Mehdi Moazemi Goudarzi	MSc. Railway Engineering
Maghsoud Bahlouli	BSc. Civil Engineering
Mohammad Farnam	Ph.D. of Civil Engineering
Masood Beigzadeh	BSc. Mechanical Engineering
Mohammad Monajemi	Project Manager of Construction & Development of Transportation Infrastructure Company
Shahriyar Homavandi	M.Sc. of Railway Engineering- The Railway of Islamic republic of Iran
Mohsen Amrollahi	M.Sc. of Railway Engineering- The Railway of Islamic republic of Iran

Steering Committee: (Plan and Budget Organization)

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Taher Fatollahi Marani	Head Group of Technical and Executive Affairs Departmen
Maryam Saraei	Expert Engineering of Technical and Executive Affairs Department

Abstract:

The changes of the new edition are adding specifications and manufacturing criteria as follows:

- The technical specifications of more applicable rails, sleepers, bearers, and fastening systems, as well as the specifications of ballast materials
- The criteria of turnout and crossing
- The specifications of ballastless tracks
- Sound and vibration criteria

Also, the criteria related to subway and heavy haul tracks have been added to this new edition.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Railway Track Super Structure General Technical Specifications

Code 301

(First Revision)

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs
Department of Technical & Executive Affairs,Consultants and Contractors
nezamfanni.ir

2022

این ضابطه

باعنوان «مشخصات فنی عمومی روسازی راه‌آهن» در هشت فصل مربوط به مشخصات فنی ریل، سیستم‌های پابند، انواع تراورس، مصالح بالاست، دال خط و دستگاه خطوط است. در تجدید نظر اول به منظور اصلاح و ارتقای سطح کیفی ضابطه قبلی تغییراتی را که شامل تکمیل ضوابط قبلی و نیز ضوابط مربوط به بار محوری سنگین، مشخصات فنی روسازی بدون بالاست و الزامات صدا و ارتعاش را در حوزه‌های راه‌آهن و خطوط قطار شهری و حومه اعمال شده است.