

## دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع السیر

نشریه شماره ۳۹۴

وزارت راه و ترابری  
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری  
پژوهشکده حمل و نقل  
<http://www.tri.rahiran.ir/>

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله  
<http://tec.mporg.ir/>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری  
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

شماره: ۱۰۰ / ۷۱۲۸۳	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۶/۵/۲۴	

موضوع:

دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع‌السیر

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۳۹۴ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، با عنوان «دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع‌السیر» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ارسال کنند.

امیر منصور برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با همکاری وزارت راه و ترابری و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

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

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

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

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

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید .

کارشناسان این دفتر 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، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷  
<http://tec.mporg.ir/>

## بسمه تعالی

### پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقاء کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام فنی و اجرایی کشور، مورد تأکید جدی قرار گرفته است.

براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، 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. در این راستا مقرر شده است، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری عهده‌دار این مهم باشد.

وجود یک شبکه حمل و نقل ریلی توانمند، یکی از نیازهای اساسی هر کشور در دستیابی به توسعه اقتصادی و اجتماعی است. امروزه کارآمدی حمل و نقل ریلی در هر کشور از معیارهای اصلی توسعه آن شناخته می‌شود. در این راستا قطارهای سریع السیر جزء فناوریهای پیشرفته محسوب شده و کشورها از آن به عنوان نماد توسعه یاد می‌کنند. نیاز به وجود قطارهای سریع السیر به عنوان یک وسیله ایمن و مؤثر در امر جابجایی مسافر، امری بسیار بدیهی است. برخورداری از سیستم حمل و نقل ریلی سریع السیر نیازمند وجود دانش فنی در تمام زمینه‌های مرتبط با آن است. تاکنون در کشور ضوابط مدونی برای طراحی و نگهداری خطوط راه‌آهن سریع تهیه نشده است و اغلب فعالیتها در این زمینه به روشهای سنتی و براساس تجربه و با استناد به ضوابط فنی مختلف بین‌المللی انجام می‌شود. با توجه به مفاد ماده ۲۸ قانون برنامه پنجساله چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور و تأکید آن بر احداث قطارهای سریع‌السیر بین مناطق جمعیتی و گردشگری با مرکز، لزوم تدوین ضوابط فنی طراحی، اجرا، نظارت و نگهداری این گونه خطوط بیش از پیش محسوس است. در این راستا تدوین ضوابط و معیارهای مورد نیاز این بخش، در برنامه کار قرار گرفت. این نشریه حاصل یکی از پروژه‌های مطالعاتی در این زمینه می‌باشد.

امید است با توجه به اهمیت موضوع، طراحان، دست اندرکاران، محققان و دانش‌پژوهان، از ارسال نظرات و پیشنهادهای اصلاحی دریغ نورزند تا از آنها در تجدید نظرهای بعدی استفاده شود.

در خاتمه از شرکت مهندسين مشاور توسعه راه آهن (مترا)، شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل کشور (معاونت ساخت و توسعه راه‌آهن)، اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن، مرکز تحقیقات راه‌آهن، دفتر مهندسی و نظارت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران و کلیه اساتید، مدیران،

مسئولین، کارشناسان و همکاران مشروح ذیل که با نظرات و راهنمایی‌های خود در تهیه و تدوین این مجموعه مشارکت داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند

- اعضای گروه تهیه کننده پیش نویس در مشاور ( به ترتیب حروف الفبا):

مهندس خسرو آذری	مهندس مهدی کالانتری
مهندس کاظم جدیدی	مهندس اسماعیل قهرمانی گرگری
مهندس روح الله ریاضی	مهندس میرابوطالب مجذوب
مهندس نفیسه طالبیان کرمانی	مهندس خسرو ناظمی
مهندس حسین عسگری	مهندس علیرضا وفادار
- اصلاحات اساسی و تکمیل نهایی:

دکتر جبارعلی ذاکری	دکتر مرتضی اسماعیلی
مهندس مسعود فتحعلی	مهندس وحیدعلی قارداشی
مهندس سعید امیری	مهندس حسین کوثری
- مدیریت پروژه در پژوهشکده حمل و نقل:

مهندس احمد منصوریان	رئیس بخش روسازی
دکتر غلامعلی شفا بخش	ناظر و مسئول پروژه
دکتر هاشم مهرآذین	ناظر پروژه
مهندس علی خلیلی	ناظر پروژه
- مدیریت نشریه در دفتر امور فنی ، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

مهندس بهناز پورسید	مدیر کل
مهندس علی تبار	معاون
مهندس میرمحمود ظفری	کارشناس
مهندس طاهر فتح‌اللهی	کارشناس

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

حبیب امین فر  
معاون امور فنی  
۱۳۸۶

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
(۴-۱)	<b>فصل اول: مبانی و تعاریف</b>
۱	۱-۱- مبانی
۱	۲-۱- تعاریف
(۱۶-۵)	<b>فصل دوم: ضوابط طرح هندسی (مسیر و ایستگاهها)</b>
۵	۱-۲- کلیات
۵	۲-۲- اجزاء ایستگاه ها
۵	۱-۲-۲- خطوط ایستگاه
۶	۲-۲-۲- سوزن (دو راهی)
۶	۱-۲-۲-۲- مشخصات هندسی سوزنها
۷	۲-۲-۲-۲- فاصله بین سوزن ها
۹	۳-۲-۲-۲- نقطه امان
۹	۳-۲-۲- ایستگاه های مسافری در پلان و نیمرخ طولی
۱۳	۳-۲-۲-۲- برابندی در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر
۱۵	۱-۳-۲- حداقل طول قوس های دایره ای
۱۵	۲-۳-۲- فاصله مستقیم بین قوس های متوالی
۱۵	۳-۳-۲- نیم رخ طولی مسیر
۱۶	۴-۳-۲- ایستگاه های مسافری در پلان و نیم رخ طولی
۱۶	۵-۳-۲- خم خط (قوس های قائم)
(۵۰-۱۷)	<b>فصل سوم: ضوابط زیرسازی</b>
۱۷	۱-۳- کلیات
۱۸	۲-۳- خاکریزها
۱۸	۱-۲-۳- کلیات
۱۸	۲-۲-۳- بخشهای مختلف خاکریز
۱۹	۱-۲-۲-۳- لایه زیربالاست
۲۰	۲-۲-۲-۳- لایه سابگرید
۲۰	۳-۲-۲-۳- بدنه باربر خاکریز
۲۰	۴-۲-۲-۳- بستر خاکریز
۲۱	۳-۲-۳- مصالح مورد استفاده
۲۳	۱-۳-۲-۳- مصالح زیربالاست
۲۴	۲-۳-۲-۳- مصالح لایه سابگرید
۲۴	۳-۳-۲-۳- مصالح خاکریز باربر
۲۵	۴-۲-۳- پایداری خاکریزها در مقابل لغزش

۲۵	انتخاب مقطع تیب خاکریزها از لحاظ پایداری
۲۶	بارگذاری و ترکیب بار به منظور بررسی پایداری
۲۷	روشهای تحلیل پایداری
۲۸	مقادیر پارامترهای خاک
۲۹	مقادیر ضرائب اطمینان در برابر لغزش
۲۹	نشست‌پذیری بستر خاکریز
۲۹	کلیات
۳۰	ضوابط محاسبه نشست خاکریزها
۳۲	حداکثر مقادیر نشست قابل تحمل
۳۳	پاسخ دینامیکی خاکریز در اندرکنش با روسازی
۳۳	کلیات
۳۵	مفهوم سرعت حدی
۳۵	معرفی روشهای بررسی دینامیکی بستر
۳۶	ضوابط طراحی دینامیکی خاکریزها
۳۷	تمهیدات خاص برای تأمین سرعت حدی در شرایط نامناسب
۳۹	خاکریزهای منتهی شونده به پلها
۴۰	ملاحظات مربوط به احداث خاکریزها
۴۴	رفتارسنجی خاکریزها
۴۴	خاکبرداری ها
۴۵	پایداری شیب ترانشه ها
۴۵	حالات تحلیل
۴۵	پارامترهای مربوط به خاک یا سنگ
۴۵	روشهای تحلیل
۴۶	مقادیر حداقل ضرائب اطمینان
۴۶	انتخاب شیب و طرح ترانشه‌برداری
۴۶	بررسی دینامیکی کف کوه بریدگی (ترانشه)
۴۷	ملاحظات مربوط به ایجاد ترانشه‌ها
۴۹	رواداری های مجاز اجرای عملیات زیرسازی

**(۵۱-۶۲)****فصل چهارم: ضوابط روسازی**

۵۱	کلیات
۵۱	ریل
۵۴	ریلهای جوش طولیل
۵۴	پابند
۵۴	مشخصات مکانیکی پابند
۵۴	نیروی وارد بر پاشنه
۵۵	سختی قائم فنر

۵۵	..... ۳-۱-۴-۴- مقاومت طولی
۵۵	..... ۴-۱-۴-۴- مقاومت پیچشی
۵۵	..... ۵-۱-۴-۴- سختی قائم
۵۵	..... ۶-۱-۴-۴- سختی عرضی
۵۶	..... ۵-۴- تراورس
۵۶	..... ۱-۵-۴- ضوابط طرح تراورس
۵۷	..... ۲-۵-۴- ضوابط مکانیکی مربوط به تراورس
۵۷	..... ۶-۴- بالاست
۵۸	..... ۱-۶-۴- مشخصات کیفی بالاست
۵۸	..... ۱-۱-۶-۴- مواد زائد
۵۸	..... ۲-۶-۴- وزن مخصوص و پوکی مصالح
۵۸	..... ۳-۶-۴- مقاومت در برابر عوامل یخبندان
۵۹	..... ۴-۶-۴- مقاومت در برابر سایش مطابق آزمایش لوس آنجلس
۵۹	..... ۵-۶-۴- مقاومت در برابر سایش میکرودوال
۵۹	..... ۶-۶-۴- تست سلامت مصالح
۵۹	..... ۷-۶-۴- مقاومت فشاری خشک و اشباع شده مصالح سنگی
۶۰	..... ۸-۶-۴- مشخصات سنگ مورد مصرف
۶۱	..... ۹-۶-۴- دانه بندی بالاست
۶۱	..... ۱۰-۶-۴- آزمایشهای مربوط به پذیرش
<b>فصل پنجم: ضوابط اجرای روسازی</b>	
<b>(۶۳-۷۴)</b>	
۶۳	..... ۱-۵- مقدمه
۶۳	..... ۲-۵- روشهای روسازی راه آهن
۶۳	..... ۱-۲-۵- ریل گذاری منقطع
۶۴	..... ۲-۲-۵- ریل گذاری پیوسته
۶۵	..... ۳-۵- ضوابط احداث خطوط سریع السیر
۶۵	..... ۱-۳-۵- تهیه خط بسته
۶۵	..... ۲-۳-۵- بالاست ریزی قشر اول
۶۵	..... ۳-۳-۵- نصب نقاط کنترلی
۶۵	..... ۴-۳-۵- ریل گذاری و نصب خط بسته
۶۶	..... ۵-۳-۵- بالاست ریزی و رلواژ (بالا آوری)
۶۶	..... ۶-۳-۵- جوشکاری
۶۶	..... ۷-۳-۵- بالا آوری نهایی
۶۷	..... ۸-۳-۵- کنترل مشخصات هندسی
۶۷	..... ۴-۵- ضوابط نظارت بر اجرای روسازی
۶۸	..... ۱-۴-۵- بالاست ریزی قشر اول
۶۹	..... ۲-۴-۵- نقشه برداری



۶۹	..... ۵-۴-۳- نصب خط
۷۰	..... ۵-۴-۴- نصب سوزن
۷۰	..... ۵-۴-۵- بالاستریزی و رلواژ (بالآوری)
۷۱	..... ۵-۴-۶- بررسیهای قبل از انجام جوش
۷۱	..... ۵-۴-۷- نظارت حین انجام جوشکاری
۷۲	..... ۵-۴-۸- دستورالعمل پیوسته کردن ریلها
۷۳	..... ۵-۴-۹- بازرسی و کنترل کیفیت جوش درز ریل و آزمایشهای آن
۷۳	..... ۵-۵-۵- دستورالعمل تحویلگیری خط
۷۳	..... ۵-۵-۱- تحویل موقت
۷۴	..... ۵-۵-۲- تحویل قطعی

(۷۵-۸۲)

**فصل ششم: ضوابط نگهداری خط آهن**

۷۵	..... ۶-۱-۱- کلیات
۷۶	..... ۶-۲-۱- شاخص کیفیت خط
۷۶	..... ۶-۲-۱- مقدار بحرانی شاخص کیفیت
۷۶	..... ۶-۲-۲- شاخص کیفیت اجزای خط
۷۷	..... ۶-۲-۲-۱- شاخص کیفیت ریل
۷۷	..... ۶-۲-۲-۲- شاخص کیفیت تراورس
۷۷	..... ۶-۲-۲-۳- شاخص کیفیت بالاست
۷۸	..... ۶-۲-۳- شاخص کیفیت هندسی
۷۹	..... ۶-۲-۴- شاخص کیفیت کل خط
۷۹	..... ۶-۳-۱- زوال و خرابی خط
۷۹	..... ۶-۴-۱- روشهای نگهداری خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر
۸۰	..... ۶-۴-۱-۱- بازدیدها
۸۰	..... ۶-۴-۱-۱-۱- بازدیدهای منظم چشمی
۸۰	..... ۶-۴-۱-۱-۲- بازدیدهای روزانه
۸۰	..... ۶-۴-۱-۱-۳- بازدیدهای ماهانه
۸۰	..... ۶-۴-۱-۱-۴- بازدیدهای دوره‌ای
۸۰	..... ۶-۴-۲- تعمیرات خط
۸۱	..... ۶-۴-۳- بازسازی خط

(۸۳-۱۰۸)

**پیوست الف- خرابی‌های روسازی**

(۱۰۹-۱۱۴)

**پیوست ب- شاخص کیفیت اجزای خط**

(۱۱۵-۱۲۴)

**پیوست ج- شاخص کیفیت پارامترهای هندسی خط**

## فهرست اشکال و نمودارها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۱-۲- نمای کلی یک دورااهه.....	۶
شکل ۲-۲- استقرار سوزنها در دو سوی مختلف .....	۸
شکل ۳-۲- استقرار سوزنها در یک طرف خط .....	۸
شکل ۴-۲- قرارگیری دو سوزن بصورت متوالی .....	۸
شکل ۵-۲- استقرار سوزنها در دو سوی خط .....	۸
شکل ۶-۲- فاصله بین دو خط موازی با اتصال سوزن .....	۹
شکل ۷-۲- حالات استقرار سوزنهای موازی در یک خط .....	۹
شکل ۸-۲- خطوط ایستگاهها برای مسیرهای دو خطه سریع السیر.....	۱۰
شکل ۹-۲- سوزنهای رابط بین دو خط اصلی .....	۱۰
شکل ۱۰-۲- الف- خطوط ایستگاههای بین راهی که قطارهای اختصاصی دارند .....	۱۱
شکل ۱۰-۲- ب- خطوط ایستگاهی بین ایستگاههای N و M .....	۱۱
شکل ۱۰-۲- ج- خطوط ایستگاهی بین ایستگاههای M و N .....	۱۱
شکل ۱۱-۲- موقعیت ایستگاههای اضطراری بین دو ایستگاه بین راهی .....	۱۲
شکل ۱-۳- مقطع تیپ خاکریزها و بخشهای مختلف آن .....	۱۹
شکل ۲-۳- نمودار دانه بندی پیشنهادی برای مصالح زیربالاست .....	۲۴
شکل ۳-۳- امواج حاصل از عبور قطار.....	۳۴
شکل ۴-۳- استفاده از روشهای تثبیت خاک در بخش سابگرید.....	۳۷
شکل ۵-۳- اجرای لایه بتن آسفالتی در سطح خاکریز .....	۳۸
شکل ۶-۳- استفاده از تسلیح خاک به وسیله ژئوکامپوزیت ها در زیر لایه زیربالاست.....	۳۸
شکل ۷-۳- استفاده از بهسازی در لایه های خاک و اجرای دال باربر زیر لایه زیربالاست .....	۳۸
شکل ۸-۳- استفاده از روسازی بتنی با سختی کافی .....	۳۹
شکل ۹-۳- نمایش شماتیک تغییر سختی در محل خاکریزهای منتهی شونده به پلها .....	۳۹
شکل ۱۰-۳- نمونه روشهای اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پلها.....	۴۰
شکل ۱-۶- الگوریتم تعیین شاخص کیفیت کل خط.....	۷۹

## فهرست جداول

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
جدول ۱-۲- ابعاد سوزنهای مناسب برای خطوط اصلی و خطوط قبول و اعزام مسیرهای سریع السیر.....	۷
جدول ۲-۲- سوزنهای توصیه شده برای دپوها و پارکینگ و خطوط دیگر مسیرهای سریع السیر.....	۷
جدول ۳-۲- میزان بریلندی برای سرعتهای مختلف.....	۱۴
جدول ۱-۳- رده بندی کیفی خاک برای استفاده به عنوان خاکریز و یا بستر روسازی طبق استاندارد UIC۷۸۴.....	۲۲
جدول ۲-۳- مقادیر حداقل ضرائب اطمینان در مقابل لغزش در مورد خاکریزها.....	۲۹
جدول ۳-۳- آزمایشهای مورد نظر در بررسی بستر خاکریزها.....	۴۱
جدول ۴-۳- نمونه گیری و نوع آزمایشهای کنترل عملیات خاکریزی (بدنه اصلی).....	۴۳
جدول ۵-۳- نمونه گیری و نوع آزمایشهای کنترل عملیات خاکریزی (لایه زیربلاست و سابگرید منتخب).....	۴۴
جدول ۶-۳- مقادیر حداقل ضرائب اطمینان در مقابل لغزش ترانشه ها در شرایط مختلف.....	۴۶
جدول ۷-۳- نمونه برداری ها و آزمایشهای جهت کنترل ترانشه برداری.....	۴۷
جدول ۸-۳- آزمایشهای کنترل بستر لایه زیربلاست در خاکبرداری ها.....	۴۸
جدول ۹-۳- رواداریهای قابل قبول در اجرای عملیات زیرسازی.....	۴۹
جدول ۱-۴- مقادیر رواداریهای ابعادی ریل.....	۵۳
جدول ۲-۴- استانداردهای انجام آزمایشهای پابند.....	۵۵
جدول ۳-۴- رواداریهای مجاز ابعادی تراورس.....	۵۶
جدول ۴-۴- مقدار مواد زائد در بلاست.....	۵۸
جدول ۵-۴- خواص فیزیکی بلوکهای سنگی و بلاست.....	۶۰
جدول ۶-۴- منحنی دانه بندی مصالح زیربلاست.....	۶۱
جدول ۷-۴- استانداردهای آزمایشگاهی.....	۶۱
جدول ۸-۴- آزمایشهای معمول برای ارزیابی زوال پذیری سنگ.....	۶۲
جدول ۱-۵- میزان درز هنگام ریلگذاری (میلیمتر).....	۶۹
جدول ۱-۶- سطوح شدت خرابیها.....	۷۷
جدول ۲-۶- مقادیر مجاز انحراف معیار مشخصات هندسی.....	۷۸
جدول ۳-۶- مقادیر مطلق انحراف مشخصات هندسی.....	۷۸

## فصل اول

### مبانی و تعاریف

#### ۱-۱- مبانی

ضوابط ارائه شده در دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع السیر، برای خطوط سریع السیر بالاستی با سرعت طرح حداکثر ۲۵۰ کیلومتر در ساعت معتبر است. مصالحی که در این دستورالعمل مورد بررسی قرار گرفته‌اند، مصالحی است که در کشور برای روسازیهای بالاستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رعایت دستورالعملهایی که بعنوان معیارهای پیشنهادی است و با واژه‌هایی نظیر «توصیه می‌شود»، «بهتر است»، «میتواند» و ... مشخص شده‌اند، اجباری نیست.

در تدوین این دستورالعمل سعی شده است تا از مدارک و منابع اتحادیه بین المللی راه‌آنها (UIC) و آئین‌نامه‌های معتبر دنیا نظیر AREMA و آئین‌نامه‌های بعضی از کشورهای اروپایی با در نظر داشتن معیارهای تجربی رایج در کشور استفاده شود. تعاریف مربوط به اصطلاحات و واژه‌های بکار گرفته شده در فصول مختلف به شرح زیر است:

#### ۱-۲- تعاریف

خطوط سریع السیر: به خطوطی اطلاق می‌شود که قطارهای مسافری با سرعت بیش از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت بر روی آنها تردد می‌کنند.

روسازی بالاستی: بدنه اصلی خط آهن بالاستی 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 عایق بندی 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) بدست 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 بدست می‌آید و بر حسب در هزار بیان می‌شود.

شیب عرضی خط (دور): 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 بر روی 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.

پایند: 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 بعنوان 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. خط بسته (کوپلاژ): مجموعه چیده شده و بهم پیوسته ریل، تراورس و ادوات اتصال که در کارگاه تهیه شده و برای نصب به محل اجرا منتقل می‌شود.

زیرکوب: ماشینی است که بالاست را به زیر تراورسها هدایت و متراکم کرده و همچنین تراز قائم و افقی خط را تنظیم می‌نماید. پایدارساز: ماشینی است که با به ارتعاش در آوردن روسازی خط موجب تراکم بیشتر و تثبیت خط شده و با خارج کردن حفره‌های خالی احتمالی موجود در بالاست، باعث تراکم بیشتر آن می‌گردد.

خط آرا: ماشینی است که جهت تنظیم مقطع هندسی بالاست بکار می‌رود، بطوری صفحات کناری طی عبور ماشین از روی خط ناهمواریهای بالاست را تصحیح می‌کند.

UIC: اتحادیه بین المللی 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 بصورت استانداردهای طراحی ارائه می‌کند.

AREMA: انجمن مهندسی راه‌آهن آمریکا

ASTM: انجمن مخصوص آزمایشات و مصالح آمریکا

BS: استاندارد انگلستان

DIN: استاندارد صنعتی آلمان

ISO: سازمان بین المللی استانداردها

PrEN: استاندارد اروپا (یوروکد)



## فصل دوم

### ضوابط طرح هندسی (مسیر و ایستگاهها)

#### ۲-۱- کلیات

مسیرهای مخصوص قطارهای سریع السیر باید از ابتدا دو خطه طراحی و ساخته شوند. به منظور افزایش ایمنی حرکت قطارها و تأمین ظرفیت جابه جایی مسافر، بایستی مسیرهای راه آهن به مناطق جدایی و قطعه (بلاکها) تقسیم شوند. ایستگاهها و چراغهای علائم عبوری جزء نقاط جدایی هستند. بلاک به قطعه خطی بین دو نقطه جدایی گویند که برای تنظیم فاصله زمانی اعزام دو قطار متوالی بکار گرفته می شود. این تقسیم بندی، ایمنی حرکت قطارها را تضمین می نماید.

#### ۲-۲- اجزاء ایستگاه ها

ایستگاه محوطه ای است که مجموعه ای از خطوط، سوزن ها (دو راهه ها)، ساختمان های اداری و مسکونی و سکوهای مسافری در آن قرار دارد. ایستگاه، محل توقف، تنظیم، قبول، اعزام، مانور و سبقت قطارها و سایر وسائط نقلیه ریلی است. امور سوار و پیاده شدن مسافران نیز در ایستگاه انجام می شود. ایستگاه ها برحسب موقعیت و میزان فعالیت درجه بندی شده و حریم و حدود مشخص و معینی دارند.

#### ۲-۲-۱- خطوط ایستگاه

انواع خطوط مورد استفاده در ایستگاه ها که بسته به اهمیت ایستگاه و درجه بندی آن مورد استفاده قرار می گیرند، در ادامه ارائه شده است.

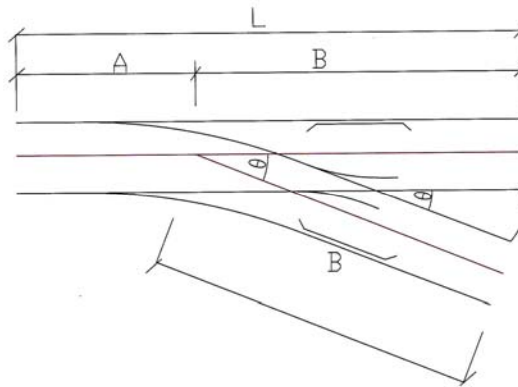


- خطوط اصلی ایستگاه ها: خطوط اصلی خطوطی هستند که در امتداد خطوط قطعه (بلاک) قرار دارند.
- خطوط قبول و اعزام: خطوطی هستند که پذیرش و اعزام قطارها از طریق آن ها صورت می گیرد. این خطوط مجهز به علائم برقی است.
- خطوط تأمین: خطوطی هستند که ایمنی ورود دو قطار را به ایستگاه به صورت همزمان از دو طرف تأمین می کنند. با وجود این که مسیرهای سریع السیر دو خطه طراحی می شوند، در بعضی از ایستگاهها یک خط تأمین باید جدا گردد و همیشه خالی باشد.
- خطوط فرار: خطوطی هستند که وسائط نقلیه در حال فرار به آن هدایت می شوند و همیشه باید آزاد بوده و در انتهای آن شن و ماسه انباشته باشد.
- خطوط دنباله مانوری: خطوطی هستند که امکان عملیات مانوری و تفکیک واگن ها را فراهم می سازد. در ایستگاه هایی که به عملیات مانوری و تفکیک قطار نیاز دارند، پیش بینی این خطوط برای ایمنی تردد قطارها برای مانور الزامی است.
- خطوط توقفگاهی: خطوطی هستند که عملیات تفکیک واگن ها و انتظار تعمیر و یا اعزام در آن ها صورت می گیرد.
- خطوط انبار توشه: خطوطی هستند که در جوار انبار توشه احداث می گردند.
- خطوط مثلث: خطوط مثلث شکلی هستند که برای تغییر جهت کشنده ها و سایر ناوگان ریلی مورد استفاده قرار می گیرند.
- پل دوار: صفحه دایره شکلی است که برای تغییر جهت لکوموتیو ها و سایر وسائط نقلیه ریلی بکار گرفته می شود.
- خطوط تأسیساتی: خطوطی هستند که امور جاری اختصاصی راه آهن از قبیل تعمیر واگن ها، کشنده ها، آبیگری، سوختگیری و ریل گذاری از طریق آن ها صورت می گیرد.

## ۲-۲-۲-۲ سوزن (دو راهی)

### ۲-۲-۲-۱-۱ مشخصات هندسی سوزنها

دوراهی دستگاهی است که برای تغییر مسیر ناوگان ریلی بکار گرفته می شود و شبکه خطوط ایستگاه ها توسط این دستگاه ها بوجود می آیند.



۲-۱-۱-۲ نمای کلی یک دوراها

مشخصات مربوط به سوزن های مورد استفاده در خطوط سریع السیر می بایست مطابق با مقادیر موجود در جداول (۱-۲) و (۲-۲)

(۲) باشند.

جدول ۲-۱- ابعاد سوزنهای مناسب برای خطوط اصلی و خطوط قبول و اعزام مسیره های سریع السیر

$\tan \Theta$	نوع ریل	L (میلیمتر)	A (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$\Theta$	کمبود دور (میلیمتر)	R (متر)	V در خط فرعی (کیلومتر بر ساعت)
۱:۴۶	UIC ۶۰	۱۳۶۹۲۰-(۵۷۸)	۴۵۲۶۰-(۵۷۸)	۹۱۶۶۰	۱,۱۴',۴۳,۳۱"	۱۰۰	۳۰۰۰	۱۶۰
۱:۲۶,۵	UIC ۶۰	۹۴۳۰۶	۴۷۱۵۳	۴۷۱۵۳	۲,۰۹',۳۹,۸۹"	۸۰	۲۵۰۰	۱۳۰
۱:۲۱	UIC ۶۰	۷۳۲۹۲	۳۶۶۴۶	۳۶۶۴۶	۲,۴۳',۳۴,۷۲"	۷۷	۱۵۴۰	۱۰۰
۱:۱۸,۵	UIC ۶۰	۶۴۸۱۸	۳۲۴۰۹	۳۲۴۰۹	۳,۰۵',۳۸,۶۱"	۹۸,۳	۱۲۰۰	۱۰۰

جدول ۲-۲- سوزنهای توصیه شده برای دپوها و پارکینگ و خطوط دیگر مسیره های سریع السیر

$\tan \Theta$	L (میلیمتر)	A (میلیمتر)	B (میلیمتر)	$\Theta$	(میلیمتر)	R (متر)	V (کیلومتر بر ساعت)
:	UIC	,	,	۶,۲۰',۲۴,۶۹"			
:	UIC	,	,	۴,۰۵',۸,۲۲"			

\* سوزن ۱:۱۴ برای هر دو گروه از خطوط بالا مورد استفاده قرار می گیرد.

نکات ذیل می بایست در مورد سوزن های بکارگرفته شده در مسیره های سریع السیر رعایت شوند:

- ۱- به منظور ایجاد پیوستگی تکیه چرخ روی ریل، تیغه ها و تکه مرکزی سوزن های خطوط سریع السیر باید متحرک باشند.
- ۲- سوزن های اختصاصی این خطوط باید به تراورس ها با همان شیبی بسته شوند که ریل های اصلی به آن بسته می شوند. سوزن هایی که ریل های آنها به تراورس عمودند، توصیه نمی شوند.
- ۳- سوزن های اختصاصی این خطوط نباید با درز به ریل های معمولی متصل شوند، بلکه باید به ریل های اصلی مسیر جوش داده شوند.

#### ۲-۲-۲-۲- فاصله بین سوزن ها

در خطوط ایستگاهی مخصوص قطارهای سریع السیر سوزن ها می توانند حالت های مختلفی نسبت به یکدیگر داشته باشند. استقرار آنها می تواند به یکی از چهار حالت زیر صورت گیرد:

**حالت اول:** در این حالت سوزن ها در دو سوی خط و در جهت مخالف هم، مطابق شکل (۲-۲) قرار می گیرند. در این حالت

فاصله  $D$  در خطوط اصلی و قبول و اعزام به اندازه  $\frac{V}{2}$  منظور می گردد که در آن  $V$ ، سرعت مجاز عبور قطار در جهت خط فرعی

سوزن می باشد.

**حالت دوم:** در این حالت سوزن‌ها مطابق شکل (۳-۲) در یک سوی خط قرار دارند. در این حالت نیز، فاصله‌ی  $D_1$  می‌تواند

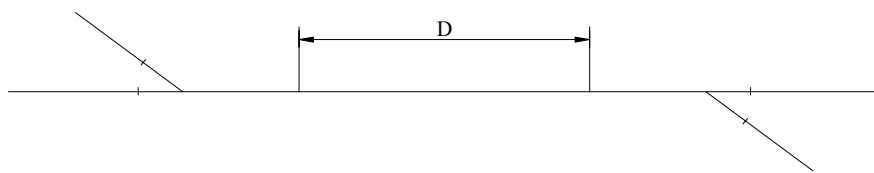
باشد. شکل (۴-۲) ترکیبی از شکل‌های (۲-۲) و (۳-۲) است.  $\frac{V}{2}$

**حالت سوم:** در این حالت فاصله  $D_2$  می‌تواند روی خطوط قبول و اعزام ۳۶ متر باشد. در این حالت استثنایی در دیوها و

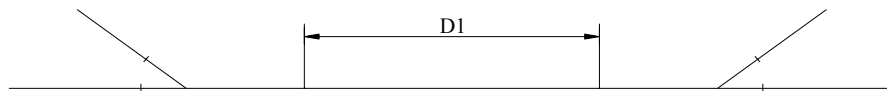
کارخانه‌های صنعتی می‌توان این فاصله را حذف نمود (مطابق شکل ۵-۲).

**حالت چهارم:** مطابق شکل (۶-۲) در این حالت دو خط موازی با دو سوزن با زاویه یکسان بهم متصل می‌شوند. در این حالت

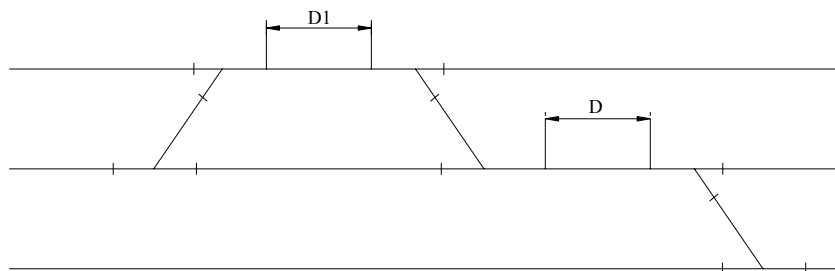
فاصله  $D_3$  براساس فاصله دو خط موازی  $K$ ، و زاویه تکه مرکزی در سوزن محاسبه می‌شود.



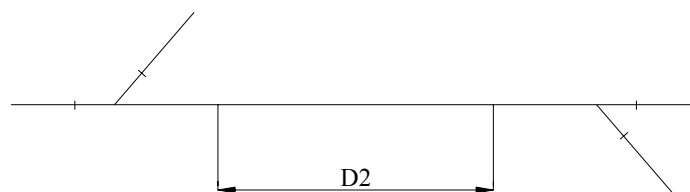
شکل ۲-۲- استقرار سوزن‌ها در دو سوی مختلف



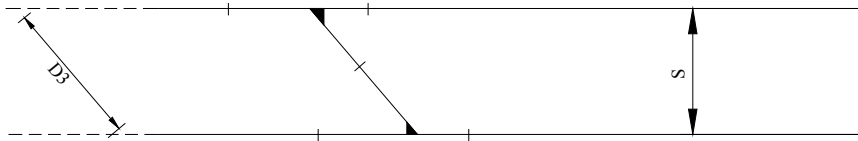
شکل ۳-۲- استقرار سوزن‌ها در یک طرف خط



شکل ۴-۲- قرارگیری دو سوزن بصورت متوالی

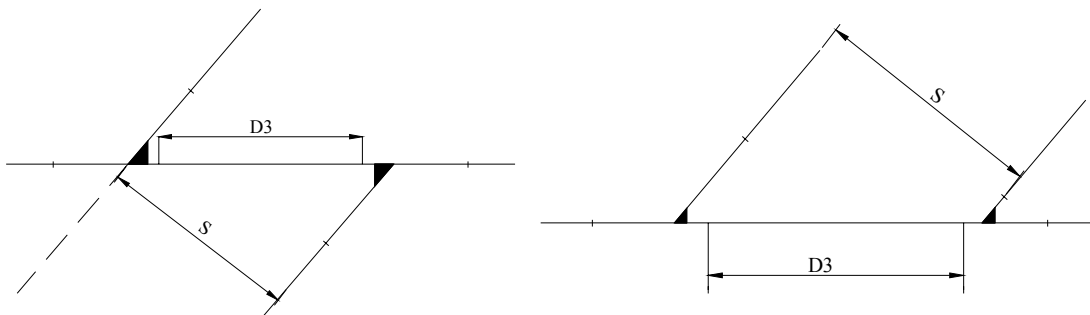


شکل ۵-۲- استقرار سوزن‌ها در دو سوی خط



شکل ۶-۲- فاصله بین دو خط موازی با اتصال سوزن

برای حالت‌های نظیر شکل (۷-۲)، محاسبه فاصله  $D_3$  مطابق حالت چهارم محاسبه می‌گردد.



شکل ۷-۲- حالات استقرار سوزنهای موازی در یک خط

### ۳-۲-۲-۲- نقطه امان

پشت هر دو راهی در محلی که فاصله مرکز دو خط مجاور به ۴ متر می‌رسد، نقطه امان تعبیه می‌شود. نقطه امان با نصب شاخصی مانند قطعه چوب و یا ریل مشخص شده و ایمنی تردد قطارها از خط مجاور را تضمین می‌کند. شاخصهای نقطه امان با رنگ‌های سفید و قرمز مشخص می‌شوند. برای خطوط مخصوص قطارهای سریع‌السیر دو نقطه امان با اجزاء منعکس‌کننده نور مجهز می‌شوند.

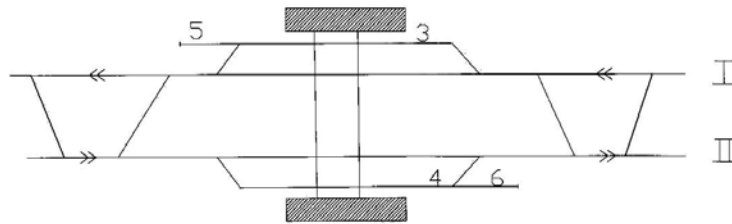
### ۳-۲-۲-۳- ایستگاه‌های مسافری در پلان و نیمرخ طولی

خطوط ایستگاههای مسافری در پلان روی مسیر مستقیم و در نیمرخ طولی، روی شیب ۰ الی ۲ در هزار قرار می‌گیرند. سوزن‌های رابط دو خط اصلی ایستگاهها را می‌توان روی شیب کمتر از ۵ در هزار نیز منظور نمود.

• طول مفید خطوط: طول مفید این خطوط ۵۰۰ متر منظور گردیده و حداقل طول مفید ۴۲۰ متر است.

• مسیرهای دو خطه: سبقت قطارهای مسافری سریع‌السیر از قطارهای کند رو در مسیرهای دو خطه مطابق شکل (۸-۲) در

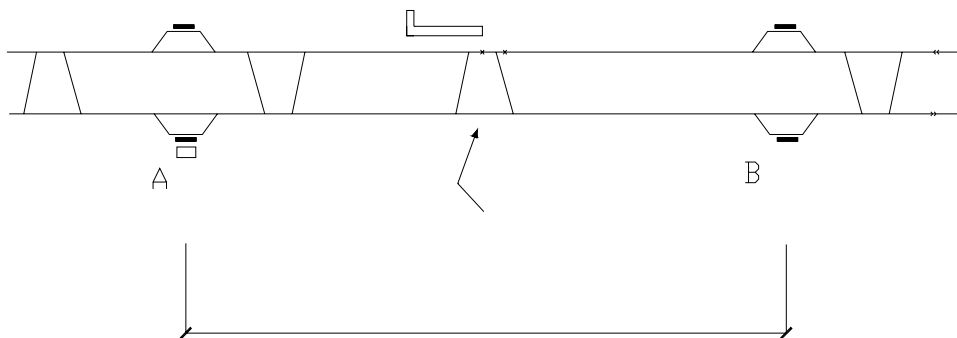
ایستگاه‌های بین راهی صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۸- خطوط ایستگاهها برای مسیرهای دو خطه سریع السیر

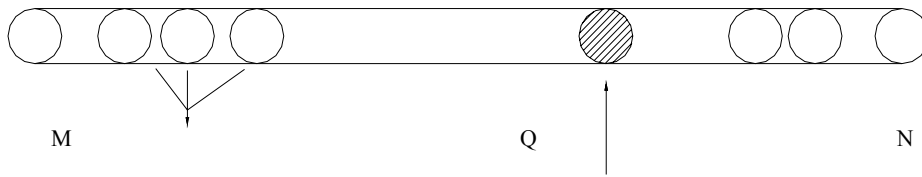
۱) خط اصلی فرد\*، ۲) خط اصلی زوج\*\*، ۳) خط قبول واعزام فرد، ۴) خط قبول واعزام زوج، ۵) خط تأمین فرد، ۶) خط تأمین زوج  
 \* قطار هایی که از تهران دور می شوند (یا اعزام می شوند) قطار های فرد نامیده و از روی خط فرد حرکت می نمایند.  
 \*\* قطار هایی که به طرف تهران در حرکت هستند قطار های زوج نامیده می شوند و آنها از روی خط زوج سیر می کنند.  
 لازم به ذکر است که علامت ← علامت سوی حرکت است که فقط برای قطارهای مسافری بکار گرفته می شود.

• **طول سکو:** طول سکوی مسافری بر مبنای بلندترین قطار مسافری تعیین می گردد. ایستگاههای قطارهای سریع السیر حتما باید حداقل دو سکو داشته باشند و توسط راهرو زیرگذر به همدیگر مرتبط شوند. برای ایمنی مسافران از اثرات آیرودینامیکی قطارهای عبوری از روی خط اصلی، سکوهایی مسافری کنار خطوط جانبی پیش بینی می شوند. احداث سکوهایی جزیره ای بین خط اصلی و خط جانبی، در ایستگاههای بین راهی مطلقاً منع می شود.  
 مطابق شکل (۲-۹)، سوزنهای رابط بین دو خط اصلی در موارد خرابی یکی از قطارها بین دو ایستگاه، برای برقراری ترافیک از روی خط دیگر برای رفت و برگشت مورد استفاده قرار می گیرد.

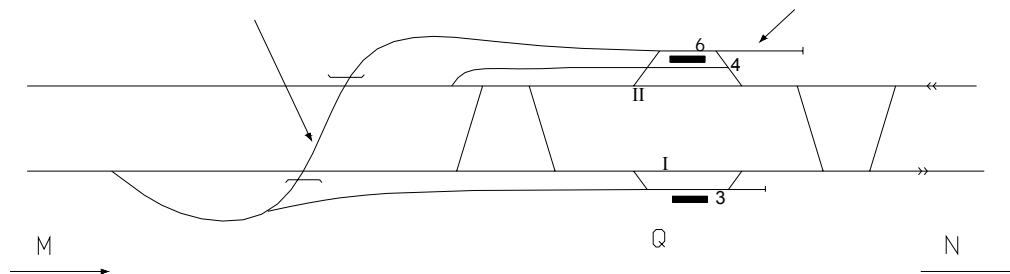


شکل ۲-۹- سوزنهای رابط بین دو خط اصلی

در مواردی که در مسیرهای سریع السیر بین مبدا و مقصد اصلی، ایستگاههای بین راهی وجود داشته باشند که قطارهای اختصاصی خود را داشته باشند، شکل ایستگاهها را می توان به صورت شکل (۲-۱۰-الف) طراحی نمود. همچنین جزئیات مربوط به وضعیت قرار گیری خطوط در محل ایستگاه در اشکال (۲-۱۰-ب) و (۲-۱۰-ج) ارائه شده است.

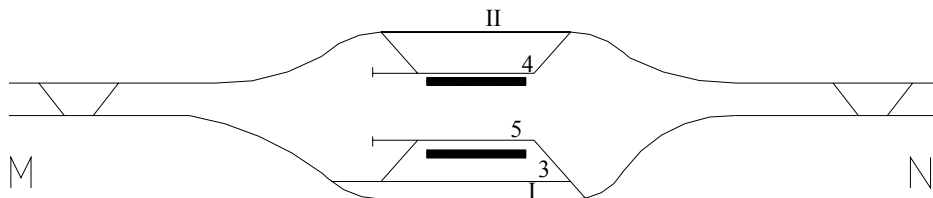


شکل ۲-۱۰-الف- خطوط ایستگاههای بین راهی که قطارهای اختصاصی دارند



شکل ۲-۱۰-ب- خطوط ایستگاهی بین ایستگاههای M و N

خط ۶ به قطارهای مقصد Q که بعداً تغییر جهت داده و به طرف ایستگاه مبدا M برمی گردند، اختصاص داده می شود.

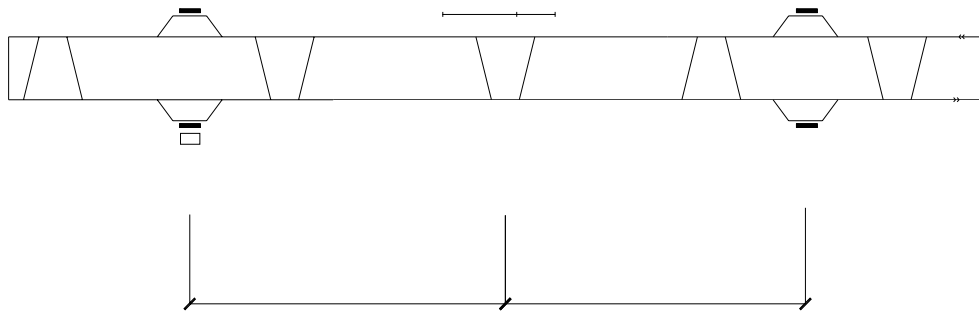


شکل ۲-۱۰-ج- خطوط ایستگاهی بین ایستگاههای M و N

خط ۵ به قطارهای مقصد Q که بعداً تغییر جهت داده و به طرف ایستگاه مبدا M برمی گردند، اختصاص داده می شود.

• **ایستگاههای اضطراری:** فاصله بین ایستگاههای مسیر سریع السیر حدود ۵۰ الی ۷۰ کیلومتر منظور می گردد. پستهای

کشش با تاسیسات شبکه بالاسری نیز تقریباً در همان فواصل تعبیه می شوند و در اکثر موارد در فاصله های مورد نظر نیاز به ایستگاههای سکو دار برای مسافرین نمی باشد و به خاطر استفاده بهینه از سرعت قطارها و زمان، در بعضی موارد ایستگاههای اضطراری به شکل (۲-۱۱) باید پیش بینی نمود.



شکل ۲-۱۱- موقعیت ایستگاههای اضطراری بین دو ایستگاه بین راهی

• **شماره گذاری مسیرهای دو خطه:** در ایستگاه های بین راهی، خطوطی که در امتداد خط اصلی قرار دارند بسته به نوع زوج یا فرد بودن خط با شماره های I و II شماره گذاری می شوند. خطوطی که در جبهه های خط I (خط اصلی فرد) قرار می گیرند با شماره های ۳، ۵، ۷ و ... و خطوطی که در جبهه های خط II (خط اصلی زوج) قرار می گیرند، با شماره های ۴، ۶، ۸ و ... شماره گذاری می گردند.

در ایستگاه های مبدأ بسته به تخصیص ماهیچه های مربوط برای قطارهای زوج یا فرد شماره گذاری آنها از جبهه ساختمان با شماره های ف ۱، ف ۲ و ... و ز ۱، ز ۲ و ... شماره گذاری می گردند. شماره گذاری خطوط توقف و دنباله های مانوری همانند ایستگاه های تشکیلاتی در مسیرهای یک خطه انجام می شود.

• **حریم و حدود ایستگاه ها:** حریم راه آهن در مسیرهای مخصوص قطارهای سریع السیر ۲۰ متر از هر خط اصلی در نظر گرفته می شود. در ایستگاه ها به علت احداث تاسیسات، لازم است تا حریم افزایش یابد. به هنگام تهیه نقشه ایستگاه، حریم آن با توجه به استقرار تاسیسات مانند ساختمان ایستگاه، انبار توشه، دنباله مانوری، منازل سازمانی، پست برق و غیره برآورد می گردد. حدود ایستگاه (بعد از ایستگاه در طول مسیر) طبق ماده ۳ مقررات عمومی حرکت به شرح زیر تعیین می شود:

- در ایستگاه هایی که به علائم برقی مجهزند از علامت ورودی طرفین ایستگاه.

• **فاصله بین محور خطوط:** فاصله بین خطوط باید با توجه به عوامل زیر تعیین شود:

۱- قواره ساختمان و قواره ناوگان

۲- فضای مورد نیاز برای عملیات مانور

۳- فضای مورد نیاز برای عملیات تعمیرات جزئی واگن ها

۴- فضای مورد نیاز برای عملیات نگهداری خط

۵- نحوه قرارگیری دکل های شبکه بالاسری خطوط برقی

۶- تاثیر آیرودینامیکی دو قطار مجاور بر یکدیگر

۷- سرعت حرکت و رعایت فاصله های استاندارد بین دو راهه ها برای تامین سرعت مورد نظر

فاصله بین دو خط در ابتدا، برای خطوط مستقیم تعیین شده و در پیچ ها به اندازه اضافه عرض لازم افزایش می یابد.

فاصله بین دو خط اصلی ایستگاه، برابر با فاصله دو خط اصلی در بلاک می باشد.

فاصله بین خطوط اصلی و خطوط قبول و اعزام و مجاور، ۷ متر منظور می گردد و حداقل مجاز این فاصله ۶/۵ متر است.

### ۲-۳- برابندی در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر

اختلاف تراز دو ریل در پیچها را شیب عرضی و یا برابندی گویند. شیب عرضی برای خنثی کردن نیروی گریز از مرکز بوجود آمده و به هنگام عبور قطار از روی پیچ و یکسان نمودن سایش دو ریل ایجاد می گردد. برای خطوط راه آهن سریع السیر با عرض استاندارد ۱۴۳۵ میلی متر، برابندی با فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$d = \frac{11.8V^2}{R} (mm) \quad (1-2)$$

که در آن پارامترها به صورت زیر تعریف می شوند:

$d$ : برابندی به میلی متر

$V$ : سرعت قطار سریع السیر در محل پیچ برحسب کیلومتر بر ساعت

$R$ : شعاع پیچ برحسب متر

حداکثر برابندی برای سرعت تا ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت، ۱۲۰ میلیمتر توصیه می گردد.

در مناطق با توپوگرافی سخت، کمبود برابندی برای قطارهای سریع السیر مجاز است. حداکثر کمبود برابندی ۷۰ میلی متر است.

لذا شتاب خنثی نشده ی گریز از مرکزی معادل  $0.46g$  به وجود می آید.

$$d = \frac{11.8V_{\max}^2}{R} - 70 (mm) \quad (2-2)$$

در عمل در برخی از راه آهنها حداکثر سرعت و شعاع پیچ از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V_{\max} = 4\sqrt{R} \quad (km/h) \quad (3-2)$$

$$\Rightarrow R = 0.062V^2 \max(m)$$

به این ترتیب حداقل شعاع پیچ برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر در ساعت برابر می شود با

$$R = 0.062 \times (250)^2 = 3875m$$

اما شعاع مناسب برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت ۶۲۰۰ متر توصیه می شود.

در مسیرهای قطارهای سریع السیر، قطارهای مسافری دیگری نیز سیر خواهند نمود. بنابراین برای آنها اضافه شیب عرضی به

اندازه ۵۰ میلیمتر منظور می گردد. شیب عرضی انتخاب شده بایستی جوابگوی شرایط زیر

$$d = \frac{11.8V_{\min}^2}{R} + 50 (mm) \quad (4-2)$$

باشد:

در اینجا  $V_{\min}$ ، سرعت قطارهای مسافری دیگر برحسب کیلومتر بر ساعت است.

برای مسیرهای قطارهای سریع السیر دو منظوره، برای قطارهای مسافری نوع دیگر (قطارهای معمولی) باید شرایط زیر نیز

رعایت گردد.





### ۲-۳-۱- حداقل طول قوس های دایره ای

در حین عبور قطار از روی پیچ پیوندی، وضعیت آن ناپایدار است. بعد از خروج از آن و ورود به پیچ دایره ای نیاز به زمان برای میرایی نوسانی است. این زمان برابر ۱/۵ ثانیه در قطارهای شینکانسن ژاپن در نظر گرفته شده است. برای قطارهای سریع السیر سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت، زمان مربوطه ۱/۸ ثانیه منظور می‌گردد. حداقل طول پیچ دایره ای با معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$L = \frac{Vt}{3/6} m \quad (9-2)$$

به طوری که:

L : حداقل طول پیچ دایره ای به متر

V : سرعت قطار بر حسب کیلومتر بر ساعت

t : زمان مورد نیاز برای نوسان اول حرکت قطار بر حسب ثانیه را نمایش می‌دهد که در محاسبات 1/8 ثانیه منظور می‌گردد.

معادله (۹-۲) به شکل زیر تبدیل می‌گردد:

$$L = \frac{V \times 1.8}{3/6} = \frac{V}{2} m \quad (10-2)$$

برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت، حداقل طول قوس دایره ای بطور استاندارد ۲۰۰ متر و بطور استثنایی ۱۲۵ متر مجاز است. حد استثنایی در فاصله ۲۰ کیلومتر یک بار مجاز است.

### ۲-۳-۲- فاصله مستقیم بین قوس های متوالی

بین قوس های متوالی یک طرفه و معکوس فاصله ای مستقیم مورد نیاز است. حداقل فاصله مجاز با معادله (۱۰-۲) محاسبه می‌گردد و برابر ۱۲۵ متر است. با توجه به بهبود تکنولوژی ناوگان و افزایش سرعت آتی، حداقل فاصله بین دو پیچ پی در پی ۲۰۰ متر توصیه می‌شود. لازم به ذکر است مقادیر حداقل برای فاصله ی ۲۰ کیلومتر یک بار مجاز است.

### ۲-۳-۳- نیم رخ طولی مسیر

برای مسیرهای قطارهای سریع السیر که در آن قطارهای مسافری طبقه های A و B کشش دیزلی راه‌آهن (آیین نامه طرح هندسی راه آهن) نیز حرکت می‌کنند، شیب طولی 12/5 در هزار مجاز است.

همچنین برای مسیرهای اختصاصی قطارهای سریع السیر (ترافیک غیرمختلط) شیب طولی 25 هزار و با داشتن توجه فنی-اقتصادی در محدوده ی خاکریزها، شیب طولی 30 در هزار هم مجاز است و در ترانشه‌ها نیز شیب طولی ۲۵ در هزار مجاز است. باید توجه شود شیب 0 در هزار در ترانشه ها مجاز نیست و حداقل شیب طولی در ترانشه ها باید 0/4 در هزار باشد. چون در غیر این صورت آبهای حاصل از برف و باران نمی‌توانند جریان پیدا کنند. طول المان با شیب حداکثر باید با انجام تثبیت سازی حرکت تعیین گردد.

### ۲-۳-۴- ایستگاه‌های مسافری در پلان و نیم رخ طولی

پاره خط‌های پروژه (به طول بین دو نقطه تغییر شیب در نیمرخ طولی مسیر، پاره خط پروژه اطلاق می‌گردد)، در مسیرهای قطارهای سریع‌السیر حتی المقدور بایستی طویل طراحی شوند. بصورت استاندارد، حداقل طول پاره خط پروژه ۲۰۰۰ متر است. در موارد سخت و پیچیده (بطور مثال عبور از زیر دکل‌های برق فشار قوی)، حداقل طول مجاز پاره خط پروژه را می‌توان ۱۴۰۰ متر منظور کرد. اعمال حداقل طول پاره خط پروژه یک بار در فاصله ۲۰ کیلومتر مجاز است.

### ۲-۳-۵- خم خط (قوس‌های قائم)

در نیم رخ طولی، پاره خط‌های پروژه توسط قوس‌های قائم بهم متصل می‌شوند. حداقل طول قوس قائم مطابق با دستورالعمل کامپساکس برابر با  $L = \frac{V}{2/5}$  یعنی ۱۰۰ متر است.

برای انتخاب شعاع قوس قائم، شتاب وارده بر مسافر  $0/02g$  و برای حالت‌های استثنایی  $0/03g$  منظور می‌شود. شعاع قوس قائم با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_v = \frac{\left(\frac{V}{3/6}\right)^2}{a} \quad (11-2)$$

به طوری که در آن پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$V$ : سرعت برحسب کیلومتر بر ساعت

$a$ : حد مجاز شتاب قائم وارده بر مسافر برحسب متر بر مجذور ثانیه

برای سرعت حرکت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت و شتاب معادل  $0/02g$ ، شعاع قوس قائم حدود ۲۰۰۰۰ متر خواهد شد.

شعاع قوس قائم بصورت معمول ۲۵۰۰۰ متر توصیه می‌گردد. برای حالت‌های استثنایی در هر ۲۰ کیلومتر یک بار مجاز است که

شعاع خم قائم با شتاب معادل  $0/03g$  تعیین شود که با انجام محاسبات مربوطه، این شعاع حدود ۱۷۰۰۰ متر خواهد شد.

بکارگیری قوس قائم با شعاع بیش از ۴۰,۰۰۰ متر به دلیل مشکلات اجرایی توصیه نمی‌گردد. اطلاعات مربوط به شعاع قوس

های قائم در جدول (۲-۴) ارائه شده است.

جدول ۲-۴- شعاع قوس‌های قائم برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت

شعاع قوس قائم محدب، مقعر			استاندارد $a = 0.02g$	حداقل طول قوس قائم (متر)	سرعت (کیلومتر بر ساعت)
اختلاف شیب که در آن نیازی به قوس قائم نیست.	حداکثر $a = 0.012g$	حداقل مجاز $a = 0.03g$			
$\leq 2.0\%$	۴۰۰۰۰	۱۷۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰

از آنجا که در مسیرهای قطارهای سریع‌السیر حرکت قطارهای باری منع می‌گردد و شعاع قوس قائم در محدوده‌ی ۲۵۰۰۰ الی

۴۰۰۰۰ متر تغییر می‌کند، اختلاف جبری پاره خط‌های پروژه را می‌توان ۲۵ در هزار منظور کرد.

## فصل سوم

### ضوابط زیرسازی

#### ۳-۱- کلیات

در سالهای اخیر، نظر به افزایش تعداد مسافر و محدودیت ظرفیت ناوگان هوایی، اکثر کشورها گزینه استفاده از قطارهای سریع السیر (با سرعت سیر ۲۵۰ تا ۴۰۰ کیلومتر در ساعت) را مطمئن‌ترین و به صرفه‌ترین روش جابجایی مسافر یافته‌اند. از دید ناظر سوار بر قطار، وجه تمایز خطوط آهن سریع السیر با خطوط معمولی، سرعت حرکت بالای قطار و در نتیجه اعمال شتابهای جانبی و قائم به واگن و مسافری است. از دیدگاه مشخصات فنی لازم برای خطوط آهن، نکته مهم حفظ ایمنی و پایداری خط به هنگام عبور قطار است. لذا همواره در طرح خطوط آهن سریع السیر دو جنبه اساسی که یکی حصول اطمینان از حرکت ایمن قطار در سراسر طول خط و دیگری ایجاد شرایط شتاب قابل تحمل برای مسافری و رعایت آسایش آنها است، مد نظر می باشد.

دستیابی به دو هدف مطلوب فوق‌الذکر، با کنترل و محدود کردن تغییر شکلهای ریل در اثر حرکت قطار و نشست‌های آنی و بلند مدت روسازی و زیرسازی ممکن می‌شود. از آنجا که حرکت یک جسم چند صد تنی با سرعت بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت با چرخهای فلزی بر روی خطوط آهنی، ارتعاشات خاصی را ایجاد می‌کند، لذا موضوع ایمنی قطار از محدوده مسائل استاتیکی خارج شده و در حیطه مباحث ارتعاشات و رفتار دینامیکی ریل و بستر قرار می‌گیرد. در این خصوص صرف نظر از اندرکنش دینامیکی ریل، تراورس، بالاست و زیربلاست، موضوع اندرکنش دینامیکی روسازی و زیرسازی خطوط آهن و انتشار امواج در بستر روسازی نیز مطرح می‌گردد. این موضوع باعث شده تا ضوابط مربوط به زیرسازی خطوط آهن قطارهای سریع السیر با ضوابط زیرسازی خطوط معمولی متفاوت باشند.

دستور العمل حاضر، مسائل طراحی و ضوابط زیرسازی خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر که از سوی آئین نامه‌های مورد استفاده در برخی از کشورها مورد اشاره قرار گرفته و نیز روشهای تحلیل بکار رفته و حدود اعتبار آنها را معرفی نموده و در پایان ضوابط خاص احداث و کنترل رفتار زیرسازی خط را تبیین می‌نماید. فصل در پیش رو ضوابط خاص زیرسازی خط آهن مخصوص

قطارهای سریع السیر (سرعت ۱۶۰ تا ۲۵۰ کیلومتر در ساعت) را پوشش می دهد. در مواردی که ضوابط طرح شبیه ضوابط زیرسازی خطوط آهن معمولی باشد، از بیان مجدد مسائل خودداری شده است.

منظور از زیر سازی آن بخش از خط ریلی است که روسازی راه آهن (بالاست، تراورس، ریل و ...) بر روی آن ایجاد می گردد. زیرسازی خط ریلی بطور عمده به دو بخش خاکریزها و خاکبرداریها تفکیک می گردد.

### ۳-۲ - خاکریزها

#### ۳-۲-۱ - کلیات

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

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

ب- بررسی نشست بدنه خاکریز و بستر در حالت استاتیکی در شرایط کوتاه مدت و دراز مدت و کنترل نشست کلی و نسبی در طول خط. لازم به ذکر است که بروز نشستهای نسبی در طول ریل باعث اعمال شتابهای ناگهانی به قطار و در نتیجه ایجاد خطر خروج قطار از خط و برهم زدن آسایش مسافری می شود،

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

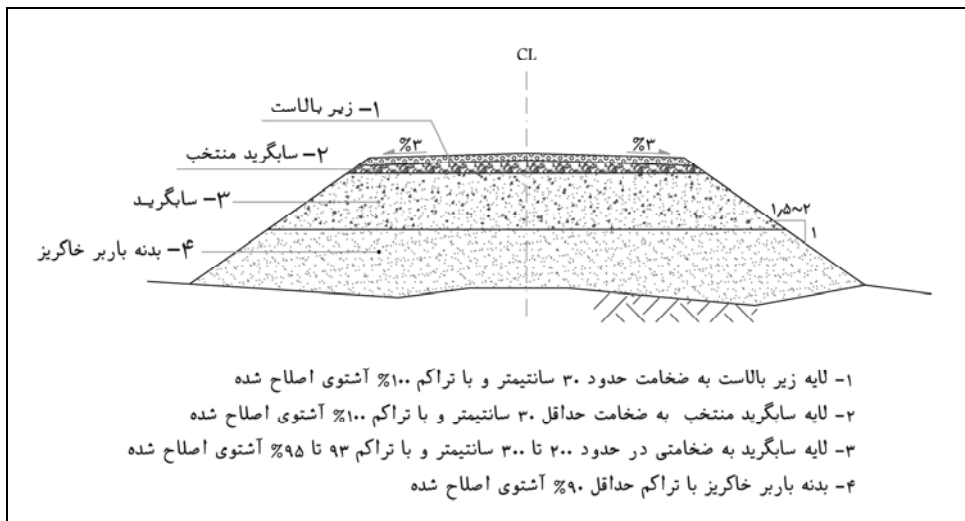
د- تامین بستری مناسب برای اجرای روسازی خط به منظور حفظ کیفیت روسازی و ایفای نقش مناسب آن در خطوط ریلی.

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

بعنوان مثال خاکریزهای منتهی شونده به کوله پلهها<sup>۱</sup> و بستر زیر آنها، باید با مشخصاتی اجرا گردند که تغییر نشست پذیری خاکریز نسبت به پل (نشست استاتیکی کل) و نیز تفاوت سختی سطح بستر روسازی خط نسبت به عرشه پل بصورت تدریجی باشد.

#### ۳-۲-۲ - بخشهای مختلف خاکریز

جسم خاکریز از چند بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: بدنه باربر خاکریز، بخش سابگرید و سطح آماده شده آن و لایه زیربالاست. نوع مصالح قابل استفاده و میزان تراکم مورد نیاز در هر یک از این بخشها متفاوتند. شکل (۳-۱)، مقطع تیپ خاکریزی را در حالت کلی نمایش می دهد.



شکل ۳-۱- مقطع تیپ خاکریزها و بخشهای مختلف آن

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

### ۳-۲-۱- لایه زیربالات

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

- فراهم کردن یک سطح هموار و تمیز

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

- پخش و تعدیل بار انتقال یافته از لایه بالاست به خاکریز اصلی

- محافظت از خاکریز در مقابل یخزدگی

- ایجاد بستر مقاوم در مقابل سوراخ شدگی<sup>۱</sup> مصالح روسازی بر روی زیرسازی

- ایفای نقش فیلتر بین مصالح لایه سابگرد و بالاست

ضخامت این لایه بسته به نوع روسازی، سرعت طرح، ظرفیت باربری در سطح لایه سابگرد منتخب، شرایط آب و هوایی محیط و ... در حدود ۳۰ سانتیمتر (در روسازی بالاستی) و ۵۰ سانتیمتر (در روسازی بدون بالاست در شرایط ضعیف بودن بستر) است. این لایه تقریباً نقشی شبیه لایه زیراساس در روسازی آسفالتی بر عهده دارد و باید دارای کیفیت لازم در راستای ایفای تمام وظایف فوق الذکر باشد.

تراکم مصالح در این لایه، حداقل برابر ۱۰۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده اختیار می گردد. لازم است که این لایه حداقل

ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم (EV2) معادل ۱۲۰ مگاپاسکال (۱۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) در سطح خود را داشته باشد.

**۳-۲-۲-۲- لایه سابگرید**

نقش این لایه، به حداقل رساندن مقادیر تنش منتقل شده از لایه زیربالاست به بستر، کنترل تغییر شکل بدنه خاکریز و تحمل ارتعاشات حاصل از عبور قطار سریع السیر و مقاومت در مقابل عمق نفوذ یخبندان است. این لایه که در واقع قسمتی از خاکریز است، ضخامتی در حدود ۲۰۰ سانتیمتر یا بیشتر (بسته به مقدار سرعت طرح، نوع روسازی، جنس مصالح در دسترس و شرایط آب و هوایی) دارد. قسمت سطحی لایه سابگرید که از مشخصات بهتری در مقایسه با بخش زیرین آن برخوردار است را لایه سابگرید منتخب<sup>۱</sup> می نامند.

ضخامت لایه سابگرید منتخب بسته به عمق یخبندان و کیفیت مصالح تحتانی در حدود ۳۰ الی ۵۰ سانتیمتر بوده و تراکم آن معمولاً در حد تراکم لایه زیربالاست (۱۰۰٪) و یا حداقل ۹۸ درصد انتخاب می گردد. حداقل ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم در این لایه باید برابر ۸۰ مگاپاسکال باشد.

میزان تراکم بخش تحتانی سابگرید، بسته به سرعت طرح در حالت متعارف برای سرعت‌های کمتر و بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بترتیب در حدود ۹۳ تا ۹۵ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده انتخاب می گردد. کلیه لایه های خاکریزی بخش سابگرید باید دارای حداقل ضریب ارتجاعی معادل ۶۰ (برای مصالح ریزدانه تر-QS2) یا ۸۰ مگاپاسکال (برای مصالح درشت دانه تر-QS3) باشند. لازم به تذکر است که برخی دستورالعمل‌های موجود در خصوص خطوط قطارهای سریع‌السیر، مقادیر تراکم را در این بخش از لایه سابگرید در حدود ۹۰ درصد نیز قبول می کنند، لیکن ارضاء شرایط حداقل مقادیر ضریب ارتجاعی را الزامی برمی شمردند.

**۳-۲-۲-۳- بدنه باربر خاکریز**

بدنه باربر خاکریز با فرض اینکه بارگذاری ارتعاشی ناشی از عبور قطار در لایه های بالایی خاکریز (لایه سابگرید) تحمل شده است، باید دو شرط عدم بروز ناپایداری و محدودیت نشست را ارضاء نماید. بطور کلی، پایداری در برابر لغزش و محدود کردن نشست خاکریز را می توان با هر نوع مصالحی با تغییر شیب شیروانی ها و یا اجرای شیب با پله های جانبی تامین کرد. تراکم خاک در این بخش از خاکریز حداقل برابر ۹۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده است و وجود مقدار ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم حداقل معادل ۴۵ مگاپاسکال (در خاکهای چسبنده) و ۶۰ مگاپاسکال (در خاکهای دانه ای) برای آن الزامی است.

**۳-۲-۲-۴- بستر خاکریز**

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

### ۳-۲-۳- مصالح مورد استفاده

مصالح مختلف بسته به دانه بندی آنها دارای مقاومت برشی و تغییر شکل پذیری مختلف بوده و بر این اساس طبقه بندی می گردند. در این بخش پیش از معرفی انواع مصالح مناسب برای هر یک از بخشهای خاکریز، رده بندی خاکها و بسترها بر اساس توصیه UIC تشریح گردیده و سپس به نوع مصالح مناسب برای هر بخش از خاکریز اشاره شده است.

#### • رده بندی کیفی بستر

مطابق توصیه UIC، خاکها را می توان با توجه به کیفیت آنها از نظر استفاده در خاکریزی و یا به عنوان بستر روسازی به چهار رده به شرح زیر تقسیم کرد:

QS0 (بستر نامناسب): مصالحی از این نوع، بستری مناسب را به لحاظ باربری تشکیل نداده و نیازمند بهسازی می باشد. به همین دلیل، استفاده از این خاکها برای ساخت خاکریز اصلی یا بکارگیری چنین بسترهایی بعنوان بستر روسازی (بعنوان بخش زیر لایه سابگرید منتخب) مناسب نمی باشد. بعنوان نمونه، خاکهایی که بیشتر از ۱۵ درصد ذرات رد شده از الک شماره ۲۰۰ داشته باشند، و به صورت دائمی یا در طول زمان قابل توجهی از سال اشباع باشند، جزو این گروه محسوب می گردند.

QS1 (بستر ضعیف): این مصالح با یک زهکش مناسب در شرایط وجود بستر طبیعی قابل استفاده بوده و گاه ممکن است با عملیات بهسازی، اصلاح شوند. خاکهایی که بیشتر از ۱۵ درصد ذرات رد شده از الک نمره ۲۰۰ دارند، در شرایطی که در مدت زمان قابل توجهی از سال اشباع نباشند، جزو این رده هستند.

QS2 (بستر متوسط): خاکهای مخلوط دارای ۵ الی ۱۵ درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰ و یا خاکهای با دانه بندی یکنواخت ( $Cu \leq 6$ ) با کمتر از ۵ درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰ جزو این گروه هستند. در صورتی که شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه مناسب باشد، خاکهای دارای تا ۴۰ درصد ذرات رد شده از الک نمره ۲۰۰ نیز می توانند از نوع QS2 قلمداد گردند.

QS3 (بستر خوب): خاکهای خوب دانه بندی شده با میزان ذرات ریزدانه کمتر از ۵ درصد وزنی جزو این گروه هستند. در صورتیکه شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه خوب باشد، خاکهای دارای تا ۱۵ درصد ریزدانه نیز می توانند QS3 قلمداد گردند.

رده بندی فوق بر اساس آیین نامه UIC۷۱۴ انجام شده است و خلاصه آن در جدول (۳-۱) ارائه گردیده است.



UICi èè	- -	
<p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>( ) ( )</p> <p>( )</p>	<p>-è-ç</p> <p>-é-ç</p> <p>-ê-ç</p> <p>-ë-ç</p> <p>-ì-ç</p> <p>-í-ç</p>	<p>QS0</p>
<p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>ëç</p> <p>:</p> <p>( ) è'í</p>	<p>- -</p> <p>é-ç</p> <p>- -</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>	<p>QS1</p>
<p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>èì éçç</p> <p>:</p> <p>Ò ( ) è'í</p> <p>ëç</p> <p>(<sup>e</sup>)</p> <p>(<sup>e</sup>)</p>	<p>-è-è</p> <p>é-ç</p> <p>-é-è</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>	<p>(<sup>e</sup>) QS1</p>
<p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>èì ì</p> <p>ì (Cu≤6)</p> <p>ëç èì</p> <p>ëç èç</p>	<p>-è-é</p> <p>-é-é</p> <p>-ê-é</p> <p>ëç èç</p>	<p>(<sup>e</sup>) QS2</p>
<p>(<sup>e</sup>) éçç</p> <p>èì</p> <p>èì</p>	<p>-è-è</p> <p>-é-è</p>	<p>QS3</p>

توضیحات ضمیمه جدول (۳-۱) طبقه بندی خاک مطابق آئین نامه UIC۷۱۴:

- ۱- این مقدار می تواند تا ۵ درصد افزایش داده شود مشروط به اینکه تعداد زیادتری نمونه های معرف مورد آزمایش قرار گیرند و دانه بندی به شدت تحت کنترل بوده و کیفیت آزمایشها مورد تایید مهندس ناظر باشد.
- ۲- گاه برخی مشخصات این گروه را جزو رده خاکهای QS1 قرار می دهند.
- ۳- این خاک می تواند در گروه QS2 قرار گیرد، مشروط به آنکه منطقه مورد مصرف آن دارای شرایط هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناسب باشد.
- ۴- در شرایطی که وضعیت هیدرولوژیکی منطقه خوب باشد، می توان خاک این گروه مصالح را جزء گروه QS3 در نظر گرفت.

### ۳-۲-۳-۱- مصالح زیربالاست

مصالح مناسب برای لایه زیربالاست از نوع شن ماسه‌دار با اندکی ذرات ریزدانه است. این لایه باید بتوان انتقال و پخش بارهای وارده از بالاست به ساب‌گرید را داشته باشد. بعضی از شرکت‌های طراح خطوط آهن، در خطوط جدید بکارگیری شن ماسه‌دار دارای حداقل ۳۰ درصد سنگریزه شکسته را در راستای افزایش مقاومت برشی این لایه لازم می‌دانند. در سطحی که مصالح لایه زیر بالاست به طور مستقیم با مصالح لایه بالاست در تماس است، مصالح باید خوب دانه‌بندی شده بوده و دارای دوام کافی براساس شاخصهای زیر باشد:

- میکرودوال<sup>۱</sup> در حضور آب کمتر از ۱۵ یا ۲۰

- لوس آنجلس<sup>۲</sup> کمتر از ۲۰ یا ۲۵

علاوه بر بررسی دوام، تراکم و ضریب ارتجاعی لایه زیربالاست، باید از سازگاری دانه‌بندی مصالح این لایه با دانه‌بندی لایه رویی و تحتانی آن نیز مطمئن گردید. برای بررسی سازگاری دانه‌بندی مصالح زیربالاست با دانه‌بندی لایه‌های مجاور آن دو ضابطه زیر کنترل می‌گردد:

- سازگاری دانه‌بندی دو لایه درشت (بالاست) و ریز (لایه زیربالاست) که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، با هدف جلوگیری از نفوذ ذرات ریز از لایه ریزدانه به لایه درشت دانه. این کنترل با بکارگیری معیار فیلتر ترازقی صورت می‌گیرد (کنترل تناسب لایه زیربالاست با لایه بالاست).

- جلوگیری از واپس زدن ذرات ریزدانه به داخل لایه بالاست (پدیده مکنندگی<sup>۳</sup>) که در ساب‌گریدهای متشکل از مصالح ریزدانه رخ می‌دهد. در عمل لازم است که لایه زیربالاست در تماس با یک لایه ساب‌گرید از خاک ریزدانه (رسی یا سیلتی) دارای میزان کافی از ذرات کوچکتر از ۰/۲ میلی‌متر باشد (کنترل تناسب لایه زیربالاست با بستر).

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

۱- بکارگیری لایه زیربالاست از یک لایه شن ماسه‌دار دارای حدود ۲۰ درصد ماسه ریزدانه (اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۲ میلی‌متر)

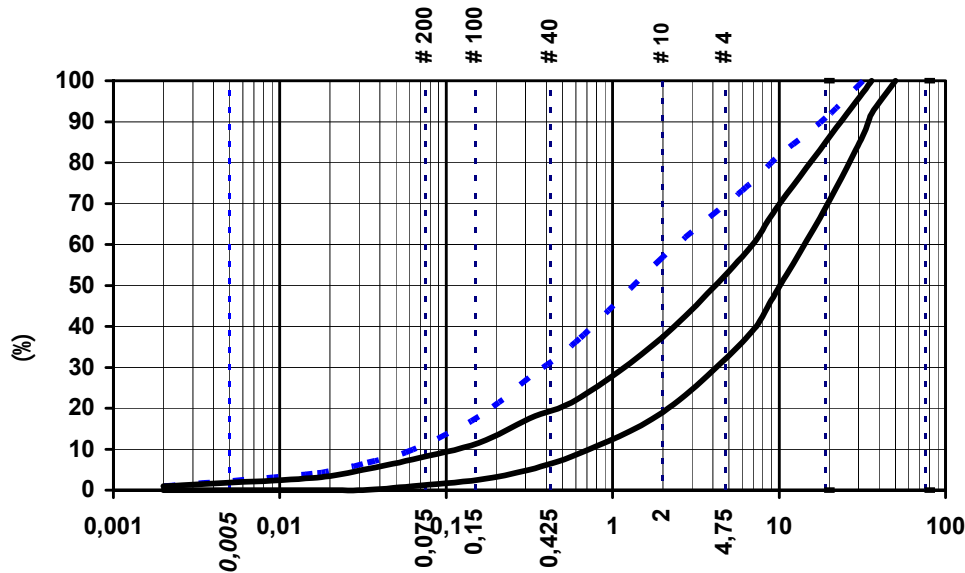
۲- اجرای لایه زیربالاست دو لایه‌ای شامل:

- لایه بالایی از جنس شن ماسه‌دار دارای ضریب یکنواختی (Cu) و ضریب انحنا (Cc) مناسب، ( $Cc < ۳$  و  $Cu > ۶$ )

- لایه پایینی متشکل از یک لایه مصالح فیلتر (ژئوتکستایلها می‌توانند نقش فیلتر را ایفا نموده و همزمان ظرفیت باربری را بهبود بخشند).

یک نمونه نمودار دانه‌بندی پیشنهادی برای مصالح زیربالاست در شکل (۳-۲) ارائه شده است. در این نمودار محدوده دو منحنی خط پر، محدوده مصالح مناسب بوده و در نهایت پس از حمل، پخش و کوبیدن، مصالح میتوانند تا حد منحنی خط چین تغییر دانه بندی دهند. قابل توجه اینکه برخی از مشخصات فنی در مورد خطوط آهن قطارهای سریع السیر با رعایت تمام شروط لازم برای این لایه به منظور ایفای نقشهای آن (از جمله شرط فیلتر بودن در برابر لایه زیرین، نفوذ نکردن ذرات به داخل لایه بالاست و ... )،

در شرایط آب و هوایی خشک مقدار ماکزیمم درصد ذرات رده‌شده از الک ۲۰۰ را تا حدود ۱۵ درصد و گاه حتی تا ۲۰ درصد مجاز می‌دانند.



شکل ۳-۲- نمودار دانه‌بندی پیشنهادی برای مصالح زیربالاست

### ۳-۲-۲-۳- مصالح لایه ساب‌گرید

لایه ساب‌گرید شامل ضخامتی از خاکریز است که باید از نظر استاتیکی پایدار بوده و تحت بارهای ارتعاشی ناشی از حرکت قطار دچار تشدید و در نتیجه تغییر شکل پیش‌رونده نشود. چنین مصالحی باید از رده بندی QS2 و ترجیحاً از نوع QS3 باشند. در صورت استفاده از مصالح QS2 به عنوان لایه ساب‌گرید، احداث لایه‌هایی با کیفیت بهتر (QS3) در بالای این بخش تحت عنوان لایه ساب‌گرید منتخب ضروری است.

تذکر: گاه در مواجهه با بسترهای سست در حالت پایین بودن تراز خط پروژه نسبت به زمین طبیعی یا عدم دسترسی به مصالح با کیفیت تعریف شده، شرط عدم وقوع تشدید در بستر روسازی براحتی ارضاء نشده و از اینرو استفاده از روش‌های بهسازی خاک یا بکارگیری روسازی واقع بر روی یک دال بتنی یکسره با ارتفاع جان قابل توجه و مقاومت خمشی بالا الزامی می‌شود. در این حالات، نوع مصالح مورد استفاده به عنوان بستر با آنچه در حالت عادی بکار می‌رود متفاوت بوده و طرح خاص آنها باید به گونه‌ای ارائه شود که مقصود نهایی (تحمل بارها) تأمین گردد. توضیح اینگونه موارد به بخش‌های بعد موکول شده است.

### ۳-۲-۳-۳- مصالح خاکریز باربر

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

- سی.بی.آر اشباع خاک (CBR<sup>1</sup>): سی.بی.آر اشباع خاک به روش ASTM-D 1883 در حالتی که تا حد ۹۵ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده (AASHTO T-180 یا ASTM-D 1557) متراکم شده باشد، نباید کمتر از ۴ درصد باشد.
- وزن مخصوص خاک: وزن مخصوص خشک خاک در حالتی که با ۱۰۰ درصد تراکم آشتوی اصلاح شده (ASTM-D 1557) کوپیده شده باشد، نباید از ۱/۵۵ تن بر متر مکعب کمتر باشد.
- مواد آلی خاک: مقدار مواد آلی موجود در خاک نباید مطلقاً از ۵ درصد وزنی آن تجاوز کند (AASHTO T-194).
- پلاستیسیته خاک: خاکهای با دامنه خمیری (PI<sup>2</sup>) بیشتر از ۲۰ جزو خاکهای با پلاستیسیته زیاد و خاکهای دارای دامنه خمیری بین ۶ تا ۲۰ جزو خاکهای با پلاستیسیته متوسط قلمداد می‌گردند. خاکهای دارای درصد قابل توجهی از ذرات ریزدانه (بیش از ۴۰ درصد) باید PI کمتر از ۶ داشته باشند، مگر این که خلاف آن از سوی طراح به صورت کتبی برای مناطقی خاص مجاز دانسته شود.
- قطر ذرات: به طور عمومی قطر دانه ها نباید بیش از ۶۰ میلیمتر باشد. همچنین توصیه می‌شود که بزرگترین اندازه دانه‌ها کمتر از نصف ضخامت لایه باشد. استفاده از مصالح سنگریزه‌ای فقط در شرایطی که کنترل تراکم و کیفیت آنها در سیستم آزمایشگاه محلی قابل انجام باشد، در بخشهای تحتانی مجاز است. مصالح سنگریزه‌ای در هر حال باید به صورت خوب دانه‌بندی شده بوده و حفرات خالی در جسم خاکریز باقی نمانده در عین حال این مصالح نباید در طول زمان دچار فرسایش و نشست خزشی شوند.
- با بکارگیری رده بندی استاندارد UIC، قابلیت استفاده از یک خاک در خاکریز اصلی و یا مناسب بودن یک سطح بعنوان بستر روسازی به صورت زیر تعیین می‌گردد:
- خاکهای غیرقابل استفاده برای خاکریزی یا بستر روسازی شامل کلیه خاکهای ردیف (۱-۰) تا (۶-۰)، خاک (۱-۱) (اگر خاک دارای پلاستیسیته متوسط یا زیاد باشد) و خاک (۲-۱) هستند.
- خاکهای قابل کاربرد در جسم خاکریز تحتانی و بسترها (قابل استفاده در وضعیتهای استثنایی) که تابعی از شرایط ژئوهیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی، ارتفاع خاکریز و غیره می باشند عبارتند از: خاک (۱-۱) (اگر پلاستیسیته خاک کم باشد)، خاکهای (۳-۱) تا (۵-۱)، خاکهای (۱-۲) و (۲-۲).
- خاکها و بسترهایی که اغلب وضعیتهای مناسبی برای بستر روسازی فراهم می‌کنند، از نوع (۳-۲)، (۱-۳) و (۲-۳) هستند.

### ۳-۲-۴- پایداری خاکریزها در مقابل لغزش

#### ۳-۲-۴-۱- انتخاب مقطع تپ خاکریزها از لحاظ پایداری

- شیب شیروانی خاکریزها بسته به نوع مصالح و شرایط بارندگی و لرزه خیزی منطقه در حد ۲ به ۳ (قائم به افقی) تا ۱ به ۲ (قائم به افقی) متعارف است. در مناطق زلزله‌خیز، معمولاً حد نهایی ارتفاع بدون بخش شیبدار جانبی برای خاکریزها در حدود ۸ الی ۹ متر بدست می‌آید و خاکریزهای مرتفع‌تر، حتی در صورت مناسب بودن شرایط زمین طبیعی، باید یک پله جانبی<sup>۳</sup> بعرض حدود ۳ تا ۳/۵ متر داشته باشند. در هر صورت، به منظور کنترل مقدار تغییر شکل خزشی جسم خاکریز، اکیداً توصیه می‌گردد که ارتفاع

1- California Bearing Ratio  
2- Plastic Index  
3- Berm

خاکریزها در مرتفع‌ترین وضعیت به ۱۵ متر محدود گردند و یا بگونه ای ایجاد شوند تا مسائلی در اثر بروز چنین تغییر شکل‌هایی در بدنه خاکریز ایجاد نگردد.

پایداری خاکریزها، علاوه بر هندسه خاکریز و پارامترهای مقاومتی آن، تابع شرایط زمین بستر است، لذا در مواجهه با شرایط بستر متفاوت همواره حالات مختلفی بروز می‌کنند که بررسی های خاص خود را می‌طلبند. درحالی که بستر خاکریز از مصالح دارای مقاومت برشی مناسب تشکیل شده باشد، تمامی دایره‌های لغزش محتمل از بدنه خاکریز عبور نموده و وارد بستر خاکریز نمی‌شوند. دراین حالت، حصول پایداری با اعمال شیبه‌های شیروانی یکنواخت و یا متغیر در ارتفاع خاکریز، میسرخواهد بود.

درحالی که بستر خاکریزی از حدی ضعیف‌تر باشد، دایره‌های محتمل لغزش داخل زمین بستر گسترش یافته و مقادیر ضرایب اطمینان مربوط به پایداری خاکریز به شدت تحت الشعاع قرار می‌گیرند. در مواجهه با زمینهای ضعیف، در صورتی که زمین به شدت سست نباشد، استفاده از سطوح پله دار پایدار کننده جانبی می‌تواند باعث طولانی شدن مسیر دواير لغزش و در نتیجه افزایش ضریب اطمینان گردد. لیکن در مواجهه با زمینهای بسیار سست که در آنها شرط باربری بستر اقصا نشده باشد، استفاده از روشهای پایداری خاص (بهسازی، پیش تحکیمی، تراکم عمیق و ...) یا تسلیح خاک ضروری است.

برای ارائه یک طرح بهینه در مورد تیپ کلی خاکریزهای مسیر، در گام اول فرض می‌شود که زمین بستر خاکریز سخت بوده و مقطع خاکریز بر این اساس بدست می‌آید. سپس در بخشهای مختلف مسیر بسته به شرایط از سطوح پله دار جانبی پایدار کننده یا شیبه‌های مختلف خاکریزی استفاده می‌گردد.

### ۳-۲-۴-۲- بارگذاری و ترکیب بار به منظور بررسی پایداری

بارهای وارد بر بدنه خاکریز در شرایط مختلف به شرح زیرند:

#### الف- وزن خاکریز

وزن بدنه خاکریز از طریق اعمال مقدار چگالی مرطوب خاک در محاسبات در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور باید تغییرات محتمل رطوبت خاک در فصول مختلف مورد توجه قرار گرفته و به گونه‌ای عمل گردد که در شرایط نامساعد فصل زمستان، مقدار رطوبت خاک گویای وضع واقعی آن باشد. توضیح اینکه با معلوم بودن منابع قرضه و جنس مصالح قابل برداشت از محل خاکبرداریها به همراه نتایج آزمایشهای آنها، مقادیر وزن مخصوص خاک در شرایط مختلف برای هر بخش از خاکریزها مشخص می‌شود.

#### ب- سربار مرده

بار مرده بر روی جسم خاکریز ناشی از وجود مصالح روسازی، لازم است مطابق طرح روسازی ملحوظ گردد. در روسازی بالاستی باید بار حداقل معادل ۱ تن بر متر مربع در عرضی برابر با عرض مستطیل معادل نوار دوزنقه‌ای شکل بالاست‌ریزی در نظر گرفته شود. این بار دربرگیرنده بالاست، تراورس بتنی، ریل و سایر متعلقات آن است. در روسازی بتنی باید مقدار بار با دقت مناسبی در عرض واقعی روسازی در نظر گرفته شود.

#### ج- سربار زنده

بار زنده حاصل از عبور قطار سریع (مسافری) در روسازی بتنی معادل ۴/۵ تن بر متر مربع در عرض معادل عرض تراورس بعلاوه دو فاصله طرفین آن ناشی از توزیع بار زیر تراورس در ضخامت مصالح بالاست زیر تراورس با شیب ۲ قائم بر ۱ افقی، پخش می‌شود. در روسازی بتنی بار محور قطار مورد نظر باید در عرض پخش گردد.

### د- بارگذاری زلزله

برای تحلیل پایداری خاکریزها در شرایط معمولی به روش تحلیل شبه استاتیکی، مقدار  $K_h$  از پهنه بندی لرزه ای کشور استخراج و محاسبات در نظر گرفته شود. حداکثر مقدار  $K_h$  برابر عدد  $0.5$  پیشنهاد می شود. لرزه زمینی ساخت میزان ضریب زلزله را برای خاکریز مشخص خواهد کرد. چنانچه در صورت حساسیت موضوع، انجام مطالعات برآوردها، وجود مؤلفه شتاب قائم قابل ملاحظه ای را در منطقه نشان دهد، لازم است پس از مشورت با متخصصین زلزله، مطابق نظر آنها عمل گردد.

بارهای فوق الذکر با ضریب یک در ترکیبات بار گذاری ذیل جهت تحلیل پایداری خاکریزها، در نظر گرفته می شوند:

- حالت کوتاه مدت: عادی با در نظر گرفتن مقادیر بار بدنه خاکریز، سربار مرده و سربار زنده
- حالت وقوع زلزله: با در نظر گرفتن بارهای ناشی از وزن جسم خاکریز، سربار مرده، سربار زنده و بار زلزله
- حالت بهره برداری: با در نظر گرفتن مقادیر بارهای ناشی از وزن جسم خاکریز، سربار مرده و سربار زنده

### ۳-۲-۴-۳- روشهای تحلیل پایداری

پایداری خاکریزها در شرایط متفاوتی مورد بررسی قرار می گیرد. روشهای متفاوتی برای بررسی پایداری خاکریزها در مقابل لغزش وجود دارند که برخی از معروفترین آنها عبارتند از:

الف- روشهای مبتنی بر تعادل حدی شامل:

- روش دایره لغزش فلنیوس
- روش گوه لغزش ساده - روش کولمن
- روشهای ساده یا اصلاح شده قطعات بیشاپ

ب- روشهای عددی شامل:

- روشهای تحلیل اجزای محدود<sup>۱</sup>
- روشهای تفاضل محدود<sup>۲</sup>
- روش های المانهای مجزاء<sup>۳</sup>

ج - استفاده از دستگاه سانتریفوژ

د - روشهای آماری

ساده ترین و کاربردی ترین روش از میان روشهای فوق، تحلیل سطح گسیختگی (دایره ای یا نامنظم) با روش قطعات اصلاح شده بیشاپ است که به صورت عمومی مورد استفاده قرار می گیرد. در صورت بکارگیری روشهای اجزاء محدود، لازم است برای کنترل مقدار ضریب اطمینان بدست آمده، خاکریزها با روش اصلاح شده قطعات بیشاپ نیز تحلیل گردند. نرم افزارهای مورد استفاده باید به گونه ای اختیار شوند که دارای تمام قابلیت های لازم باشند.

### ۳-۲-۴-۴- مقادیر پارامترهای خاک

برای تحلیل پایداری خاکریزها، لازم است مقادیر پارامترهای طراحی بدنه خاکریز و تمام لایه‌های بستر تا عمقی که دواير لغزش و یا گوه‌های گسیختگی در بستر گسترش می‌یابند، بدست آیند.

این پارامترها باید در برگیرنده تمام شرایط از لحاظ وجود سطح آب زیر زمینی، اثرات جریانهای سطحی و ... باشند به گونه‌ای که امکان انجام تحلیلهای در شرایط زهکشی شده یا نشده، شرایط اشباع و غیر اشباع را بصورت استاتیکی و شبه استاتیکی و نیز تحلیلهای دینامیکی بستر روسازه (تا عمق نفوذ ارتعاشات) را فراهم سازند.

#### • پارامترهای بدنه خاکریز

برای تعیین پارامترهای طراحی بدنه خاکریزها لازم است در قطعات مختلف مسیر، نوع مصالح خاکی که در آن بخش مورد استفاده قرار خواهد گرفت به صورت قطعی مشخص گردیده و پارامترهای مقاومت برشی و رفتاری آن در شرایط تراکم مورد نظر برای بدنه خاکریز از طریق انجام آزمایشهای ژئوتکنیکی مناسب در شرایط کوتاه مدت و دراز مدت (بسته به شرایط آب و هوایی محیط) بدست آیند. در این مرحله باید محل منابع قرضه و جنس آنها شناسایی شده و نوع مصالح قابل استحصال از خاکبرداری‌ها مشخص گردیده باشد. لازم به ذکر است که روش و شرایط انجام آزمایشها از نظر زهکشی، تحکیم و یا سرعت انجام آزمایش بسته به نوع مصالح و شرایط ژئوهیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی محل متفاوت است که باید با توجه به نوع تحلیل لازم در هر موقعیت انتخاب گردند.

#### • پارامترهای بستر خاکریز

بستر خاکریز باید به صورت کامل از طریق انجام بازدیدهای محلی و انجام اکتشافات ژئوتکنیکی، شناسایی شده و در نهایت نقشه‌های زمین شناسی مهندسی و پروفیل طراحی ژئوتکنیکی آن تهیه و پارامترهای ژئومکانیکی تمام لایه‌های بستر تا عمق گسترش تنش حاصل از ساخت خاکریز تعیین گردند. در جریان اکتشافات، شناسایی تمام بخشهای غیر همسان، مسئله‌ای است که باید بصورت کامل انجام گردد. همسانی شرایط بستر خاکریز، از نقطه نظر نوع لایه‌های زیر سطحی، ضخامت آنها، تراکم مصالح در اعماق مختلف، سطح آب زیر زمینی و ... بررسی می‌گردد و شامل تفاوت مشخصات ژئومکانیکی و در نهایت تفاوت رفتار بخشهای مختلف است.

به منظور دستیابی به این اطلاعات، لازم است که مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی در مراحل مختلف طراحی مسیر با گستردگی‌های خاص انجام گردند. در مراحل طراحی مقدماتی، اکتشافات با هدف شناسایی لایه‌های مختلف انجام می‌گردد. لیکن در فاز نهایی طراحی، لازم است که اکتشافات با روشهای مناسب و در فواصلی بهینه (در شرایط عادی ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر) به گونه‌ای که هیچ شرایطی از دید مهندس ژئوتکنیک پوشیده نماند، انجام گردد.

تذکره ۱: جزئیات روش انجام اکتشافات، نوع آزمایشها و نیز میزان برداشتهای زمین شناسی مهندسی بر اساس شرایط زمین توسط مهندس ژئو تکنیک خبره تعیین می‌شوند. منظور از اکتشافات تنها حفر گمانه نبوده و به هر آنچه جزو روشهای شناسایی صحرائی و آزمایشگاهی است اطلاق می‌گردد.

تذکره ۲: به علت عدم امکان بررسی تمام مقاطع خاکریزها در فواصل خیلی کم (در حد چند متر)، برای ایجاد سهولت در انجام تحلیلها، لازم است که پس از انجام اکتشافات بررسی مصالح بستر خاکریزها و مشخص شدن نوع مصالح مورد استفاده در هر

منطقه، بر اساس ارتفاع خاکریزها، شرایط توپوگرافیکی بستر، جنس لایه‌ها، شرایط آب زیر سطحی و نوع مصالح خاکریزی دسته بندی گردند. دسته بندی باید به گونه‌ای صورت گیرد که از نادیده ماندن شرایطی که منجر به تفاوت شرایط پایداری خاکریز می‌شوند جلوگیری گردد. گاه لازم است در مناطق با شیب زیاد و دارای مصالح متنوع، مقاطع تیپ در فواصل نزدیک (حتی در فواصل حدود ۱۰ متر) تعریف گردند و گاه تعریف آنها در فواصل دورتر پاسخگوی مسئله است.

### ۳-۲-۴-۵- مقادیر ضرائب اطمینان در برابر لغزش

مقادیر حداقل ضرائب اطمینان در برابر لغزش که باید در تمامی خاکریزها حاصل گردند، در شرایط مختلف بارگذاری به شرح جدول (۳-۲) می‌باشند.

- -

			( )
$\frac{\sigma}{\sigma'}$	$\frac{\sigma}{\sigma'}$	$\frac{\sigma}{\sigma'}$	

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

### ۳-۲-۵- نشست پذیری بستر خاکریز

#### ۳-۲-۵-۱- کلیات

نشست خاکریز پدیده‌ای است که بسته به نوع خاک می‌تواند به صورت آنی (ارتجاعی)، بلند مدت (تحکیمی) و یا ثانویه رخ دهد. در خاکهای دانه‌ای نشست از نوع آنی و در خاکهای ریزدانه (چسبنده)، نشست نهایی حاصل جمع نشست ارتجاعی، دراز مدت و ثانویه است. جدا از مسائل نشست تدریجی که به صورت عادی مورد محاسبه و تحلیل قرار می‌گیرد، برخی خاکها به دلیل شرایط خاص چسبندگی و تراکم کم خود و یا تمایل شدید به جذب آب (خاکهای مسئله‌دار)، می‌توانند در مواجهه با آب یا بروز زلزله و یا هر نوع بارگذاری غیر متعارف، نشست‌های اتفاقی و پیش بینی نشده‌ای پیدا کنند (خاکهای روانگرا و رمنده). بعضی دیگر از خاکهای ریز دانه با چسبندگی زیاد با حضور یا عدم حضور آب دچار تغییر حجم شده و می‌توانند سازه خاکریز را دچار تغییر شکل‌های ناشی از تورم یا انقباض خود نمایند.

در هر شرایطی، باید تغییر شکل‌های آنی و تدریجی خط تا حد مطلوب بهره‌برداری از نظر آسایش مسافری و ایمنی حرکت قطار، قبل از ساخت روسازی و یا حداکثر در شروع بهره‌برداری از خط به وقوع پیوسته باشد و مقادیر نشست‌های نسبی در طول آن محدود شده باشند. علاوه بر این، در طول دوره بهره‌برداری، خط باید از هرگونه نشست اتفاقی یا تورم ناگهانی ایمن باشد.



## ۳-۲-۵-۲- ضوابط محاسبه نشست خاکریزها

## الف- نشست آنی خاک خاکریز

خاکهای دانه‌ای و یا چسبیده نیمه اشباع شده یا خشک در اثر اعمال تنش، دچار تغییر شکل آنی می‌گردند که مقدار آن از روابط ارتجاعی قابل محاسبه است. در حالت تحلیل دوبعدی خاکریز، می‌توان روابط نشست پی نواری سطحی بر روی توده خاک نیمه بی‌نهایت یا محدود شده توسط سنگ بستر را بکار گرفته و مقادیر نشست آنی را تخمین زد.

در شرایط لایه‌ای بودن خاک بستر خاکریزی، در صورتی که ترتیب قرارگیری خاک به گونه‌ای باشد که خاک از سطح به عمق به تدریج متراکم‌تر گردد و شرایط خاص ناشی از وجود یک لایه خیلی سست یا خیلی سخت در سطح زمین موجود نباشد و یا لایه‌های خاک بسیار متفاوت با یکدیگر نباشند، می‌توان از روابط فوق‌الذکر با بکارگیری مقدار ضریب ارتجاعی میانگین خاک در محدوده عمق  $2/5$  برابر عرض پاشنه خاکریز برای برآورد نشست کمک گرفت. در شرایط حضور سنگ بستر در عمقی نزدیک به سطح زمین، فرض خاک به عنوان یک توده بی‌نهایت نقض شده و در چنین شرایطی لازم است از ضرایب کاهشدهنده مقدار نشست استفاده شود.

در بین روشهای تحلیلی برآورد نشست، روش محاسبه مقدار تغییر تنش (افقی و قائم) در اعماق مختلف در اثر بارگذاری و سپس محاسبه کرنش قائم در هر عمق با بکارگیری مقادیر اضافه تنش افقی و قائم ارجح می‌باشد. در این روش، مقادیر تنش در زیرلایه‌های خاک واقع در اعماق آن از بکارگیری فرمولهای پخش تنش در اثر بارگذاری دوزنقه‌ای برآورده می‌شوند و با محاسبه کرنش قائم هر ریزلایه، نشست کل خاک محاسبه می‌گردد. از جمله مزایای چنین روشی این است که با این روش می‌توان اثر لایه‌ای بودن خاکها (در حد تفاوت کم لایه‌ها) و نیز وجود بستر سنگی در نزدیکی سطح زمین را ملحوظ نمود. ولی کماکان با این روش نمی‌توان اثر وجود لایه‌های سخت بر روی خاک نرم یا خاکهای با تغییر خیلی شدید لایه‌ها به علت سختی آنها را مورد مطالعه قرار داد. در چنین شرایطی (که البته در عمل به ندرت رخ می‌دهد)، استفاده از روابط و نمودارهای تجربی و ترجیحاً بکارگیری روشهای تحلیلی عددی لازم است.

## ب - نشست تحکیمی خاک خاکریز

نشست ناشی از تحکیم یا بلند مدت در خاکهای ریزدانه اشباع شده رخ می‌دهد. در این خاکها در اثر اعمال بار، بعلت کم بودن مقدار نفوذپذیری خاک و در نتیجه کند بودن روند خروج آب از خاک، فشار آب حفره‌ای ایجاد شده و در ازای خروج تدریجی آب از خاک، با کاهش فشار آب منفذی نشست به صورت تدریجی صورت می‌گیرد. در خاکهای نیمه اشباع، در صورتی که درجه اشباع از حدی کمتر باشد، نشست خاک حالت تدریجی خود را از دست داده و به صورت آنی رخ می‌دهد. معمولاً محاسبات مربوط به نشست تحکیمی در بخش زیر تراز آب زیر زمینی (شامل بخش اشباع شده در اثر خاصیت موئینگی آب در خاک) انجام می‌شوند.

تذکر: در خاکهای نیمه اشباع در صورتی که تراکم خاک از حدی کمتر بوده و حد پلاستیسیته خاک چندان زیاد نباشد، امکان نشست آنی خاک در شرایط حضور آب<sup>۱</sup> وجود دارد. در چنین حالتی بررسی پتانسیل ربندگی خاک الزامی است.

### • برآورد مقدار نشست

برای برآورد مقدار نشست تحکیم می‌توان از دو روش استفاده کرد: یکی استفاده از مقدار ضریب تغییر شکل پذیری حجمی ( $m_v$ ) حاصل از آزمایشهای تحکیم متناسب با سطح تنش موجود در خاک و سطح تنش وارده اضافی در لایه‌های مختلف خاک و دیگری برآورد مقادیر تنش در خاک در ارتفاعهای مختلف و استفاده از مقادیر تنش پیش تحکیمی ( $P_{oc}$ )، اندیس فشردگی ( $C_c$ ) و اندیس برگشت پذیری یا بارگذاری مجدد خاک ( $C_r$ ).

در برآورد مقدار نشست تحکیمی لازم است که به یکسان نبودن شرایط محصورشدگی تنش در عمل و تفاوت آن با شرایط تغییر شکل یک بعدی (اودومتري) توجه داشته و مقدار نشست محاسبه شده را با توجه به ماهیت دو بعدی رفتاری بستر زیر خاکریزها اصلاح کرد. در این باره می‌توان از روش اسکمپتون-بیروم<sup>۱</sup> یا روشهای مشابه که با محاسبه مقدار تغییرات نشست جانبی به صورت تابعی از تنش قائم، مقدار تغییرات فشار آب منفذی را برآورد می‌کنند، استفاده نمود.

### • زمان نشست تحکیم

آنچه در بحث نشست تحکیمی زیر بستر خاکریز حائز اهمیت است، سرعت روی دادن نشست و محاسبه زمان تدریجی اتمام این گونه نشست است. در طرح خطوط راه‌آهن مخصوص قطارهای سریع‌السیر، بعلاوه حساسیت خط به نشست، نشست‌های تحکیمی می‌باید قبل از بهره‌برداری از خط به اتمام رسیده و یا در حد قابل قبولی صورت گرفته باشند. در این مورد، برآورد دقیقی از زمان رسیدن به حد نشست قابل تحمل برای قطار سریع‌السیر از اهمیت زیادی برخوردار است. برای برآورد زمان تحکیم، مسئله خروج آب از خاک با توجه به مرزهای زهکشی، فشار وارده و نیز ضخامت توده خاک چسبیده مورد تحلیل قرار می‌گیرد. برای این منظور، اغلب از جداول ساده شده حاصل از حل معادلات تغییر فشار آب در مقابل زمان استفاده شده و مقادیر درصد نشست برآورد می‌گردد. در صورت مواجهه با خاکهای ریزدانه دارای مقادیر نفوذ پذیری بسیار متفاوت (پارامترهای تحکیم متفاوت)، لازم است که از روشهای عددی کمک گرفته شود.

در شرایطی که کل مقدار نشست تحکیمی قبل از بهره‌برداری از خط به پایان نرسد، بکارگیری روشهای تثبیت خاک و یا انجام عملیاتی در راستای تسریع نشست تحکیمی الزامی است. لازم به یادآوری است که انتخاب روشهای تقویت بستر یا تسریع در روند نشست تحکیم یا بکارگیری همزمان آنها بسته به شرایط تراکم خاک و میزان تخلخل و باربری آن صورت می‌گیرد. خاطر نشان می‌سازد که پارامترهای دینامیکی خاکهای ریزدانه به مقدار کمی با انجام تحکیم در آنها بهبود می‌یابد و گاه ممکن است که مقادیر پارامترهای بهبود یافته پاسخگوی نیاز طرح نباشند. در صورتی که خاک سست در محدوده تأثیر ارتعاشات حرکت قطار قرار گرفته باشد، کنترل نشست به تنهایی پاسخگو نخواهد بود. لذا انتخاب روشهای بهسازی یا تثبیت و یا اصلاً رای به عدم لزوم بکارگیری این روشها جزو مسائل تخصصی است که باید توسط کارشناس خبره ژئوتکنیک بررسی گردد.

### ج- نشست های اتفاقی - آنی بستر

خاکهای ریزدانه و دانه ای سست می‌توانند در اثر وجود یک عامل خارجی مانند آب و یا یک لرزش ناگهانی به هنگام بروز زلزله و یا ایجاد تشدید در اثر عبور وسیله نقلیه ریلی سریع‌السیر، دچار تغییر شکلهای بزرگ به صورت ناگهانی گردند.

خاکهای ریزدانه سست نیمه اشباع با دامنه خمیری کم، در شرایطی که در معرض جریان آب قرار گیرند در برابر لرزه‌های بسیار ضعیف و یا اعمال فشارهای استاتیکی بالا، دچار نوعی تغییر ساختار ناگهانی می‌شوند که نتیجه آن بروز نشست‌های اتفاقی در سطح زمین است. چنین خاکهایی را خاکهای رمنده<sup>۱</sup> و این پدیده را رمنندگی می‌نامند. در اینگونه خاکها، برآورد حداقل تراکم لازم برای خاک و یا حداکثر حد تنش همه جانبه قابل اعمال بر روی خاک از طریق انجام آزمایشهایی شبیه آزمایشهای تحکیم با روند بارگذاری و اشباع سازی خاص، ممکن می‌باشد. در چنین شرایطی برآورد دقیق مقدار تراکم و تخلخل محلی خاک و نیز اخذ نمونه های دست نخورده با کیفیت خوب، از اهمیت به سزایی برخوردار است.

خاکهای ماسه‌ای و یا سیلتی - ماسه‌ای سست (با اندکی ذرات شن) در شرایط اشباع دارای ساختار بسیار حساسی هستند؛ بگونه‌ای که با بروز یک لرزه یا بارگذاری ارتعاشی می‌توانند در یک لحظه مقاومت برشی خود را از دست داده و با انتقال فشار به آب حفره ای، به حالت سیال در آیند. در چنین شرایطی سازه‌های ساخته شده بر روی آنها، با از بین رفتن مقاومت زمین، دچار تغییر شکل‌های بزرگی می‌گردند. این پدیده روانگرایی<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک از طریق مقایسه تنش برشی تولید شده در اثر بروز زلزله یا بارگذاری ارتعاشی با تنش برشی قابل تحمل توسط خاک امکان‌پذیر است. برای تعیین مقدار تنش برشی قابل تحمل خاک، انجام آزمایشهای صحرائی نظیر آزمایش SPT و CPT و سنجش سرعت انتشار امواج برشی و فشاری در خاک یا آزمایشهای آزمایشگاهی سیکلی (برش مستقیم سیکلی و یا سه محوری سیکلی) و یا استفاده از دستگاه سانتریفوژ ضروری است، که البته بسته به اهمیت و پیچیدگی مسئله، ممکن است تعدادی از این روشها بطور موازی بکار روند.

تذکر: برخی خاکهای چسبنده (معموماً با دامنه خمیری زیاد)، در مواجهه با آب افزایش حجم می‌یابند. تورم این خاکها در فصول بارندگی و انقباض آنها در فصول خشک باعث بروز تغییر ارتفاع خط می‌گردد. چنین خاکهایی را خاکهای متورم شونده<sup>۳</sup> می‌نامند. علاوه بر اهمیت نشست پذیری خط در راه آهن مخصوص قطارهای سریع السیر، مسئله تورم و بالا آمدگی نیز یکی از مسائلی است که می‌بایست در خصوص خاکهای رسی نیمه اشباع که در معرض خشک یا اشباع شدن متوالی قرار دارند، مورد توجه قرار گیرد.

تذکر: تمامی مطالب فوق‌الذکر برای محاسبه نشست های خط در شرایط معمولی قابل استفاده اند. شرایط خاصی مانند خاکهای لایه‌ای، غیر همسانگرد (ایزوتروپ)، خیلی سست، و ... نیازمند رعایت موارد خاصی در محاسبات می‌باشند که در این بخش از ذکر آنها خودداری شده است. در هر حال، در تمامی حالات مسئولیت انتخاب روش مناسب تحلیل و صحت محاسبات بر عهده مهندس ژئوتکنیک مسئول پروژه است.

### ۳-۲-۳-۳- حداکثر مقادیر نشست قابل تحمل

#### • نشست کل

بروز نشست در بستر خاکریز از دو جنبه حائز اهمیت است. اول آنکه در صورت ادامه روند نشست بستر پس از اتمام عملیات ساختمان، روسازی نیز به تبعیت از زیرسازی نشست پیدا کرده و در نهایت تغییر شکل‌های حاصله از حد قابل تحمل برای حرکت ایمن و آسوده قطار بر روی ریل تجاوز می‌کند و ثانياً با ادامه نشست قابل ملاحظه بستر و با توجه به اینکه نشست خاکریز همواره با تغییر

1- Collapsible soils  
2- Liquefaction  
3- Swelling Soils

شکل‌های افقی بستر و باز شدگی و انبساط بخش‌های تحتانی خاکریز همراه است، این مسئله به کاهش تراکم خاک کوبیده شده خاکریز و افت کیفیت در بخش‌های تحتانی آن منجر می‌شود.

لذا مقادیر نشست پسماند<sup>۱</sup> خاکریز بر روی بستر پس از اتمام عملیات ساخت آن، بسته به نوع روسازی و سرعت طرح، به شرح زیر محدود می‌گردند:

- در سیستم روسازی بالاستی در سرعت‌های طرح ۱۶۰ و ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت، نشست پسماند به ترتیب به مقادیر ۲۰ و ۱۵ سانتی متر محدود می‌گردد.

- در سیستم روسازی بدون بالاست، در سرعت‌های طرح ۱۶۰ و ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت، نشست پسماند به ترتیب به مقادیر ۶ تا ۳ سانتی متر محدود می‌گردد.

#### • نشست نسبی

صرف نظر از محدودیت مقادیر مطلق نشست در خاکریزها، آنچه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، احتراز از اعمال شتابهای غیر قابل تحمل به قطار سریع‌السیر است که از طریق کنترل مقادیر نشست نسبی در طول خط قابل بررسی و مطالعه است.

مقادیر نشست نسبی در طول خط بسته به سرعت طرح و نوع روسازی (بالاستی یا بدون بالاست) به مقادیر زیر محدود می‌گردد: در روسازی بالاستی با سرعت طرح ۱۶۰ و ۲۵۰ کیلومتر در ساعت، نشست نسبی در طول ۱۰ متر از خط نباید بترتیب از ۲۰ و ۱۰ میلی‌متر تجاوز نماید. در سرعت‌های طرح بالا (در حدود ۲۵۰ کیلومتر در ساعت)، به صورت استثنایی در محل خاکریزهای منتهی‌شونده به محل پلها<sup>۲</sup>، مقدار نشست خاکریز در فاصله ۳۰ متری از کوله پل می‌تواند به حد ۲۰ میلی‌متر از تراز عرشه پل برسد. در حالت عمومی در خطوط با روسازی بالاستی مقادیر نشست نسبی باید به حد آسایش به شرح زیر محدود شوند:

$$f < 0.625 \frac{L^2}{V_{tr}^2}$$

که در آن:

L: فاصله بین دو نقطه که نشست نسبی بین آنها مد نظر است، بر حسب متر

$V_{tr}$ : سرعت حرکت قطار بر حسب متر بر ثانیه

f: نشست حد آسایش مسافر

در روسازی بدون بالاست در سرعت‌های طرح ۱۶۰ و ۲۵۰ کیلومتر در ساعت، نشست نسبی بترتیب به مقادیر ۶ و ۳ میلی‌متر محدود می‌گردد که البته دلیل آن حساسیت شدید اینگونه روسازی به نشست است.

### ۳-۲-۶- پاسخ دینامیکی خاکریز در اندرکنش با روسازی

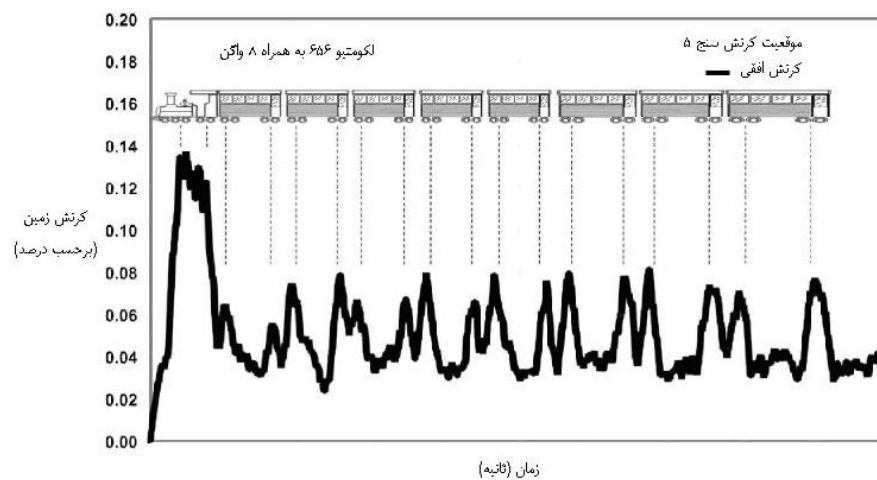
#### ۳-۲-۶-۱- کلیات

حرکت قطار سریع السیر بر روی خطوط آهن بسته به نوع بوژی واگنهای آن منجر به اعمال بارگذاری سیکلیک به هر نقطه از خط ریلی می گردد (شکل ۳-۳).

طول موج تغییر شکل قائم ریل تحت این بار نوسانی تقریباً برابر فاصله بوژی واگنها (دو بوژی نزدیک به هم از دو واگن مجاور یکی فرض شده اند) از یکدیگر بوده و فرکانس آن برابر حاصل تقسیم سرعت سیر قطار به فاصله مرکز تا مرکز دسته بوژی ها است. در همین زمینه بر مبنای اندازه گیری های میدانی انجام شده، فرکانس تغییر شکلهای حاصله در ریل از رابطه زیر بدست می آید:

$$f \text{ (HZ)} = 0.0147V$$

V: سرعت سیر قطار بر حسب کیلومتر بر ساعت



شکل ۳-۳- امواج حاصل از عبور قطار

این در حالیست که فرکانس امواج ارتعاشی بر مبنای فاصله دو چرخ در یک بوژی (حدود ۲/۵ متر) محاسبه می گردد. به عنوان مثال با حرکت قطار با سرعتی معادل ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در ساعت، فرکانس بارگذاری تناوبی حرکت قطار در حدود ۳۰ تا ۴۰ هرتز خواهد بود.

وجه تمایز تغییر شکلهای ناشی از بار گذاری دینامیکی و تغییر شکلهای دراز مدت استاتیکی (تحکیم) بستر در این است که در هر حال نشستهای تحکیم با گذشت زمان به شرایط بهتر و کاهش مقدار حساسیت زمین می انجامد، در حالی که شرایط زمین دارای وضعیت نامساعد از نظر باربری دینامیکی، با گذشت زمان بدتر می شود.

بر اساس مشاهدات و تجربیات حاصله تاکنون، مقدار عمقی از خاک بستر روسازی که تحت تاثیر نوسانات و ارتعاشات حرکت قطار قرار می گیرد، بسته به نوع روسازی و سرعت حرکت قطار، در حدود ۲/۵ تا ۴ متر بوده و حتی گاه به ۵ متر زیر سطح سابگرید می رسد. به عبارت دیگر در تحلیل دینامیکی روسازی و زیرسازی در خطوط آهن مخصوص قطارهای سریع السیر، می بایست اندرکنش این دو بخش در نظر گرفته شود و بررسی هر یک از این سیستمها به صورت مجزا ممکن نیست.

### ۳-۲-۶-۲- مفهوم سرعت حدی

در خطوط آهن مخصوص سرعت های معمولی (کمتر از حد ۱۳۰ تا حداکثر ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت)، بار وارده از سوی محورهای قطار به صورت یکی پس از دیگری بر تراورسها و سپس جسم خاکریز منتقل می‌گردد و روند اعمال فشار به خاکریز با حرکت خود قطار به صورت پیش رونده، حرکت کرده و امواج حاصل از حرکت قطار در ضخامت روسازی و بخشی از بستر آن مستهلک می‌گردند. در حالی که در خطوط آهن مخصوص قطارهای سریع السیر امواج حاصل از حرکت قطار با فرکانس بیشتر و قوی‌تر در حجم خاکریز نفوذ می‌کنند. از آنجا که سرعت سیر امواج در خاکها گاه تا حدود ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت کاهش می‌یابد، لذا با افزایش سرعت حرکت قطار از حدی به بعد (تقریباً در حدود سرعت انتشار امواج در خاک بستر) نوعی تشدید دینامیکی<sup>۱</sup> در جسم خاکریز و بستر آن ایجاد می‌گردد که در پی آن خاک از خود رفتار غیر خطی بروز داده و تغییر شکلهای پیش رونده ای در بدنه خاکریز و روسازی خط متکی بر آن رخ می‌دهد.

از جمله اثرات تشدید دینامیکی در بدنه خاکریز، بروز خستگی در ریل، نشست پیش رونده، تغییر شکل لایه بالاست و تغییر باربری خط است که می‌تواند عواقب ناگواری را برای قطار باعث گردد. مقدار سرعتی که با تجاوز از آن، تشدید دینامیکی در زیرسازی ایجاد می‌گردد، به عنوان سرعت حدی خط<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.

ناگفته پیداست که برای ایجاد خط مخصوص قطارهای سریع السیر با سرعت طرح  $V$ ، باید تمامی طول خط از نظر عدم بروز رفتار غیرخطی در خاک کنترل شده و در شرایط ناهنجار، مشخصات زیرسازه و بستر زمین از طریق بکارگیری روشهای بهسازی خاک و یا تسلیح آن و یا بکارگیری تیرهای بتنی یکسره به عنوان تکیه گاه ریلهای راه آهن، تا حد مورد نیاز افزایش یابند.

### ۳-۲-۶-۳- معرفی روشهای بررسی دینامیکی بستر

براساس مطالعات تئوریک انجام شده در خصوص تغییر شکلهای دینامیکی خاک در اثر حرکت قطارهای سریع السیر، توسط کنی<sup>۳</sup>، کری لاو<sup>۴</sup> و دایرمن و متریکین<sup>۵</sup>، مشخص گردیده که سرعت حدی سیر قطار با سرعت انتشار موج سطحی در زمین رابطه مستقیم دارد.

برای تحلیل اندرکنش روسازی با خاکریز و زمین بستر، روشهای گوناگونی وجود دارند که باید از آنها بسته به پیچیدگی شرایط زمین استفاده گردد. انتخاب روش باید با توجه به نقاط قوت و ضعف روشهای مختلف و میزان دقت پاسخ آنها صورت گیرد. در این بخش فقط شرح مختصری بر روشهای رایج ارائه شده و مسئولیت انتخاب روش تحلیل بر عهده طراح است.

یکی از ساده‌ترین روشها، روش کنی (۱۹۵۲) می‌باشد که مبتنی بر حل مساله تیر پیوسته بر روی بستر ارتجاعی است، که در آن ریل به صورت تیر در نظر گرفته شده و مجموعه بالاست، زیربلاست و خاک زیر آن با فنرهای وینکلر، جایگزین می‌گردد، سپس با حل معادله دیفرانسیل حاکم، مقدار سرعت حدی قطار محاسبه می‌شود. برخی از محققین رابطه کنی را با منظور کردن کل مجموعه روسازه و خاکریز زیر آن بعنوان یک تیر ارتجاعی متکی بر روی زمین زیر خاکریز که با فنرهای وینکلر جایگزین شده‌اند، نیز بکار گرفته‌اند. رابطه کنی به صورت زیر است:

1- Dynamic Amplification

2- Critical Speed

3- Kenny-1954

4- Krylov-1995

5- Dierman & Metrikine-1997

$$V_{CR} = \sqrt[4]{\frac{KEI}{\rho^2}}$$

K: ثابت فنریت بستر در واحد طول تیر ارتجاعی بر حسب  $\text{MN/m}^2$  (MPa)

I: ممان اینرسی خمشی تیر پیوسته (ریل) بر حسب  $\text{m}^4$

E: مدول الاستیسیته تیر پیوسته (ریل) بر حسب  $\text{MN/m}^2$  (MPa)

$\rho$ : جرم واحد طول تیر پیوسته (مجموعه ریل و تراورس) بر حسب  $\text{MN/m}$

VCR: سرعت حدی قطار بر حسب  $\text{m/s}$

بزرگترین ایراد روش کنی این است که با آن نمی توان به خوبی پدیده انتشار امواج در خاک را مدل سازی کرد و همچنین انتخاب سختی فنرهای وینکلر به گونه ای که با رفتار دینامیکی خاک بستر همخوانی کافی داشته باشد، امر آسانی نیست. در هر حال سادگی روش تحلیل کنی باعث شده که از آن برای انجام تحلیل های اولیه خط و به عنوان یک تقریب اولیه استفاده گردد. قابل ذکر اینکه، این روش در حالتی که خاکریز بر روی خاک سست بنا شده، پاسخهایی بیشتر از واقعیت می دهد و از این بابت اطمینان به پاسخهای آن تنها با داشتن دانش کافی امکان پذیر بوده و لذا استفاده از روشهای دیگر الزامی است.

هر کدام از روشهای ارائه شده در بدست دادن پاسخهای واقعی در شرایط پیچیده مشکلاتی دارند. یکی از دلایل این است که زمین اغلب لایه ای بوده و سرعت حرکت امواج در عمق متفاوت است و این موضوع همواره باعث ایجاد نوعی تفرق در امواج ریلی می گردد. همچنین به هنگام نزدیک شدن حرکت قطار به سرعت حدی رفتار غیر خطی در خاک در تغییر شکلهای بزرگ، باعث می گردد که پاسخهای واقعی در مقایسه با نتایج تحلیلهای متفاوت باشند.

شرایط پیچیده ای مانند ضعیف بودن بستر خاکریزی، کم بودن ارتفاع خاکریزی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و ... موجب می شوند که نتایج تحلیل و مقادیر حاصله بعنوان سرعت حدی با مقادیر سرعت طرح مفروض برای خط آهن مورد طراحی متفاوت گردند. در چنین شرایطی استفاده از روشهای معمولی که در واقع بر مبنای مدل سازی خاک با فنرهای وینکلر استوارند، مجاز نبوده و استفاده از تحلیلهای عددی پیشرفته (روش های اجزاء محدود-تفاضل محدود) الزامی است.

### ۳-۲-۶-۴- ضوابط طراحی دینامیکی خاکریزها

بر اساس تحقیقات انجام شده، حد سرعتی معادل ۶۰ درصد سرعت حدی، تغییر شکلهای قابل برگشت بوده و این حد را می توان سرعت حد پایین برای شرایط خاص تحلیل انجام شده دانست. در این خصوص، لازم است که خاکریز و روسازی (بصورت توأم) برای سرعتی طرح گردند که بیشتر از ۶۰٪ سرعت حدی آنها نباشد. به عبارت دیگر مجموعه خاکریز و روسازی آن از لحاظ دینامیکی باید برای حدود ۱/۷ برابر سرعت طرح، طراحی گردند.

تغییر شکل پذیری سطح ریل (که تابع سختی بستر آن است)، تأثیر قابل توجهی بر مسائل تعمیر و نگهداری و آسایش مسافری دارد. تغییر شکل پذیری در این بخش، با نشست نسبی یا انحرافهای خط متفاوت است. حرکت بر روی ریلهای فلزی متکی بر بستر صلب باعث تشدید ارتعاشات و لرزش ها در روسازی (بالاست یا دال بتنی) و ایجاد خستگی در آنها می گردد. از طرف دیگر، تغییر

شکل پذیری زیاد نیز در خود ریل نوعی فرسودگی و خستگی را بدنبال دارد. از اینرو مقدار تغییر شکل ارتجاعی ریل اثر قرارگیری چرخ با نیروی ۲۰۰ کیلونیوتن به مقادیر زیر محدود می‌گردد:

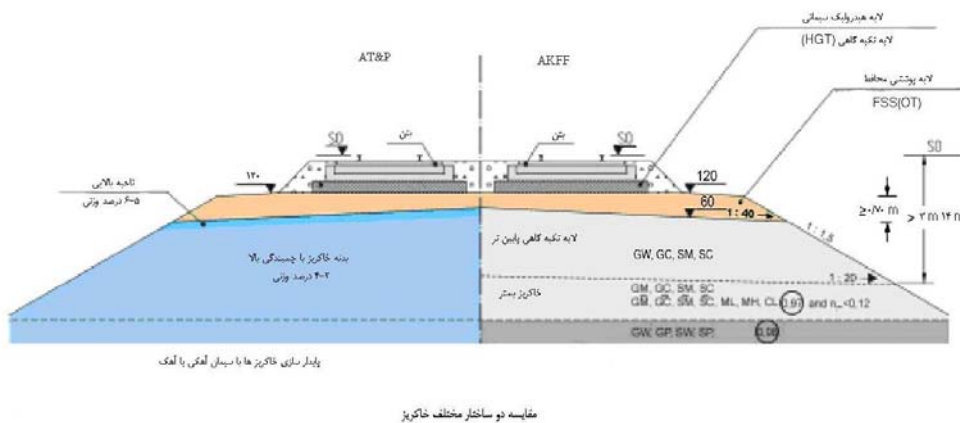
- سرعت کمتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت: نشست ارتجاعی بین ۱/۰ تا ۲/۲ میلی‌متر
- سرعت بین ۱۶۰ تا ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت (قطار سریع‌السیر): نشست ارتجاعی بین ۱/۵ تا ۲/۰ میلی‌متر

### ۳-۲-۶-۵- تمهیدات خاص برای تأمین سرعت حدی در شرایط نامناسب

گاهی تأمین سرعت حدی مورد نظر در طرح، با توجه به محدودیتهای موجود در مجموعه زیرسازی و روسازی ممکن نیست. از جمله این حالات، می‌توان به شرایط ساخت خاکریزهای کوتاه (با ارتفاع کمتر از حدود ۲/۵ متر) بر روی زمینهای نه‌چندان مناسب (از نوع QS1 یا QS2) و یا شرایط ساخت روسازی در کف ترانشه‌های خاکی فاقد مشخصات لازم، اشاره کرد.

در چنین حالتی، تمهیداتی خاص به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

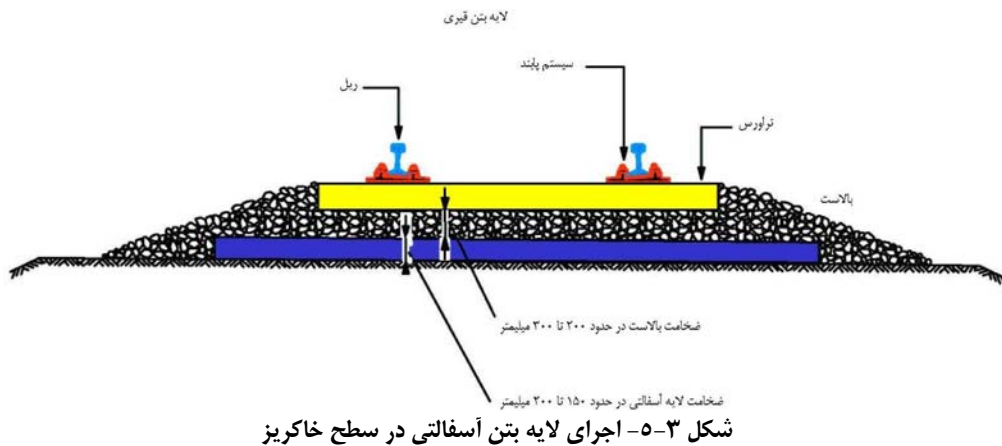
- جایگزین کردن مصالح سست و نامناسب بستر با مصالح مناسب
- استفاده از روشهای بهسازی بر روی مصالح خاکریزی به منظور بهبود مقادیر تغییر شکل‌پذیری دینامیکی خاکهای نامناسب (شکل (۳-۴))،
- اجرای یک یا چند لایه بهسازی شده با سیمان یا استفاده از روشهای تسلیح خاک (ژئوتکستایلها، ژئوگریدها و ...) در بستر خاکریز،



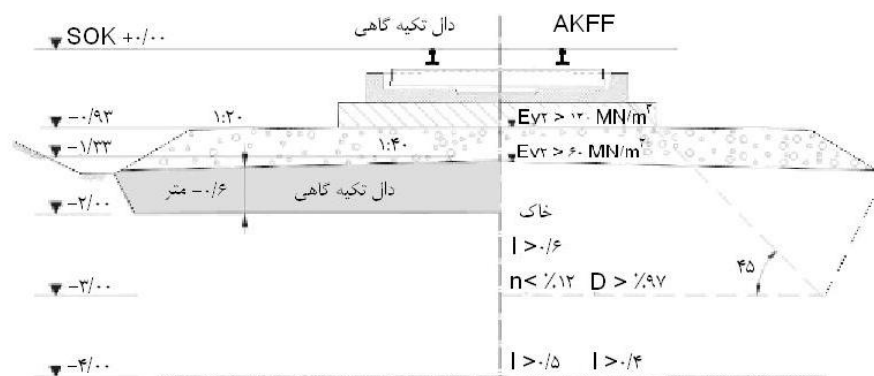
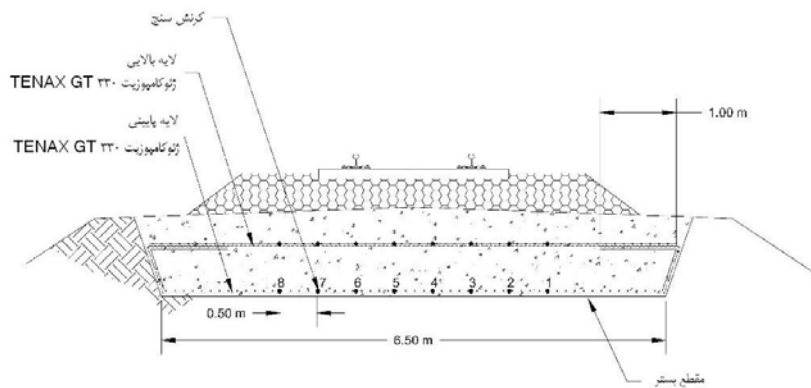
شکل ۳-۴- استفاده از روشهای تثبیت خاک در بخش سابگرید

- استفاده از دال بتن مسلح به ضخامت حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر در سطح خاکریز و زیر لایه بالاست (شکل (۳-۵))



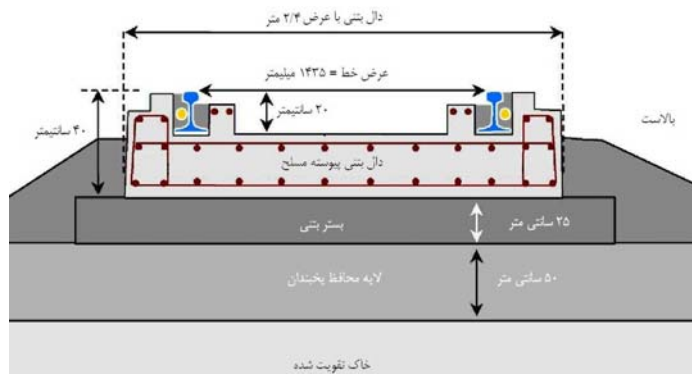


- استفاده از روشهای تسلیح خاکریز (ژئوتکستایلها و ...) یا تثبیت خاک در زیر لایه زیربالات (شکل (۳-۶) و (۳-۷))،



- بالا بردن خط پروژه در صورتی که ضعف ناشی از بستر خاکریز باشد و امکان افزایش تراز خط پروژه و ساخت خاکریز با مصالح مناسب با رعایت محدودیت نشست وجود داشته باشد.
- استفاده از یک تیر جعبه‌ای شکل با سختی قابل توجه (شبهه عرشه پلهای بزرگ) بر روی زمین، در راستای تقویت سختی روسازی و بهبود رفتار دینامیکی مجموعه ریل و زیرسازی آن،

- تغییر طرح روسازی به حالت بدون بالاست (روسازی بتنی) با سختی کافی (شکل ۳-۸)

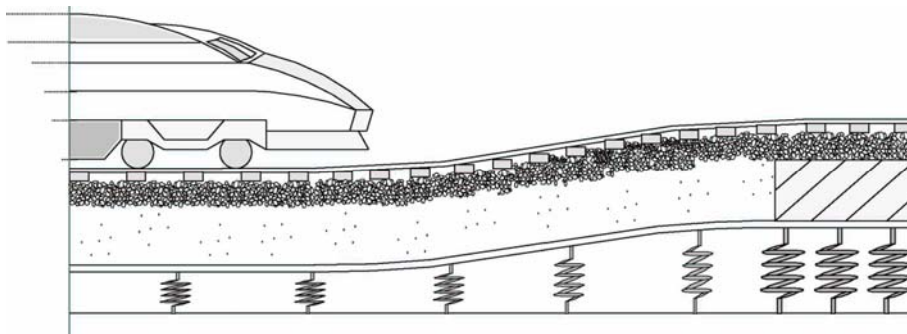


شکل ۳-۸- استفاده از روسازی بتنی با سختی کافی

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

### ۳-۲-۷- خاکریزهای منتهی شونده به پلها

رفتار خاکریزهای منتهی شونده به پلها، به دو دلیل در هنگام بهره‌برداری اهمیت می‌یابد. دلیل اول، خوب متراکم نشدن این بخش از خاکریز بدلیل عدم امکان کوبیدن آن با غلتکهای سنگین و دلیل دوم، تفاوت ذاتی سختی خاکریز با سختی و تغییر شکل‌پذیری پل (شکل ۳-۹) که می‌تواند دلیل کافی برای ایجاد رفتار دینامیکی متفاوت در زیرسازی خط در فاصله‌ای کوتاه باشد. برای مرتفع ساختن این مسئله، لازم است که میزان نشست پذیری و تغییر سختی از محل خاکریز به پل بصورت تدریجی انجام گردد.



شکل ۳-۹- نمایش شماتیک تغییر سختی در محل خاکریزهای منتهی شونده به پلها

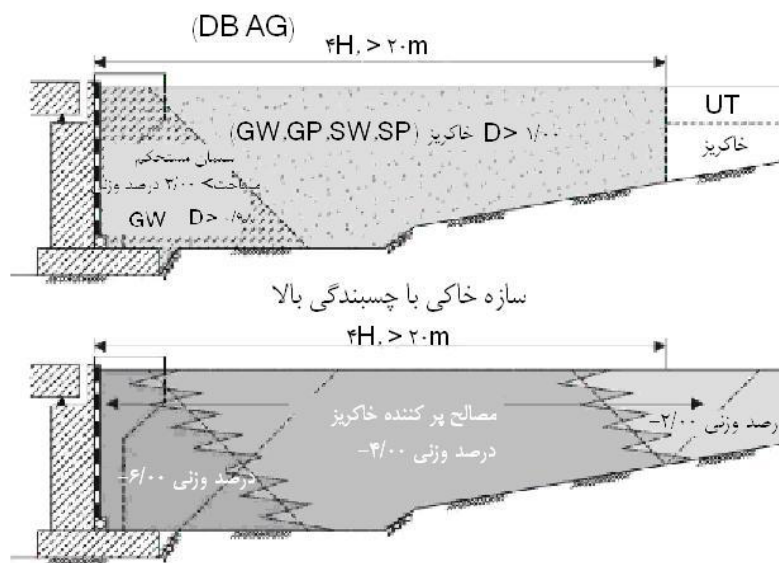
### • اختلاف نشست

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

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

**• اختلاف سختی بدنه خاکریز**

به منظور تغییر تدریجی سختی در جسم خاکریز، از طرحهای مختلفی شامل تغییر و جنس مصالح پرکننده یا بهسازی آنها با سیمان و یا تسلیح مصالح استفاده می‌گردد. طول خاکریز ورودی و یا خروجی پل، بسته به سرعت طرح تعیین می‌گردد. این طول در سرعت طرح ۱۶۰ کیلومتر در ساعت برابر حداکثر مقادیر سه برابر ارتفاع کوله یا ۱۵ متر بوده و در سرعت طرح ۲۵۰ کیلومتر در ساعت برابر بیشترین مقدار، چهار برابر ارتفاع کوله یا ۲۰ متر است. دو نمونه از روشهای اجرای این بخش از خاکریزها، یکی با استفاده از مصالح دانه‌ای و دیگری با مصالح ریزدانه تثبیت شده با سیمان، در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۱۰- نمونه روشهای اجرای خاکریزهای منتهی شونده به پلها

**۳-۲-۸- ملاحظات مربوط به احداث خاکریزها**

خاکریزها باید بگونه‌ای ایجاد شوند که تمام شرایط مورد بحث به منظور ایجاد بستری مناسب برای روسازی را فراهم آورند. در این بخش به برخی ملاحظات خاص اجرا بترتیب وقوع آنها در عملیات خاکریزی اشاره خواهد شد.

**الف- پاکسازی حریم، برداشت خاک نباتی و کنترل بستر**

از نظر پاکسازی و برداشت خاک نباتی از بستر خاکریزها، تفاوتی میان خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر با خطوط آهن معمولی نیست. لیکن پس از برداشت این لایه سطحی، لازم است تا شرایط بستر از نظر وجود حداقل تراکم و سختی مورد نیاز بررسی شده و فرضیات طراحی کنترل شوند. کنترل شرایط بستر از طریق انجام آزمایشهای تعیین دانسیته محلی، بارگذاری صفحه، دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ و در شرایط حاد حتی با آزمایشهای تعیین مقاومت برشی خاک صورت می‌گیرد. لازم به یادآوریست که برخی مراجع انجام آزمایش CBR را در جهت بررسی مشخصات بستر مناسبتر می‌دانند. در این شرایط، استفاده از آزمایش CBR محلی بدون دانستن ارتباط آن با مقادیر ارتجاعی خاک مجاز نیست. به عبارت دیگر استفاده از روشهای غیر مستقیم تعیین مقادیر ارتجاعی خاک تنها با اطلاع طراح و موافقت دستگاه نظارت مجاز است.

توالی انجام آزمایشها بر روی بستر خاکریزها در شرایط مختلف به شرح جدول (۳-۳) توصیه می‌گردد. لیکن در شرایط عملی، محل و توالی انجام آنها توسط مهندس خبره در مسائل مربوط به خاک و آشنا به مسائل خاص قطارهای سریع السیر تعیین می‌گردد. در صورتی که پارامترهای بدست آمده از آزمایشهای انجام شده بر روی خاک بستر در زمان اجرا در مقایسه با آنچه در پارامترهای طراحی آن بخش از مسیر آمده کمتر و یا بسیار بیشتر باشد، لازم است موضوع با طراح در میان گذارده شود. برای این منظور لازم است که نقشه‌های پروفیل طولی ژئوتکنیکی مسیر و نتایج اکتشافات انجام شده در کارگاه در دسترس بوده و عوامل کارگاه با انجام آزمایشها و پیمایش بستر خاکریز (پس از برداشت خاک سطحی) تمام شرایط را کنترل کرده و نقشه‌های پروفیل طولی چون ساخت<sup>۱</sup> را آماده کنند.

**جدول ۳-۳- آزمایشهای مورد نظر در بررسی بستر خاکریزها**

نوع آزمایش	استاندارد	تعداد
دانه بندی و هیدرومتری	ASTM-D ۴۴۴ ۴۴۴	در هر مرتبه تغییر نوع مصالح و یا حداقل در فواصل ۲۰۰ الی ۴۰۰ متری، بسته به شرایط
حدود اتربرگ	ASTM-D ۴۴۴	در هر بار تغییر نوع مصالح و یا حداقل در فواصل ۲۰۰ الی ۴۰۰ متری، بسته به شرایط
آزمایش پروکتور اصلاح شده	ASTM D ۴۴۴	در هر بار تغییر نوع مصالح و یا در فواصل ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ متری، بسته به شرایط
دانسیته در محل، بروش مخروط ماسه	ASTM-D ۴۴۴ ASTM-D ۴۴۴	در هر بار تغییر نوع و تراکم مصالح و یا حداکثر در فواصل ۵۰ الی ۱۰۰ متری در طول مسیر، بسته به شرایط
آزمایش بارگذاری صفحه در شرایط واقعی محل از نظر رطوبت و سطح آب زیرزمینی <sup>(۱)</sup>	DIN ۴۴۴ ASTM-D ۴۴۴	در فواصل ۱۰۰۰ الی ۱۵۰۰ متری، بسته به شرایط و نظر مهندس ناظر
آزمایش CBR در محل و یا در آزمایشگاه بر روی خاک باز سازی شده مطابق تراکم و رطوبت مشابه محل <sup>(۱)</sup>	ASTM-D ۴۴۴	در فواصل ۳۰۰ الی ۵۰۰ متری، بسته به شرایط و نظر مهندس ناظر

۱- آزمایشهای بارگذاری صفحه و CBR ممکن است به صلاحدید مهندس ناظر، به صورت همزمان انجام گردند و با شناسایی مقادیر پارامترها در هر نوع مصالح، بعد از مدتی یکی از آنها و یا در شرایط حصول اطمینان از مناسب بودن بستر، به صورت موردی انجام شوند.

تذکر: در شرایط مواجهه با یکی از شرایط زیر، لازم است که کنترل‌های بستر با حساسیتی مضاعف صورت پذیرد:

- بالا بردن سطح آب زیرزمینی یا تراوش قابل توجه آب‌های زیرزمینی
- مواجهه با خاک‌های ریزدانه سست
- مواجهه با خاک‌های دارای گچ، آهک و املاح قابل حل در آب
- وجود اثرات فرسایش سطحی خاک و حفره‌های زیرزمینی<sup>۱</sup>
- نزدیکی تراز سطح لایه زیربالاست با سطح زمین طبیعی (به عبارت دیگر ارتفاع خاکریزی کمتر از ۲/۵ متر)

#### ب- کوبیدن بستر و ایجاد لایه های اولیه

پس از کنترل بستر خاکریزی، سطح زمین اندکی خراشیده شده، آب‌پاشی گردیده و تا حد تراکم لازم متراکم می‌شود. در صورتی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده یا بستر شدیداً مرطوب باشد، لازم است که حداقل به میزان ۳۰ سانتیمتر خاکریزی با مصالح درشت‌دانه دارای ریزدانه کم (حداکثر مطلق ۱۰ درصد ریزدانه) صورت گیرد.

در شرایطی که بستر زمین از نوع نشست پذیر با قابلیت نشست طولانی مدت بوده و قصد بر این باشد که نشست خاکریز (با انجام زهکشی یا بدون آن) تا پیش از احداث روسازی صورت گیرد، لازم است که اقدامات لازم برای پیشگیری از انبساط بخش‌های تحتانی خاکریز انجام گردند. در چنین شرایطی، استفاده از ژئوگریدها یا ژئوتکستایلها و یا احداث برمه‌های جانبی به همراه لایه های اولیه خاکریز تثبیت شده، معمول است.

#### ج- ایجاد خاکریز

در صورتی که ارتفاع خاکریز از ۲/۵ متر کمتر باشد، لازم است که کل خاکریز با مصالح از نوع QS3 یا QS2 (مطابق رده‌بندی UIC) بنا گردد و یا در صورت استفاده از مصالح دیگر، از روش‌های بهسازی خاک استفاده گردد. در هر حال تمام تصمیم‌گیری‌ها باید با نظر مستقیم طراح صورت گیرد و تمام مسائل بروز نموده در زمان احداث در نقشه‌های عین ساخت ذکر گردد.

در هنگام خاکریزی رعایت تمام موارد زیر ضروری است:

- نمونه‌گیری دائمی از مصالح خاکریزی (در قرضه) صورت گرفته و آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود اتربرگ، تراکم اصلاح شده (پروکتور) و سنجش مقدار املاح قابل حل در آب بر روی آنها صورت گیرند.
- از خاک حمل شده به محل به صورت منظم با درج موقعیت بر حسب کیلومتر و عمق از سطح نهایی خاکریز نمونه‌گیری شده و آزمایش‌های شناسایی بر روی نمونه‌ها صورت گیرند.
- انجام آزمایش تراکم در محل در فواصل حداکثر ۵۰ متری و ترجیحاً استفاده همزمان از غلطک‌های دارای تجهیزات ثبت میزان کوبیدگی لایه های خاک (تمام مراجع بر استفاده از چنین غلطک‌هایی به عنوان وسیله ثبت میزان کوبیدگی در تمام نقاط مسیر تاکید دارند).
- ضخامت لایه های خاکریزی نباید از میزان توان غلطک تجاوز نماید. کنترل توان غلطک همواره باید از طریق ایجاد خاکریز آزمایشی مورد بررسی قرار گیرد.
- در صورت ایجاد خاکریزی در لایه های ضخیم، عمق چاله های کنترل تراکم از طریق آزمایش تراکم در محل، باید کل لایه ریخته شده را در بر گیرد و یا آزمایش در دو بخش بالایی و تحتانی لایه بصورت مجزا صورت گیرد.

- لایه‌های خاکریزی نباید در جریان عملیات دچار یخ‌زدگی گردند.
- استفاده از مصالح سنگریزه‌ای<sup>۱</sup> فقط در بخش تحتانی خاکریزها (پایین تر از ۲/۵ متری از سطح آن‌ها) و با تایید دستگاه نظارت با شرط مناسب بودن نوع مصالح و صحیح بودن روش اجرا و وجود امکان کنترل دانه‌بندی و تراکم آنها در کارگاه بلامانع است. مصالح سنگریزه‌ای باید خوب دانه‌بندی شده بوده، از جدایی ذرات در زمان احداث جلوگیری شده و لایه‌های خاکریزی در ضخامتی متناسب با توان غلطک کوبیده شوند. در صورت مجهز بودن غلطک به دستگاه ثبت میزان کوبیدگی، کنترل تراکم مصالح می‌تواند در فواصل دورتر انجام شود.
- در صورت استفاده از روشهای تثبیت خاک، طرح تثبیت باید برای همان مصالح از طریق آزمایش بدست آید. لازم به تذکر است که ایجاد لایه‌های تثبیت شده با مقاومت زیاد در لایه‌های نزدیک به سطح (تا عمق ۲/۵ متری) بعلت افزایش خاصیت شکنندگی مصالح مجاز نیست.
- توالی نمونه‌گیری و نوع آزمایشهای لازم به منظور کنترل عملیات اجرای بدنه خاکریز به شرح جدول (۳-۴) صورت می‌گیرد. کنترل ایجاد لایه زیربالاست و لایه‌های مقاوم در برابر یخبندان (لایه ساب‌گرید منتخب) باید با حساسیت بیشتر و مطابق جدول (۳-۵) انجام گردد.

جدول ۳-۴- نمونه‌گیری و نوع آزمایشهای کنترل عملیات خاکریزی (بدنه اصلی)

توالی	استاندارد	نوع آزمایش
در هر ۵۰۰۰ و حداکثر هر ۷۰۰۰ متر مکعب خاکریزی و یا در هنگام تغییر نوع مصالح	ASTM-D ۴۲۱ و ۴۲۲	دانه بندی و هیدرومتری
در هر ۵۰۰۰ و حداکثر هر ۷۰۰۰ متر مکعب خاکریزی و یا در هنگام تغییر نوع مصالح	ASTM-D ۴۳۱۸-۹۳	حدود انقباض
در هر ۳۰۰۰ الی ۵۰۰۰ متر مکعب و یا در هنگام تغییر نوع خاک	ASTM-D ۴۵۵۷	آزمایش پروکتور اصلاح شده
در تمام لایه‌های خاکریزی در فواصل ۵۰ متری بسته به شرایط و دستور مهندس ناظر	ASTM-D ۱۵۵۶ ASTM-D ۴۷۱۸	آزمایش تراکم در محل به روش جایجایی ماسه <sup>(۱)</sup>
در هر ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ مترمکعب و یا در هنگام تغییر نوع مصالح (قبل از حمل مصالح به محل خاکریزی)	ASTM-D ۱۸۸۳	آزمایش CBR آزمایشگاهی بر روی خاک با ۹۵ درصد تراکم نسبت به پروکتور اصلاح شده و در شرایط اشباع شده
در هر ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ متر مکعب خاکریزی و یا در صورت تغییر مصالح	AASHTO T-۱۹۴	آزمایش تعیین مقدار مواد آلی خاک و یا تعیین مقدار املاح قابل حل در آب
به صورت موردی بر روی هر نوع مصالح جدیدی انجام آن ضروری است. در سایر شرایط، در صورت نیاز به دستور مهندس ناظر انجام گردد.	ASTM-D ۱۱۹۴	آزمایش بارگذاری صفحه برای بدست آوردن ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم (EV۲) در شرایط واقعی رطوبت خاک در زمان بهره‌برداری

- ۱- آزمایشهای کنترل تراکم محلی خاک متنوع هستند. معمولترین روش تعیین تراکم خاک در محل در ایران، روش مخروط ماسه است. لیکن سایر روشها نظیر استفاده از اشعه گاما بسیار سریعتر و آسانتر است. در شرایط استفاده از روش جایجایی ماسه با هر روش مشابه، انجام اصلاح مقدار تراکم در اثر وجود درشت‌دانه‌ها (مطابق استاندارد ASTM-D 4718) ضروری است.

جدول ۳-۵- نمونه‌گیری و نوع آزمایشهای کنترل عملیات خاکریزی (لایه زیربالاست و ساب‌گرید منتخب)

نوع آزمایش	استاندارد	توالی
دانه بندی و هیدرومتری	ASTM-D ۴۴۴-۴۴۴	در هر ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ متر طول مسیر حداقل یک آزمایش
حدود انقباض	ASTM-D ۴۴۴	در هر ۱۰۰۰ متر طول از مسیر با نظر مهندس ناظر
آزمایش پروکتور اصلاح شده	ASTM-D ۴۴۴	در هر ۱۰۰۰ متر مکعب حداقل یک آزمایش (در صورت درخواست مهندس ناظر باید آزمایشهای اضافی انجام شوند).
آزمایش دانسیته در محل به روش جایجایی ماسه	ASTM-D ۴۴۴ ASTM-D ۴۴۴	در فواصل ۵۰ متری در تمام لایه‌های کوبیده شده از هر بخش
آزمایش بارگذاری صفحه در سطح نهایی لایه‌ها در شرایط واقعی رطوبت هنگام بهره‌برداری در فصل زمستان (برای تعیین مقدار ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم -EV۲)	DIN ۴۴۴ ASTM-D ۴۴۴	در فواصل ۱۰۰۰ الی ۱۵۰۰ متری بسته به شرایط و درخواست مهندس ناظر بر روی سطح تمام شده لایه‌ها
آزمایش لوس آنجلس (مخصوص سنگدانه‌های لایه زیربالاست)	ASTM-D ۴۴۴ ASTM-D ۴۴۴	در هر ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب بر روی ذرات سنگی از مصالح لایه زیربالاست انجام گردد.

### ۳-۲-۹- رفتارسنجی خاکریزها

تمام خاکریزها، به ویژه در محلهایی که نشست خاکریز بیشتر از ۱۰ سانتیمتر محاسبه شده، باید بعد از ساخت و یا در زمان ساخت از طریق انجام عملیات رفتار سنجی مورد مطالعه قرار گیرند. هدف از عملیات رفتارسنجی، مطالعه رفتار خاکریز و مقایسه آن با آنچه از طریق انجام محاسبات مورد انتظار بوده است، می باشد. رفتار سنجی در واقع طریقه عملی کنترل محاسبات و اجرا بوده و با این روشها طراح می تواند در صورت بروز مشکل در زمان ساخت (پیش از بهره‌برداری از آن) آنها را شناسایی کرده و از بروز مشکلات بعدی جلوگیری کند. علاوه بر این، با این عملیات می توان روشهای طراحی و حدود خطرپذیری آنها را بطور عملی مورد مطالعه قرار داد.

عملیات رفتار سنجی در حالت عادی برداشت تراز سطح خاکریز در فواصل زمانی ثابت و ثبت تغییرات آن را شامل می شوند. در شرایط وجود خاکهای سست و نشست پذیر، کنترلها علاوه بر عملیات تراز سنجی، شامل سنجش مقدار فشار آب حفره‌ای (نصب پیزومتر) و تغییر فشار خاک (نصب سلولهای فشار) یا به طور معمول جاسازی صفحات فلزی متصل به میله‌های نشانه نقشه‌برداری (که تا بالای سطح خاکریز امتداد یافته اند) در بستر خاکریز و قرائت تراز نوک میله‌های نشانه در فواصل زمانی خاص می شود. تذکر: در شرایط خاص، در صورتی که طراح از پاسخگویی طرح مطمئن نباشد، ایجاد خاکریز آزمایشی و بررسی رفتار آن می تواند از بروز خطاهای هزینه بر جلوگیری کند.

### ۳-۳- خاکبرداری ها

در محل خاکبرداری‌ها، باید از لحاظ ژئوتکنیکی دو موضوع مورد دقت خاص قرار گیرند:

- پایداری شیب ترانشه ها در شرایط مختلف

- پایداری دینامیکی بستر ترانشه ها در مقابل بار ارتعاشی ناشی از حرکت قطار

### ۳-۳-۱- پایداری شیب ترانشه ها

#### ۳-۳-۱-۱- حالات تحلیل

شیب ترانشه های سنگی یا خاکی مسیر، باید در شرایط پایان اجرای ساختمان، وقوع زلزله و در شرایط بهره برداری تحلیل شده و مطابق با نتایج تحلیلهای در جهت ایجاد ایمنی مقادیر ضریب اطمینان لازم، برای آنها تعیین گردد.

#### ۳-۳-۱-۲- پارامترهای مربوط به خاک یا سنگ

مقادیر پارامترهای مربوط به خاک یا سنگ باید متناسب با حالت طراحی و بر پایه نتایج حاصل از آزمایشهای صورت گرفته در این خصوص (مطابق آنچه در بخش خاکریزها توضیح داده شد)، انتخاب گردند.

لازم به تذکر است که در ترانشه های سنگی، مقادیر پارامترهای طراحی براساس مطالعه وضعیت ناپیوستگیها (از نظر سمت، امتداد، بازشدگی، پرشدگی، زبری و ...)، شرایط خردشدگی مصالح و ... انتخاب می گردند و روشهای تحلیل آنها اندکی با آنچه در مورد خاکها از آنها استفاده می شود، متفاوت است. در این مورد، علاوه بر اکتشافات صحرائی، انجام برداشتهای زمین شناسی مهندسی با هدف دستیابی به اطلاعات لازم برای تحلیل ترانشه لازم است.

تذکر: برخی از خاکهای فرسایش یابنده مانند مارن‌ها، شیلها و گل سنگها، پس از برداشت ترانشه و حذف فشار همه جانبه از روی آنها شروع به انبساط کرده و رفتاری متلاشی شونده پیدا می کنند. در اینگونه موارد، انتخاب پارامترها بسته به فرسایش پذیری مصالح شبیه توده خاکی یا سنگی در نظر گرفته می شود.

#### ۳-۳-۱-۳- روشهای تحلیل

در مصالح خاکی، روشهای تحلیل پایداری شبیه آنچه در مورد خاکریزها اشاره شد، می باشد. لیکن در ترانشه های سنگی، بسته به مقدار خرد شدگی توده سنگ و ناپیوستگیهای آن، روش تحلیل متفاوت است.

در شرایط خرد بودن توده سنگ، مقادیر پارامترها برای توده سنگ به صورت کلی تخمین زده شده و تحلیل توده سنگی خرد شده شبیه مصالح خاکی انجام می شود که البته چندان دور از واقعیت نیست. در مورد عوارض سنگی نسبتاً سالم و نه چندان خرد شده که در جسم خود دارای درزه ها و ناپیوستگیهایی می باشند، برداشت درزه ها، انتخاب دسته درزه های غالب، مطالعه شرایط آنها و سپس استفاده از روشهای تحلیل بلوکی یا گوه ای ضروری است. در مواجهه با سنگهای دارای پتانسیل فرسایش پذیری، انتخاب رفتار شبه سنگی یا خاکی وابسته به نوع مصالح است که در هر مورد، انتخاب روش تحلیل باید متناسب با پیچیدگی شرایط صورت گیرد.

در مورد ترانشه های بلند، گاه استفاده از روشهای اجزاء محدود یا تفاضل محدود به منظور افزایش دقت تحلیلها لازم است و گاهی برای افزایش پایداری ترانشه های بلند، مهارها و میخهای فلزی بکار می روند که استفاده از روشهای تحلیلی و یا عددی متناسب با اهمیت ترانشه در این موارد لازم است. قابل توجه اینکه، در صورت استفاده از روشهای اجزاء محدود یا تفاضل محدود، لازم است که مقادیر ضریب اطمینان در مقابل لغزش از طریق بکارگیری روشهای ساده تر نیز بدست آیند.



### ۳-۱-۳-۴- مقادیر حداقل ضرایب اطمینان

مقادیر حداقل ضرایب اطمینان در برابر لغزش ترانشه‌ها به شرح جدول (۳-۶) زیر می باشد.

جدول ۳-۶- مقادیر حداقل ضرایب اطمینان در مقابل لغزش ترانشه‌ها در شرایط مختلف

حالت تحلیل	پایان ساختمان	زلزله	شرایط بهره‌برداری
وضعیت بارگذاری	-	-	در مناطق برفگیر، بار برف به صورت سربار در بالای ترانشه در نظر گرفته شود.
پارامترهای طراحی	پارامترهای کوتاه مدت	پارامترهای کوتاه مدت	پارامترهای بلند مدت
مقادیر حداقل ضرایب اطمینان	۱/۳	۱/۱	۱/۴ تا ۱/۵ <sup>(۱)</sup>

۱- مقادیر ضریب اطمینان بیشتر می‌بایست در خاکهای ریزدانه یا شریایی که عدم قطعیت‌ها در خصوص پارامترهای بالا وجود داشته باشد و یا شرایط بارندگی بد بکار برده شود. مقادیر کمتری در خاکهای درشت دانه و شرایط خشک بکار برد.

### ۳-۱-۳-۵- انتخاب شیب و طرح ترانشه‌برداری

در بررسی پایداری ترانشه می‌بایست به مفهوم حداکثر ارتفاعی که خاک برش خورده قادر است تحت یک شیب یکنواخت به صورت ایمن پایدار بماند، توجه داشت. در صورتی که عمق ترانشه بیشتر از حد ایمن آن (با فرض دانستن شیب برداشت خاک) باشد، استفاده از شیبهای پله ای جانبی به عرض حدود ۳ تا ۴ متر (بسته به اندازه پایداری و ارتفاع ترانشه و اطمینان از نتایج آزمایشها و تحلیلها) الزامی است. به این ترتیب ترانشه های بلند را می‌توان به چند ترانشه کوچکتر و یک ترانشه بزرگ که شیب کلی آن کمتر از شیب موضعی و برشها است، تبدیل کرده و پایداری هر یک از اجزا و کل ترانشه را کنترل کرد.

ارتفاع مجازی که می‌باید بین برم و کف ترانشه و یا بین دو برم رعایت کرد، به نوع مصالح و مقاومت برشی آنها و شرایط لرزه‌ای و ژئوهیدرولوژیکی منطقه بستگی دارد. در خاکهای نه چندان متراکم این ارتفاع حدود ۶ تا ۸ متر و در خاکهای متراکم حدود ۱۰ متر است. در سنگها هر چند که پایداری ترانشه با ارتفاعهای بیشتر فراهم باشد، به منظور کم کردن ارتفاع ریزش احتمالی قطعات سنگی به طرف خط آهن، پیشنهاد می‌شود که فاصله ارتفاعی برمها در حدود ۱۰ تا ۱۲ متر در نظر گرفته شود و حداقل یک فاصله ۱ تا ۱/۵ متری بین پای ترانشه تا جوی زهکش (قنو) تعبیه شود.

تذکر: به علت حرکت سریع قطار از میان بخش خاکبرداری شده، نوعی فشار هوا در جلوی قطار و کناره‌های آن و سپس یک خلأ در انتهای قطار پدید می‌آید. این مسئله گاه در خاکهای ریزدانه فاقد چسبندگی در حالتی که عرض خاکبرداری کم باشد، باعث بروز فرسایش سطحی ترانشه می‌گردد. در این شرایط لازم است که با انجام حفاظت های سطحی نظیر چمن کاری یا درخت کاری و غیره از بروز اینگونه فرسایش پیشگیری گردد.

### ۳-۳-۲- بررسی دینامیکی کف کوه بریدگی (ترانشه)

چون کف ترانشه‌ها، به عنوان بستر روسازی خط آهن عمل می‌کنند، باید تمامی الزامات مورد اشاره در بخش (۳-۲-۶) در خصوص اندرکنش دینامیکی روسازی با بستر خود را برآورده نماید. در صورتی که نوع مصالح کف ترانشه خاکی باشد، ایجاد لایه زیر

بالاست به عنوان بخشی از روسازی الزامی است. در شرایطی که مصالح کف ترانشه ضعیف باشند، اجرای عملیات بهسازی یا جایگزینی خاک و یا سایر روشها از جمله تغییر نوع روسازی ضروری است. در شرایطی که بستر ترانشه از نوع سنگی باشد، رفتار نامطلوب دینامیکی بستر تا حدی مرتفع خواهد بود، لیکن باید توجه داشت که در این حالت بستر خط آهن به گونه ای صلب بوده و لازم است که تغییرات بستر خط از منطقه خاکریزی به منطقه خاکبرداری (به عبارت دیگر از محل با قابلیت ارتجاعی زیاد به منطقه صلب) به صورت تدریجی صورت گیرد تا نشستهای نسبی بین این دو منطقه از حد مقادیر مجاز خود خارج نشوند.

### ۳-۳-۳- ملاحظات مربوط به ایجاد ترانشه‌ها

در جریان برداشت خاک در محل ترانشه‌ها، باید به صورت دوره‌ای از مصالح نمونه برداری کرده و آزمایشهایی را بر روی مصالح انجام داد. این آزمایشها با دو هدف صورت می‌گیرند: یکی کنترل فرضیات بکار رفته در طرح پایداری ترانشه و دیگری بررسی نوع مصالح از لحاظ قابل استفاده بودن آنها در محل خاکریزها. نمونه‌برداری و آزمایشهای مورد نظر در زمان حفر ترانشه‌ها در جدول (۷-۳) ارائه شده است.

جدول ۷-۳- نمونه‌برداری‌ها و آزمایشهای جهت کنترل ترانشه برداری

تعداد آزمایشها	استاندارد	آزمایش
در هر ۳۰۰ الی ۵۰۰ متر طول مسیر و هر یک متر حفاری عمقی یک آزمایش (بسته به ارتفاع ترانشه و حساسیت کار و تغییرات نوع خاک)	ASTM-D ۴۲۱ و ۴۲۲ ASTM-D ۴۳۱۸	دانه‌بندی و حدود اتربرگ مصالح در حال برداشت
در هر ۲۰۰ الی ۴۰۰ متر طول مسیر و هر یک متر حفاری عمقی یک آزمایش	ASTM-D ۱۵۵۶ ASTM-D ۴۷۱۸	آزمایش تراکم در محل به روش جابجایی ماسه و تعیین نسبت تراکم خاک <sup>(۱)</sup>
در هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب و یا در ازای تغییرات نوع خاک	ASTM-D ۱۵۵۷	آزمایش پروکتور اصلاح شده <sup>(۲)</sup>
سایر آزمایشهای بررسی نوع مصالح از نظر قابلیت استفاده در خاکریزها مطابق جدول (۳-۴) انجام گردند.		

۱- در تمامی آزمایشهای تراکم در محل باید درصد مقدار مصالح باقیمانده روی الک ۳/۴ اینچ با دقتی قابل قبول تعیین گردد تا تصحیح مقادیر وزن مخصوص به دلیل وجود ذرات سنگی درشت ممکن گردیده و نیز دسته‌بندی داده‌های حاصله انجام شود.

۲- در صورتی که مصالح دانه‌ای (غیر چسبنده) باشند، انجام آزمایشهای تعیین مقایر چگالی حداکثر و حداقل بجای آزمایش پروکتور مورد نظر است.

تذکر: در صورتی که میان نوع و تراکم مصالح مورد برداشت با آنچه مطابق اکتشافات شناسایی شده، تفاوتی مشاهده شود، لازم است که با برداشت نمونه و انجام آزمایشهایی، پارامترهای جدید خاک بدست آیند. در این موارد لازم است که نوع آزمایشها مطابق نظر مهندس ژئوتکنیک طراح پروژه یا سایر کارشناسان خبره تعیین گردد.

پس از رسیدن به بستر خاکبرداری، کنترل بستر از لحاظ کفایت آن برای احداث روسازی انجام میشود. لازم به ذکر است که در ترانشه‌های خاکی، لایه زیربالاست الزامی بوده و پس از برداشت خاک به اندازه ضخامت لایه زیربالاست، بسته به شرایط بستر روشهای مختلفی بکار می‌رود. آزمایشهای معمول در جهت کنترل بستر لایه زیربالاست در جدول (۳-۸) ارائه شده است.

جدول ۳-۸- آزمایشهای کنترل بستر لایه زیربالاست در خاکبرداری ها

تعداد آزمایشها	استاندارد	آزمایش
در هر ۴۰۰ الی ۶۰۰ متر یک آزمایش بسته به شرایط	ASTM-D۴۲۱	دانه‌بندی مصالح و حدود اتربرگ
در هر ۵۰۰ متر طول مسیر حداقل یک آزمایش	ASTM-D۱۵۵۷	آزمایش پروکتور اصلاح شده
در فواصل ۵۰ الی ۱۵۰ متر از طول مسیر حداقل یک آزمایش	ASTM-D۱۵۵۶ ASTM-D۴۷۱۸	آزمایش تعیین تراکم در محل
در فواصل ۱۵۰۰ الی ۳۰۰۰ متری در طول مسیر در محل‌های درخواست مهندس ناظر	ASTM-D۱۱۹۴	آزمایش بارگذاری صفحه
در فواصل ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری در صورت دستور مهندس ناظر و یا در صورت تغییر نوع خاک	ASTM-D۱۸۸۳	آزمایش CBR در محل و یا CBR آزمایشگاهی بر روی خاک بازسازی شده مطابق تراکم و رطوبت خاک در شرایط نامناسب جوی آن منطقه

- پس از برداشت به اندازه ضخامت لایه زیربالاست و انجام آزمایشهای فوق، اقدامات بعدی بسته به شرایط از قرار زیر است:
- در صورتی که جنس خاک بستر لایه زیربالاست، تا عمق یخبندان از نوع مقاوم در برابر یخبندان نباشد، لازم است که مصالح تا حد عمق لازم برداشته شوند.
  - در صورتی که مصالح محل از نوع مقاوم در برابر یخبندان باشند، تراکم و ضریب ارتجاعی بستر برای بارگذاری دوم آن تعیین می‌گردند. در صورتی که در کف ترانشه، شرایط لازم برای بستر لایه زیربالاست (نسبت تراکم ۹۸ درصد و ضریب ارتجاعی در بارگذاری دوم در شرایط نامناسب رطوبت فصلی بیشتر از ۸۰ مگاپاسکال) مهیا باشد، بستر تسطیح شده و لایه زیربالاست روی آن اجرا می‌شود. در صورت فراهم نبودن شرایط لازم برای بستر پس از ریختن لایه زیربالاست، لازم است که بستر تا عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر (متناسب با طرح ارائه شده در پروژه مربوط) به خوبی متراکم شود. البته این توصیه در صورتی قابل قبول است که خاک در عمق‌های زیرین (تا حد ضخامت مورد نظر برای لایه ساب‌گرید) دارای مقدار ضریب ارتجاعی در سیکل دوم بارگذاری معادل ۶۰ مگاپاسکال برای خاکهای ریزدانه‌تر یا ۸۰ مگاپاسکال برای خاکهای درشت‌دانه‌تر باشد. در صورتی که شرایط فوق برقرار نباشند، تصمیم‌گیری باید از طریق انجام تحلیلهای عددی صورت گیرد. در این شرایط بکارگیری روشهای زیر معمول است:
  - استفاده از تسلیح خاک با ژئوتکستایلها یا ژئوگریدها به منظور تأمین باربری دینامیکی لازم،
  - استفاده از روشهای تثبیت خاک زیر لایه زیربالاست و یا حتی تثبیت خود لایه زیربالاست (لایه زیربالاست را نمیتوان از نوع مصالح ریزدانه تثبیت شده انتخاب کرد و یا مقدار ضریب ارتجاعی بارگذاری دوم آنرا بیشتر از حد ۲۰۰ مگاپاسکال افزایش داد)،
  - استفاده از روسازی بدون بالاست با سختی روسازی در حد کافی و یا سایر روشها،
- تذکر: در شرایطی که بستر ترانشه بعلت وجود تراوش آب در شرایط اشباع باشد، باید با استفاده از زهکش‌های طولی (در طرفین یا یک سمت خط) سطح آب را حداقل به اندازه ۱/۲ متر و یا آنچه بسته به نوع خاک و بر اساس نتایج تحلیلهای لازم به نظر می‌رسد، پائین برد.

### ۳-۴- رواداری های مجاز اجرای عملیات زیرسازی

به منظور دستیابی به کیفیت مناسب در حین اجرای عملیات زیرسازی، می بایست مقادیر اندازه گیری شده و بدست آمده از عملیات مختلف با حدود رواداری مجاز آن عملیات مقایسه و کنترل شود. جدول (۳-۹) رواداریهای قابل قبول در اجرای عملیات مختلف زیرسازی را ارائه کرده است.

جدول ۳-۹- رواداریهای قابل قبول در اجرای عملیات زیرسازی

نوع عملیات	حد رواداری مجاز
آزمایش تراکم در محل (درصد تراکم خاک)	* حداقل نسبت تراکم مورد نظر در تمامی نقاط حاصل شده باشد. * در صورت انجام آزمایش تراکم در محل بر روی کل لایه، مقدار نسبت تراکم حداقل برابر مقدار مورد نظر در مشخصات باشد. * تفاوت مقدار تراکم نیمه بالایی و پائینی هر لایه خاکریزی نباید متجاوز از ۱ درصد بیشتر و کمتر از حد مورد نیاز در مشخصات باشد.
درصد رطوبت خاک در لایه های خاکریز	* $\pm 2/5$ درصد نسبت به حد رطوبت بهینه
آزمایش بارگذاری صفحه	* حداقل مقدار $EV_2$ مورد نیاز می باید در تمامی لایه ها حاصل شده باشد.
ضخامت لایه های خاکریزی بدنه اصلی خاکریزی	" $+3$ " سانتیمتر از حد تعیین شده دستگاه نظارت به شرط برآورده شدن شرط مقدار تراکم خاک
ضخامت نهایی لایه های سابگرید آماده شده و زیر بالاست	" $-1$ " سانتیمتر از حد مشخص شده در مشخصات
عرض خاکریزی کوبیده شده در تمام لایه های خاکریزی از بستر تا تراز پروژه	" $-10$ " سانتیمتر از کل عرض در تراز مورد نظر
شیب سطح تمام شده لایه های زیربلاست و ساب گرید	حداکثر تا حد " $\pm 0/3$ " درصد
تراز نقاط محور و شانه چپ و راست زیر سطح لایه های زیربلاست و سابگرید	" $\pm 3$ " سانتیمتر در تمامی نقاط به نحوی که مجموع انحراف مثبت و منفی از تراز واقعی بین دو پیکه متوالی (فاصله ۵۰ متر) از ۵ سانتیمتر تجاوز نکند. * به عبارت دیگر هیچ گودافتادگی و یا بالاآمدگی نباید باعث ایجاد شیب طولی بیشتر از ۱ در هزار به صورت موضعی گردد.
عرض ترانشه برداری در تمامی ترازهای مختلف در تمام پیکه ها	حداکثر ۱۰- سانتیمتر نسبت به عرض محاسباتی در آن تراز
بیشتر شدن شیب شیروانی خاکریزی و یا شیب ترانشه برداری از حد مشخصات به صورت موضعی و یا کلی	حداکثر ۳ درجه انحراف معادل تغییر زاویه تا حد ۱ به ۲۰ نسبت به شیب خاکریز یا ترانشه برداری مندرج در مشخصات؛ (دستورالعملهای کارگاهی مهندس ناظر در حکم مشخصات فنی است).



## فصل چهارم

### ضوابط روسازی

#### ۴-۱- کلیات

روسازی به اجزایی از خط اطلاق می شود که بر روی زیرسازی و در تماس مستقیم با ناوگان ریلی قرار دارد. در این بخش اجزاء مختلف روسازی خطوط سریع السیر شامل ریل، پابند، تراورس و بالاست مورد بررسی قرار می گیرد. ضوابط ارائه شده برای این اجزاء باید مطابق با موارد عنوان شده در این فصل باشند.

روسازی خطوط سریع السیر باید از جنبه های مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد تا پایداری مکانیکی و هندسی اجزاء خط تحت بارهای وارده تضمین گردد. با توجه به اینکه در این خطوط ماهیت بارهای وارده به خط دینامیکی است، ضروری است که رفتار خط تحت بارگذاری دینامیکی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور توصیه می شود که در محاسبات برای تحلیل دینامیکی از یک سیستم کامل خط و ناوگان با در نظر گرفتن اندرکنش بین آنها استفاده شود. در این صورت می توان تأثیر مشخصات ناوگان بر رفتار مکانیکی خط را به طور دقیق مطالعه کرد.

#### ۴-۲- ریل

ریل از اعضای اصلی روسازی خطوط راه آهن است. ریلهای مورد استفاده در خطوط مخصوص قطارهای سریع العبور از نوع پایه تخت هستند که باید در شرایط بدون عملیات حرارتی تولید شده باشند.

وزن واحد طول ریل یکی از مشخصه های مهم آن است. در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر وزن واحد ریل نباید از ۵۰ کیلوگرم بر متر کمتر باشد. توصیه می شود که در این گونه خطوط از ریل UIC۶۰ با وزن واحد حدود ۶۰ کیلوگرم بر متر استفاده شود. نیازی به تغییر مقطع ریل برای سرعت های مختلف وجود ندارد. مقطع ریل باید با استفاده از ضوابط پذیرش ریل که در

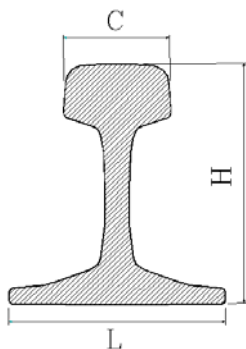
کد UIC۸۶۰ ذکر شده اند، مطابقت داشته باشد. همچنین سایر موارد مربوط به ریل باید مطابق کدهای UIC۸۶۱ و UIC۸۶۲ کنترل شود.

هیچ‌گونه عیب ظاهری و یا داخلی در ریل پذیرفته نمی‌شود. برای کنترل عیوب داخلی باید در هنگام تولید از آزمایش‌های غیر مخرب از جمله ماوراء صوتی استفاده شود. نامنظمی‌های هندسی در سطح ریل مورد قبول نیستند. انحرافات مجاز سطحی ریل به ۰/۲ میلی‌متر در طول یک متر قابل قبول است. کنترل این عیوب توسط تولید کننده انجام می‌شود. با توافق خریدار باید مهندس ناظر با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی نسبت به کنترل ریلها اقدام نماید. جهت طراحی ریلها، موارد ذیل می‌بایست مد نظر قرار گیرد:

- تنش تماسی ناشی از تماس چرخ و ریل
  - تنش کششی و فشاری ناشی از خمش طولی ریل، بالاست و تراورسها
  - تنش کششی و فشاری ناشی از خمش کلاهدک ریل روی جان
  - تنش کششی و فشاری ناشی از تغییرات درجه حرارت
  - تنش مقاوم تولید شده در ریل به هنگام نورد ریل
- مشخصات هندسی ریل باید مطابق با مقطع استاندارد انتخابی باشد. مشخصات هندسی مقطع توسط دو عدد شابلون در هنگام خریداری ریلها کنترل می‌شوند. مقادیر رواداری مجاز هندسی مطابق جدول (۴-۱) هستند.

جدول ۴-۱- مقادیر رواداریهای ابعادی ریل

ردیف	مشخصه بعد	اندازه بعد (میلیمتر)	رواداری (میلیمتر)	توضیحات
۱	ارتفاع ریل (۱) $(H)$	$H < 165$ $165 \leq H < 180$ $180 \leq H < 190$ $190 \leq H$	$\pm 0.5$ $\pm 0.6$ $\pm 0.7$ $\pm 1.0$	برای مقاطع دورتر از انتهای ریل، تغییر در میزان رواداری به میزان $\pm 0.5$ میلیمتر قابل قبول است.
۲	عرض پایه ریل $(L)$	$L < 150$ $150 \leq L < 160$ $160 \leq L < 170$ $170 \leq L$	$\pm 1.0$ $-1.1$ و $+1.0$ $-1.3$ و $+1.2$ $\pm 1.5$	مانند فوق (با $\pm 0.5$ میلیمتر)
۳	عرض اسمی تاج ریل (۲)	$C < 72$ $72 \leq C < 74$ $74 \leq C$	$\pm 0.5$ $\pm 0.5$ $\pm 0.5$	مانند فوق (با $\pm 0.1$ میلیمتر)
۴	عدم تقارن مقطع (۳)	$L < 150$ $150 \leq L < 160$ $160 \leq L < 170$ $170 \leq L$	$\pm 1.2$ $\pm 1.5$ $\pm 1.7$ $\pm 2.0$	
۵	ضخامت جان ریل (۴)		$+1.0$ $-0.5$	
۶	مقدار انحراف (۵) سطح ناحیه اتصالی (۱۴) میلیمتر به موازات انحراف سطح تتوریکی ناحیه اتصال		$\pm 0.5$	
۷	ارتفاع صفحه اتصالی		مشابه ردیف (۱)	
۸	سایر ابعاد		مشابه ردیف (۱)	



(۱) ارتفاع ریل، فاصله بین سطح پایینی ریل و خط مماس بر قارچ ریل (موازی با این سطح) است.

(۲) ۱۴ میلیمتر پایین تر از سطح تماس چرخ و ریل، (سطح حرکتی) اندازه گیری شده است، یعنی در محدوده انتقال شانه ریل و سطح جانبی قارچ ریل.

(۳) در رابطه با شابلونهای مرجع، موضوع باید مورد توافق خاص قرار گیرد.

(۴) در کمترین ضخامت اندازه گیری شده است.

(۵) به ازای هر ۱۴ میلیمتر سطح موازی با سطح تتوریک در محل اتصال صفحه اتصالی به ریل.

با توجه به اینکه ریلها در طولهای محدود تهیه و برای نصب خط مورد استفاده قرار می گیرند، توصیه می شود که حداقل طول ریلها ۳۶ متر باشد. در هر صورت در خطوط مخصوص قطارهای سریع طول ریلها نباید کمتر از ۲۵ متر باشد.



### ۴-۳- ریل‌های جوش طویل<sup>۱</sup>

جهت توزیع یکنواخت بارهای وارده توسط قطارهای سریع السیر لازم است که ممان اینرسی مقطع ریل پیوسته بوده و گسستگی در آن وجود نداشته باشد. هر نوع عدم پیوستگی ممان اینرسی مقطع ریل که منجر به افزایش تنش و خرابیهای هندسی خط می گردد، برای خطوط سریع السیر غیر مجاز می باشد. بدین منظور لازم است که از ریل‌های جوش طویل جهت ساخت چنین خطوطی استفاده شود. در محل سوزنها فقط یک عدم پیوستگی ممان اینرسی مجاز می باشد. جهت دستیابی به اهداف فوق الذکر رعایت موارد ذیل ضروری می باشد:

- استفاده از درزهای چسبی در مدارات خط ممنوع بوده و باید از سیستمهای بدون اتصال استفاده نمود.
- درزهای انبساط فقط در قسمت انتهای آزاد پلها مجاز می باشد.
- طراحی درزهای انبساط باید متناسب با فرآیند حفظ ممان اینرسی مقطع انجام پذیرد.
- سوزنها باید متناسب با خط سریع السیر انتخاب و به ریل جوش داده شوند.
- در محل سوزنها استفاده از درزهای چسبی در قسمت انشعاب خط، مجاز می باشد.
- همچنین به هنگام نصب خط توجه به نکات ذیل ضروری می باشد:
- انجام عملیات جوشکاری در دمای پایین تر از دمای میانگین طرح
- تمیز کردن و سنگ زنی انتهای آزاد ریلها
- پیش گرم کردن مناسب ریلها

### ۴-۴- پابند

پابند مورد استفاده در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر باید از جنبه های مقاومتی و عملکردی مورد مطالعه دقیق قرار گیرند. در این گونه خطوط تنها استفاده از پابندهای ارتجاعی مجاز است. در انتخاب پابند باید ضوابط موجود در کد ۵-۸۶۴ UIC و ۵-۸۶۴ UIC مد نظر قرار گیرد.

### ۴-۴-۱- مشخصات مکانیکی پابند

#### ۴-۴-۱-۱- نیروی وارد بر پاشنه

مقدار نیرویی است که پس از بستن پابند توسط فنر به کف ریل اعمال می شود. مقدار این نیرو با توجه به نوع پابند مورد استفاده تعیین می شود. در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر مقدار این نیرو باید در محدوده ۸ تا ۱۲ کیلو نیوتن قرار داشته باشد.

#### ۴-۱-۴-۲-سختی قائم فنر

تغییر مکان قائم ریل تحت بار واحد، سختی قائم آن را مشخص می کند. این مقدار با توجه به منحنی بار- تغییر مکان پابند تعیین می گردد. مقدار سختی قائم برای پابند باید به نحوی باشد تا باقی ماندن فنر در محدوده ارتجاعی تحت بار وارده تضمین شود. همچنین مقدار کاهش وارد بر نیروی پاشنه (نیروی از جا کن) در هنگام بارگذاری باید در محدوده ذکر شده قرار داشته باشد.

#### ۴-۱-۴-۳-مقاومت طولی

مقدار نیروی لازم برای تغییر مکان معین ریل بر روی تراورس، مقاومت طولی نامیده می شود. مقدار مقاومت طولی در ارتباط مستقیم با پابند است. فنر پابند باید به نحوی انتخاب گردد تا حداقل مقاومت طولی ۱۲ کیلو نیوتن را برای هر ریل تأمین نماید.

#### ۴-۱-۴-۴-مقاومت پیچشی

مقاومت پیچشی مقدار لنگر پیچشی مورد نیاز برای ایجاد تغییر مکان معین در قارچ ریل است. مقاومت پیچشی پابند باید به نحوی باشد تا حداکثر دوران ایجاد شده در کلاهدک ریل تحت بار ناوگان به یک گرادیان محدود شود.

#### ۴-۱-۴-۵-سختی قائم

سختی قائم عبارت است از مقدار نیروی مورد نیاز برای ایجاد تغییر مکان واحد در راستای قائم. برای به حداقل رساندن نیروی دینامیکی وارده از ناوگان به خط باید سختی قائم پابند در محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلو نیوتن بر میلیمتر قرار داشته باشد. برای دستیابی به سختی فوق، سختی قائم دینامیکی صفحه زیر ریل نباید از ۶۰۰ مگا نیوتن بر متر بیشتر شود.

#### ۴-۱-۴-۶-سختی عرضی

مقدار نیروی مورد نیاز برای ایجاد جابجائی واحد در صفحه افقی خط، سختی افقی را مشخص می کند. مجموعه ادوات روسازی باید به نحوی انتخاب شوند تا سختی عرضی ایجاد شده حداقل ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع باشد. پابند مورد استفاده برای خطوط مخصوص قطارهای سریع باید برای اطمینان از تأمین مشخصات مکانیکی ذکر شده، مورد آزمایش قرار گیرد. پیشنهاد می شود که آزمایشهای مورد نیاز بر طبق استاندارد یوروکد مطابق جدول (۴-۲) یا هر استاندارد معتبر دیگر که مورد پذیرش کارفرما باشد، انجام شوند.

جدول ۴-۲- استانداردهای انجام آزمایشهای پابند

pr EN ۱۳۱۴۶-۱	تعیین مقاومت طولی
pr EN ۱۳۱۴۶-۲	تعیین مقاومت پیچشی
pr EN ۱۳۱۴۶-۳	تعیین مقاومت در برابر ضربه
pr EN ۱۳۱۴۶-۴	تعیین مقاومت در برابر خستگی
pr EN ۱۳۱۴۶-۵	تعیین مقاومت الکتریکی
pr EN ۱۳۱۴۶-۷	تعیین نیروی وارد بر پاشنه (کف پایه ریل)

#### ۴-۵- تراورس

در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر، تنها استفاده از تراورسهای بتنی مجاز است. توصیه می‌شود که از تراورسهای بتنی یکپارچه استفاده شود. با توجه به تأثیر مهم وزن تراورسها در عملکرد روسازی خطوط سریع السیر، حداقل وزن قابل قبول برای تراورس مورد استفاده در این خطوط ۲۵۰ کیلوگرم است. برای تأمین مقاومت جانبی و طولی خط، حداقل تعداد تراورس ها در یک کیلومتر خط نباید از ۱۶۰۰ عدد کمتر باشد. لازم به ذکر است که تراورسهای بتنی دو قطعه ای و نیز تراورسهای کامپوزیتی با رعایت ضوابط طراحی و طبق نظر کارشناس طرح و موافقت کارفرما می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ضوابط مربوط به کنترل پایداری جانبی در این تراورسها بویژه به علت وزن پایین تر آنها می بایست به دقت مورد توجه قرار گیرد. کلیه ضوابط مربوط به طراحی و به کارگیری این تراورسها می بایست توسط بخش نظارت کنترل شده و به تایید رسد.

ابعاد انتخابی برای تراورس باید مطابق با طراحی انجام شده باشد، به نحوی که شرایط و الزامات مکانیکی مورد نظر را تأمین کنند. در هر حال طول تراورس نباید از ۲۶۰ سانتیمتر کمتر باشد. همچنین در مورد ابعاد تراورس باید رواداریهای ذکر شده در جدول (۳-۴) رعایت شوند.

جدول ۴-۳- رواداریهای مجاز ابعادی تراورس

رواداری (میلیمتر)	توضیحات
± ۱۰	طول کلی تراورس بتنی
± ۵	عرض بالایی و پایینی تراورس بتنی
+۱/-۳	ضخامت تراورس های بتنی مسلح شده در تمام قسمتها که باید در کل طول مورد نظر (کل طول تراورس) منطبق با طرح کنترل کیفیت باشد.
+۵/-۳	ضخامت در هر قسمت با توجه به طول کل تراورس بتنی پیش تنیده باید مطابق با طرح کنترل کیفیت اندازه گیری شود.
+۲/-۱	فاصله محور به محور مرکز هندسی پابندها از یکدیگر در تراورس
± ۸	فاصله مرکز هندسی پابند تا انتهای تراورسها
± ۸	طول کل قطعه بتنی تقویت شده در تراورسهای دو تکه
± ۰/۲۵	شیب نشیمنگاه ریل
۱	اعوجاج سطح نشیمنگاه ریل
۰/۷	پیش نسبی بین نشیمنگاه ریل در تراورسهای یکپارچه بتنی

#### ۴-۵-۱- ضوابط طرح تراورس

تراورس مورد استفاده در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر باید به نحوی طراحی شود تا در مقابل نیروهای وارده، وظایف سازه‌ای و عملکردی خود را به انجام رساند. تراورس باید برای لنگرهای خمشی مثبت در محل نشیمنگاه ریل و لنگر خمشی منفی در وسط تراورس طرح و کنترل شود. برای محاسبه لنگر خمشی تراورس توصیه می شود که از ضریب توزیع طولی ۰/۵ استفاده شود.

همچنین اثر دینامیکی بارهای وارده به صورت ضریب ضربه در بارگذاری منظور می‌شود. این ضریب تا سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱/۵ و برای سرعت‌های بیش از ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت ۱/۷۵ توصیه می‌شود.  
برای تعیین لنگر خمشی باید حالت های بارگذاری ذیل منظور شود:

- حالت عادی ۱: وضعیت تراورس در خط تازه تأسیس
- حالت عادی ۲: وضعیت تراورس در خط پس از عبور مقدار قابل توجه بار
- حالت غیر عادی: وضعیتی که تراورس باید تعویض شود

#### ۴-۵-۲- ضوابط مکانیکی مربوط به تراورس

تراورس طراحی شده برای خطوط سریع السیر در قسمت قبل در صورتی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که کفایت مکانیکی آن از طریق آزمایش در محل کارخانه مورد تأیید قرار گیرد. این آزمایش‌ها باید بر اساس یک آیین نامه معتبر که مورد تأیید کارفرما باشد انجام شوند. در این دستورالعمل توصیه می‌شود که از آیین نامه یوروکد استفاده شود.  
آزمایش‌های ذیل باید برای تضمین مشخصات مکانیکی تراورس انجام شوند.

- بارگذاری مثبت نشیمنگاه ریل در حالت استاتیکی، دینامیکی و خستگی
- بارگذاری منفی وسط تراورس در حالت استاتیکی
- بارگذاری مثبت وسط تراورس در حالت استاتیکی

توصیه می‌شود که آزمایش‌های فوق بر مبنای استاندارد EN ۱۳۲۳۰۲،۲ Euro Code pr EN صورت گیرند.

#### ۴-۶- بالاست

بلاست از مصالح دانه‌ای که بین ریل و زیربلاست قرار گرفته تشکیل شده و وظایف زیر را بر عهده دارد:

- بستر مناسبی برای استقرار تراورس ایجاد می‌کند.
  - بار را از تراورس به سطح بیشتری از زیرسازی انتقال می‌دهد.
  - ضریب ارتجاعی بستر زیر تراورس را افزایش می‌دهد.
  - باعث ثبات طولی و عرضی خط می‌گردد (ثبات عرضی خط کاملاً به بالاست مربوط می‌شود).
  - باعث راحتی در اجرای تعمیرات و نگهداری سطح تراز و هم‌محوری خطوط می‌گردد.
  - زهکش مؤثری برای خط ایجاد می‌کند که این امر موجب جلوگیری از یخ‌زدگی و در نتیجه تنظیم هم‌ترازی خط می‌شود.
  - به محافظت از سطح فوقانی زیرسازی کمک می‌کند.
- به منظور دستیابی به اهداف فوق‌الذکر، یک بالاست خوب باید خواص فیزیکی زیر را داشته باشد:
- سخت و محکم باشد.
  - در مقابل عوامل فرسایشی جوی مقاوم و بادوام باشد (مقاوم در برابر خشک و تر شدن متوالی و نیز مقاوم در برابر یخ‌زدگی و ذوب شدن متوالی)

- سنگ سازنده آن خلل و فرج نداشته، جاذب آب نیز نباشد.
- در مقابل عوامل سایشی و نیروهای لرزشی حاصل از حرکت قطار مقاوم بوده و خرد نشود.
- سنگدانه‌های آن گوشه‌دار بوده و ضریب ارتجاعی کافی داشته باشند.
- بمنظور جلوگیری از حرکت افقی تراورس، گیرائی کافی را دارا باشد (شکل ذرات و دانه‌بندی آن مناسب باشد).
- آب باران را در خود جمع نکند و به عبارت دیگر عاری از خاک و مواد زائد باشد. به این منظور می‌بایست مصالح مورد استفاده برای بالاست شسته شده و از مواد زائد عاری گردد.
- در طراحی مقطع بالاست جهت تامین اهداف مورد نیاز باید موارد ذیل مد نظر قرار گیرد:
  - حداقل ضخامت بین کف تراورس و بستر
  - شانه بالاست مناسب و کافی جهت تامین مقاومت جانبی
  - مقطعی متراکم بین تراورسها با اختلاف ۴ سانتیمتر از سطح تراورس

#### ۴-۶-۱- مشخصات کیفی بالاست

##### ۴-۶-۱-۱- مواد زائد

مواد زائد در بالاست تهیه شده نباید بیش از مقادیر ذکر شده در جدول (۴-۴) باشند:

جدول ۴-۴- مقدار مواد زائد در بالاست

نوع	روش آزمایش	حداکثر مقدار مجاز (درصد)
مواد نرم و ترد (شکننده)		۵٪
مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰	ASTM- C۱۱۷	۱٪
کلوخ گلی	ASTM- C۱۴۲	۰.۵٪

##### ۴-۶-۲- وزن مخصوص و پوکی مصالح

بالاتر باید از مصالح سنگی دارای چگالی لازم تشکیل شده و در برابر حضور آب کمترین نفوذپذیری را داشته باشد. برای این منظور، وزن مخصوص ظاهری مصالح بالاست بر طبق ASTM-C۱۲۷ باید حداقل برابر ۲/۶ تن بر متر مکعب بوده و مقدار حداکثر جذب آب مصالح آن مطابق ASTM-C۱۲۷ برابر ۱ درصد و در بدترین حالت ۲ درصد باشد. همچنین در آزمایش تورق، مقدار پولکهای ایجاد شده بر طبق BS-۸۱۲ باید کمتر یا مساوی ۵ درصد باشد.

##### ۴-۶-۳- مقاومت در برابر عوامل یخبندان

از آنجا که استفاده از خط در تمام فصول و شرایط بارندگی قطع نمی‌گردد، لذا مصالح تشکیل دهنده بالاست باید مقاومت کافی برای حفظ کیفیت خود در طی تغییر فصول مختلف را داشته باشند. در این خصوص مقدار حداکثر افت وزنی مصالح سنگی بالاست در ازای ۱۲ دوره یخبندان باید از ۸ درصد کمتر باشد.

#### ۴-۶-۴- مقاومت در برابر سایش مطابق آزمایش لوس آنجلس

درصد سایش بالاست تهیه شده بر مبنای آزمایش لوس آنجلس، نباید پس از ۱۰۰۰ دور بیش از ۳۰ درصد باشد. روش انجام آزمایش در ASTM- C۵۳۵ برای ذرات بزرگتر از ۲/۵۴ سانتی متر و در ASTM- C۱۳۱ برای ذرات کوچکتر از ۲/۵۴ سانتیمتر ارائه شده است.

#### ۴-۶-۵- مقاومت در برابر سایش میکرودوال

از آنجا که مصالح بالاست در شرایط بارندگی نیز تحت تأثیر بارهای ضربه‌ای و لرزشی ناشی از عبور قطارها قرار می‌گیرند، از طرف دیگر با توجه به اینکه در آزمایش لوس آنجلس مصالح دانه‌ای در اثر ضربات ناشی از سقوط گلوله‌های فولادی دچار شکست می‌شوند، لذا برخی از مصالح سنگی خوب از قبیل گرانیب بدلیل ساختار تشکیل دهنده آنها عدد سایش بالاتری نشان داده و رد می‌گردند. در حالیکه در واقعیت، عملکرد خوبی ارائه می‌نمایند. اما سنگهای دیگری که کیفیت ضعیف آنها در عمل به اثبات رسیده، بدلیل ساختار خاص کریستالی، عملکرد بهتری در این آزمایش نشان می‌دهند. لذا بهترین آزمایش برای کنترل کیفیت مصالح در برابر سایش آزمایشی است که بدون وارد کردن ضربه به ذرات، شرایط حضور آب را نیز ملحوظ کرده باشد. آزمایش میکرودوال که در کشورهای اروپایی بیشتر رایج است، عامل فرسایش را در حضور آب به نمونه ۵ کیلوگرمی وارده نموده و افت وزنی نمونه پس از آزمایش را ملاک عمل قرار می‌دهد. (افت وزنی حداکثر مصالح در آزمایش میکرودوال در حضور آب باید کمتر از ۱۵ تا ۲۰ درصد باشد).

نتایج حاصل از آزمایشهای میکرودوال و لوس آنجلس باید از روابط زیر تبعیت نمایند:

$$LA + 5MDA \leq 44 \quad (1-4)$$

$$LA + 2MDA \leq 33 \quad (2-4)$$

#### ۴-۶-۶- تست سلامت مصالح

از آنجا که اعمال سیکلهای مختلف سرما و گرما یا خشک و تر شدن و نیز سایر عوامل شیمیایی دیگر بر روی مصالح سنگی، رفته رفته باعث فرسایش آنها می‌شود، برای کنترل سلامت مصالح معمولاً انجام آزمایش خوردگی با سولفات توصیه می‌شود و بسیار معروف است. این آزمایش عبارت است از سنجش افت وزنی مصالح پس از دوره های مختلف خشک و تر شدن در محلول سولفات سدیم یا سولفات منیزیم. افت وزنی مصالح پس از ۵ دوره متوالی خشک و تر شدن در محلول سولفات سدیم بر طبق ASTM - C۸۸ باید از مقدار ۵ درصد و حداکثر مطلق ۸ درصد کمتر باشد.

#### ۴-۶-۷- مقاومت فشاری خشک و اشباع شده مصالح سنگی

چون مصالح باید مقاومت کافی برای تحمل تمام تنشهای متمرکز وارده را داشته باشند، مقدار مقاومت تک محوری مغزه استوانه‌ای مصالح سنگی (سنگ بکار رفته) مورد کنترل قرار می‌گیرد. حداقل مقاومت تک محوری نمونه استوانه‌ای سنگ به قطر حداقل ۵ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰ سانتیمتر (H=۲D) در شرایط خشک و اشباع شده باید به ترتیب بیشتر از مقادیر ۱۲۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم

به سانتیمتر مربع باشد. بارگذاری مغزه سنگ باید با سرعتی در حدود ۰/۲ تا ۱ مگاپاسکال در ثانیه انجام شود و به نقطه شکست رسانیدن سنگ حداقل ۳۰ ثانیه طول بیاورد.

جدول (۴-۵) آزمایشهای مورد نیاز و مقادیر مجاز آنها برای تعیین پارامترهای فیزیکی قطعات سنگی و بالاست را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵- خواص فیزیکی بلوکهای سنگی و بالاست

بلاست	بلوکهای سنگی	نوع مصالح		آزمایش
		خشک	اشباع شده	
>۱۲۰۰	>۸۰۰	خشک	مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)	
>۸۰۰	>۵۰۰	اشباع شده		
>۲/۶	>۲/۵۶	وزن مخصوص خشک (گرم بر سانتیمتر مکعب)		
<۱	<۲ و ترجیحاً <۱	جذب آب %		
-	<۱۰	افت وزنی در مقابل یخندان % (۱۲ سیکل)		
<۲۰	<۳۰ و ترجیحاً <۲۵	افت وزنی آزمایش سایش لوس آنجلس (۵۰۰ دور) وزن قطعات سنگ حداقل ۱۰۰ گرم		
<۵	<۱۲ و ترجیحاً <۱۰	افت وزنی در آزمایش مقاومت در برابر سولفات سدیم یا منیزیم % (۵ سیکل)		
-	می‌باید پس از انجام آزمایش نمونه فاقد ترک باشد (عکس قبل و بعد از آزمایش معیار خوبی برای مقایسه است)	آزمایش خشک و تر شدن متوالی (توسط بخش نظارت انجام می‌شود) ۵۰ سیکل		
حداکثر ذرات زیر الک ۲۰۰ کمتر از ۱٪ و ذرات رسی کمتر از ۵٪	-	دانه‌بندی		
<۴-۵	قطر ذرات ۹٫۵ و ۱۲٫۵ میلیمتر %	تعیین ضریب پولکی %		

#### ۴-۶-۸ - مشخصات سنگ مورد مصرف

سنگ مورد مصرف برای تهیه بالاست منحصراً باید از سنگ استخراج شده از معادن کوهی باشد. ابعاد لاشه‌ها باید طوری باشند که بالاست تهیه شده از آنها صددرصد شکسته و تیز گوشه باشد. سنگهایی که بر اثر شکستن سطوح صافی در سنگ شکسته‌های آنها ایجاد شود، برای بالاست مناسب نیستند. سنگ مورد استفاده بایستی دارای سختی زیاد و از نوع سنگ‌های آذرین مانند بازالت، دیوریت، کوارتز و گرانیت باشد. از سنگ آهک به هیچ وجه نباید استفاده شود. کوارتزیت و سنگ‌های سخت مناسبترین سنگها برای بالاست هستند.

تبصره: استفاده از مصالح سنگ آهکی مناسب صرفاً در شرایط استثنایی که دسترسی به معادن سنگ آذرین در فواصل معقول میسر نباشد، پس از بررسی و تأیید کمیسیون کارشناسی ویژه‌ای که از طرف کارفرما مأمور می‌شود، مشروط به تصویب و اجازه کتبی از طرف کارفرما قابل قبول خواهد بود (الزاماً در کمیسیون مربوطه نماینده دستگاه نظارت عالی روسازی حضور خواهد داشت). سنگ مورد مصرف بایستی از قشرهای زیرین معدن برداشته شود و سنگهای قشرهای روی معدن تا عمقی که مورد نظر مهندس ناظر

است، مورد استفاده قرار نگیرند و همچنین رگه‌های نامرغوب احتمالی در معدن از محوطه کار خارج شوند یا در هر صورت به هیچ‌وجه مورد استفاده قرار نگیرند.

#### ۴-۶-۹- دانه‌بندی بالاست

ابعاد دانه‌های مناسب بالاست برای مصرف در خطوط راه‌آهن بین ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر قرار دارند. دانه‌ها باید صددرصد شکسته، تیز گوشه با سطوح زبر بوده و حالت پولکی و سوزنی نداشته باشند. دانه‌بندی ذرات تشکیل دهنده زیربلاست باید مطابق جدول (۴-۶) باشد.

جدول ۴-۶- منحنی دانه بندی مصالح زیربلاست

۷۰	۶۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	ابعادسوراخها (میلی‌متر)
۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۹۵-۴۰	۶۰-۱۰	۰-۵	۰-۲	درصد وزنی عبوری

#### ۴-۶-۱۰- آزمایش‌های مربوط به پذیرش

آزمایش‌های ارائه شده در بخش مشخصات کیفی بالاست از قبیل تعیین مواد زائد، استحکام در برابر سایش و مرغوبیت بالاست باید در مراکز آزمایشگاهی منتخب خریدار و بازرسی چشمی و آزمون دانه‌بندی قبل از بارگیری و ارسال محموله در زمانهای مناسب و تعداد لازم، در محل تولید انجام شوند.

به منظور دانه‌بندی و سایر آزمونها از هر ۲۰۰ تن بالاست تهیه شده باید نمونه‌گیری به عمل آید که وزن آن نباید کمتر از ۴۵/۵ کیلوگرم باشد. قبل از استفاده از بالاست، تهیه کننده آن باید نتایج تأیید آزمایش‌های کیفیت و دانه‌بندی را ارائه نماید. در صورتی که در طول مرحله بالاست‌ریزی، تهیه کننده بالاست منبع آن را تغییر دهد، مراحل قبل تکرار می‌شود. نوع یکسان بالاست ارسالی با بالاست مورد قبول آزمایشگاه باید توسط مهندس ناظر تأیید گردد. استانداردهای آزمایشگاهی برای کنترل آزمایش‌های پذیرش در جدول (۴-۷) آورده شده است.

جدول ۴-۷- استانداردهای آزمایشگاهی

نوع آزمایش	روش آزمایشگاهی
نمونه‌گیری	75 ASTM – D
دانه‌بندی	ASTM – C۱۳۶
مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰	ASTM – C۱۱۷
درصد اجزاء نرم	ASTM – C۲۳۵ (۱۹۶۸)
درصد مقدار کلوخ کلی	ASTM – C۱۴۲
استحکام در برابر سایش*	ASTM – C۱۳۱و۵۳۵
مرغوبیت	ASTM – C۸۸
وزن هر فوت مکعب بالاست	ASTM – C۲۹

\* استحکام در برابر سایش از دانه‌بندی استاندارد می‌گردد که تا حد امکان با اندازه بالاست مشخص شده، یکسان است تعیین شود.



آزمایشهای لازم برای ارزیابی زوال پذیری سنگ نیز در جدول (۴-۸) ارائه شده است.

جدول ۴-۸- آزمایشهای معمول برای ارزیابی زوال پذیری سنگ

ارزیابی سنگ شناسی	آزمونهای مشابه سازی	آزمایشهای مکانیکی	آزمایشهای فیزیکی
آزمایشهای سنگ شناسی تجزیه کانیهای رسی	آزمایش ارزش ضربه ای اصلاح شده آزمایش سایش لوس آنجلس آزمایش تخریب واشنگتن آزمایش تر و خشک آزمایش سلامت سنگ با سولفات منیزیم آزمایش انجماد و ذوب	مقاومت بار نقطه ای عدد سختی اشمیت آزمایش ارزش ضربه ای آزمایش ارزش سایش ارزش خرد کردن نمونه آزمایش ارزش ۱۰٪ ریزی	تعیین وزن مخصوص (ظاهری، خشک شده در کوره، اشباع شده با سطح خشک) جذب آب مقاومت تراکم تک محوری

## فصل پنجم

### ضوابط اجرای روسازی

#### ۵-۱- مقدمه

کنترل عملیات اجرایی یکی از پارامترهای مهم و تاثیر گذار در دستیابی به کیفیت مناسب خط ریلی است. این موضوع به ویژه در بخش روسازی که یکی از مهمترین بخش های مربوط به خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر را به خود اختصاص می دهد، اهمیت بالایی دارد. در این قسمت به انتخاب روش اجرای روسازی برای احداث خطوط مخصوص قطارهای سریع پرداخته شده است. در ادامه ابتدا روشهای متداول در اجرای خطوط راه آهن معرفی و سپس با توجه به قابلیتها و توانایی های کشور، روش های مناسب بررسی گردیده است. در انتها نیز ضوابط مربوط به احداث و نظارت بر اجرای خطوط ارائه شده است.

#### ۵-۲- روشهای اجرای روسازی راه آهن

روشهای اجرای روسازی که توسط شرکتهای راه آهن و بخصوص پیمانکاران این امر در دنیا مورد استفاده قرار می گیرد، از تنوع نسبتاً زیادی برخوردار است. اما در یک تقسیم بندی کلی، روشهای احداث را به دو گروه ریل گذاری پیوسته و ریل گذاری منقطع تقسیم بندی می کنند. البته با توجه به روش نصب تراورسها نیز می توان روش اجرای عملیات را طبقه بندی نمود که این خود متأثر از روش ریل گذاری است.

#### ۵-۲-۱- ریل گذاری منقطع

در این روش با توجه به محدودیتهایی که در طول ریلهای تولید شده وجود دارد، برای نصب و ریل گذاری، از خطوط بسته (کوپلاژ) با طول محدود استفاده می شود. طول خطوط بسته وابسته به طول ریلهای تولید شده است. در کشورهای مختلف برای این روش معمولاً ریلهای تولید شده بین ۱۲/۵ تا ۳۶ متر طول دارند. طول ریلهای اجرا شده در کشور برای خطوط بالاستی معمولی ۱۸

متر بوده که تماماً از خارج از کشور خریداری می شوند و کلیه ماشین آلات نصب و امکانات موجود برای این طول تطبیق داده شده است. این در حالی است که حداقل طول ریل برای ریلگذاری خطوط مخصوص قطارهای سریع نباید از ۲۵ متر کمتر باشد. در روش ریل گذاری منقطع در محل کارگاه تولید خط بسته، ریلها و تراورسها را مطابق با نقشه‌های طراحی شده به یکدیگر متصل می کنند. در تولید خط بسته ابتدا تراورسها را با فاصله‌های تعیین شده روی میز موتناژ کنار یکدیگر قرار می دهند، سپس ریلها را بر روی تراورسها قرار داده و پاندها را می بندند. در این قسمت کنترل‌های لازم برای حفظ مشخصات هندسی خط بسته ضروری است. پس از تهیه خط بسته، خط بسته های آماده بر روی واگنهای نصب خط بارگیری شده و به همراه جرثقیل خط گذار به کارگاه ریل گذاری ارسال می شوند. در این مرحله جرثقیل خط بسته ها را از روی واگنها بلند کرده و در قسمت جلوی جبهه کار قرار می دهد و به این شکل عملیات خط گذاری ادامه می یابد.

مشکل عمده این روش طول محدود پانلهای در عملیات ریل گذاری است. همانطور که بیان شد، حداقل طول ۲۵ متر برای تهیه کوبلاژ می بایست مورد استفاده قرار گیرد. از این رو می بایست برای استفاده از این روش نصب خط، تنظیمات موجود و کلیه ماشین آلات نصب و امکانات موجود برای این طول تطبیق داده شود.

### ۵-۲-۲- ریل گذاری پیوسته

این روش می تواند برای بکارگیری ریلهای پیوسته با طول زیاد (از ۵۴ تا ۳۵۰ متر) مورد استفاده قرار بگیرد. در این روش ریلهای طولی با طول حداقل ۵۴ متر در کارخانه تولید ریل یا با جوش دادن ریلها در کارخانه با رعایت تمامی ضوابط کنترل مربوط به جوش تهیه می شوند.

برای ریل گذاری در این روش، مجموعه کامل دستگاه ریل گذار در محل کارخانه تولید ریل طویل، ریلها را در واگن بارگیری کرده و به محل نصب خط حمل می کنند. پس از حمل، ریلها توسط ماشین ریل گذار در کنار خط و در دو سمت بر روی زمین قرار می گیرند. در این روش نصب تراورسها در محل و توسط ماشین نصب ریل یا جرثقیل دروازه ای انجام می شود. لذا در واگن نصب خط برای ریل گذاری، تعداد تراورس مورد نیاز پیش بینی می شود. ماشین نصب تراورس، تراورسهای بتنی را از روی واگنها بلند کرده و در جبهه کار بر روی بستر و بین دو ریل نصب می کند. پس از نصب تراورسها، بازوهای ماشین ریلهای موجود در کنار خط را بلند کرده و بر روی تراورسها قرار می دهد و به سمت جلو پیش روی می کند، سپس عملیات بستن پاندها پشت سر ماشین انجام می شود. این ماشین با تکرار عملیات فوق، ریلگذاری را انجام می دهد. مزیت عمده این روش بکارگیری ریلهای طویل است.

مشکل عمده در روش ریلگذاری پیوسته، انتقال ریلهای طویل به کارگاه است که حرکت واگنهای حمل ریل را در قوسها با مشکل مواجه می کند. از طرفی انجام عملیات جوشکاری برای تهیه ریل با طول زیاد می بایست در محل کارخانه و با انجام کنترل‌های لازم با دقت زیاد انجام گیرد. با توجه به عدم تولید ریلهای پیوسته و عدم وجود واگنهای حمل ریلهای طویل در کشور، اجرای خط به روش ریلگذاری پیوسته در ایران با دشواری همراه بوده و نیازمند تامین تجهیزات لازم و امکانات مورد نیاز می باشد. اجرای خط به روش پیوسته نسبت به ریلگذاری منقطع دارای سرعت و کیفیت اجرای بالاتر به علت استفاده از ریل های پیوسته با طول زیاد بوده و لذا به عنوان روش مناسب توصیه می شود.

### ۳-۵- ضوابط احداث خطوط سریع السیر

در روش ایجاد خطوط بر مبنای ریلگذاری منقطع یا پیوسته عملیات زیر انجام می شود:

#### ۱-۳-۵- تهیه خط بسته

خط بسته در روش ریلگذاری منقطع مجموعه ریل و تراورسها است که توسط اتصالات به یکدیگر متصل شده است. خط بسته باید در محل کارخانه تولید تراورس یا در کارگاه تهیه خط بسته تحت نظارت مهندس ناظر تهیه شود. در تهیه خط بسته باید مشخصات هندسی آن، فاصله تراورسها، عمود بودن محور تراورسها بر ریلها، عدم اعوجاج در صفحه افقی، قرارگیری صحیح پابندها و ادوات اتصال مورد بررسی و تأیید قرار بگیرند.

خط بسته ها پس از تهیه باید در محل دپو برای بارگیری و انتقال به کارگاه ریل گذاری انبار شوند. لازم به ذکر است که خط بسته هایی که برای استفاده در محل خاص تهیه شده اند، باید مطابق با نقشه اجرایی تهیه شده برای مسیر شماره گذاری و در محل های معین که به راحتی قابل تشخیص باشند، نگهداری شوند. برای قوسها و قوسهای پیوندی باید خط بسته های خاص تهیه شوند تا اختلاف طول ریل داخلی و خارجی در آنها منظور شود. پس از تهیه خط بسته ها و اخذ تأیید مهندس ناظر، آن ها را برای نصب در خط بر روی واگنهای حمل خط بسته بارگیری می کنند.

#### ۲-۳-۵- بالاست ریزی قشر اول

پس از آماده سازی و تحویل زیرسازی خط، پیمانکار روسازی باید بالاست قشر اول را برای ریل گذاری، روی سطح پخش کند. برای پخش بالاست باید از فینیشر با قابلیت تنظیم (در ضخامت بالاست) استفاده شود. حداقل ضخامت بالاست که در قشر اول توزیع می شود، ۱۵ سانتیمتر است. این بالاست باید به عرض ۳/۵ متر بر روی بستر و در محور خط توزیع شده و توسط غلتکهای مخصوص کوبیده شود.

#### ۳-۳-۵- نصب نقاط کنترلی

برای کنترل عملیات ریل گذاری، باید در کنار خط و به فاصله معین نقاط کنترل در نظر گرفته شوند. این نقاط باید در فاصله حدود ۱/۵ متری از ریل و در امتداد خط به فاصله های حداکثر ۱۵ متری قرار داشته باشند. در این نقاط قبل از عملیات ریل گذاری باید میخهایی کوبیده شوند. همچنین در نصب خط به روش ریلگذاری پیوسته نیاز به تعبیه دقیق سیم مرجع در کنار خط می باشد، به نحوی که ماشین ریلگذار با استفاده از آن، هندسه دقیق نصب را کنترل می کند.

#### ۴-۳-۵- ریل گذاری و نصب خط بسته

در روش ریلگذاری منقطع، واگن حامل خط بسته ها به همراه جرثقیل ریل گذار روی بالاست قشر اول حرکت کرده و خط بسته ها را بر روی آن قرار می دهد. در هنگام قرار دادن خط بسته ها با استفاده از نقاط کنترلی و شابلون خط باید در مورد تنظیم قرارگیری خط بسته ها در محور خط اقدام نمود. حداکثر خروج از محوریت در مرحله نصب خط ۵ سانتیمتر است.

پس از قرارگیری خط بسته ها بر روی بالاست و عبور ماشین ریل گذار باید با استفاده از اتصالی موقتی، به بستن خط بسته ها به یکدیگر اقدام کرد. این اتصالیها باید دارای سوراخهای لوبیایی شکل باشند که به راحتی در این مرحله بسته شوند. در روش ریلگذاری پیوسته، ریلهای پیوسته با طول زیاد که به صورت پروفیل یکپارچه و یا ریل جوشکاری شده کارخانه ای تهیه می شوند، می بایست توسط واگن حمل ریل طویل به محل کارگاه اجرای خط منتقل و در دو طرف کناره مسیر قرار گیرد. سپس تراورس ها توسط ماشین ریلگذار یا جرثقیل دروازه ای در محل سایت پیاده شده و ریل های طویل کناره خط بر روی آنها نصب شوند. در پایان نیز ادوات اتصال به منظور محکم کردن ریل به تراورس ها نصب می شوند. لازم به ذکر است که امکان تهیه ریلهای پیوسته با طول زیاد در محل کارگاه بارعایت دقیق کلیه کنترلهای مورد نیاز و نظارت دقیق، در صورت الزام با موافقت کارفرما می تواند انجام گیرد. همچنین برای انتقال ریلهای پیوسته تهیه شده، می توان از کشنده های خاص برای حمل ریل ها به خط استفاده شود. در این صورت ریلها می بایست به دقت و تحت شرایط کنترل شده به محل خط حمل شوند تا هیچ گونه آسیبی به آنها وارد نشود.

### ۵-۳-۵- بالاست ریزی و رلواژ (بالا آوری)

پس از عملیات ریلگذاری باید بالاست لازم بر روی خط پخش گردد. این بالاست با استفاده از واگنهای حمل بالاست که دریاچه خروجی آنها در زیر قرار دارد، بر روی خط پخش می شوند. در این مرحله می توان تا سطح بالایی تراورس، خط را در بالاست مدفون نمود. پس از این مرحله باید با استفاده از زیرکوب تمام خودکار، اقدام به رلواژ و متراکم کردن خط نمود. در این مرحله زیرکوب تنظیم رقوم مختصاتی و ارتفاعی ریل را انجام داده و بالاست زیر تراورسها را متراکم می کند. همچنین زیرکوب باید خط را در حدود ۲ تا ۳ سانتیمتر بالا بیاورد. حداکثر مقدار مجاز بالا آوردن خط ۸ سانتیمتر است. پس از زیرکوبی خط در این مرحله باید با استفاده از پایدار ساز، نسبت به تثبیت خط اقدام کرد. پس از بالا آوری و تثبیت خط باید مانند مرحله قبل نسبت به بالا آوری دوم خط اقدام نمود. در این مرحله نیازی به پایدار ساز نیست. مراحل بالا آوری و تثبیت خط تا ۶ مرحله به همین صورت ادامه می یابد و پس از بالا آوریهای فرد باید با پایدارساز اقدام به تثبیت خط نمود. مراحل بالا آوری خط را می توان تا ۸ مرحله نیز ادامه داد. البته قبل از مرحله آخر (۶ یا ۸) به جوشکاری خط اقدام نمود که در ادامه تشریح می شود.

### ۵-۳-۶- جوشکاری

پس از بالا آوری خط و تثبیت آن و قبل از بالا آوری نهایی باید اقدام به جوشکاری خط نمود. در این مرحله با توجه به طراحیهای انجام شده و مطابق با درجه حرارت منطقه باید به جوشکاری پیوسته و طویل خط اقدام کرد. جوشکاری را می بایست با استفاده از روش الکتریکی مطابق با ضوابط عنوان شده انجام داد. استفاده از جوش ترمیت تنها در موارد خاص و تحت نظارت دقیق ناظر مقیم امکان پذیر است. ضوابط مربوط به نحوه انجام جوشکاری برقی در بخش ضوابط نظارت بر اجرای روسازی ارائه شده است.

### ۵-۳-۷- بالا آوری نهایی

پس از عملیات جوشکاری باید با استفاده از زیرکوب اقدام به بالا آوری نهایی خط کرد. پس از زیرکوبی، تثبیت خط با پایدارساز الزامی است.

### ۵-۳-۸- کنترل مشخصات هندسی

پس از بالاآوری نهایی که بعد از آن عملیات ریلگذاری تمام شده محسوب می‌شود، باید با استفاده از ماشین اندازه‌گیر خط، پارامترهای هندسی خط اندازه‌گیری شوند. در این مرحله رواداریهای هندسی باید مطابق با مقادیر ارائه شده برای مرحله پس از ساخت باشد. پس از این مرحله خط برای عبور ناوگان قابل بهره برداری می‌شود.

### ۵-۴- ضوابط نظارت بر اجرای روسازی

اجرای روسازی و نظارت بر آن، مهمترین بخش در عملیات اجرای خط محسوب می‌شود و لازم است در مورد آن دقت خاص مبذول گردد. قبل از اجرای عملیات روسازی، روش اجرا و توالی مراحل آن به همراه برنامه کاری به صورت مفصل توسط پیمانکار تهیه شده و تحت عنوان مشخصات خصوصی پیمان ارائه می‌گردد. این موارد عبارتند از:

#### الف- برنامه کاری و معرفی افراد کارگاه روسازی

قبل از شروع عملیات روسازی، دستگاه پیمانکار موظف است برنامه کاری و مشخصات نفرات کارگاه روسازی را به اطلاع دستگاه نظارت روسازی برساند. در این برنامه کاری، ماشین‌آلات موجود و مدل آنها نیز باید ذکر شود. همچنین کلیه تغییرات در افراد کلیدی کارگاه و ورود و خروج ماشین‌آلات، باید با اطلاع دستگاه نظارت صورت گیرد.

#### ب- کنترل سطح زیرسازی

قبل از شروع عملیات روسازی، مدیر کارگاه روسازی به همراه ناظر روسازی، از زیرسازی مسیر بازدید بعمل آورده و مواردی را که با مشخصات فنی مطابقت ندارد، یادداشت کرده و برای دفتر مرکزی جهت تصمیم‌گیری ارسال خواهد داشت. در هنگام تحویلگیری زیرسازی، لازم است نماینده دستگاه نظارت روسازی و نماینده پیمانکار اجرای روسازی هم، حضور داشته باشند و چنانچه نقطه نظری دارند، حتما اعمال گردد.

در تحویلگیری زیرسازی کنترل موارد زیر الزامی است:

۱- در طول مسیر در هر ۵۰۰ متر باید یک پنج‌مارک تثبیت شده و مختصات دار، وجود داشته باشد. همچنین باید محور خط و ابتدای قوسهای دایره‌ای و پیوندی و انتهای آنها مشخص شده باشد.

۲- رقوم آماده شده بستر باید با نقشه‌های اجرایی مطابقت داشته باشد. جهت کنترل این موضوع، لازم است پیمانکار زیرسازی، با نقشه‌برداری و ارائه نتایج آن، صحت این موضوع را به اثبات برساند. حداکثر اختلاف مجاز بین رقوم ارتفاع موجود و رقوم نقشه‌ها، نباید بیش از ۲۵ میلی‌متر باشد. کنترل رقوم باید در فواصل ۱۰ متری و در سه نقطه، یکی در محور و دو مورد دیگر به فاصله ۳ متر از محور در امتداد عرضی انجام شود. اگر چنانچه از هر ۱۰ مورد در طول محور، یک مورد بیش از ۵ میلی‌متر با رواداری مجاز تفاوت داشته باشد، می‌توان تراز سطح بستر روسازی را قابل قبول دانست. همچنین ناهمواری سطح هر طرف از محور در اندازه‌گیری با شمشه ۳ متری که عمود بر محور قرار داده می‌شود، نباید از ۲۰ میلی‌متر تجاوز نماید. بازا هر یک کیلومتر و برحسب اینکه مسیر در خط مستقیم یا قوس واقع شده باشد، اندازه‌گیری یکنواختی باید بین ۲۰ تا ۴۰ بار در محور انجام گیرد. رواداریهای خارج از مشخصات در رقوم و ناهمواری سطح بستر روسازی باید قبل از پوشش آن با بالاست مطابق دستورات دستگاه نظارت اصلاح شود.

۳- لازم است فاصله میخ‌های محور در مسیر مستقیم و در قوس کنترل گردد. این فاصله در مسیر مستقیم ۵۰ متر و در قوس، ۲۵ متر می‌باشد.

اگر چنانچه موارد بالا رعایت نشود و در حین اجرای روسازی مشکلی پیش آید، مسئولیت آن به عهده پیمانکار روسازی خواهد بود.

### ج- صورت‌جلسات و دستور کارها

قبل از شروع هر بخش از عملیات، مدیر کارگاه باید شروع عملیات را به اطلاع ناظر روسازی رسانده و دستور کار را دریافت نماید. پس از اتمام عملیات روزانه در هر بخش، کل عملیات در پایان روز مورد نظر، باید صورت‌جلسه شده و کمیت آن به تصویب ناظر روسازی برسد. اگر چنانچه ناظر، در مورد کیفیت، نظری داشته باشد، می‌تواند در صورت‌جلسه مرقوم نماید. ناظر موظف است یک نسخه از صورت‌جلسات را بایگانی کرده و در صورت نیاز کپی آن را برای دفتر مرکزی دستگاه نظارت، ارسال دارد.

### د- تهیه صورت وضعیت

صورت وضعیت کارکرد ماهیانه پیمانکار، در محل، توسط مدیر کارگاه روسازی و با توجه به صورت‌جلسات کارکردهای روزانه، تهیه می‌شود. صورت وضعیت فوق باید به تأیید ناظر مقیم رسیده و سپس به دفتر مرکزی دستگاه نظارت جهت بررسی و تأیید، ارسال گردد. اگر چنانچه صورت وضعیت مشکلی داشته باشد و نیاز به بازدید محل باشد، تیمی متشکل از کارشناسان پیمانکار و دستگاه نظارت، با هزینه پیمانکار از محل بازدید کرده و مشکل را حل خواهند کرد.

### ه- فواصل بین عملیاتهای مختلف

حداکثر فاصله مجاز، بین هر یک از عملیاتهایی که برای اجرای روسازی انجام می‌گیرد، ۳ کیلومتر می‌باشد. در موارد استثنایی این فاصله تا طول یک بلاک، قابل افزایش می‌باشد. در صورت عدم رعایت این موضوع از طرف پیمانکار، ناظر می‌تواند عملیات را متوقف نماید.

### ۵-۴-۱- بالاستریزی قشر اول

بلاستریزی قشر اول پس از تحویل بستر روسازی، صورت می‌گیرد. اگر چنانچه قبل از تحویل، اقدام به بالاستریزی شود، پیمانکار باید به هزینه خود، بالاست را جمع کرده و پس از تحویل، دوباره پخش کند.

توزیع بالاست باید در محور خط و با توجه به میخهای محور صورت گیرد. بالاستریزی باید توسط فینیشر و به صورت یکنواخت صورت گیرد. هر گونه استفاده از گریدر جهت توزیع ثانویه بالاست و یا در محور آوردن آن، در صورتی که باعث کاهش ضخامت بالاست شود، ممنوع خواهد بود.

عرض بالاست با توجه به مقطع عرضی روسازی تعیین خواهد شد. ضخامت این لایه به گونه‌ای خواهد بود که پس از قرارگیری خط روی آن، حداکثر ۱۵ سانتی‌متر از تراز نهایی پایین‌تر باشد. (برای مثال اگر چنانچه باید ضخامت کل بالاست در زیر تراورس، ۳۰ سانتی‌متر باشد، ضخامت این لایه، حداقل ۱۵ سانتی‌متر خواهد بود). انجام عملیات غلتک زنی توسط غلتک‌های مخصوص برای متراکم کردن این لایه الزامی است.

قبل از شروع عملیات نصب خط، لازم است از این لایه بازدید بعمل آید و اگر چنانچه مشکلی از نظر ضخامت، عرض و یا در محور بودن دارد، پیش از نصب خط، رفع گردد. همچنین هر ۲۰۰۰ متر از مسیر باید از بالاست نمونه گیری شده و با ضوابط مندرج در مشخصات فنی مقایسه شود

#### ۵-۴-۲- نقشه برداری

با توجه به روش نصب خط، لازم است قبل از شروع عملیات، نقشه برداری و میخ کوبی کناره مسیر صورت گیرد. فاصله طولی میخها حداکثر ۱۵ متر بوده و فاصله آنها از میخ محور، بر اساس روش نصب خط تعیین خواهد شد. فاصله متداول ۲/۵ متر از محور خط می باشد. قبل از شروع عملیات نصب خط، میخهای فوق توسط مهندس ناظر کنترل خواهد شد.

#### ۵-۴-۳- نصب خط

همانطور که بیان شد، روش نصب خط می تواند به صورت پیوسته و یا گسسته صورت گیرد. از آنجایی که روشهای نصب خط متفاوت هستند، بنابراین هنگام نصب خط باید دستورالعملها و مقررات ایمنی مربوط به هر یک از ماشین آلات را رعایت نمود. قبل از شروع عملیات، روش نصب خط و مراحل آن باید به اطلاع و تأیید دستگاه نظارت رسانده شود. روش کار به این صورت خواهد بود که روش نصب خط انتخابی، طی یک نامه برای دستگاه نظارت ارسال می گردد و پس از تأیید دستگاه نظارت، عملیات شروع می شود. اگر چنانچه کار بدون تأیید دستگاه نظارت شروع شود، ناظر می تواند دستور توقف و تعطیلی کار را صادر نماید و اگر چنانچه نیاز باشد، دستور جمع آوری بخشهای نصب شده را بدهد. در اجرا به صورت منقطع (کوپلاژ گذاری)، لازم است درزها توسط وصله و پیچهای استاندارد بسته شوند. ضمناً رعایت مسایل درزبندی تا قبل از شروع عملیات جوشکاری ضروری می باشد (جدول (۵-۱)).

جدول ۵-۱- میزان درز هنگام ریلگذاری (میلیمتر)

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

لازم است برای قوسها با توجه به شعاع قوس و میزان کوتاه شدگی، تمهیدات مورد نیاز در نظر گرفته شده و کوپلاژهای مخصوص قوس، در محل کارگاه ریلگذاری تهیه شود.

در پایان روز کاری، مدیر کارگاه باید به همراه ناظر، از خط نصب شده در آن روز بازدید بعمل آورده و اگر چنانچه اصلاحی نیاز دارد، در همان روز انجام شود. در این بازدید، گونیا بودن تراورسها، کامل بودن ادوات روسازی و هندسه خط، کنترل خواهند شد.



میزان رواداریهای هندسی نصب خط، توسط دستگاه نظارت تعیین خواهد شد. با توجه به دقت نصب، سرعت مجاز حرکت قطارهای عملیاتی بر روی خط تازه نصب شده، بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت خواهد بود.

### ۵-۴-۵- نصب سوزن

سوزن طبق نقشه ایستگاه سفارش داده شده و پس از ساخته شدن، به صورت قطعات مجزا به محل نصب حمل می شود. پیش از نصب سوزن لازم است زیرسازی انجام شده در محل ایستگاه با نقشه ایستگاه کنترل گردد تا مغایرتی در این زمینه وجود نداشته باشد. نصب سوزن از زمانه شروع می شود. ابتدا پانل زمانه در محل درز اتصالی و در محور خط اصلی، طوری روی زمین گذاشته می شود که نقطه تقاطع در محل میخکوبی شده، قرار گیرد. سپس درز گونیا شده و با توجه به مسایل درزبندی میزان آن تعیین شده و اعمال می گردد. پس از بستن اتصالیهای ریل، سایر قسمتهای سوزن در محل خود نصب می شوند. انتهای سوزن باید با درز مناسب به خطوط انشعابی وصل گردیده و اتصالیهای ریل، بسته شوند.

هنگام نصب سوزن رعایت موارد زیر الزامی است:

الف- محل نصب سوزن باید مستقیم و مسطح باشد.

ب- در سمت قوسی سوزن، نباید هیچگونه دور یا اضافه ارتفاعی اعمال شود.

ج- عرض خط طبق نقشه کنترل شود.

د- فاصله تراورسها مطابق نقشه کنترل شود.

ه- میله مانور و سایر متعلقات سوزن به طور کامل و دقیق نصب شوند.

و- یک کوپلاژ قبل و بعد از سوزن، از تراورسهای چوبی استفاده شود.

اگر چنانچه سوزن حمل شده به کارگاه با مشخصات آن که در نقشه ایستگاه آمده است، مطابقت نداشته باشد، ناظر نباید اجازه نصب آن را بدهد.

### ۵-۴-۵- بالاستریزی و رلواژ (بالآوری)

پس از اتمام عملیات نصب خط، لازم است بلافاصله اقدام به بالاستریزی قسمت نصب شده نمود. میزان بالاستریزی در هر مرحله، با توجه به کل بالاست، حجم واگنهای حمل بالاست و تعداد واگنهای هر قطار، تعیین می شود. سهم بالاستی که در هر مرحله باید ریخته شود، پیش از شروع عملیات باید توسط پیمانکار تعیین و به تأیید دستگاه نظارت رسیده باشد.

پس از عملیات بالاستریزی، ماشین رگلاتور، بالاست را توزیع می کند و سپس عملیات تراز کردن خط توسط ماشین زیرکوب انجام می شود. این عملیات شامل زیرکوبی و تنظیم تراز قائم و افقی خط می باشد. مقدار مجاز بلند کردن خط و جابجایی عرضی آن، بستگی به توانایی ماشین زیرکوب دارد. مقدار مجاز برای بلند کردن خط، حداکثر ۸۰ میلی متر و برای جابجایی عرضی، حداکثر ۵۰ میلی متر، می باشد. هر تراورس باید دو مرتبه زیرکوبی شود.

پس از انجام عملیات فوق بنا به نظر دستگاه نظارت، و مراحل پیش بینی شده در روش اجرا از ماشین پایدارساز جهت تثبیت خط استفاده خواهد شد. سرعت حرکت ماشین پایدارساز توسط دستگاه نظارت تعیین خواهد شد.

پس از تکمیل موارد بالا، اقدام به نقشه برداری از خط شده و جداول نیولمان برای آن تهیه می‌شود. سپس دوباره عملیات بالاستریزی انجام شده و این بار با توجه به جداول نیولمان، عملیات زیرکوبی و تنظیم تراز خط، صورت می‌گیرد. مواردی که باید در این مرحله انجام شوند، مشابه موارد مرحله قبل خواهند بود. عملیات بالاستریزی، رلواژ و تثبیت به تعداد موارد مندرج در مشخصات فنی انجام خواهد شد.

پس از اتمام عملیات جوشکاری و پیوسته کردن ریلها، اگر چنانچه بالاستریزی نیاز باشد، انجام می‌گیرد و سپس تنظیم و تراز نهایی خط انجام می‌شود. حداکثر مقدار بلند کردن خط در این مرحله، ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. پس از زیرکوبی، عملیات شیروانی‌سازی، مطابق با مقطع عرضی روسازی انجام می‌گیرد.

در نهایت برای تثبیت خط لازم است ماشین پایدارساز از روی خط عبور کند. سرعت حرکت ماشین پایدارساز در این مرحله، باید ۰/۶ کیلومتر بر ساعت باشد.

### ۵-۴-۶- بررسیهای قبل از انجام جوش

لازم است قبل از شروع کار، پیمانکار روش کار و برنامه زمانبندی اجرای عملیات جوشکاری را به اطلاع دستگاه نظارت برساند و موافقت آنها را مبنی بر صحت روش در نظر گرفته شده، اخذ کند. استفاده از روش جوشکاری الکتریکی با رعایت کلیه موارد فنی الزامی است.

انجام عملیات جوشکاری توسط جوشکاری الکتریکی و سپس انجام عملیات پیوسته کردن، توسط ماشین جوشکاری الکتریکی با رعایت موارد فنی لازم از قبیل حرارت‌دهی و رعایت  $t_m$  (درجه حرارت تعادل) مورد نظر می‌بایست انجام گیرد. در موارد خاص می‌توان از جوشکاری ترمیت با کنترل دقیق ناظر مقیم استفاده شود. لازم است که پیمانکار از افراد متخصص و مجرب برای انجام عملیات جوشکاری استفاده کند و مسئولیت تیم جوشکاری با فردی باشد که حداقل دارای مدرک کارشناسی بوده و مدارک و سابقه کاری وی قبل از شروع عملیات به اطلاع دستگاه نظارت رسانده شده باشد. مبتدیان قبل از شروع به کار، باید حداقل ۳۰۰ جوش را به عنوان دستیار، جوشکاری کنند تا کاملاً به اصول جوشکاری آشنایی پیدا کنند. هر ۱/۵ سال یکبار، جوشکاران باید تحت آزمایش جوشکاری قرار گیرند تا کیفیت کار آنها ارزیابی شود. این آزمایش می‌تواند بدون اطلاع جوشکار و در حین کار روزانه او انجام شود.

هر دو ماه یکبار، کلیه جوشکاران (سرپرستان اکیپهای جوشکاری) در جلساتی با حضور مسئولین دستگاه پیمانکار و دستگاه نظارت، شرکت نموده و مشکلات موجود را مطرح نمایند تا رهنمودهای لازم ارائه گردد.

لازم است که کلیه ادوات استفاده شده برای انجام عملیات جوشکاری سالم بوده و صحت عملکرد آنها توسط پیمانکار کنترل شده و قبل از شروع عملیات جوشکاری صحت آنها مورد تأیید دستگاه نظارت قرار گیرد. پیمانکار نباید از ابزاری که عملکرد آنها با مشکل همراه است، استفاده کند. همچنین وسائل و ماشین آلات مورد نیاز باید از نظر تعداد برای انجام عملیات جوشکاری، طبق برنامه‌ریزی انجام شده کافی باشند.

### ۵-۴-۷- نظارت حین انجام جوشکاری الکتریکی

ناظر مقیم موظف است موارد زیر را کنترل و تایید صحت انجام آنها را تایید نماید.

- ۱- قبل از شروع جوشکاری، کلیه پابندهای مربوط به ریل باز شده و ریل آزاد گردد.
- ۲- برای آنکه جریان به خوبی برقرار شود، لازم است که ابتدا و انتهای ریلها (در محل اتصالی) توسط دستگاه فرز، پاک شود.
- ۳- ماشین جوشکاری مجهز به دستگاه ثبات می باشد که پارامترهای مختلف مربوط به جوش نظیر مقدار جریان، ولتاژ و میزان پرس را ثبت می کند و اگر چنانچه مقادیر ثبت شده در محدوده قابل قبول باشند، جوش انجام شده را تأیید می نماید. اگر چنانچه ماشین جوش الکتریکی مجهز به دستگاه ثبات نبوده و یا اینکه از کارافتاده باشد، لازم است برای کنترل پرس مطلوب دستگاه، مقدار خوردگی ریلها به ازاء هر بند جوش برابر ۳ سانتی متر باشد. این مسئله بیانگر پرس مطلوب دستگاه خواهد بود. دستگاه ثبات جوش ماشین جوشکاری الکتریکی، در صورت راه اندازی، وسیله ای مطمئن برای کنترل کیفیت جوشهای انجام شده خواهد بود.
- ۴- سلامت ماشین جوشکاری (سیستمهای الکتریکی، هیدرولیکی و پنوماتیکی)، همه روزه باید از طرف پیمانکار کنترل شده و به ناظر مقیم در محل، اعلام گردد. در صورت عدم حضور ناظر، مسئولیتی از عهده پیمانکار سلب نخواهد شد.
- ۵- هنگامی که جوشکاری با ماشین الکتریکی انجام می شود، جوشها باید در فاصله بین تراورسها قرار گیرند. این فاصله باید به مقدار ۱۰۰ میلی متر از لبه تراورس محدود شود و در هیچ موردی کمتر از این مقدار نگردد.
- ۶- سنگ زدن و پرداخت کاری پس از سرد شدن جوش تا دمای محیط می تواند در دو مرحله بعد از جوشکاری و روز بعد از آن انجام شود. انجام عملیات سنگ زنی در سه مرحله، سنگ زنی اولیه، ثانویه و تراز نهایی برای ایجاد یک سطح یکنواخت و قابل قبول، توسط پیمانکار الزامی است.
- ۷- کنترل ظاهری جوش در بخش کنترل مشخصات هندسی خط، آورده شده است.
- ۸- لازم است که برای کنترل کیفی نهایی جوشها تستهای غیرمخرب آلتراسونیک و ذرات مغناطیسی بر روی آنها انجام گیرد. تصمیم در مورد نحوه انجام این آزمایشها و تعداد آنها، برعهده کارفرما خواهد بود.

#### ۵-۴-۸- دستورالعمل پیوسته کردن ریلها

- ناظر مقیم باید هنگام پیوسته کردن ریلها موارد زیر را کنترل و صحت آنها را تأیید نماید.
- ۱- میزان بالاست موجود در خط باید برای عملیات جوشکاری پیوسته، کافی باشد. میزان این بالاست براساس پروفیلهای عرضی مسیر که در نقشه های روسازی موجود است، کنترل خواهد شد.
  - ۲- کهنه بودن و استهلاک ریلها بررسی گردد.
  - ۳- سالم بودن آلات اتصال ریل به تراورس کنترل شوند.
  - ۴- لهیدگی سر ریلها باید بررسی و در صورت لزوم با بریدن سر ریلها و عملیات تامپون زنی، درزها اصلاح شوند.
- بسته به روش انتخابی برای عملیات پیوسته کردن، پیمانکار چک لیستی را که توسط دستگاه نظارت تهیه شده و در اختیار وی قرار می گیرند، را پر خواهد کرد. مواردی که در این چک لیستها باید مدنظر قرار گیرند، عبارتند از:
- ۱- کیلومتر جوش و روش جوشکاری.
  - ۲- درجه حرارت منطقه در زمان پیوسته کردن.
  - ۳- شرایط آب و هوایی منطقه هنگام عملیات پیوسته کردن.
  - ۴- نام سرپرست اکیپ جوشکاری و تاریخ عملیات.

۵- درجه حرارت تعادل برای منطقه مورد نظر و میزان  $\Delta L$ .

۶- اگر چنانچه قبلاً ریلها بصورت طویل بوده است، اندازه درز قبل از جوشکاری و طول هر یک از شاخه‌ها، به‌همراه میزان برش لازم.

۷- امضای سرپرست اکیپ جوشکاری و ناظر مقیم جوشکاری.

### ۵-۴-۹- بازرسی و کنترل کیفیت جوش درز ریل و آزمایشهای آن

۱- بعد از عملیات جوشکاری و سرد شدن ظاهر جوش باید از نظر عیوب احتمالی کنترل گردد. این عیوب می‌تواند شامل افتادگی در جوش، داخل یا خارج بودن، بلند بودن جوش، حفره‌دار بودن ظاهر جوش و سایر عیوب ظاهری باشد.

۲- قسمت تحتانی محل جوش باید با استفاده از یک آینه به دقت مورد بازرسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که حفره یا سرباره نداشته باشد.

۳- منطقه وسط جوش با سختی‌سنجی پرتابل توسط بازرسین جهت مقایسه با نمونه‌های استاندارد سختی‌سنجی گردد.

۴- با دستگاه پرتابل، آزمایش ترکیبایی انجام گیرد.

۵- از هر ۴۰۰ الی ۵۰۰ عدد جوش و یا در پایان هر ماه کاری باید یک نمونه جوش توسط بازرس کیفیت انتخاب شده و تحت آزمایشات متالوگرافی، خستگی و آنالیز شیمیایی قرار گیرد و کیفیت آن بررسی شود.

در صورت رد شدن این جوش عملیات جوشکاری تا رفع عیب باید متوقف گردد. در این صورت با بررسی روش جوشکاری اشکال موجود در آن پیدا شده و جوشهای قبل از آن نیز بررسی می‌شود تا در صورت وجود عیب نسبت به از بین بردن جوشهای معیوب اقدام و جوشکاری مجدداً بعمل آید. بدیهی است در زمان انجام آزمایشها، جوشکاری همچنان ادامه می‌یابد.

۶- گزارش مربوط به کیفیت جوشها و نتایج حاصل از آزمایشات باید به صورت هفتگی از طریق مأمور کنترل و با اطلاعاتی چون شماره بند جوش، درجه حرارت ریل، درجه حرارت هوا، زمان جوشکاری و نام مأمور کنترل تنظیم گردد.

### ۵-۵- دستورالعمل تحویلگیری خط

پس از اتمام عملیات روسازی، مراسم تحویل و تحول آن صورت می‌گیرد. در این بخش دو موضوع تحویل موقت و تحویل قطعی مد نظر قرار گرفته است.

#### ۵-۵-۱- تحویل موقت

پس از آنکه پیمانکار تصمیم به تحویل موقت عملیات اجرا شده گرفت، درخواست خود را برای دستگاه نظارت ارسال می‌دارد. این درخواست توسط مشاور بررسی می‌گردد و در صورتی که خط قابل تحویل باشد، اجازه تشکیل کمیسیون تحویل موقت از سوی دستگاه نظارت، صادر می‌گردد.

لازم به ذکر است که تا تحویل موقت مسیر صورت نگرفته باشد، ترافیک نباید از آن عبور داده شود.

### ۵-۵-۲- تحویل قطعی

پس از آنکه نواقص مندرج در صورتجلسه تحویل موقت رفع گردید و مورد تأیید دستگاه نظارت قرار گرفت، ماشین اندازه گیر خط به محل اعزام شده و بخشی را که قرار است تحویل قطعی گردد، برداشت می کند. دستگاه نظارت با استفاده از نتایج گرافهای ماشین اندازه گیر، اقدام به تعیین شاخص کیفیت خط می نماید. در صورتی که شاخص در محدوده قابل قبول باشد، کمیسیون تحویل قطعی تشکیل خواهد شد.

## فصل ششم

### ضوابط نگهداری خط آهن

#### ۶-۱- کلیات

به مجموعه فعالیتهایی که جهت حفظ وضعیت و کیفیت بهره دهی خط در محدوده استانداردها و به منظور تامین ایمنی و راحتی تردد وسایط نقلیه ریلی صورت می گیرد، عملیات نگهداری خط اطلاق می شود. این موضوع بویژه در بهره برداری از خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر، از اهمیت بسیار بالاتری برخوردار است. هدف از نگهداری و تعمیر، حفظ قابلیت عملکردی و کارایی خط در سطح مورد انتظار با در نظر گرفتن ایمنی و راحتی و همچنین جوانب اقتصادی است. بنابراین هر گونه توسعه در مدیریت نگهداری خط و هر تکنولوژی که با فعالیتهای نگهداری و تعمیر سر و کار داشته باشد، تاثیر مثبتی در حصول درآمدها دارد. بطوریکه علاوه بر صرفه جویی مستقیم روی نگهداری و سرمایه، صرفه جویی غیر مستقیم ناشی از افزایش ظرفیت و تاخیرات کمتر را نتیجه داده و سوددهی راه آهن را افزایش می دهد. از سوی دیگر رفاه و ایمنی سیر و حرکت قطارهای سریع السیر در گروهی یک روش نگهداری صحیح می باشد. بنابراین روش منطقی نگهداری بایستی با در نظر گرفتن کلیه ابعاد اقتصادی و فنی مسئله صورت گیرد و مدیریت صحیح نگهداری خط بدون اطلاع و شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر در خرابی خط، روشهای کنترل کیفی و در نهایت انتخاب روشهای نگهداری درست، میسر نیست. لذا نیاز به سامانه ای می باشد که بتواند نیازهای فوق را برآورده سازد. نگهداری خطوط مخصوص قطارهای سریع در قالب یک سامانه مدیریت نگهداری خط اجباری است. این سامانه از اجزاء متنوعی تشکیل شده است که معیارها و ضوابط فنی مربوط به نگهداری از اجزاء مختلف خط را در بر گرفته و برای راه اندازی آن چهار نیاز اساسی زیر می بایست برطرف گردد:

(۱) بایستی کلیه خرابیهای موجود در خطوط شناسایی شده، آمار ترافیکی خط و امکانات موجود شناخته شده و با تحلیل آماری و فنی به راههایی برای تشکیل شناسنامه و بانک اطلاعاتی از کیفیت خط رسید.

(۲) بایستی با یک بررسی علمی و فنی بر اساس تحقیقات به عمل آمده در خرابیهای خط و مطالعات در عرصه جهانی به ساخت و توسعه یک سیستم ارزیابی و شاخص دهی برای رده بندی کیفی خطوط و مدل زوال خط دست یافت.

(۳) از آنجا که سیستم از پیچیدگی ریاضی و آماری برخوردار است، برای انجام فرآیند تحلیل ورودیها و خروجیهای سیستم

بایستی یک نرم افزار جامع کامپیوتری ایجاد نمود.

(۴) باید مسیری را که سیستم در یک شبکه کشوری پیاده می شود، جستجو کرد.

در این بخش به بررسی ضوابط نگهداری خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر خواهیم پرداخت. در اینجا منظور از ضوابط نگهداری خط، شرایطی هستند که در صورت تجاوز از آنها نیاز به تعمیرات خط ضروری می شود که در صورت در نظر نگرفتن این ضوابط، ایمنی یا سطح سرویس خط به خطر می افتد. روشهای مورد نیاز و همچنین روشهای نگهداری برای برآورده شدن این ضوابط در قسمت بعد ارائه شده است.

## ۶-۲- شاخص کیفیت خط

شاخص کیفیت یک کمیت عددی است که بیانگر وضعیت اجزای خط یا مجموعه خط است. این شاخص با استفاده از روابط خاص دربرگیرنده شرایط خط تعیین می شود. شاخص کیفیت خط از دو بخش شاخص کیفیت مصالح و اجزای خط و نیز شاخص کیفیت هندسه خط تشکیل شده است که میزان وزن دهی به آنها در تعیین شاخص کیفیت خط بسته به هدف از تدوین شاخص، قدمت خط و نحوه بهره برداری از آن می تواند تغییر کند. با اینحال آنچه مسلم است، کیفیت هندسی خط بعلاوه نتایج وضعیت اجزای خط در آن موثر بوده و نیز باعث بروز سانحه و خروج از خط می شود، می تواند از لحاظ وزن دهی در مقایسه با شاخص اجزای خط قابل توجه باشد.

### ۶-۲-۱- مقدار بحرانی شاخص کیفیت

مقدار عددی شاخص کیفیت که مبنای عملیات نگهداری قرار می گیرد، مقدار بحرانی شاخص کیفیت است. این مقدار براساس سطح سرویس خط و همچنین در نظر گرفتن ایمنی مسیر و منظور کردن شرایط اقتصادی تعیین می شود. در ادامه شاخصهای کیفیت مربوط به هر یک از اجزاء خط معرفی شده و مقادیر بحرانی شاخصها به عنوان ضوابط نگهداری خط در نظر گرفته می شوند. مهمترین خرابیهای روسازی به همراه شرح آنها در پیوست (الف) گزارش بیان شده است.

### ۶-۲-۲- شاخص کیفیت اجزای خط

بطور کلی سازه خط به دو بخش اصلی روسازی و زیرسازی تقسیم می شود. اجزاء این بخشها عبارتند از: روسازی شامل ریل، پابند و اتصالات، تراورس، بالاست و زیرسازی شامل زیربلاست و سابگرید (بستر). همچنین در سوزنهای اجزای دیگری شامل ریلهای سوزن یا ریلهای زبانه، ریلهای هادی و تکه مرکزی وجود دارد.

بمنظور کاهش تعداد زیاد خرابیهای احتمالی در بازرسی شبکه خطوط سریع السیر از تعریف تعداد زیاد خرابی گروه اجزاء خط پرهیز شده و خرابیهایی که تاثیر قابل توجهی در خط دارند، در نظر گرفته شده است. این تعاریف باید برای سهولت و سرعت در بازدید به راحتی قابل تشخیص باشند. تعریف خرابی شامل دو قسمت انواع خرابی و درجه شدت خرابی می باشد که در جدول (۶-۱) آمده است.

## جدول ۶-۱- سطوح شدت خرابیها

درجه شدت	تعریف
کم (L)	خرابی های کم که روی فعالیت قطار تاثیر نمی گذارند.
متوسط (M)	خرابی ها می توانند در فعالیت قطارها محدودیت ایجاد کنند.
زیاد (H)	خرابیها معمولاً موجب محدودیت سرعت در قطارها می شوند.
خیلی زیاد (VH)	خرابیهایی که باعث مسدودی خط می گردد.

همچنین اجزای خط به سه گروه اصلی ریل، تراورس و بالاست تقسیم می شوند که در گروه ریل خرابیهای مربوط به صفحات اتصالی، ریل، پابند و صفحه زیر ریل، در گروه تراورس کلیه خرابیهای مربوط به تراورس و بالاخره در گروه بالاست خرابیهای مربوط به بالاست شامل بالاست کثیف، رویش گیاهان، بالا آمدن گل، کافی نبودن بالاست، زهکشی نامناسب کناره خط و جریان نامناسب آب در سازه زهکش قرار دارد. در پیوست (ب) نمونه ای از شاخص کیفیت اجزای خط آورده شده است.

## ۶-۲-۲-۱- شاخص کیفیت ریل

شاخص کیفیت ریل بر مبنای عیوب ظاهری و داخلی موجود در آن تعیین می گردد. همچنین تعیین عمر ریل بر مبنای خستگی آن نیز یکی از پارامترهای تعیین شاخص است. شاخص عمر ریل عمدتاً بر مبنای توابع تحلیلی که در مراجع معتبر ذکر شده است، تعیین می شود. یکی از پارامترهای مهم که به عنوان شاخص، برای ریل توصیه می شود سایش ریل است. سایش ریل در دو جهت قائم و افقی مبنای تعیین وضعیت آن خواهد بود. مقدار مجاز سایش قائم برای خطوط مخصوص قطارهای سریع ۴ میلیمتر و سایش افقی ۲ میلیمتر است. البته حاصل جمع سایش قائم و افقی نباید بیشتر از ۵ میلیمتر باشد.

## ۶-۲-۲-۲- شاخص کیفیت تراورس

شاخص کیفیت تراورس بر مبنای بازدیدهای چشمی و با توجه به قضاوت مهندس تعیین خواهد شد. این شاخص بر مبنای خرابی های نتیجه شده ناشی از مصالح بتن به علت استفاده از تراورسهای بتنی در اغلب موارد تعیین می شود که این خرابی ها در پیوست (الف) ارائه شده است.

## ۶-۲-۲-۳- شاخص کیفیت بالاست

پارامتر مهم و مؤثر در کیفیت بالاست، آلودگی های موجود در مصالح بالاست است. با افزایش بیش از حد ریزدانه در بالاست خاصیت ارتجاعی لایه بالاست به شدت کاهش یافته و ناهمگونی در سختی خط در طول مسیر تأثیر دینامیکی نامطلوبی در بر دارد. لذا کنترل مقدار ریز دانه های بالاست از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار ریزدانه در بالاست را می توان با شاخص کثیفی یا درصد عبوری از الک شماره چهار اندازه گیری کرد. شاخص کثیفی مجموع درصد عبوری از الک شماره چهار و الک شماره دویست است. برای خطوط سریع توصیه می شود که حداکثر درصد عبوری از الک شماره چهار به ۳۰ درصد محدود شود.



### ۶-۲-۳- شاخص کیفیت هندسی

مشخصات هندسی خط یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در نگهداری خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر است. مشخصات هندسی خط عبارتند از انحراف افقی ریل چپ و راست، انحراف قائم ریل چپ و راست، عرض خط، شیب عرضی و پیچش، این پارامترها باید با استفاده از ماشین اندازه‌گیری تمام خودکار برداشت و ثبت شوند. پس از ثبت مشخصات فوق شاخص آماری انحراف از معیار، مبنای تحلیل قرار خواهد گرفت. این شاخص برای طولهای یک کیلومتری از مسیر محاسبه شده و با مقادیر جدول (۶-۲) مقایسه می‌شود.

جدول ۶-۲- مقادیر مجاز انحراف معیار مشخصات هندسی

انحراف قائم (میلیمتر)	انحراف افقی (میلیمتر)	انحراف معیار

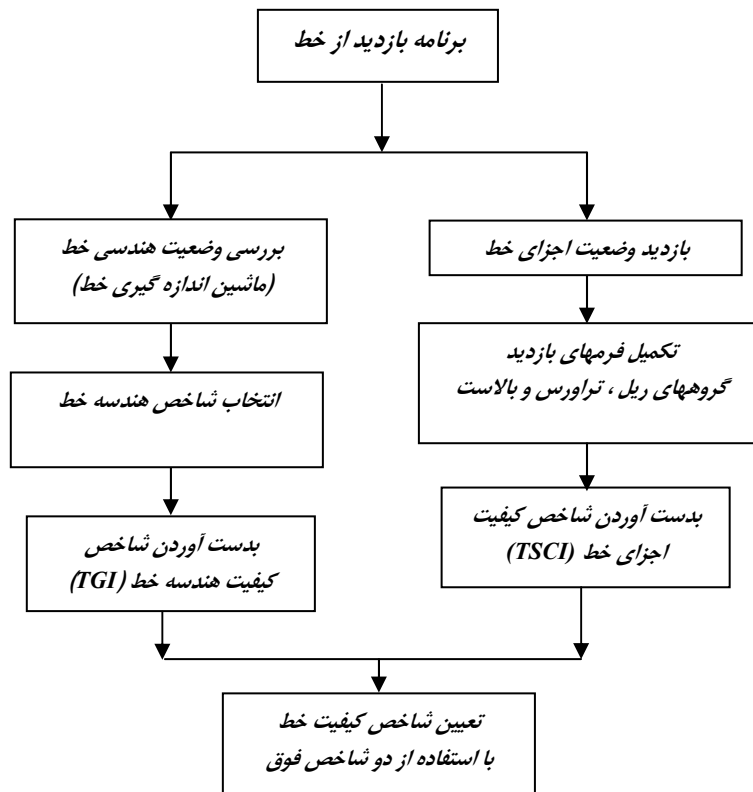
لازم به ذکر است که حداقل طول وتر برای اندازه‌گیری مشخصات هندسی برای سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت باید ۲۵ متر باشد. مقادیر مطلق انحراف مشخصات هندسی مطابق جدول (۶-۳) هستند. برخی از شاخصهای متداول در تفسیر پارامترهای هندسی در پیوست (ج) گزارش آورده شده است.

جدول ۶-۳- مقادیر مطلق انحراف مشخصات هندسی

پیچش	شیب عرضی	عرض خط	انحراف افقی	انحراف قائم	مقادیر مجاز
mm/m	± mm	± mm	mm	mm	

### ۶-۲-۴- شاخص کیفیت کل خط

با توجه به سیستم مدیریتی که برای نگهداری خطوط مورد استفاده قرار خواهد گرفت می‌توان از یک شاخص کلی با وزن دهی بین شاخصهای اجزاء استفاده کرد. با تعیین شاخصهای اجزا و هندسه خط شاخص کیفیت خطوط بدست می‌آید که الگوریتم آن مشابه شکل (۶-۱) می‌باشد.



شکل ۶-۱- الگوریتم تعیین شاخص کیفیت کل خط

### ۶-۳- زوال و خرابی خط

مقادیر محاسبه شده برای شاخص‌های اجزای خط باید در یک پایگاه داده ذخیره شوند تا بر مبنای آن‌ها بتوانیم روند رشد خرابیها در خط را بررسی و وضعیت خط را پیش‌بینی کنیم. مدل بکار رفته برای بررسی روند خرابی بر مبنای مدل زوال انتخابی استوار است. بررسی مراحل مختلف در تخریب خط به خصوص تخریب سریع در دوران ابتدایی برای برنامه ریزی بهره‌برداری از خط ضروری است.

### ۶-۴- روشهای نگهداری خطوط مخصوص قطارهای سریع‌السیر

نگهداری این خطوط باید منطبق بر برنامه زمانبندی باشد تا سطح سرویس‌دهی خط از لحاظ ایمنی و کیفیت تردد در دوره بهره‌برداری تضمین شود. برنامه زمانبندی نگهداری باید شامل دوره‌های نگهداری زیر باشد:

- نگهداری جاری خط
- تعمیرات دوره‌ای
- نوسازی خط

**نگهداری جاری خط:** شامل کلیه عملیاتی است که برنامه زمانبندی آن باید در جدول زمانبندی حرکت قطارها منظور شود. این عملیات شامل کلیه بازدیدها و تعمیرات جزئی خط می‌شود.

**تعمیرات دوره‌ای خط:** شامل عملیاتی است که برای ارتقاء شاخص‌های کیفیت خط انجام می‌پذیرند. این عملیات مستلزم پیش‌بینی زمان معین برای مسدود کردن ترافیک خط هستند. جایگزینی برخی از اجزای روسازی نیز در این عملیات انجام می‌شود.

**نوسازی خط:** شامل کلیه عملیاتی است که برای ارتقاء وضعیت خط انجام می‌شوند. در این عملیات می‌توان زیرسازی خط را نیز تعمیرات اساسی نمود. انجام این عملیات مستلزم قطع ترافیک به مدت طولانی است.

زمانبندی کلی انجام تعمیرات با توجه به تحلیلهای انجام شده در سیستم مدیریت نگهداری خط انجام می‌شود.

#### ۶-۴-۱- بازدیدها

بازدیدها برای ارزیابی وضعیت خط و تشخیص معایب احتمالی و تعیین برنامه تعمیراتی از وظایف مهم دستگاه نگهدارنده است. در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر انجام این بازدیدها بسیار مهم و ضروری می‌باشد. این بازدیدها حداقل باید مطابق با موارد عنوان شده در زیر انجام گیرند.

#### ۶-۴-۱-۱- بازدیدهای منظم چشمی

این بازدیدها باید حداقل روزی یکبار و با پیمودن طول مسیر صورت گیرد. البته این بازدیدها می‌تواند از طریق کابین راننده نیز انجام شود. در این بازدیدها باید کلیه اجزای خط از نظر ظاهری بازدید و هر گونه خرابی مشهود در آنها ثبت شود. سوزنها و تقاطعها در این بازدیدها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

#### ۶-۴-۱-۲- بازدیدهای روزانه

این بازدیدها برای ارزیابی وضعیت سرویس‌دهی خط صورت می‌گیرد. در این بازدیدها که هر روز باید تکرار شود، با استفاده از یک قطار ویژه که با سرعت ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت از روی خط عبور می‌کند، کلیه پارامترهای عملکردی خط ثبت می‌شود.

#### ۶-۴-۱-۳- بازدیدهای ماهانه

در این بازدیدها تمامی مشخصات هندسی خط و وضعیت بالاسری توسط ماشین اندازه‌گیر تمام خودکار ثبت می‌شوند. اندازه‌گیری شتابهای قائم و افقی نیز الزامی است.

#### ۶-۴-۱-۴- بازدیدهای دوره‌ای

در این بازدیدها که به صورت دوره‌ای و با توجه به حجم ترافیک عبوری و همچنین عمر مصالح صورت می‌گیرد، وضعیت اجزای خط از دیدگاه سازه‌ای و عملکردی کنترل می‌شود. روش و دستگاههای مورد استفاده در این ارزیابی با توجه به سامانه مدیریت خط تعیین خواهد شد. البته ارزیابی ریل با استفاده از دستگاه ماوراء صوتی الزامی است.

#### ۶-۴-۲- تعمیرات خط

کلیه تعمیرات خط که نیاز به تعویض قطعات روسازی داشته باشند باید با استفاده از ماشین آلات تمام مکانیزه انجام شود. برخی از تعمیرات مهم از این قرار است:

- تنظیم راستای افقی و قائم خط: با استفاده از ماشین زیرکوب تمام خودکار
- تنظیم و تصحیح نیمرخ عرضی بالاست: با استفاده از ماشین تنظیم کننده بالاست
- تثبیت و تحکیم خط: با استفاده از ماشین پایدارساز
- رفع نامنظمی‌های سطح ریل: با استفاده از ماشین سمباده زن

### ۶-۴-۳- بازسازی خط

در بازسازی خط اکثر ادوات و اجزای روسازی تعویض و یا تصحیح می شوند. بازسازی خط باید به نحوی انجام پذیرد که پس از آن ضوابط کیفی خطوط مخصوص قطارهای سریع تضمین شوند.



## پیوست الف - خرابی‌های روسازی

### الف-۱ - مقدمه

در این بخش به معرفی انواع خرابی‌های روسازی پرداخته شده است. هدف این بخش، آشنایی کلی با این نوع خرابی‌هاست. این بخش از دو بخش اصلی تشکیل شده و خرابی‌های روسازی راه آهن را از دو دیدگاه مورد بررسی قرار داده است:

۱- خرابی‌های اجزاء روسازی راه آهن: این بخش به خرابی‌های مکانیکی نیز موسوم است، زیرا به اجزاء تشکیل دهنده روسازی مربوط می‌شود. این خرابی‌ها خرابی‌های ریل، سیستم پابند، تراورس، بالاست و جوش را شامل می‌شوند، که مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- خرابی‌های هندسی خط: خرابی‌های هندسی، به هندسه روسازی مربوط می‌شوند و از عیوب اجزایی حاصل می‌شوند که وظیفه آنها، حفظ پارامترهای هندسی خط است. در این بخش، انواع خرابی‌های هندسی و پارامترهای وابسته به آنها معرفی و بررسی شده است.

### الف-۲ - خرابی‌های اجزاء روسازی

#### الف-۲-۱ - خرابی‌های مربوط به ریل

عیوب ریل عمدتاً به سه صورت ظاهر می‌شوند:

الف) شکستگی ریل: شکستگی ریلها وقتی اتفاق می‌افتد که آنها به دو قسمت تقسیم شده باشند و یا ریلهایی که قسمتی از فلز آنها به کلی جدا شده باشد، یعنی در سطح بالای ریل، فضای خالی به طول حداقل ۵۰ میلی‌متر و عمق حداقل ۱۰ میلی‌متر ایجاد شود.

ب) ترک خوردگی ریل: منظور از ترک خوردگی، وجود ترکهای آشکار و یا غیر آشکار در قسمتی از طول و یا قسمتی از پروفیل ریل است که سرانجام با توسعه آنها، شکستگی بوجود می‌آید.

ج) صدمه دیدگی ریل: تمام معایب دیگر غیر از شکستگی و ترک خوردگی، تحت عنوان صدمه دیدگی ریل نام برده می‌شوند که عموماً در سطح ریلها رخ می‌دهند.

عیوب ریل را می‌توان به دو دسته عیوب مربوط به ساخت و عیوب مربوط به بهره‌برداری تقسیم کرد.

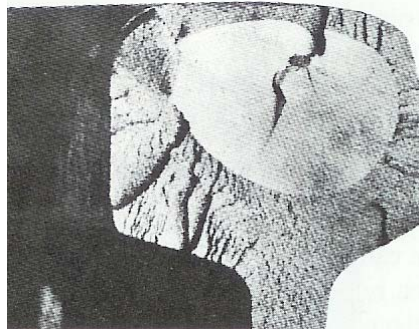
### ❖ عیوب مربوط به ساخت

#### ۱- ناهمگن بودن فلز

ناهمگن بودن فلز، باعث بوجود آمدن شکافهای افقی یا عمودی در ریل و به خصوص در دو انتهای آن می‌گردد. در قسمت ناهمگن، شیارهایی که از ناخالصیها و بخصوص از گوگرد پر شده‌اند، به علت کمی مقاومت مکانیکی، منشاء ترک‌هایی می‌شوند. این ترکها اغلب در کلاهک و یا محل اتصال کلاهک و جان به وجود می‌آیند.

#### ۲- خرابی لکه تخم مرغی

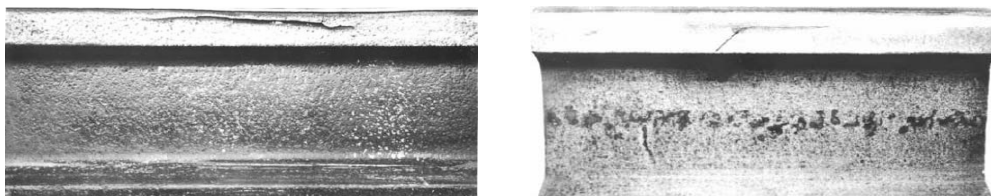
خرابی لکه تخم مرغی از جمله خرابیهایی است که در هنگام تولید ریل بوجود می‌آید و از اثرات حرارتی در زمان تولید ریل ناشی می‌شود. این خرابی معمولاً به سمت سطح ریل توسعه پیدا کرده و باعث شکست ناگهانی آن می‌شود. این خرابی را می‌توان با بازرسی چشمی و یا به کمک دستگاههای مافوق صوت شناسایی کرد.



شکل الف-۱ - خرابی لکه تخم مرغی

#### ۳- ترک خوردگی افقی ریل

در هنگام تولید ریل، تعدادی ترکهای افقی روی سطح قارچ ریل ایجاد می‌شوند که ممکن است باعث پوسته شدن سطح کلاهک ریل گردند.



شکل الف-۲ - ترک خوردگی افقی ریل

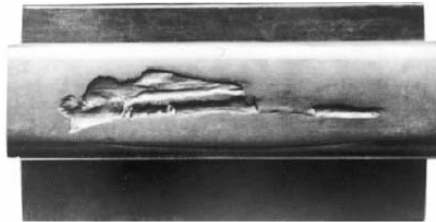
#### ۴- از هم پاشیدگی سطح حرکتی ریل

این عیوب معمولاً در ابتدا غیر قابل مشاهده هستند، ولی پس از برقراری تردد روی خط، نمایان می‌شوند. عیوب فوق می‌توانند در ضمن گسترش خود، به یکی از صورتهای زیر بروز نمایند:

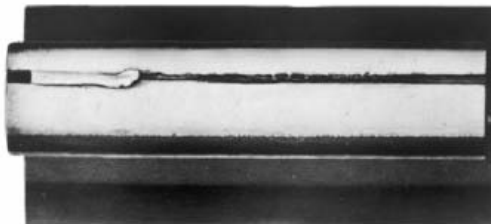
- **پوسته شدن:** در این عیب، ورقه یا پوسته‌هایی کوچکی از فلز روی سطح ریل جدا می‌شوند. عمق این عیب ممکن است به چند میلی‌متر برسد که با گسترش تدریجی خود باعث نشست در سطح غلتش ریل می‌شود.

- **شیار:** یک قطعه نوار مانند از سطح بالای ریل جدا شده و باعث ایجاد یک شیار طولی در آن قسمت می‌گردد. طول این عیب ممکن است به چند متر برسد ولی عمق آن از چند میلیمتر تجاوز نمی‌کند.

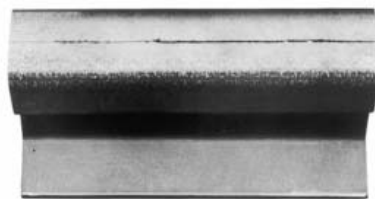
- **ترک نازک:** این عیب به صورت یک رشته باریک نخ مانند با عمق ۲ تا ۳ میلیمتر، در سطح ریل نمایان می‌شود. عیب فوق معمولاً بعد از کارگذاری ریلها بوجود می‌آید و اگر با پوسته شدن همراه نشود، معمولاً بتدریج بعد از بهره‌برداری از ریل ناپدید می‌گردد.



شکل الف-۳ - پوسته شدن



شکل الف-۴ - شیار



شکل الف-۵ - ترک نازک

#### ۵- ترک افقی در محل انحنای جان به کلاhek

این نوع ترکها در انتهای ریل بوجود آمده و باعث جدا شدن کلاhek از جان می‌شود. شروع این ترکها به موازات کلاhek بوده و سپس به سمت بالا یا پایین و یا هر دو گسترش می‌یابد. هنگامی که این ترک خوردگی به سطح غلتش ریل گسترش می‌یابد، ابتدا خود را به صورت خط سیاهی در آن منطقه نمایان می‌سازد، که در نتیجه نشستی در سطح بالای ریل و پهن شدگی در کلاhek که



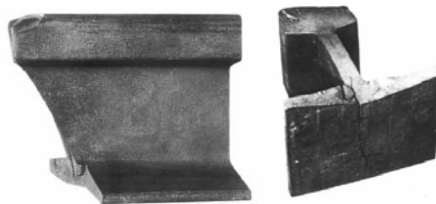
ناشی از باز شدن ترک است، بوجود می‌آید. این عیب را می‌توان به دو صورت با آزمایش چکش و آزمایش با امواج ما فوق صوت (التراسونیک) تشخیص داد. این نوع ترک باید با جایگزینی یک قطعه ریل سالم در ناحیه ترک خورده و جوش آن ترمیم شود.



شکل الف-۶ - ترک افقی در محل انحنای اتصال جان به کلاهک

### ۶- ترک قائم طولی کف ریل

این خرابی بصورت یک ترک قائم در کف ریل شروع شده و در صورت ادامه بهره‌برداری، منجر به شکست ناگهانی در آب و هوای سرد می‌شود. منشأ این نوع خرابی نیز به معایب تولید مربوط می‌شود. پس از شناسایی این نوع خرابی باید اقدام به تعویض ریل در بخش مورد نظر کرد.



شکل الف-۷ - ترک قائم طولی کف ریل

### ❖ عیوب مربوط به کاربرد

#### ۱- پخ شدن و سائیده شدن کلاهک ریل

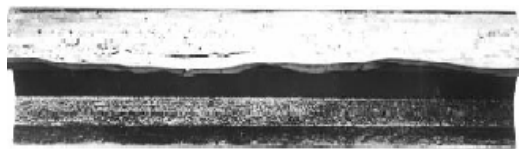
این نوع خرابی در اثر تماس سطح بالای کلاهک ریل با طوقه چرخها، ناهمواری و سرخوردن آنها ایجاد می‌شود. سرخوردن باعث افزایش موضعی درجه حرارت می‌شود. حرارت ایجاد شده به سرعت پخش شده و در نتیجه یک آبدیدگی را همراه با ایجاد یک شبکه موئی بوجود می‌آورد و تدریجاً به یک لکه گود، یعنی به یک ناهمواری موضعی کلاهک تبدیل می‌شود که می‌تواند به عمق ۳ تا ۴ میلی‌متر در طول چند سانتی‌متر برسد.



شکل الف-۸ - پخ شدن و ساییده شدن کلاهدک ریل

### ۲- سائیدگی جانبی ریل

این خرابی، بیشتر در قوسهایی با شعاع کم بوجود می‌آید و می‌توان با بکار بردن ریل‌های سخت و یا روغنکاری، مقدار آن را کم کرد. همچنین سنگ‌زنی نامتقارن ریل‌ها نیز، می‌تواند تا حدودی سائیدگی جانبی ریل را کاهش دهد.



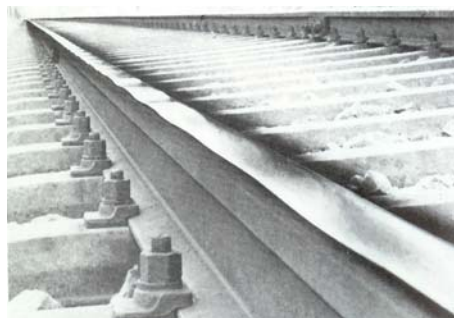
شکل الف-۹ - سائیدگی جانبی ریل

### ۳- سائیدگی موجی

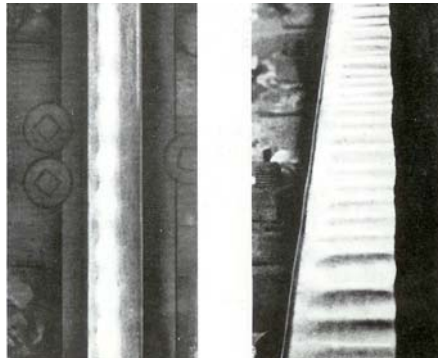
این نوع سائیدگی در سطح قارچ ریل با یک طول موج ثابت برای یک ناحیه مشخص به وجود می‌آید و به صورت زیر است:

- **سائیدگی با طول موج کوتاه:** در این نوع سائیدگی سطح فوقانی ریل دارای تعدادی لکه‌های روشن با طول موج ۳ تا ۸ سانتیمتر است. در این نقاط، ریل یک آبدیدگی سطحی پیدا کرده و عمق فرورفتگیها می‌تواند از ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ میلیمتر به ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر برسد. عواملی از قبیل نوع ریل، اثر چرخ واگنها، نوسانات عرضی چرخها در پیچ و نوسانات طولی چرخها در امتداد مستقیم، می‌توانند در ایجاد آن مؤثر باشند.

- **سائیدگی با طول موج بلند:** طول موج این نوع سائیدگی از ۱۰ سانتیمتر تا ۲ متر متغیر است و در نتیجه خوردگی ریل در اثر بار دینامیکی قائم چرخها بوجود می‌آید.



شکل الف-۱۰ - سائیدگی با طول موج بلند



شکل الف-۱۱ - ساییدگی با طول موج کوتاه

#### ۴- سوختگی پوسته سطح کلاhek ریل

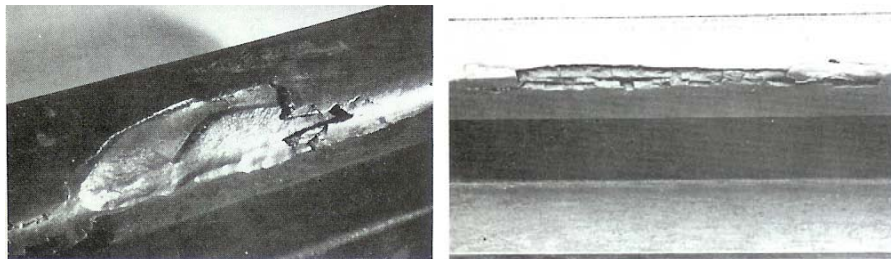
سوختگی ریل به صورت پیوسته در اثر کشیده شدن چرخ بر روی آن و در اثر ترمز ایجاد می‌شود. این نوع خرابی بصورت امواج افقی در سطح کلاhek ریل یا بروز ترکهای ریز با عمق زیاد روی کلاhek ظاهر می‌شود که در اثر هوای سرد باعث شکست ریل می‌شود. ترمیم خرابی در مراحل اولیه از طریق سمباده زنی ممکن است، ولی در صورت گسترش آن باید برای تعویض ریل اقدام گردد.



شکل الف-۱۲ - سوختگی پوسته روی کلاhek ریل بر اثر لغزش مکرر چرخ

#### ۵- پوسته پوسته شدن لبه داخلی کلاhek ریل

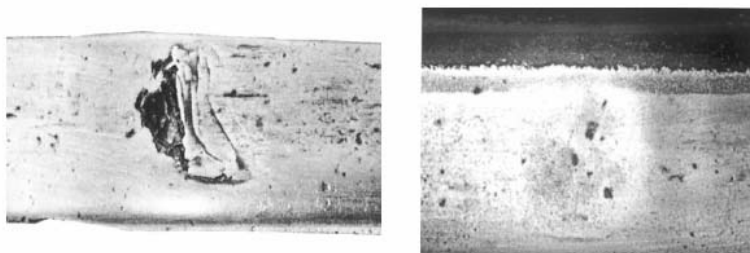
این خرابی بصورت لکه‌های تیره رنگ که در لبه داخلی کلاhek پراکنده شده اند، ظاهر می‌شود. لکه‌های تیره رنگ نشانه‌های اولیه از هم پاشی فولاد ریل هستند که پس از یک دوره تکاملی در سطح جانبی کلاhek ریل ظاهر شده و نهایتاً باعث ایجاد ترک، فرورفتگی و پوسته پوسته شدن در لبه داخلی آن می‌شوند. این خرابی بیشتر در ریل‌های خارجی قوسها که برای جلوگیری از سایش جانبی، روغن کاری می‌شوند، بوجود می‌آید.



شکل الف-۱۳ - پوسته پوسته شدن لبه داخلی کلاهک ریل

### ۶- سوختگی موضعی سطح کلاهک

این نوع خرابی که از اثر لغزش موضعی چرخ بر روی ریل ناشی می‌شود، بصورت لکه‌های بیضی شکل ناپیوسته ظاهر می‌شود که ممکن است تدریجاً از بین رفته و یا توسعه یابد. گسترش این نوع خرابی می‌تواند بصورت عرضی یا سطحی باشد. گسترش سطحی منجر به پوسته پوسته شدن کلاهک ریل و گسترش عرضی منجر به شکست کلاهک می‌شود. ترمیم این نوع خرابی در مراحل اولیه می‌تواند با سمباده زنی سطح ریل صورت گیرد ولی در مراحل رشد بیشتر حتماً باید اقدام به جایگزینی و جوش قطعه ریل شود.



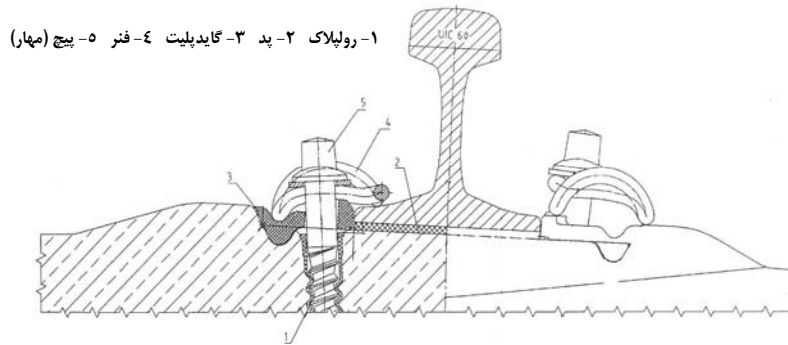
شکل الف-۱۴ - سوختگی موضعی سطح کلاهک

### الف-۲-۲- خرابیهای مربوط به سیستم پابند

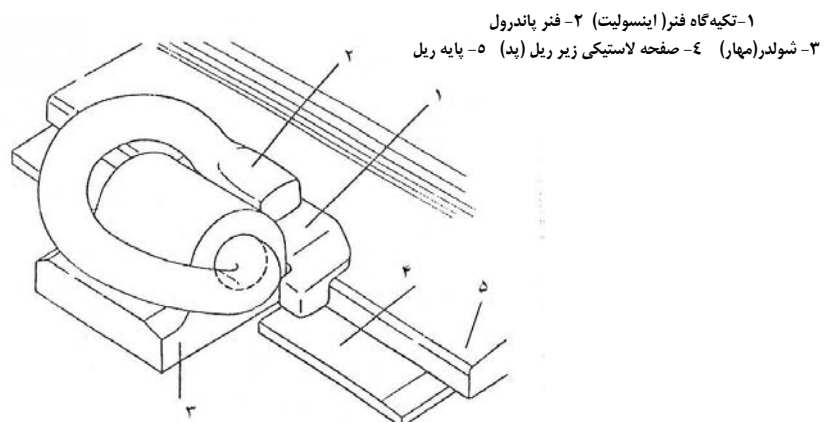
خرابیهای مربوط به سیستم اتصال ریل به تراورس، به دلیل کاهش استفاده از پابندهای صلب، به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. سیستمهای پابند به طور کلی از اجزاء زیر تشکیل شده‌اند:

الف) اجزای فلزی نظیر فنر و مهار و صفحه زیر ریل

ب) اجزای پلیمری نظیر لایه لاستیکی (پد)، تکیه گاه پابند (گاید) و اینسولیت



شکل الف-۱۵ - اجزا پابند وسلو



شکل الف-۱۶ - اجزا پابند در سیستم پاندرول

عمده خرابی اجزای فلزی از تغییر شکل بیش از حد و یا شکست این اجزاء تحت اثر بار ناشی می‌شوند. علت اصلی ایجاد این خرابی، عدم دقت در ساخت قطعات است. البته بعضی مواقع، اعمال بارهای غیر متعارف بر سیستم، باعث بروز تغییر شکل بیش از حد مجاز آنها می‌گردد.



شکل الف-۱۷ - نمونه‌ای از یک فنر شکسته

خرابی در اجزای پلیمری، اغلب به علت بار و خستگی و عوامل جوی رخ می‌دهد.

ذکر این نکته ضروری است که باید در نصب پابند دقت کافی بکار برد. بعلاوه، باز و بسته کردن پابندها، باید با دقت انجام شود، چون عمده خرابیها مربوط به این مسئله می باشد.



شکل الف-۱۸ - نمونه‌ای از یک فندر زنگ زده

### الف-۲-۳- خرابیهای مربوط به تراورس

از آنجایی که اغلب تراورسها از جنس بتن هستند، لذا خرابیهایی که برای بتن اتفاق می افتد برای تراورس هم می تواند رخ دهد. البته با توجه به اینکه تراورسها به صورت پیش ساخته و تحت کنترلهای خاص ساخته می شوند، این نوع خرابیها تا حدود زیادی کاهش می یابند. در این قسمت از ذکر خرابیهای بتن خودداری شده و تنها به خرابیهای تراورس پرداخته می شود.

خرابیهای مربوط به تراورس را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

۱- **لب پریدگی تراورس:** لب پریدگی تراورس در دو سر آن، به نحوی است که در بعضی از موارد پلاکها نیز نمایان می شوند. این مشکل به دلیل کیفیت بد بتن و تخلیه نامطلوب تراورس از قالب بوجود می آید. گاهی، پریدگی در محل قرارگیری گایدها هم اتفاق می افتد.

۲- **ترکهای عرضی در سر تراورس:** ترکهای عرضی در مقطع تراورس، اغلب به دلیل باز کردن ناگهانی و غیر اصولی پیچهای ثابت و کششی بوجود می آید.

۳- **ظاهر نامناسب و وجود خلل و فرج در رویه تراورس:** این شکل خرابی، به دلیل استفاده از روغن به مقدار زیاد و با ویسکوزیته بالا ایجاد می شود.

۴- **کرمو بودن تراورس (بخصوص در محل کلگی):** این خرابی به دلیل وجود حفره و خلل و فرج، بوجود می آید که آن نیز، به دلیل طرح اختلاط نامناسب، مرتعش کردن نامناسب بتن و استفاده از روغنهای با ویسکوزیته زیاد بوجود می آید.

۵- **ترکهای طولی در تراورس:** این ترکها معمولاً از کنار محل رولپلاک در تراورسهای تیپ وسلو شروع شده و کم کم گسترش پیدا کرده و باعث انهدام تراورس می شوند. ایجاد این ترکها علل مختلفی دارد که از آن جمله می توان به وجود شن و سنگریزه در داخل رولپلاک، قرارگیری ناصحیح رولپلاک و همچنین یخ زدن آب داخل رولپلاک و ازدیاد حجم و ترکیدن آن اشاره کرد.



شکل الف-۱۹ - ترک طولی تراورس

۶- **ناصافی کف تراورس:** کثیف بودن ماله بالایی دستگاه ساخت تراورس، باعث ناصافی کف تراورس و حتی خرابی آن می‌شود.

۷- **پوسیدگی قالب تراورس:** ابعاد قالبهای تراورس‌ها به مرور زمان دچار تغییراتی می‌شوند. این امر در نقاطی مانند محل قرارگیری پابند اثر گذاشته و موجب می‌شود که اجزا پابند به طور کامل در محل خود قرار نگیرند و به تبع آن باعث تنگی عرضی شده و حتی در مواردی باعث آسیب به تراورس و ترک خوردن آن می‌شوند.

۸- **ترکهای مویی در دو سر تراورس:** این نوع ترکها در دو سر تراورس و در خط تولید، ایجاد شده و اغلب با دوغاب سیمان پر می‌شود.

۹- **بسته بودن انتهای رولپلاک:** در تراورسهای خارجی انتهای رولپلاک باز بوده و تا انتهای تراورس ادامه دارد. این مسئله باعث می‌شود که آب حاصل از بارندگی از طریق این مجرا خارج شده و به تراورس آسیبی وارد نشود. در حالیکه انتهای رولپلاکهای مصرفی در کشور، بسته است و این مسئله منجر به ترک خوردن تراورس می‌گردد. البته این موضوع ممکن است عیب محسوب نشود ولی می‌تواند منشا تعدادی از عیوب باشد.

۱۰- **پایین بودن رولپلاک از سطح تراورس:** به دلیل عدم دقت در هنگام نصب رولپلاک، لبه فوقانی آن از سطح تراورس پایین تر قرار گرفته و این موضوع باعث می‌شود که پیچ به خوبی بسته نشود.

## الف-۲-۴- خرابیهای مربوط به بالاست

عوامل مخرب در بالاست را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم بندی کرد:

- الف) جداسدگی اجزا که نتیجه آن از بین رفتن انسجام لایه بالاست و خالی شدن زیر ریل است.
- ب) هوازدگی در بالاست که می‌تواند از نوع فیزیکی یا شیمیایی باشد که عمدتاً هوازدگی شیمیایی بیشتر تاثیرگذار است.
- ج) بحث کثیفی بالاست، عموماً ذرات ایجاد کننده کثیفی، اندازه کوچکتر از ۶ میلی‌متر دارند و مقدار کثیفی در بالاست به یک یا دو درصد وزنی محدود می‌گردد.



شکل الف-۲۰ - کثیفی بالاست

### ❖ عوامل ایجاد کننده کثیفی در بالاست

عواملی که باعث کثیفی بالاست می‌شوند به پنج دسته مختلف به شرح زیر تقسیم می‌گردند که هر یک از آنها نیز، می‌توانند در اثر عوامل دیگری ایجاد شوند:

۱- **شکستگی بالاست:** شکستگی بالاست می‌تواند به علل زیر اتفاق بیافتد:

الف) علل مربوط به حمل و نقل بالاست شامل:

۱. شکستگی بالاست در معدن مصالح

۲. در هنگام حمل بالاست

۳. در موقع تخلیه بالاست و در هنگام انجام عملیات بالاست‌ریزی

ب) تنشهای حرارتی در بالاست

ج) علل مربوط به دوره‌های یخ زدن و آب شدن

د) هوازدگی شیمیایی و بویژه بارانهای اسیدی

ه) شکستگی ناشی از زیرکوبی

و) خسارات ناشی از عبور ترافیک از روی خط ریلی به دلایل زیر:

۱. تکراری بودن بار

۲. ارتعاشات ناشی از اعمال بار

۳. عملکرد هیدرولیکی لجن ایجاد شده در بالاست به علت وجود ذرات ریزدانه در آن

ز) شکستگی ناشی از ماشین‌آلات ایجاد کننده تراکم. (در بخش شانه‌های بالاست)

۲- **نفوذ ناخالصیها از طریق سطح بالاست:** این ناخالصیها می‌توانند به دلایل زیر ایجاد شوند:

الف) کثیفیهایی که همراه با بالاست به محل حمل شده‌اند.

ب) ناخالصیهایی که از قطار به داخل بالاست ریخته می‌شود.

ج) موادی که در اثر وزش باد به داخل بالاست نفوذ می‌کنند.

د) موادی که در اثر وجود آب در محل خط به داخل بالاست نفوذ می‌کنند.

ه) آلودگیهای جوی



۳- پوسیدگی تراورسها: پوسیدگی تراورسها و یا ایجاد تغییرات شیمیایی و خوردگی در تراورسها باعث می‌شود تا ذرات ریز حاصله، باعث ایجاد کثیفی در بالاست گردند.

۴- نفوذ ناخالصیها از طریق مصالح دانه‌ای زیر بالاست: این مسئله هنگامی روی می‌دهد که بالاست جدیدی، روی بالاست کثیف شده یا روی بستر یک خط قدیمی ریخته شود.

۵- عوامل نفوذکننده از طریق بستر: گاهی اتفاق می‌افتد که ذرات بستر به علت بهره‌برداری در دراز مدت تراکم خود را از دست داده و به عنوان کثیفی از طریق بستر بالا آمده و وارد بالاست شوند.

#### ❖ اثر زیرکوبی در کثیفی بالاست

عمل زیرکوبی بالاست که به منظور نگهداری بالاست انجام می‌شود، باعث ایجاد مقداری شکستگی در بالاست شده، و باعث کثیفی بالاست می‌شود. معمولاً این زیرکوبی می‌تواند تا ۱۰ درصد وزنی باعث ایجاد کثیفی در بالاست شود.

#### ❖ خوردگی هیدرولیکی در بالاست و تراورس

وقتی در محل روسازی، سطح آب زیرزمینی بالا باشد، ترکیب آب با مصالح خورده شده از بالاست یا کثیفیهای موجود در بالاست، ایجاد یک لجن می‌کند که این لجن، لابلای منافذ بالاست و اطراف تراورس را احاطه می‌کند. وقتی که بار ترافیک از روی خط عبور می‌کند، فشار محوری در لجن ایجاد شده به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و یک گرادیان هیدرولیکی (جت آب) به سمت بالا ایجاد می‌شود که این مسئله باعث ایجاد خوردگی در تراورس و بالاست می‌شود. در این نوع خوردگی به طور قابل توجهی، پارامترهای زیر مؤثرند:

۱. زهکشی ضعیف
۲. فشار تماسی زیاد در محل تراورس که این مسئله باعث خورده شدن ذرات بالاست می‌شود.
۳. ضعیف بودن مصالح بالاست

#### الف-۲-۵- خرابیهای مربوط به جوشکاری ریلها

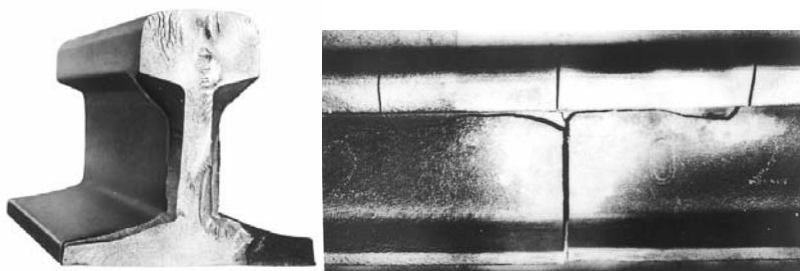
همانطور که بیان شد جوشکاری ریلها به صورتهای گوناگونی انجام می‌شود، ولی در خطوط مخصوص قطارهای سریع السیر می‌بایست از جوشکاری الکتریکی استفاده شود و استفاده از جوش ترمیت تنها در موارد خاص و تحت نظارت دقیق ناظر مقیم امکان پذیر است. در این قسمت ابتدا معایب کلی جوشکاری آورده شده و سپس به عیوبی که در جوشکاری ترمیت روی می‌دهند، اشاره شده است. در نهایت نیز عیوب مربوط به جوشکاری الکتریکی بررسی شده است.

## الف-۲-۵-۱- معایب کلی جوشکاری

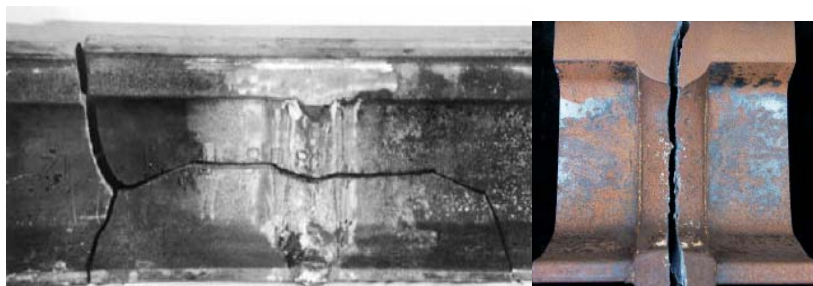
## ❖ ترک

شاید ترک بدترین و زیان‌آورترین نوع عیب در جوشکاری باشد و از آنجاییکه این عیب تحت هر شرایطی، در هر نوع فرآیند جوشکاری و در هر منطقه‌ای می‌تواند بوجود آید، فقط با شناخت دقیق عیب و علل بوجود آورنده آن، می‌توان از طریق اقدامات لازم و پیشگیری‌های ضروری، از بروز آن جلوگیری کرد.

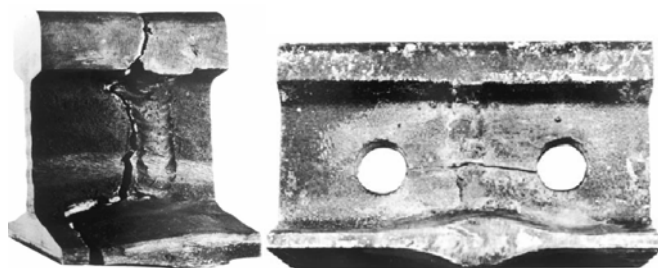
برخی از ترکها را می‌توان براحتی با چشم غیرمسلح دید، در حالی که تعدادی را جز با آزمایش‌های غیرمخرب رادیوگرافیکی و ماوراء صوتی نمی‌توان تشخیص داد. تعدادی از ترکها نیز تنها با آزمایش‌های متالوگرافی و میکروسکوپیهای بسیار حساس قابل مشاهده‌اند. در هر حال کنترل بروز ترک در جوش جز با آگاهی همه جانبه از تکنولوژی و علم متالوژی جوش، امکانپذیر نیست.



شکل الف-۲۱ - نمونه‌ای از ترک عرضی و افقی در جوش برقی جرقه‌ای



شکل الف-۲۲ : نمونه‌ای از ترک عرضی و افقی در جوش آلومینوترمیت



شکل الف-۲۳ - نمونه‌ای از ترک عرضی و افقی در جوش قوس الکتریکی

ترک ممکن است در سه منطقه ایجاد شود:

الف) منطقه جوش

ب) مرز ذوب

ج) منطقه مجاور جوش که تحت تاثیر اثرات گرمایی ناشی از حرارت جوشکاری، دچار تغییراتی در ساختار میکروسکوپی شده است و به نام منطقه <sup>1</sup>HAZ خوانده می‌شود.

ترکها با توجه به ابعادشان ممکن است ماکروسکوپی و یا میکروسکوپی باشند. درجه حرارتی که ترک در آن بوجود آمده، نقش مهمی را در تعیین ماهیت ترک، نحوه رشد آن و آسیبی که به دانه‌بندی و شبکه کریستالی می‌رساند، ایفا می‌کند. ترکها را برحسب دمایی که در آن بروز کرده‌اند، به دو گروه ترکهای گرم و ترکهای سرد تقسیم می‌کنند.

ترکهای گرم در دماهای زیاد در زمان انجماد فلز جوش رخ می‌دهند. این ترکها از مرز دانه‌های فلز جوش شروع می‌شوند. در این حالت سطح مقطع شکست به خوبی رنگهای تمپر (رنگین کمان) را که معرف دمای زیاد است، نشان می‌دهد.

ترکهای سرد، پس از سرد شدن فلز تا رسیدن به دمای محیط ایجاد می‌شوند. ترکهای ناشی از شرایط سرویس را می‌توان جزء دسته ترکهای سرد دانست. ترکهای تاخیری یا زیر لایه‌ای ناشی از حبس هیدروژن نیز، ترک سرد هستند. اشاعه ترکهای سرد به دو صورت میان‌دانه‌ای و مرزدانه‌ای صورت می‌گیرد.

#### ❖ ذوب ناقص<sup>۲</sup>

طبق تعریف ذوب ناقص، یک ناپیوستگی در جوش است که در آن، عملیات ذوب شدن بین فلز جوش و سطوح ذوب و یا لایه‌های جوش، حاصل نشده‌اند. ذوب ناقص از ناپیوستگی‌های بارز در جوش ناشی می‌شود. ذوب ناقص از علل زیر ناشی می‌شود:

۱- دوره پیش حرارت‌دهی کوتاه

۲- حرارت‌دهی نامناسب

۳- استاندارد نبودن درز جوشکاری (خیلی عریض یا خیلی باریک بودن)

۴- تنظیم نبودن فشار سر گاز برای حرارت‌دهی

۵- خروج از مرکزیت قالب یا صحیح بسته نشدن درز

#### ❖ ناخالصیهای غیرفلزی

بطور کلی ناخالصیهای غیرفلزی که در منطقه جوش به صورت رگه‌هایی از ناپیوستگی قابل مشاهده‌اند، به دو دسته ناخالصیهای اولیه و ناخالصیهای ثانویه تقسیم می‌شوند.

ورود ناخالصیهای غیرفلزی از جمله سرباره و مواد نسوز قالب و همچنین تشکیل ناخالصیهای ثانویه در داخل جوش، اثرات بسیاری بر روی خواص مکانیکی می‌گذارند. از جمله اینکه ناخالصیهای اولیه، فشردگی و مقاومت منطقه جوش را درمقایسه با ریل کاهش داده و باعث کاهش کیفیت جوش خواهند شد.

1- Heat Affected Zone

2- Incomplete Fusion

ناخالصیهای اولیه بعنوان محلی برای ظهور ناخالصیهای ثانویه عمل می‌کنند. ناخالصیهای ثانویه می‌توانند از واکنش بین مذاب و سرباره آلومینایی ناشی شوند. این ناخالصیها برخلاف ناخالصیهای اولیه، در ابعاد میکروسکوپی بوده و حتی گاهی ممکن است خواص فولاد را بهبود بخشند. در کل اثر آنها در مقابل ناخالصیهای اولیه که اندازه‌های ماکروسکوپی دارند، تقریباً قابل اغماض است. تجزیه شیمیایی ناخالصیهای اولیه، حضور عناصر Mg, Fe, Al, O, Si را نشان می‌دهد. این ناخالصیها می‌توانند از مواد قالب یا مواد مورد استفاده در آب‌بندی درزها حاصل شوند. با افزایش استحکام فرسایشی قالبها و همچنین استفاده از مواد آب‌بندی مناسب، می‌توان اثرات منفی اینگونه ناخالصیها را کاهش داد.

### ❖ حفره و تخلخل

حفره‌ها، فضاهای خالی و مدوری با سطوح داخلی صاف هستند. این حفره‌ها شباهت زیادی با سوراخ کرم دارند و در واقع محل خروج گاز از مواد مذاب در حال انجماد را نشان می‌دهند. اگر حباب گاز، طوری خود را به سطح برساند که مواد مذاب بتواند جای آنرا پر کند، اثری از حباب باقی نمی‌ماند. در غیر اینصورت، حباب گاز در زیر سطح در حال انجماد، محبوس شده و ایجاد حفره خواهد کرد. حبابهای متمرکز گازی که در میان جوش گیر افتاده و سطوح داخلی صاف و براق دارند، تخلخل نامیده می‌شوند. علت بوجود آمدن تخلخل اینست که در لحظه انجماد، بعلت زیاد بودن ویسکوزیته مواد مذاب و سرعت زیاد سرد شدن، گازها فرصت رسیدن به سطح و متصاعد شدن را پیدا نمی‌کنند.

### الف-۲-۵-۲- عیوب جوشکاری ترمیت

پس از بررسی عیوب کلی فرآیند جوشکاری، در این قسمت عیوب جوشکاری ترمیت به صورت خاص بررسی می‌شود. این عیوب به علت آنکه ممکن است در موارد خاص از جوشکاری ترمیت در روسازی خطوط سریع السیر استفاده گردد، تشریح می‌شود. عمده عیوب جوشکاری ترمیت به شرح زیر هستند:

#### ۱- جوشهای سرد<sup>۱</sup>

این عیب به سبب پیش حرارت‌دهی ناکافی بوجود می‌آید. وجود این عیب باعث می‌شود که فولاد ریل، خوب ذوب نشده و به صورت همگن با ترمیت مذاب، ممزوج نشود.

#### ۲- ناخالصی

ناخالصیها وقتی بوجود می‌آیند که در حین عملیات اجرایی، ماده‌ای خارجی، به هر دلیل به مقطع عرضی جوش راه پیدا کند. ناخالصیهای سرباره آلومینیومی و ماسه‌ای، دو نمونه از این حالات هستند.

#### ۳- تخلخل

تخلخل ممکن است در اثر عوامل زیر ایجاد شود:

- بکارگیری فرم یا قالبی که نمناک باشد.
- خشک نکردن گلدان یا ته گلدان

1- Cold welds  
2- Inclusions  
3- Porosity

- بکار بردن مواد مرطوب در تهیه قالب
- بکار بردن ترمیت نمناک

#### ۴- شکستهای تنششی

در صورتی که جوشهای ترمیت، سرد انجام شده باشند، تنشهای کششی در مرکز جوش باعث شکست می شوند.

#### ۵- ماسه سوزی

این عیب چندان حائز اهمیت نبوده و تنها از لحاظ ظاهری نامطلوب است و زمانی در روی کلاهدک ریل ظاهر می شود که ماسه، در تماس با شعله پیش حرارت دهی و یا فولاد ریخته شده قرار بگیرد. در صورت بروز این مسئله، ماسه تا دمای شیشه ای شدن، گرم می شود. ماسه سوزی معمولاً با سنگ زنی بر طرف می شود.



شکل الف-۲۴ - ماسه سوزی

#### ۶- حفره سیاه

این عیب در بالاترین منطقه از کف ریل، در درجه کناری قالب (رایزر) آشکار می شود. نقطه نظرهای بسیاری در رابطه با این عیب وجود دارند، مثلاً بعضی بر این عقیده اند که حفره سیاه رخداد جداگانه ای نیست و حاکی از تخلخلهای زیاد است و عده ای از متخصصان، وجود آن را در ریل بی اشکال و بعضی، آنرا رد می کنند.

عقاید و نظریات مختلف بر اساس نتایج تجربی نشان می دهند که عیب ایجاد شده ناشی از وجود چندین عامل مربوط به شرایط جوشکاری است. شعله شدید ایجاد شده (که بوسیله فشار زیاد گاز تولید می شود)، ماسه مرطوب و ارتفاع حرارت دهی نادرست، حفره سیاه ایجاد می کنند. آنچه روشن است این است که حفره سیاه در جوشکاری، همراه با عملیات ریخته گری بوجود می آید، بنابراین نمی توان گفت مربوط به اشتباه جوشکار است.



شکل الف-۲۵ - حفره سیاه

#### ۷- جوشهای اکسید شده

این عیب می‌تواند بعلت کاربرد شعله پیش گرم کننده نادرست و یا به سبب تنظیم نادرست ارتفاع مشعل بوجود آید. همچنین تمایل شعله به یک طرف نیز ممکن است که باعث بروز این عیب شود.



شکل الف-۲۶ - جوشهای اکسید شده

#### ۸- کمبود گلویی

کمبود گلویی جوش زمانی ایجاد می‌شود که ماده‌ای خارجی در حین فرآیند جوشکاری، به داخل قالب وارد شود. گاهی هنگام تراز کردن و تنظیم کردن قالبها، قطعات مواد دیرگداز شکسته شده و وارد محفظه جوشکاری می‌شوند و عیب مذکور بوجود می‌آید.

#### ۹- مشکلات هندسی جوش

رعایت نشدن رواداریهای هندسی جوشکاری، باعث بروز مشکلات هندسی جوش می‌گردد. معایب هندسی جوش در یک نقطه باعث می‌شوند که چرخ در آن نقطه به ریل ضربه وارد کرده و تنشهای زیادی در آن نقطه ایجاد شوند که می‌توانند به مرور زمان باعث بروز خستگی زودرس شوند. همچنین این مسئله، راحتی مسافران را نیز، کاهش می‌دهد.

#### الف-۲-۵-۳- عیوب مربوط به جوشکاری الکتریکی (برقی)

خرابی و شکست در جوش الکتریکی می‌تواند از علل زیر بوجود آید:

- 1- Oxidized welds
- 2- Lack of collar
- 3- Geometry Problems

- عوامل انسانی
- علل مربوط به ماشین آلات جوشکاری
- عوامل جوی

این عوامل به شکل زیر در جوشکاری تأثیر می‌گذارند:

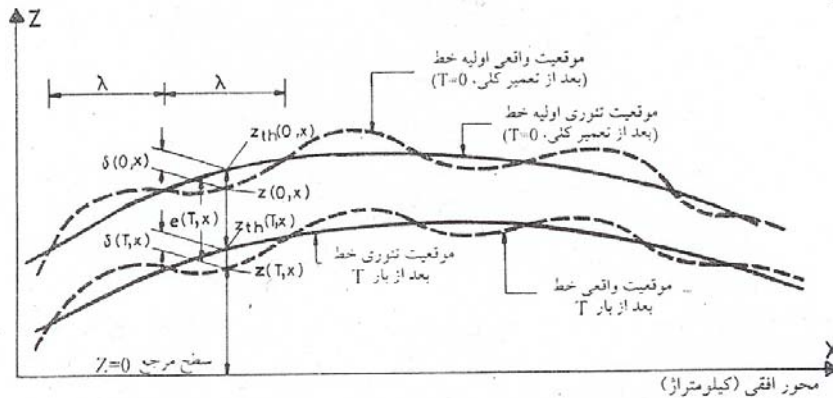
- ۱- تنظیم نامناسب آمپر (ناشی از اشتباه انسان یا مربوط به تجهیزات جوشکاری): گر آمپر کم باشد، نفوذ جوش، ناکافی بوده و لذا جوش در آینده‌ای نزدیک خواهد شکست.
  - ۲- اگر سیستم‌های مختلف دستگاه جوش تنظیم نشده و یا اینکه از کار افتاده باشند، معیوب شدن جوش، حتمی خواهد بود.
  - ۳- هرگونه ایجاد کشش در حین عملیات جوشکاری، منجر به خرابی جوش مورد نظر خواهد شد.
  - ۴- فشرده (پرس) نشدن کامل دو ریل به یکدیگر باعث عدم نفوذ کامل جوش می‌گردد.
  - ۵- کیفیت پایین سنگ‌زنی و صیقلی نکردن جان ریل که باعث افزایش مقاومت الکتریکی فلز شده و آمپر مورد نیاز تأمین نمی‌شود.
  - ۶- همتراز نبودن دو ریل باعث ایجاد عیوب هندسی خواهد شد.
  - ۷- برش نامطلوب اضافات جوشکاری که به علت خرابی قیچی دستگاه روی می‌دهد.
  - ۸- بارندگی و درجه دمای کم در کیفیت جوش تأثیرگذار است و اگر این مسئله در نظر گرفته نشود، باعث بروز عیب در جوش خواهد شد.
- البته لازم به ذکر است که از آنجاییکه جوشکاری الکتریکی توسط ماشین انجام می‌شود، لذا عمده عیوب جوشکاری از مشکلات مربوط به آن ناشی می‌شوند. بنابراین بازرسی و تعمیر به موقع ماشین تا حدود زیادی باعث بهبود کیفیت جوشهای الکتریکی خواهد شد.

### الف-۳- خرابیهای هندسی خط

این خرابیها، همانگونه که از اسم آنها مشخص است، به پارامترهای هندسی خط مربوط می‌شود. خرابیهای هندسی معمولاً برگشت‌پذیر بوده و با انجام تمهیداتی می‌توان آنها را رفع کرد. هنگامی که یک خط برای سرعت معینی در نظر گرفته می‌شود، ایمنی حرکت و آسایش مسافران باید همواره در محدوده قابل قبولی قرار داشته باشند. از آنجاییکه خرابی‌های هندسی، تقریباً ۵ الی ۱۵ بار سریعتر از خرابی‌های مکانیکی صورت می‌گیرند، این خرابیها نشانه مهمی برای انجام تمهیدات به موقع و جلوگیری از پیشرفت خرابی و ایجاد خرابیهای مکانیکی هستند. در یک تعریف کلی، انحراف میان مقادیر واقعی و تئوری مشخصه‌های هندسی خط، خرابی هندسی نامیده می‌شود.

الف-۳-۱- تعریفها و پارامترهای وابسته به خرابیهای خط

فرض کنید که  $Z_e(T, x)$ ,  $Z_i(T, x)$  به ترتیب سطح تراز ریل داخلی و خارجی مربوط به بار ترافیکی  $T$  (بعد از آخرین تعمیر کلی) در کیلومتر  $X$  باشد. براین اساس، در ادامه به تعریف کمیت‌های مورد نیاز می‌پردازیم (شکل الف-۲۷).



شکل الف-۲۷ - تعریف پارامترهای اصلی عملیات نگهداری خط

- تراز خط  $z(T, x)$ :

$$z(T, x) = \frac{z_i(T, x) + z_e(T, x)}{2} \tag{الف-۱}$$

- نشست خط  $e(T, x)$ :

$$e(T, x) = z(0, x) - z(T, x) \tag{الف-۲}$$

- نشست متوسط  $m_e(T)$  در طول خط  $L$ :

$$m_e(T) = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} e(T, x) dx \tag{الف-۳}$$

برای اندازه گیری در نقاط گسسته (غیر پیوسته)، خواهیم داشت:

$$m_e(T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e(T, x) \tag{الف-۴}$$

- نشست جزئی یا نسبی  $\Delta e(T, x)$ :

$$\Delta e(T, x) = e(T, x) - m_e(T) \tag{الف-۵}$$

- انحراف معیار نشست،  $sd(T)$  در طول خط  $L$ :

$$sd(T) = \sqrt{\frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} [e(T, x) - m_e(T)]^2 dx} \tag{الف-۶}$$

و برای مقادیر گسسته



$$sd(T) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [e(T, x_i) - m_E(T)]^2} \quad \text{(الف-۷)}$$

- تراز خط از نظر تئوری  $Z_{th}(T, x)$ :

موقعیت واقعی خط  $Z(T, x)$  در محدوده مقدار تئوریک  $Z_{th}(T, x)$  نوسان می کند که در صورت نامعلوم بودن، مقدار تقریبی آن در طول مشخص  $2\lambda$  حول موقعیت  $x$  برابر مقدار  $Z_{th}(T, x)$  است و فرض می شود که از رابطه زیر بدست می آید:

$$Z_{th}(T, x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{x-\lambda}^{x+\lambda} Z(T, \xi) d\xi \quad \text{(الف-۸)}$$

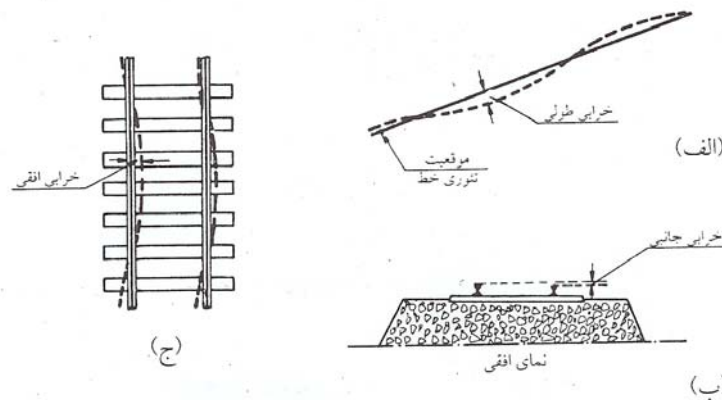
### الف-۳-۲- انواع خرابیهای هندسی خط

#### الف-۳-۲-۱- خرابی طولی

خرابی طولی LD (شکل الف-۲۸ الف) توسط فرمول زیر تعریف می شود:

$$LD = z_{th}(T, x) - z(T, x) \quad \text{(الف-۹)}$$

خرابی طولی قابل اعتمادترین پارامتر در بیان اثرات بارهای قائم بر کیفیت خط بوده و همچنین یک پارامتر اساسی در تعیین مبلغ هزینه های نگهداری خط است.



شکل الف-۲۸ - خرابیهای طولی و عرضی و افقی خط

#### الف-۳-۲-۲- خرابی عرضی TD

بعنوان اختلاف بین مقدار واقعی و نظری بریلندی (دور) تعریف می شود (شکل الف-۲۸ ب):

$$TD = (z_i - z_e)_{th} - (z_i - z_e) \quad \text{(الف-۱۰)}$$

### الف-۳-۲-۳- خرابی افقی

خرابی افقی HD، (شکل الف-۲۸ ج) عبارتست از انحراف افقی موقعیت واقعی خط از موقعیت تئوریک آن. خرابی افقی به وضعیت جانبی خط از نظر قرارگیری در خاکریزی یا خاکبرداری (افزون بر دو مورد خرابی فوق الذکر) و خصوصیات و ویژگیهای وسایل نقلیه ریلی بستگی دارد.

### الف-۳-۲-۴- انحراف عرض خط

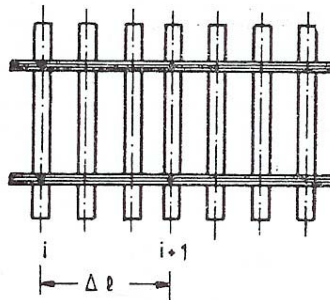
انحراف در عرض خط، ناشی از خواص مکانیکی مصالح خط و ویژگیهای وسیله نقلیه ریلی است و تا حد معینی مجاز است.

### الف-۳-۲-۵- اعوجاج موضعی

در طول قسمتهای مستقیم و قوسدار (جاهایی که بریلندی ثابت است)، چهار نقطه از خط که بر روی دو مقطع عرضی واقع شدهاند (برای مثال بر روی دو تراورس، که در شکل (الف-۲۹) نشان داده شده اند) باید در یک صفحه قرار گیرند. اعوجاج موضعی  $ld$  بعنوان انحراف یک نقطه از صفحه تعریف شده توسط سه نقطه دیگر، بیان می‌شود.

اگر  $i$  و  $i+1$  دو مقطع عرضی متوالی خط با فاصله  $\Delta l$  از یکدیگر باشند (در دو تراورس متوالی)، آنگاه اعوجاج موضعی به صورت انحراف خرابی عرضی در واحد طول تعریف می‌شود،

$$ld = \frac{TD_{i+1} - TD_i}{\Delta l} \quad (\text{الف-۱۱})$$



شکل الف-۲۹- اعوجاج موضعی- انحراف یک نقطه، از صفحه تعریف شده توسط سه نقطه دیگر

در این صورت خطر خروج از خط منتفی می‌شود اگر:

$$ld < ld_{lim} \quad (\text{الف-۱۲})$$

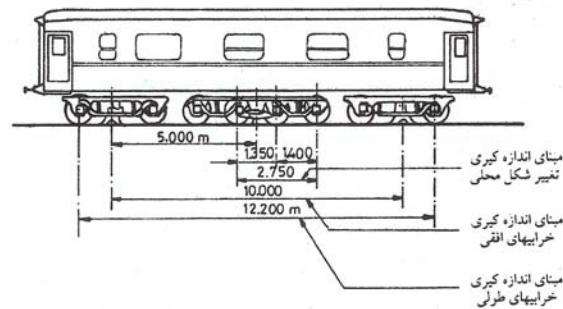
که در آن  $ld_{lim}$  اساساً به سرعت و در درجه دوم به نوع تجهیزات و وسیله نقلیه ریلی بستگی دارد.

بنابراین چنین نتیجه می‌شود که اعوجاج موضعی و خرابی جانبی پارامترهای مستقلی نیستند. البته در عمل این دو پارامتر بطور مجزا ارزیابی می‌شوند، زیرا اعوجاج موضعی یکی از شایع‌ترین دلایل خروج از خط، بخصوص در سرعت‌های کم ( $V < 100$  کیلومتر بر

ساعت) و متوسط ( $V < 140$  کیلومتر بر ساعت) است. پارامتر اصلی ایمنی بحرانی در این سرعتها اعوجاج موضعی است، در حالی که سایر خرابیهای خط که قبلا ذکر شدند از درجه اهمیت کمتری برخوردارند.

### الف-۳-۳- روشهای ثبت خرابی خط

تا چند سال قبل خرابیهای خط توسط افراد گروه نگهداری خط با مشاهده و یا توسط وسائل ساده شناسایی می شدند. اما در سالهای اخیر فناوری جدید راه آهن، از وسائل نقلیه ثابت (شکل الف-۳۰) که در قسمتهای معینی از خط حرکت می کنند، سود می جوید. این وسائل نقلیه به تجهیزات ثابتی مجهزند که مقادیر خرابیهای خط را با یک مبنا اندازه گیری می کنند (در حدود ۱۰ متر طول برای خرابیهای افقی و عرضی و ۲/۵ تا ۳ متر برای اعوجاج موضعی). شکل (الف-۳۱)، یک نمونه ثبت شده از خرابیهای طولی را نمایش می دهد.



شکل الف-۳۰ - وسیله نقلیه ثبت خرابی خط



شکل الف-۳۱ - خرابیهای طولی ثبت شده توسط وسیله نقلیه ثابت

توزیع انواع مختلف خرابیها دارای طبیعت تصادفی بوده و با کمک تحلیل طیفی قابل تخمین است. بنابراین در مورد هر گروه از خرابیها، فراوانی رویداد آنها، طول موج مربوط به هر یک، رابطه آنها با سرعت قطار و غیره قابل محاسبه است. اولین و ساده ترین روش محاسبه عبارتست از محاسبه مقادیر متوسط (بدون علامت) خرابی و مقادیر حداکثر گسسته که در یک طول مشخص وجود دارند. هر دوی این مقادیر بعنوان مقادیر مطلق خرابی در نظر گرفته می شوند. این مقادیر در سرعتهای کم و متوسط بکار رفته و پارامترهای بحرانی و تعیین کننده ایمنی در آن سرعتها نامیده می شوند. البته در سرعتهای متوسط، زیاد و خیلی زیاد، پارامترهای کنترل کننده مؤید آسایش سرنشینان هستند. در این سرعت، اطمینان از سطح مطلوب آسایش سرنشینان مؤید ایمنی ترافیک نیز هست. در نتیجه بعنوان شاخصهای کیفیت خط در سرعتهای فوق الذکر، مقادیر تحلیلی بدست آمده از انواع مختلف خرابیها مورد استفاده قرار می گیرند که این مقادیر از اطلاعات ثبت شده توسط وسیله نقلیه ثابت بدست می آیند. مهمترین خصوصیت

این مقادیر، تحلیل انحراف معیار نوع معینی از خرابی در یک طول مشخص است، که در حد قابل اطمینان، پراکندگی مقدار خرابی مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کند.

### الف-۳-۴- رشد خرابیهای خط

در صورتی که خرابی خط کمتر از رواداری‌های تعیین شده برای نوع خط مورد نظر باشد، مداخله گروه‌های نگهداری صورت نمی‌گیرد. لذا، این سوال مطرح می‌شود که چگونه یک خرابی اولیه خط بصورت تابعی از بار ترافیکی تغییر خواهد کرد. شناخت شکل تحول خرابیهای خط ممکن است به برنامه‌زمانی اجرای عملیات ترمیمی توسط گروه‌های نگهداری کمک کند.

### الف-۳-۴-۱- خرابیهای طولی

مجموعه‌ای از آزمایشها و تحلیلهای آماری نشان داده است که ظهور یک خرابی در خط مورد بهره‌برداری، برحسب بار بحرانی تا حدود دو میلیون تن، بسرعت رشد می‌کند و فراتر از آن رشد آهسته‌تری پیدا می‌کند. علت آن این است که تا این مقدار بار، خط بطور کامل پایدار نشده و علائم ناپایداری از خود نشان می‌دهد.

#### • نشست متوسط خط

سیر تحولی نشست متوسط، توسط فرمول تجربی زیر ارائه می‌گردد: (شکل الف-۳۲)

$$m_e(T) = a_1 + a_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \quad (\text{الف-۱۳})$$

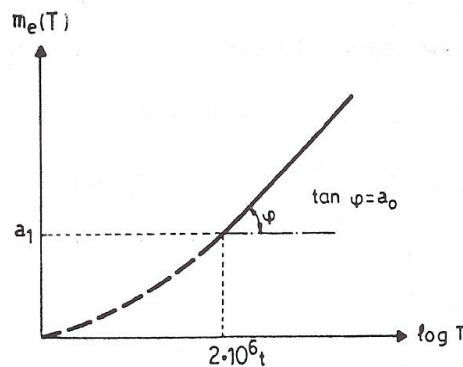
که در آن

$$T_r: ۲ \text{ مگاتن (۱ مگاتن} = ۱۰^۶ \text{ تن)}$$

$a_1$ : نشست متوسط مربوط به بار  $T_r$  (مقدار  $a_1$  در حدود ۵ تا ۱۵ میلیمتر متغیر است).

$a_0$ : نرخ افزایش نشست (میلیمتر در ۱۰ سال) است که اساساً به کیفیت بستر بستگی داشته و مقدار متوسطی در حدود ۲ تا ۶

میلیمتر در ۱۰ سال دارد.



شکل الف-۳۲- رشد مقدار متوسط  $m_e(T)$  (نشست خط) بعنوان تابعی از بار ترافیکی

نسبت  $\frac{a_0}{a_1}$  بیانگر رشد ملایم خرابی بعد از رسیدن به ۲ میلیون تن بار است و ملاحظه می‌شود که مقدار آن بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۰ تغییر می‌کند.

$$\frac{a_0}{a_1} = 0.25 \text{ تا } 0.70 \quad (\text{الف-۱۴})$$

#### • انحراف معیار خرابی طولی

برای خطوط با سرعت متوسط و زیاد، مقدار دیفرانسیل خرابی طولی LD بطور خاص مورد نظر است. بنابراین انحراف معیار  $sd_{LD}(T)$  برطبق آن بدست می‌آید. مجموعه‌ای از مطالعات آماری به معادله تجربی زیر منجر شده است:

$$sd_{LD}(T) = c_1 + c_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \quad (\text{الف-۱۵})$$

که در آن

$c_1$ : انحراف معیار خرابیهای طولی برای بار  $T_r = 2 \times 10^6$  تن با مقدار متوسط ۱/۰ تا ۱/۳۵ میلیمتر  
 $c_0$ : نرخ افزایش انحراف معیار خرابیهای طولی تابعی از بار ترافیکی، با مقدار متوسط ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر در ۱۰ سال.

#### • فاصله زمانی بین دوره‌های نگهداری

فرض کنید  $sd_{LD}^{lim}$  مقدار حدی خرابیهای طولی باشد، از معادله فوق چنین استنباط می‌گردد که بار ترافیکی حدی  $T_{lim}$  بین دو دوره نگهداری متوالی برابر خواهد شد با:

$$T_{lim} = 2 \times 10^6 \times 10^{\left( \frac{sd_{LD}^{lim} - c_1}{c_0} \right)} \quad (\text{الف-۱۶})$$

از آنجایی که کمیت  $c_0$  تقریباً ثابت است، ضرایب تعیین کننده در فاصله زمانی  $T_{lim}$  بین دو دوره نگهداری متوالی عبارتهای  $sd_{LD}^{lim}$  و  $c_1$  هستند که دومی به شرایط بعد از نگهداری مربوط می‌شود. بنابراین افزایش زمان رسیدن به  $T_{lim}$  با بهبود شرایط اولیه خط بعد از نگهداری، یعنی با عملیات نگهداری خط با کیفیت بهتر، دست یافتنی است.

برای خطهای مختص سرعت‌های متوسط و کم، بجای انحراف، معیار مقدار متوسط خرابی طولی خط بکار رفته و بقیه معادله بالا به همان شکل باقی می‌ماند.

#### الف-۳-۴-۲- خرابیهای عرضی

سیر تحول خرابیهای عرضی با معادله زیر نمایش داده می‌شود:

$$sd_{TD}(T) = u_1 + u_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \quad (\text{الف-۱۷})$$

که در آن ضرایب  $u_1$  مقدار متوسط ۱/۲ میلیمتر و  $u_0$  مقادیر متوسط بین ۰/۱ تا ۰/۴ میلیمتر را دارند.

### الف-۳-۴-۳- خرابیهای افقی

بارگذاری خط در صفحه افقی از دو جنبه اساسی با بارگذاری در صفحه قائم تفاوت دارد:

- اثرات ایجاد شده بسیار بی قاعده و ناپیوسته‌ترند.

- بنا به دلایل ایمنی، تنشهای ایجاد شده باید در محدوده ارتجاعی باقی بمانند.

مانند سایر انواع خرابیها، خرابیهای افقی نیز برای بار اولیه  $T_r$  تا حد ۲ میلیون تن به شدت رشد کرده و بعد از آن رشد آنها بطور قابل ملاحظه‌ای کند می‌گردد. سیر تحول آن نیز ممکن است بطور تقریبی با فرمول نیمه لگاریتمی بار ترافیکی، نمایش داده شود که در هر حال در بسیاری از موارد انحراف و پراکندگی زیادی را نشان می‌دهد. معادله زیر برای مقدار متوسط خرابی افقی پیشنهاد شده است:

$$m_{HD}(T) = d_1 + d_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \quad (\text{الف-۱۸})$$

که در آن  $d_1$  مقادیر متوسط ۰/۶ تا ۱/۰ میلیمتر و  $d_0$ ، مقادیر ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ میلیمتر در ۱۰ سال را دارند. نسبت  $\frac{d_0}{d_1}$  بین ۰/۲ تا

۰/۳ تغییر کرده و بیانگر سرعت پیشروی خرابیها بعد از رسیدن به بار مینائی  $T_r$  است.

### الف-۳-۴-۴- انحرافهای عرض خط

انحرافهای عرض خط اساساً به بستر و نوع وسایل نقلیه ریلی بستگی داشته و بنابراین تعیین سیر تحولی آن به صورت تابعی از پارامترهای مختلف بسیار مشکل است.

### الف-۳-۴-۵- اعوجاج موضعی

رابطه سیر تحولی اعوجاج موضعی نیز نیمه‌لگاریتمی است:

$$sd_{HD}(T) = g_1 + g_0 \cdot \log \frac{T}{T_r} \quad (\text{الف-۱۹})$$

که در آن ضرایب  $g_0$  با مقادیر متوسط ۱/۰ تا ۲/۰ میلیمتر و  $g_1$  با مقادیر متوسط ۰/۲ تا ۱/۰ میلیمتر در ۱۰ سال، پراکندگی زیادی دارند.



## پیوست ب- شاخص کیفیت اجزای خط

### ب-۱- طبقه بندی کیفیت گروه های ریل، تراورس و بالاست

جهت تعیین شاخص کیفیت اجزای خط، طبقه بندی خرابیهای گروههای ریل، تراورس و بالاست به تفصیل در این قسمت بیان می گردد. حدود شدت مطابق با جداول (ب-۱) تا (ب-۳) برای گروههای مختلف خط در نظر گرفته شده است. مبنای تعریف حدود شدت، استانداردهای تعمیر و نگهداری و ایمنی خط می باشند.

جدول ب-۱- حدود، شدت و نوع خرابیهای گروه ریل

نوع و شدت	توضیح نوع خرابی در گروه های مختلف ریل	
بند	R1(L)	۱- لب پدیدگی یا فرورفتگی قارچ ریل کمتر از ۵ میلیمتر عمق ۲- کاربوگیشن ۳- پوسته شدن سطح ریل ۴- طول ریل کمتر از ۶ متر ۵- ورقه ورقه شدن سطح ریل ۶- ترکهای سطحی قارچ ریل
	R1(M)	۱- لب پدیدگی یا فرورفتگی قارچ ریل کمتر از ۱ سانتیمتر عمق و بیشتر از ۵ میلیمتر ۲- شکست (ترک) سوراخ پیچ کمتر از ۱ سانتی متر ۳- پایه شکسته ریل کمتر از ۱۵ سانتیمتر ۴- پایه خورده شده ۵- له شدگی سطح ریل ۶- شکست سطح ریل کمتر از ۲۰ درصد سطح ۷- جدایی جان و قارچ ریل کمتر از ۱ سانتیمتر ۸- ترک افقی قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر ۹- ترک در جان ریل کمتر از ۱ سانتیمتر ۱۰- ترک قائم قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر ۱۱- سایش جانبی بیش از حد مجاز ۱۲- سایش قائم بیش از حد مجاز ۱۳- سوختگی موضعی در سطح قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر
	R1(H)	۱- لب پدیدگی یا فرورفتگی قارچ ریل کمتر از ۲ سانتیمتر عمق و بیشتر از ۱ سانتیمتر ۲- شکست (ترک) سوراخ پیچ بیشتر از ۱ سانتیمتر و کمتر از ۳ سانتیمتر ۳- پایه شکسته < ۱۵ سانتیمتر ۴- شکست سطح ریل بیشتر از ۲۰ درصد سطح و کمتر از ۴۰ درصد سطح ۵- ۵ سانتیمتر<جدایی جان و قارچ ریل < ۱ سانتیمتر ۶- ۱۰ سانتیمتر<ترک افقی قارچ ریل< ۵ سانتیمتر ۷- ۵ سانتیمتر< ترک در جان ریل < ۱ سانتیمتر ۸- ۱۰ سانتیمتر<ترک قائم قارچ ریل< ۵ سانتیمتر ۹- سوختگی موضعی در سطح قارچ ریل بیشتر از ۵ سانتیمتر و کمتر از ۱۰ سانتیمتر
	R1(VH)	۱- لب پدیدگی یا فرورفتگی قارچ ریل بیشتر از ۲ سانتیمتر عمق ۲- ترک (شکست) سوراخ پیچ < ۳ سانتیمتر و یا شکست ۳- پایه شکسته شده < ۳۰ سانتیمتر ۴- شکست سطح ریل بیشتر از ۴۰ درصد سطح ۵- جدایی جان و قارچ ریل بیشتر از ۵ سانتیمتر ۶- شکاف افقی قارچ ریل بیشتر از ۱۰ سانتیمتر ۷- شکاف در جان ریل < ۵ سانتیمتر یا شکاف کامل ۸- ترک قائم قارچ ریل < ۱۰ سانتیمتر یا شکاف کامل ۹- عیوب جوش درز ریل
صفحات اتصال	R2(L)	۱- صفحه اتصال ترک خورده یا شکسته شده (نه در مرکز) ۲- یک پیچ معیوب یا کسری ۳- اندازه یا نوع نامناسب صفحه اتصال ۴- اندازه یا نوع نامناسب پیچ ۵- پیچ شل شده (لق شده) ۶- صفحه اتصال تغییر شکل یافته
	R2(M)	۱- همه پیچهای در درز شل شده اند ۲- صفحه اتصال خورده شده ۳- مرکز یک صفحه اتصال شکسته شده یا ترک خورده ۴- فقط یک پیچ در هر طرف درز ۵- فاصله دو ریل در محل درز کوچکتر از ۲ سانتیمتر ۶- لقمه در محل درز کوچکتر از ۲ سانتیمتر
	R2(H)	۱- هر دو صفحه اتصال در یک درز در مرکز ترک خورده اند. ۲- فاصله دو ریل در محل درز بزرگتر از ۲ سانتیمتر و کوچکتر از ۵ سانتیمتر ۳- لقمه در محل درز بزرگتر از ۲ سانتیمتر و کوچکتر از ۵ سانتیمتر
	R2(VH)	۱- همه پیچهای یک طرف درز شکسته یا کسر شده اند ۲- هر دو صفحه اتصال شکسته یا گم شده اند ۳- هر دو صفحه اتصال شل شده اند ۴- فاصله دو ریل در محل درز < ۵ سانتیمتر ۵- لقمه در محل درز بزرگتر از ۵ سانتیمتر
بند	R3	شل شدگی، خستگی، شکسته شدن، کسر شدن و یا دیگر عیوب از این قبیل
بند	R4	در صورتیکه صفحات زیر ریل، در یک موقعیت نامناسب قرار گرفته باشند، ترک خورده، خمیده شده (تابیده شده) یا شکسته شده یا خورده شده باشند، معیوب در نظر گرفته میشوند.



جدول ب-۲- حدود، شدت و نوع خرابیهای گروه تراورس

نوع و شدت		توضیح نوع خرابی در گروه های مختلف تراورس
خراب منفرد	S1(L)	تراورس خراب واقع شده در هر جایی به جز در درز یا در محل جوش درز ریل
	S1(M)	تراورس خراب در محل درز یا محل جوش درز ریل
یک ردیف تراورس خراب	S2(L)	۲ تراورس خراب در یک ردیف
	S2(M)	۳ تراورس خراب در یک ردیف
	S2(H)	۴ تراورس خراب در یک ردیف
	S2(VH)	۵ تراورس خراب در یک ردیف
چند ردیف تراورس خراب کنار هم	S3(L)	۲ تراورس خراب در یک ردیف
	S3(M)	۳ تراورس خراب در یک ردیف
	S3(H)	۴ تراورس خراب در یک ردیف
	S3(VH)	۵ تراورس خراب در یک ردیف
تراورسهای کسر شده	S4(L)	تراورس کسر شده منفرد
	S4(M)	۲ تراورس گم شده در یک ردیف
	S4(H)	۳ تراورس گم شده در یک ردیف
تراورسهای جا به جا نشده	S5(L)	تراورس چرخیده حول محور طولی تراورس و تراورسی که بیشتر از ۱۵ سانتیمتر از محور طولیش حرکت کرده باشد. (کج شده باشد). همچنین فواصل تراورس ها از حالت نرمال تا ۷۰ سانتی متر برسد.
	S5(M)	فاصله مرکز به مرکز هر دو تراورس در طول ریل بزرگتر از ۸۰ سانتیمتر است اما این فاصله درز ریلی را در بر نمی گیرد. همچنین فواصل تراورس ها بین ۷۰ تا ۸۰ سانتی متر باشد.
	S5(H)	فاصله مرکز به مرکز هر دو تراورس در طول ریل بزرگتر از ۸۰ سانتیمتر است.

جدول ب-۳- حدود، شدت و نوع خرابیهای گروه بالاست

نوع و شدت		توضیح نوع خرابی در گروه های مختلف بالاست
بلاست کیف	B1	اگر مواد ریز، فضاهای بین ذرات درشت دانه را پر کنند، بالاست، کیف در نظر گرفته می شود و زهکشی از طریق بالاست به صورت جدی آسیب می بیند و تماس صحیح بین اجزای درشت دانه برقرار نمی شود.
رویش گیاهان	B2(L)	رشد گیاه در بالاست، مشکل ایجاد کردن در دید، پیاده روی مشکل، در فاصله ۳ متر از خط مرکزی مسیر، وجود خطر آتش در پلهای چوبی یا پایه ها
	B2(M)	ممانعت در بازرسی خط
	B2(H)	کاهش سرعت سیر قطار
	B2(VH)	جلوگیری از سیر قطار و مسدودی خط
بالا آمدن گل از بالاست تا زیر تراورس	B3(L)	بالا آمدن گل از بالاست تا زیر تراورس فقط در یک انتهای هر تراورس
	B3(M)	بالا آمدن گل از بالاست تا زیر تراورس در هر دو انتهای هر تراورس
	B3(H)	بالا آمدن گل از بالاست تا زیر تراورس درز
بلاست در خط کافی نبودن	B4	فقدان بالاست شانه و یا بالاست بین تراورسها ممکن است به علت عدم دقت در طول ساخت یا نوسازی اتفاق افتد، بالاست شانه ممکن است برداشته شود یا به علت ساخت، نوسازی یا دیگر کارهای مجاور خط کاهش یابد.
خرابی بالاست	B5(L)	خرابی بالاست شانه (یک طرف) که سبب خرابی سازه خط نشود.
	B5(M)	خرابی بالاست شانه (در دو طرف) و بالاست بین تراورسها که خرابی در سازه خط ایجاد نشود.
	B5(H)	از بین رفتن یک قسمت از بالاست که منجر به محدود کردن سرعت حرکت قطار می شود.
	B5(VH)	بلاست یا بالاست و بستر به صورت جزئی یا کامل با آب شسته شده و منجر به مسدودی خط گردد.
زهکشی نامناسب کناره خط	B6(L)	آب نمی تواند به راحتی در طول نهر های کناری جریان یابد.
	B6(M)	خرابی نهرهای کناری و یا شیبهای اطراف، که سبب خرابی در سازه خط نمی شود.
زهکشی نامناسب جریان آب در زهکش	B7(L)	محدودیت جریان
	B7(M)	مسدودیت کامل جریان

همچنین خرابیهای سوزن مطابق با جدول (ب-۴) برای گروههای مختلف خط در نظر گرفته شده است.

جدول ب-۴- حدود، شدت و نوع خرابیهای گروه های مختلف سوزن

نوع و شدت		نوع و تعداد خرابی در هر سوزن
ریلهای سوزن	TR1(L)	۱- لب پریدیگی یا فرورفتگی قارچ ریل اصلی کمتر از ۵ میلیمتر عمق ۲- کاربوگیشن در ریل اصلی ۳- پوسته شدن سطح ریل اصلی ۴- طول ریل اصلی کمتر از ۶ متر ۵- ورقه ورقه شدن سطح ریل اصلی ۶- ترکهای سطحی قارچ ریل اصلی
	TR1(M)	۱- لب پریدیگی یا فرورفتگی قارچ ریل کمتر از ۱ سانتیمتر عمق و بیشتر از ۵ میلیمتر ۲- شکست (ترک) سوراخ پیچ کمتر از ۱ سانتی متر ۳- پایه شکسته ریل کمتر از ۱۵ سانتیمتر ۴- پایه خورده شده ۵- له شدگی سطح ریل ۶- شکست سطح ریل کمتر از ۲۰ درصد سطح ۷- جدایی جان و قارچ ریل کمتر از ۱ سانتیمتر ۸- ترک افقی قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر ۹- ترک در جان ریل کمتر از ۱ سانتیمتر ۱۰- ترک قائم قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر ۱۱- سایش جانبی بیش از حد مجاز ۱۲- سایش قائم بیش از حد مجاز ۱۳- سوختگی موضعی در سطح قارچ ریل کمتر از ۵ سانتیمتر
	TR1(H)	۱- لب پریدیگی یا فرورفتگی قارچ ریل کمتر از ۲ سانتیمتر عمق و بیشتر از ۱ سانتیمتر ۲- شکست (ترک) سوراخ پیچ بیشتر از ۱ سانتیمتر و کمتر از ۳ سانتیمتر ۳- ۳۰ سانتیمتر < پایه شکسته < ۱۵ سانتیمتر ۴- شکست سطح ریل بیشتر از ۲۰ درصد سطح و کمتر از ۴۰ درصد سطح ۵- ۵ سانتیمتر < جدایی جان و قارچ ریل < ۱ سانتیمتر ۶- ۱۰ سانتیمتر < ترک افقی قارچ ریل < ۵ سانتیمتر ۷- ۵ سانتیمتر < ترک در جان ریل < ۱ سانتیمتر ۸- ۱۰ سانتیمتر < ترک قائم قارچ ریل < ۵ سانتیمتر ۹- سوختگی موضعی در سطح قارچ ریل بیشتر از ۵ سانتیمتر و کمتر از ۱۰ سانتیمتر ۱۰- کاربوگیشن در تیغه سوزن (ریل سوزن) ۱۱- خوردگی در تکه مرکزی سوزن ۱۲- سایش غیر مجاز قائم یا افقی در تیغه سوزن، ریلهای هادی و یا تکه مرکزی ۱۳- چسبندگی کم تیغه بگونه ای که کاغذ براحتی از آن رد شود
	TR1(VH)	۱- لب پریدیگی یا فرورفتگی قارچ ریل بیشتر از ۲ سانتیمتر عمق ۲- ترک (شکست) سوراخ پیچ ۳ سانتیمتر و یا شکست ۳- پایه شکسته شده < ۳۰ سانتیمتر ۴- شکست سطح ریل بیشتر از ۴۰ درصد سطح ۵- جدایی جان و قارچ ریل بیشتر از ۵ سانتیمتر ۶- شکاف افقی قارچ ریل بیشتر از ۱۰ سانتیمتر ۷- شکاف در جان ریل < ۵ سانتیمتر یا شکاف کامل ۸- ترک قائم قارچ ریل < ۱۰ سانتیمتر یا شکاف کامل ۹- عیوب جوش درز ریل ۱۰- سوختگی موضعی در سطح قارچ ریل بیشتر از ۱۰ سانتیمتر ۱۱- شکستگی در تیغه سوزن، ریل هادی و یا تکه مرکزی
TR2, TR3, TR4	مشابه $R_4$ و $R_3, R_2$	
TS1, TS2, TS3, TS4, TS5	مشابه $S_5$ و $S_4, S_3, S_2, S_1$	
TB1, TB2, TB3, TB4, TB5, TB6, TB7	مشابه $B_7$ و $B_6, B_5, B_4, B_3, B_2, B_1$	

## ب-۲- شاخص کیفیت گروه های ریل، تراورس و بالاست

اساس تعیین شاخص کیفیت ادوات خط براساس بازدید چشمی از خط می باشد. در این بازدید خرابیهای مربوطه برداشت شده و نسبت هر خرابی با شدت بازدید شده به کل واحد تعیین می شود. این نسبت تحت عنوان شاخص چگالی مطرح گردیده است. هر ترکیبی از انواع خرابی و حدود شدت، نیاز به جمع آوری داده هایی در محدوده ای از چگالی داشته تا منحنی های کاهش مشخص شوند. درجه خرابی در گروه اجزاء خط (ریل، تراورس و بالاست) تابع سه مشخصه انواع خرابی، شدت خرابی و مقدار خرابی است. به منظور تبدیل اطلاعات بازدیدهای خط (که به صورت درجه بندی شده می باشد) به شاخص های کیفیت و نیز بعلا آنکه هر کدام از موارد ذکر شده در بالا تاثیر عمیقی در تشخیص و کمی کردن کیفیت گروه اجزاء خط دارند، هر یک از گروههای اجزا خط باید در

مدل ریاضی شاخص کیفیت تاثیر داده شوند. در این مدل فرض می شود که شاخص کیفیت گروه اجزاء خط (BCI<sup>۱</sup> و SCI<sup>۲</sup>، RCI<sup>۳</sup>) با جمع زدن انواع خرابی به همراه درجات شدت و چگالی آنها با استفاده از فاکتورهای وزنی تخمین زده شود:

$$(BCI, SCI, RCI) = C - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} a(T_i, S_j, D_{ij}) F(t, d) \quad (ب-۱)$$

که در آن

C: ضریب ثابت که در اینجا برابر ۱۰۰ است،

a: مقدار کاهش وزنی وابسته به نوع خرابی (Ti)، درجه شدت (Si) و چگالی خرابی (Di)،

i: تعداد انواع خرابی،

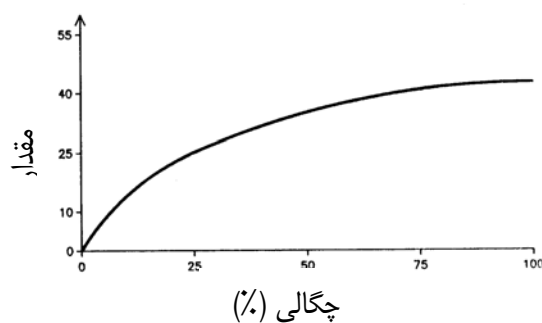
j: تعداد سطوح شدت،

P: تعداد کل انواع خرابی گروه مورد نظر،

mi: مقدار شدت برای نوع خرابی (i)ام و

F(t, d): فاکتور تعدیل برای خرابی های متعدد است که از این فاکتورهای تصحیح می توان در ترمیم منحنی های تصحیح استفاده کرد.

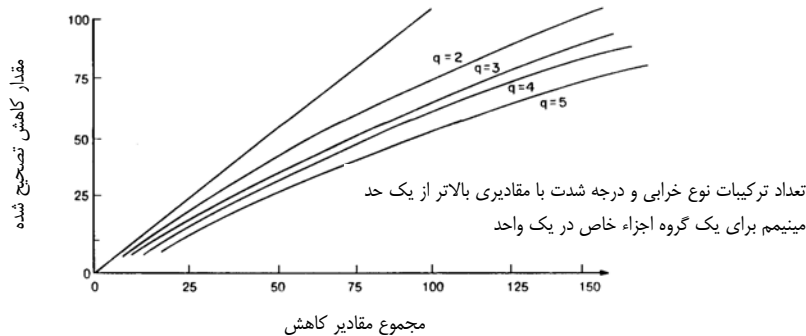
این مقادیر کاهش از ارزیابی کیفیت تک تک معایب خط منتج شده است. معایب یکسان خط با انواع خرابی ها، درجات شدت خرابی و بالاخره مقدار خرابی در حدودی از چگالی ها مرتبط شدند تا مقادیر کاهش بدست آید. از آنجائیکه مقادیر کاهش تابعی از انواع خرابی، درجه شدت و چگالی است، می توانند به طور ترسیمی در منحنی های کاهش نمایش داده شوند.



شکل ب-۱ مفهوم منحنی کاهش

به لحاظ آنکه انواع خرابی های اضافی و یا حدود شدت در یک واحد یکسان اتفاق می افتد، تاثیر هر خرابی در ارزیابی باعث کاهش میزان کیفیت خط می گردد. برای در نظر گرفتن این موضوع در مدل، یک فاکتور تعدیل باید به مجموع کاهشهای انفرادی

اعمال شود. فاکتورهای تصحیح تابعی از گروه اجزاء، مجموع مقادیر انفرادی کاهش، مقدار حداقل انفرادی کاهش و تعداد ترکیب انواع مختلف خرابی ها و درجه شدت در واحد است. این فاکتورهای تصحیح می توانند به عنوان منحنی تصحیح ترسیم شوند. این مفهوم در شکل (ب-۲) نشان داده شده است.



شکل ب-۲- مفهوم منحنی تصحیح

با محاسبه شاخصهای گروههای ریل، تراورس و بالاست در واحد، شاخص کیفیت اجزای خط تعیین می شود. این عمل یک میانگین گیری با تاثیرات غیر یکسان گروه های سه گانه می باشد. عبارتی دیگر تاثیر هر گروه بر اساس نمره آن می باشد. منطقی است که گروهی که پائینترین نمره را دارد، بیشترین تاثیر را گذاشته و گروهی که بالاترین نمره را دارد، کمترین تاثیر را بگذارد. رابطه نهایی شاخص کیفیت اجزای خط بصورت زیر است.

$$TSCI = 0.5CI(low) + 0.35CI(mid) + 0.15CI(high) \quad (ب-۲)$$

در این رابطه  $CI(low)$ ،  $CI(mid)$  و  $CI(high)$  مقادیر شاخصهای  $RCI$ ،  $SCI$  و  $BCI$  می باشند که به صورت صعودی مرتب شده اند و  $TSCI$  شاخص کیفیت اجزای خط می باشد.

## پیوست ج - شاخص کیفیت پارامترهای هندسی خط

### ج-۱- مقدمه

پارامترهای هندسی خط از عوامل مؤثر بر میزان راحتی و سطح ایمنی خط است. مشخصات هندسی خط در واقعیت تطابق کاملی با مقدار تئوری ندارند. مقدار انحراف مشخصات هندسی از مقدار واقعی در سطوح مختلف نگهداری خط باید محدود شده و کنترل شود. برای کنترل مشخصات هندسی در دوره نگهداری خط، پارامترهای هندسی خط به روشهای مختلف اندازه گیری شده و مورد تحلیل قرار می گیرند. امروزه عمدتاً این اندازه گیریها با استفاده از ماشین اندازه گیر خط انجام می شود. در این پیوست، روشهای مختلف تحلیل مقادیر اندازه گیری شده توسط ماشین اندازه گیر بررسی شده و در یک مطالعه موردی برای یک نمونه، تحلیلها انجام و با یکدیگر مقایسه شده است. روشهای تحلیل ارائه شده عمدتاً بر مبنای اطلاعات گسسته استوارند.

### ج-۲- پارامترهای هندسی خط

پارامترهای هندسی خط معرف موقعیت قرارگیری ریلها در فضا هستند. با توجه به اینکه هر خط ریلی از دو ریل تشکیل شده و هر ریل در فضا امکان حرکت در دو جهت (قائم و افقی) را دارد، لذا با چهار پارامتر هندسی مستقل می توان مختصات قرارگیری ریلها را تعیین کرد. با توجه به اینکه چهار مختصات فوق باید به صورت مطلق اندازه گیری شوند و این امر به سادگی امکان پذیر نیست، معمولاً مشخصات هندسی خط با هفت پارامتر زیر معرفی می شود:

- افتادگی ریل چپ و راست

- انحراف افقی ریل چپ و راست

- عرض خط

- دور

- پیچش

اندازه گیری پارامترهای فوق عمدتاً با دو روش اندازه گیری مطلق و انحراف از وسط وتر انجام می شود. پارامترهای عرض خط، دور و پیچش به صورت مطلق اندازه گیری شده و پارامترهای افتادگی و انحراف افقی با استفاده از روش انحراف از وسط وتر اندازه گیری می شود. البته امروزه استفاده از انحراف از وتر نامتقارن نیز مورد استفاده قرار می گیرد. عمده پارامتر مهم در اندازه گیری به روش انحراف از وتر، طول وتر اندازه گیری شده است که در تعیین مقادیر مجاز انحراف مؤثر است. با در نظر گرفتن طول وتر، روش تحلیل تفاوت چندانی نمی کند.

اندازه‌گیری مشخصات هندسی می‌تواند به روش دستی یا با استفاده از ماشین انجام شود. البته امروزه راه‌آهنها عمدتاً از ماشینهای اندازه‌گیر استفاده می‌کنند. با توجه به روش اندازه‌گیری، نتایج به صورت پیوسته (آنالوگ) یا گسسته (دیجیتال) برای تحلیل جمع‌آوری می‌شود. در صورتی که اندازه‌گیری‌ها به صورت پیوسته باشد، برای انجام تحلیل باید ابتدا به اطلاعات گسسته تبدیل شود.

### ج-۳- روشهای تحلیل مشخصات هندسی

در تحلیل اطلاعات اندازه‌گیری شده برای پارامترهای هندسی، با تعدادی اعداد تصادفی مواجه هستیم. روشهای مورد استفاده برای تحلیل عمدتاً بر مبنای تحلیل عددی اطلاعات تصادفی استوارند. در یک تقسیم بندی کلی، می‌توان روشهای تحلیل رایج را به چهار دسته زیر تقسیم بندی کرد:

- روشهای تجربی (EM)

- تحلیل آماری (SA)

- تحلیل طیفی (SPA)

- تحلیل جزئی (FA)

در ادامه به بررسی هر یک از این روشها خواهیم پرداخت:

### ج-۳-۱- روشهای تجربی

روشهای تجربی عمدتاً بر تجربیات راه‌آهنهای مختلف استوار است. در این روشها سعی شده است تا به نحوی وضعیت هندسی خط به صورت کمی بیان شود. این روشها بسیار ساده بوده و عمدتاً با محاسبات دستی قابل انجام است. از آنجا که در این روشها تحلیل اطلاعات و تعیین شاخص در یک مرحله انجام می‌شود، شرح روشهای تجربی در قسمت تعیین شاخص هندسی بیان شده است.

### ج-۳-۲- روشهای آماری

با توجه به اینکه تحلیل پارامترهای هندسی شامل تحلیل عددی یک سلسله اطلاعات تصادفی است، تعیین خصوصیات آماری این اطلاعات می‌تواند مفید باشد. عمده پارامترهایی که در تحلیل آماری تعیین می‌شوند عبارتند از:

- مقدار میانگین

- انحراف معیار

- مقادیر حداکثر و حداقل مطلق

مقدار میانگین به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{X}_m = \frac{\sum x_i}{n} \quad (ج-۱)$$

$X_i$ : مقادیر اندازه‌گیری شده

n: تعداد نقاط اندازه‌گیری شده

برای محاسبه انحراف معیار می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x_i)^2}{n}} \quad (2-ج)$$

$\bar{x}$ : میانگین مقادیر را نمایش می‌دهد.

انجام تحلیل آماری مستلزم گسسته بودن اطلاعات است. استفاده از مقادیر مطلق خرابی نیز می‌تواند در تحلیل بکار رود. به عنوان مثال راه‌آهن ژاپن از نسبت خرابیهای مطلق به کل خرابیها استفاده می‌کند و راه‌آهنهای هلند (NS) و انگلستان (BR) از انحراف معیار استفاده می‌کنند. راه‌آهن فرانسه (SNCF) از مقایسه انحراف معیار با میانگین مطلق پارامترها استفاده می‌کند. از مزایای عمده تحلیل آماری، سادگی آن و راحتی محاسبات است، ولی در این روش اطلاعاتی در مورد مشکل خرابی و یا نحوه وابستگی اطلاعات به یکدیگر به دست نمی‌آید.

### ج-۳-۳- تحلیل طیفی

در این روش سعی می‌شود تا نحوه وابستگی اطلاعات به یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور با استفاده از روش تحلیل طیفی برای اطلاعات گسسته، تابع چگالی طیف قدرت محاسبه می‌شود. در این روش اطلاعات باید به صورت گسسته باشد. ابتدا با استفاده از تبدیل سریع فوریه (F.F.T)، ضرایب فوریه محاسبه شده و با استفاده از آن، تابع خود همبستگی اطلاعات محاسبه می‌شود. سپس با تبدیل معکوس فوریه تابع چگالی طیف قدرت محاسبه می‌شود. این تابع به صورت زیر خواهد بود:

$$G(f) = Af^{-n} \quad (3-ج)$$

A و n: ضرایب ثابت

F: فرکانس خرابی

با رسم منحنی چگالی طیف قدرت می‌توان فرکانس غالب خرابیها را تعیین کرد. با توجه به نوع پارامتر و فرکانس غالب می‌توان نوع خرابی را تعیین نمود.

### ج-۳-۴- تحلیل جزئی

در این روش سعی می‌شود مقدار نامنظمی پارامترهای هندسی به صورت کمی بیان شود. برای این منظور با استفاده از تحلیل جزئی پارامتر اندازه جزء تعیین می‌شود. برای تعیین اندازه جزء روشهای مختلفی وجود دارد برای تحلیل پارامترهای هندسی می‌توان از روش تقسیم کننده استفاده کرد. در این روش اندازه کل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L(\lambda) = n\lambda^{1-D_R} \quad (4-ج)$$

L: اندازه کل

$\lambda$ : اندازه طول واحد

n: تعداد طول واحد

$D_R$ : اندازه جزء



در صورتیکه رابطه فوق در دستگاه لگاریتمی رسم شود، اندازه جزء را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$D_R = 1 - m \quad (ج-۵)$$

m: شیب منحنی در دستگاه مختصات لگاریتمی

تحقیقات انجام شده نشان داده اند که منحنی تحلیل جزئی پارامتر افتادگی خط به صورت دو خطی بوده و دو اندازه جزء مرتبه اول و دوم ( $D_{R1}$ ,  $D_{R2}$ ) وجود دارد.

### ج-۴- شاخص کیفیت هندسی خط

شاخص کیفیت<sup>۱</sup> (TQI) عددی است که برای تعیین وضعیت خط بکار می‌رود و قادر است اندازه سطح سرویس دهی خط را بیان کند. با توجه به اینکه سازه خط ریلی از اجزاء متعددی تشکیل شده است و وضعیت تمام این اجزاء در کیفیت خط موثر است، معمولاً شاخص کیفیت هر یک از اجزاء به صورت جداگانه محاسبه شده و سپس با ترکیب با یکدیگر، شاخص کل تعیین می‌شود. در صورتیکه شاخص کیفیت در دوره‌های مشخص بهره‌برداری اندازه‌گیری شود، با رسم نمودار شاخص کیفیت به صورت تابعی از تناژ عبوری می‌توان تابع زوال تجربی هر شاخص را تعیین نمود. این تابع اهمیت بسیار زیادی در مدیریت نگهداری و تعمیر روسازی دارد. در ادامه روشهای مختلف تعیین شاخص هندسی بررسی شده است.

### ج-۴-۱- ضریب ترکیبی کیفیت خط (STQC)

این روش مبتنی بر تحلیل آماری بوده و با وزن دهی به انحراف معیار پارامترهای مختلف تعیین می‌شود. این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$J = \frac{S_Z + S_Y + S_W + 0.5S_e}{3.5} \quad (ب-۶)$$

J: شاخص پارامترهای هندسی

$S_Z$ : انحراف معیار افتادگی ریل چپ و راست

$S_Y$ : انحراف معیار انحراف افقی ریل چپ و راست

$S_W$ : انحراف معیار پیچش

$S_e$ : انحراف معیار عرض خط

راه آهن لهستان از این شاخص استفاده می‌کند و برای نگهداری خطوط، J را به مقادیر جدول (ج-۱) محدود می‌نماید.

جدول ج-۱- مقادیر مجاز پارامتر J برای سرعتهای مختلف

۱۶۰	۹۰	۳۰	سرعت (km/h)
۲/۰	۶/۶	۱۲۰	J (mm)

ج-۴-۲- ضریب خرابی (DC)

ضریب خرابی برای تحلیل اطلاعات پیوسته بکار می‌رود و با استفاده از گراف ماشین اندازه گیر تعیین می‌شود. مقدار این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$w_s = 1 - (1 - w_e)(1 - w_g)(1 - w_w)(1 - w_z)(1 - w_y) \quad \text{(ج-۷)}$$

که در آن:

$W_e$ : خرابی مربوط به عرض خط

$W_g$ : خرابی مربوط به دور

$W_w$ : خرابی مربوط به پیچش

$W_z, W_y$ : میانگین خرابیهای قائم و افقی ریلهای چپ و راست

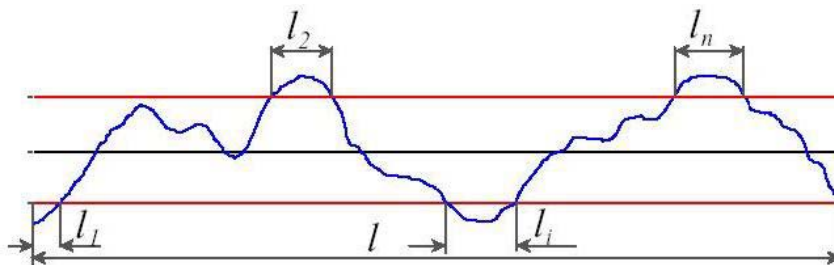
مقدار خرابی هر پارامتر ( $w$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$w = \frac{\sum L_i}{L} \quad \text{(ج-۸)}$$

که در آن:

$L$ : طول کل مسیر

$L_i$ : طول قسمتی که از مقدار مجاز فراتر رفته است را مطابق شکل (ج-۱) نمایش می‌دهند.



شکل ج-۱- نحوه تعیین پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص

راه‌آهن اتریش این روش را برای بررسی کیفیت هندسی خط بکار برده و برای طبقه‌بندی خط از جدول (ج-۲) استفاده می‌کند.

جدول ج-۲- طبقه بندی خطوط بر اساس  $W_s$

$W_s < 0.1$	$0.1 < W_s < 0.2$	$0.2 < W_s < 0.6$	$W_s > 0.5$
خطوط تازه تاسیس	خط در شرایط خوب	خط در شرایط مناسب	خط در شرایط نامناسب

ج-۴-۳- ثبت شرایط خط (CTR)

این روش مبتنی بر مقادیر حداکثر و حداقل خرابی بوده و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CTR = 100 - (U + G + Y + A) \quad \text{(ج-۹)}$$

CTR: شاخص هندسی

U: تعداد انحرافهای بیش از ۶ میلیمتر قائم ریل در هر کیلومتر

G: تعداد انحرافهای بیش از ۳ میلیمتر دور در هر کیلومتر

T: تعداد انحرافهای بیش از ۵ میلیمتر پیچش در هر کیلومتر

A: تعداد انحرافهای بیش از ۵ میلیمتر افقی ریل در هر کیلومتر

راه آهن هندوستان این روش را برای بررسی کیفیت هندسی خط بکار برده و برای طبقه بندی خط از جدول (ج-۳) استفاده می کند:

جدول ج-۳ - طبقه بندی خطوط براساس CTR

$CTR < 50$	$50 < CTR < 60$	$60 < CTR < 70$	$70 < CTR < 80$	$80 < CTR$
ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب	عالی

با توجه به نقاط ضعف این روش و همچنین عدم حساسیتهایی که این روش به برخی پارامترها دارد، راه آهن هندوستان در حال حاضر از روش CTR اصلاح شده استفاده می کند. در این روش که مبتنی به تحلیل آماری است، برای ترکیب پارامترهای مختلف از میانگین وزنی استفاده می شود. این روش به عنوان شاخص هندسی خط<sup>۱</sup> (TGI) شناخته شد. از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$TGI = \frac{2UI + IT + 6AI + GI}{10} \quad \text{(ج-۱۰)}$$

TI: شاخص پیچش

GI: شاخص عرض خط

AI: شاخص انحراف افقی

UI: شاخص افتادگی قائم

مقدار این شاخصها از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$GI = 100 - \frac{SD_m - SD_N}{SD_u - SD_N} \quad \text{(ج-۱۱)}$$

GI: شاخص هندسی

$SD_m$ : مقدار انحراف معیار برای پارامتر اندازه گیری شده

$SD_N$ : مقدار انحراف معیار برای خط تازه تاسیس

$SD_u$ : مقدار انحراف معیار برای خط در آستانه تعمیر و نگهداری

مقادیر  $SD_u$  و  $SD_N$  از جدول (ج-۴) تعیین می شود.

جدول ج-۴- مقدار انحراف معیارها برای خط در محاسبه TGI

خط در آستانه تعمیر و نگهداری		خط تازه تاسیس	شاخص
(km/h) > ۱۰۵ سرعت	(km/n) < ۱۰۵ سرعت		
۶/۲۰	۷/۲۰	۲/۵۰	U
۳/۸۰	۴/۲۰	۱/۷۵	T
۳/۶۰	۴/۶۰	۱/۰۰	G
۳/۰۰	۳/۰۰	۱/۵۰	A

راه آهن هندوستان برای ارزیابی خط بر اساس TGI از جدول (ج-۵) استفاده می کند:

جدول ج-۵- طبقه بندی خط با استفاده از شاخص TGI

$TGI < ۳۶$	$۳۶ < TGI < ۵۰$	$۵۰ < TGI < ۸۰$	$۸۰ < TGI$
ضعیف	متوسط	خوب	عالی

شاخص کیفیت بر اساس هر یک از روشهای فوق باید برای قطعات یک کیلومتری خط محاسبه شود.

### ج-۴-۴- شاخص زبری خط

راه آهن آمریکا در برنامه مدیریت نگهداری خط برای شبکه خطوط ریلی، از شاخص زبری خط برای نتایج حاصل از ماشین اندازه گیر استفاده می کند. این شاخص از حاصل تقسیم مجموع ۴ مربع انحرافات به تعداد نقاط اندازه گیری شده محاسبه می شود. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} \quad (ج-۱۱)$$

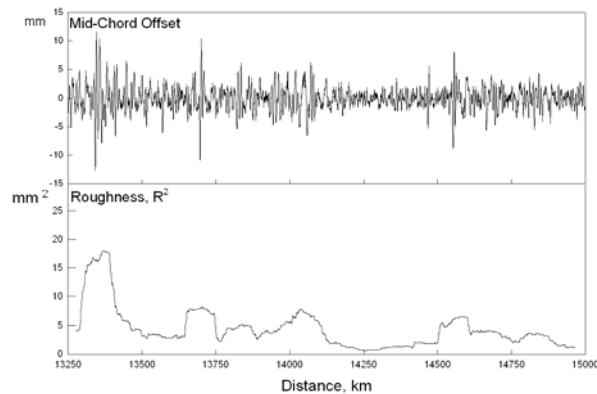
که در آن

$R^2$ : شاخص زبری،

$d_i$ : مقدار انحراف از وسط وتر در پارامتر افتادگی قائم و افقی، انحراف شیب عرضی و عرض خط،

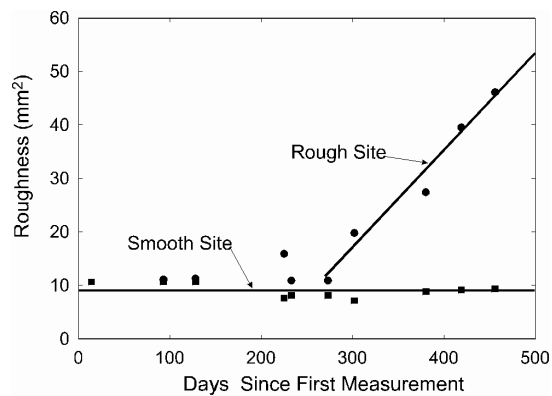
$n$ : تعداد نقاط اندازه گیری شده در طول قطعه مورد نظر است.

یک نمونه شاخص محاسبه شده برای افتادگی قائم یک قطعه خط به طول ۱۷۵۰ متر در شکل (ج-۲) نشان داده شده است.



شکل ج-۲- مقدار شاخص زبری برای پروفیل قائم

این شاخص علاوه بر استفاده از تحلیل مشخصات هندسی، معیار خوبی برای در نظر گرفتن روند خرابی در زوال خط است. زیرا روند خرابی برای خطوط دارای زبری بیش از حد بسیار شدیدتر از خطوطی است که زبری قابل قبول دارند. این موضوع در شکل (ج-۳) نشان داده شده است.



شکل ج-۳- تغییرات در شاخص زبری تحت زمان در خطوط با زبری کم و زیاد

### ج-۵- مطالعه موردی

برای مقایسه روشهای فوق و انتخاب روش مناسب پیشنهادی برای کشور، روشهای فوق برای یک قطعه خط نمونه به طول ۵ کیلومتر محاسبه شده است. مشخصات خط به شرح جدول (ج-۶) است. اندازه گیری مشخصات هندسی با استفاده از ماشین اندازه گیر بوده است (شکل ج-۴). برای انجام تحلیلها ابتدا مقادیر پیوسته از روی گراف به مقادیر گسسته تبدیل شده و شاخصها برای قطعات یک کیلومتری از خط مفروض، محاسبه شده اند (جدول ج-۷). سپس ارزیابی مرتبط مطابق جدول (ج-۸) ارائه شده است.

جدول ج-۶- مشخصات خط نمونه مورد مطالعه

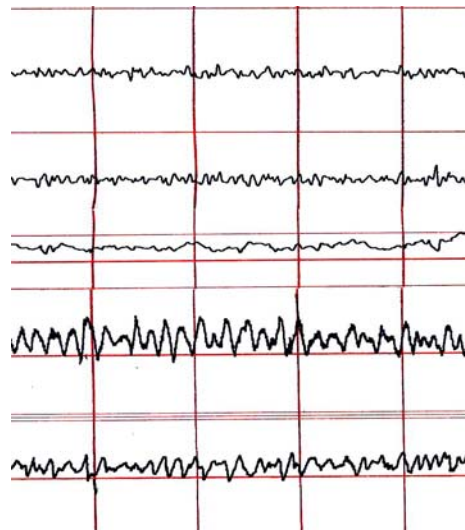
V-SKL۱۴	پابند	UIC۶۰	ریل
۵۰۰۰ m	طول خط مستقیم	BY۰	تراورس

جدول ج-۷- جدول نتایج تحلیل برای خط نمونه

۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۱	<b>W<sub>5</sub></b>
۶۵	۷۰	۷۸	۷۲	۶۱	<b>CTR</b>
۵۸	۶۲	۷۶	۷۱	۵۳	<b>TGI</b>
۱/۰۲۸	۱/۰۴۳	۱/۰۴۵	۱/۰۴۶	۱/۰۴۱	<b>DR<sub>1</sub></b>
۱/۰۲۸	۱/۰۲۶	۱/۰۳۱	۱/۰۲۵	۱/۰۳۲	<b>DR<sub>2</sub></b>

جدول ج-۸- ارزیابی خط نمونه

۵	۴	۳	۲	۱	
خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	<b>W<sub>5</sub></b>
خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	<b>CTR</b>
خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	<b>TGI</b>



شکل ج-۴- نمونه گراف ماشین اندازه گیر



خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست 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. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله





سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی

فهرست نشریات منتشر شده در سالهای اخیر  
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

















## این نشریه

با عنوان "دستورالعمل طراحی و نظارت بر  
روسازی راه آهن سریع السیر" شامل ضوابط مربوط  
به طرح هندسی مسیر و ایستگاهها ، ضوابط طرح  
و اجرای زیرسازی و روسازی و همچنین ضوابط  
نگهداری خطوط راه آهن سریع السیر است، که با  
همکاری معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری  
وزارت راه و ترابری و پژوهشکده حمل و نقل تهیه  
شده است.