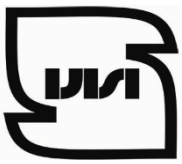
INSO
21184-6
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۶-۲۱۱۸۴
چاپ اول
۱۳۹۵

راه آهن-خط - کیفیت هندسی خط
قسمت ۶: تعیین ویژگی‌های کیفیت هندسی خط

Railway -Track- Track geometry quality
Part 6: Characterisation of track geometry quality

ICS:93.100

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف-کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« راه آهن-خط - کیفیت هندسی خط-قسمت ۶: تعیین ویژگی‌های کیفیت هندسی خط »

رییس:	**سمت / یا نمایندگی**
سیاحی سحرخیز، سیروس (کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)	مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران
دبیر:	
امینی، مصطفی (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت بهبود کیفیت کاوه
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اکرام نصرتیان، بهرنگ (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت بازرسی مهندسی ایران IEI
امین صدرآبادی، حسین (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران
امینی، فاطمه (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت بهبود کیفیت کاوه
حسینی، سیدپرویز (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی)	دانشگاه تهران
رشید داداش، شیدخت (کارشناسی مهندسی مکانیک)	واگن سازی تهران
سلطانی، فرناز (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت بهبود کیفیت کاوه
غیاثوند، سهیل (دکترای مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

فرخی نیا، محسن — مرکز آموزش فنی و حرفه ای
(کارشناسی مهندسی برق)

ویراستار:
امینی، فاطمه — کارشناس استاندارد- بازنشسته سازمان ملی استاندارد ایران
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش گفتار	ح
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات،تعاریف	۱
۴ نمادها و علائم اختصاری	۲
۵ قواعد اصلی	۳
۵-۱ مقدمه	۳
۵-۲ شفافیت	۳
۵-۳ پیچیدگی	۳
۵-۴ اندرکنش وسیله نقلیه-خط	۳
۶ ارزیابی کیفیت هندسه خط: مطابق آخرین پیشرفتهای علمی	۴
۶-۱ کلیات	۴
۶-۲ انحراف معیار استاندارد	۴
۶-۳ عیوب جدا از هم	۵
۶-۴ ترکیبی از کمیتهای مختلف	۶
۶-۵ روش بر اساس پاسخ وسیله نقلیه	۸
۶-۶ چگالی طیفی توانی	۹
۷-سطوح تجمیع(داده) و روش های محاسبه	۹
۸ کلاس های کیفیت هندسی خط	۱۰
۸-۱ کلیات	۱۰
۸-۲ تشریح طبقات کیفیت خط (TQC)	۱۱
۸-۳ مقادیر طبقات کیفیت خط	۱۲
۸-۴ تخصیص طبقات کیفیت خط	۱۳
۸-۵ کاربرد محتمل طبقات کیفیت خط	۱۴
پیوست الف(الزامی)روش شتاب جرم نقطه‌ی (PMA)	۱۶
پیوست ب(الزامی)روش‌های تحلیل بر اساس پاسخ وسیله نقلیه (VRA)	۱۹
پیوست پ(الزامی)روش برای محاسبه TQ/s (TQIref)	۲۵
پیوست ت(الزامی)روش طبقه بندی مدل جایگزینی TQL با استفاده از TQCs	۲۷

کتابنامه ۲۹

پیش گفتار

استاندارد« **راه آهن-خط - کیفیت هندسی خط-قسمت ۶: تعیین ویژگی‌های کیفیت هندسی خط** » که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط تهیه و تدوین شده است، در بیست و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد حمل و نقل مورخ ۱۳۹۵/۰۸/۲۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استاندارد های ملی ایران در صورت لزوم تجدید نظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

BS EN 13848-6 : 2014, Railway applications –Track- Track geometry quality-Part 6: Characterisation of track geometry quality

راه آهن-خط - کیفیت هندسی خط-قسمت ۶: تعیین ویژگی‌های کیفیت هندسی خط

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین ویژگی‌های کیفیت هندسه خط بر اساس کمیت‌های تعریف شده در استاندارد EN 13848-1 و کلاس های مختلف هندسه خط می‌باشد.

این استاندارد موارد زیر را پوشش می‌دهد:

- شرح کیفیت هندسه خط.
- طبقه بندی کیفیت خط با توجه به کمیت‌های هندسی خط؛
- ملاحظات در مورد چگونگی استفاده از این طبقه بندی؛

این استاندارد در مورد خطوط سرعت بالا و خطوط معمولی با عرض خط ۱۴۳۵ میلی‌متر و عریض‌تر کاربرد دارد.

یادآوری- این استاندارد بخش جدایی ناپذیر از سری استانداردهای EN 13848-1 است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 EN 13848-1, Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 1: Characterisation of track geometry

۳ اصطلاحات وتعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود.

۳-۱

رنگ بندی مجدد

Recolouring

عبارت از الگوریتمی است که محتوای طیفی از یک سیگنال را با هدف جبران و یا بکارگیری ویژگی‌های یک سیستم اندازه‌گیری خاص، اصلاح میکند.

یادآوری- رنگ بندی مجدد در سری استانداردهای EN 13848 برای تبدیل یک سیگنال اندازه‌گیری با روش قاب مرجع متحرک به یک سیگنال اندازه گیری D1 یا D2 مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۳

کلاس کیفیت خط

Track quality class

عبارت است از توصیف خصوصیات کیفیت هندسه خط به عنوان تابعی از سرعت که به عنوان محدوده‌ای از شاخص‌های کیفیت خط بیان می‌گردد.

۳-۳

شاخص کیفیت خط

Track quality indey

عبارت از ارزشی است که مشخصه کیفیت هندسه خط را بر اساس کمیت‌ها و روش‌های اندازه‌گیری مطابق با استاندارد EN 13848 بیان می‌کند.

۴ نمادها و علائم اختصاری

در این استاندارد علائم اختصاری زیر بکار می رود.

جدول ۱- نمادها و علائم اختصاری

علامت اختصاری	عنوان	واحد
AL	کنترل ترازبندی (شاسی وسیله نقلیه)، اندازه گیری و تنظیم راستای هندسی، گونیا گذاری، هم ترازی	mm
ATQI	شاخص کیفیت خط	
CL	تراز عرضیها	mm
CoSD	انحراف معیار استاندارد ترکیبی	mm
D1	محدوده طول موج $3m < \lambda \leq 25m$	m
D2	محدوده طول موج $25m < \lambda \leq 70m$	m
D3	محدوده طول موج $70m < \lambda \leq 150$ برای سطح طولی محدوده طول موج $70m < \lambda \leq 200$ برای همترازی	m
Λ	طول موج	m
G	عرض خط	mm
LL	سطح طولی	mm
MBS	سیستم چند جسمی	

ادامه جدول ۱- نمادها و علائم اختصاری

علامت اختصاری	عنوان	واحد
NTQI	شاخص ملی کیفیت خط	
شتاب جرم نقطه ای	شتاب جرم نقطه ای(روش)	
PSD	چگالی توان طیفی	$M^2/(1/m)$
SD	انحراف معیار	mm
SD_{LL}	انحراف معیار استاندارد سطح طولی	mm
SD_{AL}	انحراف معیار استاندارد همترازی	mm
TQI	شاخص کیفیت خط	
TQI_{ref}	شاخص کیفیت خط مرجع	
TQC	کلاس کیفیت خط	
V	سرعت	Km/h
VRA	تحلیل پاسخ وسیله نقلیه (روش)	

۵ قواعد اصلی

۵-۱ مقدمه

روشی که کیفیت هندسی خط را ارزیابی می‌کند نیاز به استانداردسازی دارد تا ازطریق تمرکز بر الزامات کاربردی خط و وسیله نقلیه، ترافیک راه آهن ایمن و مقرون به صرفه گردد.

کمیت‌های اصلی برای ارزیابی کیفیت هندسه خط

در اندازه‌گیری هندسی خط، وسایل نقلیه، خروجی‌های خود را با توجه به کمیت‌های مشخص شده در استاندارد EN 13848-1 ارائه می‌دهند. هر روش ارزیابی استاندارد باید بر اساس این کمیت‌ها باشد.

۵-۲ شفافیت

هر الگوریتمی برای ارزیابی کیفیت هندسی خط مطابق با این استاندارد، باید به طور کامل مستندسازی شده و در دسترس عموم باشد.

۵-۳ پیچیدگی

کیفیت هندسی خط باید حتی الامکان توسط شاخص‌های کیفیت خط ارزیابی شده و الگوریتم باید قابل فهم توسط کاربر باشد.

۴-۵ اندرکنش وسیله نقلیه-خط

ارزیابی کیفیت خط باید اصول اندرکنش وسیله-خط را منعکس کند. به عنوان مثال، عیوب هندسه خط با نوسان‌های مشابه و طول موج های مختلف منجر به پاسخ های مختلف وسیله نقلیه می‌شود و محدوده طول موج مورد نیاز، بسته به کمیت‌های اندرکنش خط با وسیله نقلیه (که مورد ارزیابی قرار گیرد)، متفاوت خواهد بود.

۶ ارزیابی کیفیت هندسه خط: مطابق آخرین پیشرفت‌های علمی

۶-۱ کلیات

کیفیت هندسه خط را می‌توان با انواع شاخص‌های کیفیت خط با توجه به سطح تراکمی که شاخص‌ها برای آن استفاده می‌شوند، مشخص نمود. شاخص‌های کیفیت خط، شرح داده شده در زیربند زیر، توسط حداقل یکی از شبکه‌های راه‌آهن اروپا استفاده شده‌اند. آنها نشان‌دهنده آخرین پیشرفت‌های علمی در توصیف کیفیت هندسه خط هستند.

۶-۲ انحراف معیار استاندارد[1]

انحراف معیار استاندارد یکی از رایج ترین شاخص‌های کیفیت خط مورد استفاده توسط شبکه‌های راه‌آهن اروپا است. این کمیت نشان دهنده پراکندگی سیگنال در یک مقطع خط داده شده، به نسبت مقدار میانگین این سیگنال در مقطع مورد نظر است.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

در رابطه فوق داریم:

N: تعداد مقادیر در نمونه

Xi: مقدار اخیر از یک سیگنال

X: مقدار میانگین یک سیگنال

SD: انحراف معیار استاندارد

یادآوری ۱- انحراف معیار استاندارد به انرژی سیگنال در یک محدوده طول موج داده شده $[\lambda 1,\lambda 2]$ مطابق با رابطه زیر، مرتبط است:

$$SD^2 = 2\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} S_{xx}(\nu)d\nu$$

[1] SD

به طوری که Sxx مقدار PSD شرح داده شده در قسمت ۵-۶ می‌باشد.
انحراف معیار استاندارد معمولاً برای کمیت‌های زیر محاسبه می‌شود.

- تراز طولیD1
- هم‌ترازیD1

همچنین برای کمیت‌های دیگری همچون پیچش، عرض خط، تراز عرضی، تراز طولی D2، هم‌ترازی D2 محاسبه می‌شود.
برای رسیدن به تراز طولی و هم ترازی توصیه می‌شود انحراف معیار استاندارد جداگانه‌ای برای هر ریل محاسبه شود. همچنین ممکن است انحراف معیار استاندارد به صورتی متفاوت محاسبه شود (برای مثال: میانگین هر دو ریل، بدترین یا بهترین مقدار هر ریل یا ریل بیرونی در قوس‌ها).
طولی از بخش خط که برای محاسبه انحراف معیار استاندارد استفاده می‌شود، بر روی نتیجه تأثیر می‌گذارد. معمولا، به دلیل ملاحظات نگهداری، انحراف معیار استاندارد در طول ۲۰۰ متر محاسبه شده است. انحراف معیار استاندارد ممکن است در فواصل ثابت بدون هم‌پوشانی و یا با هم‌پوشانی محاسبه شود. محاسبه انحراف معیار استاندارد همچنین در مسافت‌های طولانی‌تر مانند۱ کیلومتر، کل یک خط و یا کل شبکه انجام می‌شود.

یادآوری۲- تمایز بین بخش‌های ویژه خط، مانند خطوط جلگه، ایستگاه‌ها و سوزن‌ها و گذرگاه‌ها، نیز می‌تواند درنظر گرفته شود.

۶-۳ عیوب جدا از هم

عیوب جدا از هم ممکن است خطر خروج از خط را ایجاد نمایند. با این حال تعداد عیوب جدا ازهم که بیش از یک حد آستانه خاص (مانند حد نیاز به اقدام و حد هشدار) باشند را می‌توان نشانه‌ای از کیفیت هندسه خط دانست. این روش توسط چندین شبکه راه آهن اروپا استفاده می‌شود.
تعداد عیوب جدا ازهم در واحد طول خط معمولاً درمورد کمیت‌های زیر شمارش می‌شود:

- تراز طولیD1
- هم ترازیD1
- پیچش
- عرض خط
- تراز عرضی

تعداد عیوب را می‌توان برای کمیت‌های زیر نیز شمارش کرد:

- تراز طولیD2
- ترازبندی D2

معمولاً، تعداد عیوب جدا از هم در مسافت۱ کیلومتر یا بیشتر شمارش می‌شود. همچنین ممکن است در بیش از ۱۰۰ متر یا ۲۰۰ متر از خط شمارش شوند.
در صورت نیاز، تمایز بین بخش‌های ویژه خط (مانند خطوط جلگه، ایستگاه‌ها و سوزن‌ها و گذرگاه) را می‌توان درنظر گرفت.
به طریق دیگر می‌توان محاسباتی انجام داد تا مشخص شود چه درصدی از یک خط از حد آستانه خاص تجاوز می‌کند.

۶-۴ ترکیبی از کمیت‌های مختلف

۶-۴-۱ انحراف معیار استاندارد ترکیبی[1]

ارزیابی کلی کیفیت هندسه خط از یک بخش خط (۲۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر ...) را می‌توان با ترکیبی از انحراف معیار استانداردهای وزن‌دهی شده کمیت‌های هندسی منحصر به فرد، انجام داد.
یک مثال از چنین شاخص کیفیت خط در زیر آورده شده است.

$$CoSD = \sqrt{w_{\overline{AL}}.SD_{\overline{AL}}^{\ 2} + w_G SD_G^{\ 2} + w_{CL}.SD_{CL}^{\ 2} + w_{\overline{LL}} SD_{\overline{LL}}^{\ 2}}$$

SD: انحراف معیار استاندارد از کمیت‌های هندسی منحصر به فرد؛
w: فاکتور وزنی از کمیت‌های هندسی منحصر به فرد ؛
با شاخص‌های:
AL: هم ترازی، متوسط ریل‌های چپ و راست؛
G: عرض خط؛
CL: تراز عرضی.
LL: تراز طولی، متوسط ریل‌های چپ و راست.
مدیریت زیرساخت، فاکتورهای وزنی را تعیین می‌کند.
روش دیگر، تبدیل انحراف معیار استاندارد کمیت‌های هندسی یا ترکیب آنها به یک عدد بدون بعد است که می‌تواند بدون تمایز طبقه خط، محدوده سرعت و کمیت هندسه مسیر استفاده شود.

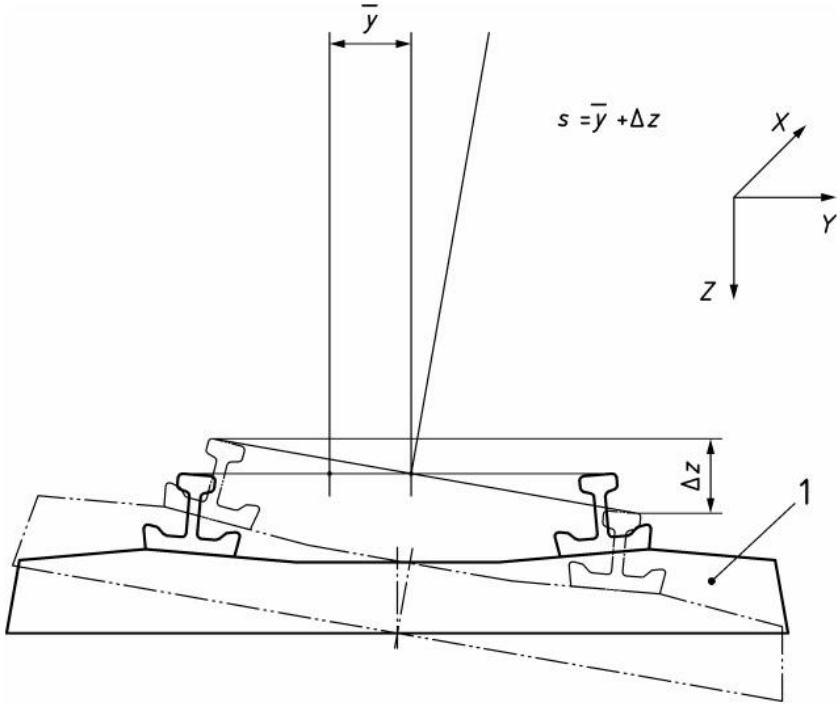
۶-۴-۲ انحراف معیار استاندارد ترکیبی از کمیت‌ها

[1] CoSD

انحراف معیار استاندارد برای ترکیبی از کمیت‌های هندسه خط را می‌توان تعیین نمود. این روش بر اساس این است که سطح سیگنال‌های ترکیبی ممکن است رفتار وسیله نقلیه را نسبت به سیگنال‌های منحصر به فرد، بهتر منعکس کند.

به عنوان مثال، انحراف معیار استاندارد، در طول بیش از ۲۰۰ متر خط، می‌تواند برای مجموع هم‌ترازی و تراز عرضی در D۱ مطابق زیر، ارزیابی شود:

- هم‌ترازی ریل‌های چپ و راست در یک سیگنال ترکیب می‌شود. با انتخاب ریل بیرونی در قوس‌ها و در مسیر مماس، با متوسط‌گیری و یا انتخاب یکی از این دو ریل.
- سیگنال های اختلاف تراز عرضی و همترازی با استفاده از یک علامت با هم ترکیب شده است. به طوری که یک عیب همترازی در سمت راست، درحالتی که ریل سمت راست پایین تر از ریل سمت چپ است، با علامت یکسان با عیب تراز عرضی جمع می شود. شکل ۱ مثالی از ترکیب تراز عرضی Δz و هم ترازی Y رادرحالتی که علامتهای هر دو مثبت هستند، نشان می دهد.
- انحراف معیار استاندارد سیگنال های ترکیب شده، در بیش از ۲۰۰ متر طول خط محاسبه شده است.



شکل ۱ ترکیبی از هم ترازی و تراز عرضی

۶-۴-۳ روش شتاب جرم نقطه ای [1]

[1] PMA

روش شتاب جرم نقطه ای بر اساس اصول زیر استوار است:

- مدل شتاب جرم نقطه‌ای، یک وسیله نقلیه مجازی بدون فنر در نظر می‌گیرد. فرض بر این است که یک جرم نقطه‌ای داریم، در نتیجه تنها حرکت مرکز ثقل بررسی شده است. این جرم نقطه ای در فاصله معینی از خط مرکزی خط هدایت می‌شود.
- جرم نقطه‌ای در یک سرعت ثابت بسته به سرعت مجاز حداکثر در مقطع خط اندازه‌گیری شده، حرکت می‌کند.
- با توجه به عیب هندسی خط، که توسط تراز طولی و هم ترازی برای هر دو ریل توصیف شد، جرم نقطه‌ای، شتاب‌های AY و AZ در جهت افقی و عمودی را متحمل می‌شود.
- جمع برداری این شتاب ها برای مشخص کردن کیفیت هندسه خط استفاده می‌شود.

۶-۵ روش بر اساس پاسخ وسیله نقلیه

۶-۵-۱ استفاده از مدل نظری

روش تجزیه و تحلیل پاسخ وسیله نقلیه[1] را می‌توان برای ایجاد هدف، توصیف رابطه بین کیفیت هندسه خط و پاسخ وسیله نقلیه در سرعت های مختلف مورد استفاده قرار داد.

در این رابطه باید به عواملی مانند توالی عیوب (که ممکن است تولید رزونانس کند)، ترکیبی از عیوب در یک محل و طراحی موضعی خط (نظیر قوس و شیب عرضی)توجه کرد.

روش تجزیه و تحلیل پاسخ وسیله نقلیه بر اساس اصول زیر می باشد:

- محاسبه پاسخ وسیله نقلیه به هندسه خط با توجه به استاندارد EN 13848-1 انجام می شود. پاسخ وسیله نقلیه نشان دهنده نیروهای چرخ- ریل و شتاب سیستم حرکت وسیله نقلیه و بدنه آن است؛
- در نظر گرفتن نوع وسیله نقلیه و سرعت، با توجه به بدترین پاسخ از تمام وسایل نقلیه در هر نقطه اندازه گیری
- خروجی را می‌توان به کمیت‌های خاص مثل تراز طولی، پیچش و هم ترازی تبدیل کرد؛
- معیار ارزیابی باید محدودیت‌های ارائه شده دراستاندارد EN 14363 را درنظر بگیرد.
- هنگام استفاده از این روش باید به سازگاری بین دامنه طول موج هندسه خط و محدوده فرکانس کمیت‌های پاسخ وسیله نقلیه توجه کرد.

۶-۵-۲ استفاده از اندازه گیری مستقیم

اندازه‌گیری مستقیم پاسخ وسیله نقلیه می‌تواند در ارزیابی اندرکنش بین وسیله متحرک و خط، با توجه به ایمنی و کیفیت سیر کمک کند. (اگر چه عموماً برای محاسبه شاخص‌های کیفیت خط استفاده نمی‌شود)

[1] VRA

معمولاً شتاب بوژی و بدنه در هر دو جهت جانبی و قائم اندازه‌گیری می‌شود، اما نیروهای ریل- چرخ، مانند نیروهای جانبی و قائم (Y و Q)، نیز می‌تواند اندازه‌گیری شود.
بازرسی‌ها معمولاً در خطوط با سرعت بالا انجام می‌شود، اما می‌توانند بر روی خطوط معمولی نیز انجام شوند.
اصول زیر باید در هنگام استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم رعایت شود:

- وسایل نقلیه مورد استفاده برای این ارزیابی، نماینده ناوگان ریلی مورد استفاده در خطوط مورد ارزیابی هستند.
- اندازه‌گیری‌ها با حداکثر سرعت خط، با رواداری ۱۰± ٪ انجام می‌شود.
- اندازه‌گیری‌ها در قسمت‌هایی از وسیله نقلیه که در آن بالاترین پاسخ انتظار می‌رود، انجام شود. به عنوان مثال، بوژی یا زوج چرخ‌های جلو.
- وضعیت سطح ریل (مرطوب یا خشک) در نظر گرفته شود.
- موقعیت قطار، برای تعیین محل هر گونه عیب، بایستی مشخص باشد.

۶-۶ چگالی طیفی توانی[1]

روش چگالی طیفی توانی، انرژی سیگنال مرتبط با فرکانس یک کمیت هندسی خط (اندازه‌گیری شده در یک بخش خط) را بدست می‌دهد.
برای یک کمیت هندسی خط x، فرمول متداول مورد استفاده برای محاسبه چگالی طیفی توانی به صورت زیر است:

$$S_{xx}(\nu) = \lim_{\lambda\to\infty} \frac{1}{\lambda} \overline{X}(\nu) X(\nu)$$

λ: طول موج و ν فرکانس فضایی مربوطه است.

$$X(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) e^{-i2\pi\nu\lambda} d\lambda$$

عبارت فوق تبدیل فوریه x(λ) می باشد.
چگالی طیفی توانی باید مطابق با موارد زیر محاسبه شود:

- در طول کافی از خط (به طور معمول ۵ کیلومتر). با این حال، طول کوتاه تر نیز می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های تبدیل فوریه کوتاه مدت، به منظور تجزیه و تحلیل تغییرات ویژگی‌های طیفی هندسه خط استفاده شود؛
- در بخشی از خط با خاصیت حتی الامکان همگن
- برای طیف گسترده‌ای از طول موج از جمله حداقل D1 و D2.

[1] PSD

یکی از مزایای اصلی چگالی طیفی توانی آن است که می‌تواند پیک‌های (حداکثر) متداول مربوط به وجود عیوب تکراری مانند عیوب جوش را نشان دهد.

۷ سطوح تجمیع(داده) و روش‌های محاسبه

کیفیت هندسی خط برای اهداف مختلفی تجزیه و تحلیل می‌شود.

ممکن است به انواع مختلف تجزیه و تحلیل نیاز باشد و توصیه می‌شود که تحلیل‌ها به سطوح مختلف تجمیع، براساس استفاده مورد انتظار از هر تحلیل مشخص، طبقه‌بندی شوند.

ذیلا، سه سطح تجمیع داده هندسه خط تعریف شده است:

- سطح جزئی‌نگر: این سطح شامل تجزیه و تحلیل مورد نیاز برای تصمیم‌گیری درمورد اقدامات محلی، تعمیر و نگهداری کوتاه مدت خط و برنامه‌ریزی نوسازی خط می‌باشد. این تجزیه و تحلیل همچنین می‌تواند در مطالعات موردی توسط طراحان وسیله نقلیه و مطالعات اندرکنش وسیله نقلیه-خط ارزشمند باشد.
- سطح متوسط: این سطح شامل تحلیل مورد استفاده در انجام تعمیر و نگهداری میان مدت خط و برنامه‌ریزی نوسازی خط می‌باشد.
- سطح کلی: این سطح شامل تحلیل مورد نیاز برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک است. مقدار زیادی از داده‌ها در تعداد کمی شاخص خلاصه می‌شود این شاخص‌ها چشم‌اندازی از تمام یا قسمتی از شبکه بدست می‌دهند. این تحلیل‌ها برای مدیریت بلند مدت شبکه توسط مدیران زیرساخت و مقامات ملی و همچنین برای شرکت‌های راه آهن بهره بردار مفید هستند.

ارزیابی عیوب منفرد جدا از هم که در استاندارد En 13848-5 تعریف شده است، برای مشخص کردن شرایط هندسی خط در سطح جزئی، مناسب می‌باشد. انحراف معیار استاندارد بطورکلی برای توصیف کیفیت هندسی خط برای سطوح متوسط و کلی استفاده می‌شود.

۸ کلاس‌های کیفیت هندسی خط

۸-۱ کلیات

برای دست‌یابی به یک شاخص کیفیت خط که تکی و قابل فهم باشد، انحراف معیار استاندارد تراز طولی و هم‌ترازی به عنوان روش مرجع برای توصیف کیفیت هندسی خط درنظر گرفته شده است. این کمیت در ادامه به عنوان شاخص مرجع کیفیت خط[1] می باشد.

گرچه هرگونه توصیف دیگری از کیفیت هندسی خط می‌تواند استفاده شود، درصورتی‌که مستندسازی کامل درمورد روش و ارتباط آن باروش مرجع، انجام شود.

[1] TQIref

دربررسی‌های به عمل آمده درجهت اهداف این استاندارد، بررسی کیفیت خطوط راه‌آهن کشورهای مختلف و تعیین مقادیر حدی مربوطه، در محدوده D1 و براساس روش توصیف شده در پیوست پ انجام شد. براین اساس، داده کیفیت خط در شبکه‌های مورد بررسی، جمع آوری شد و توزیع فراوانی تجمعی با استفاده از یک میانگین وزنی، برطبق طول شبکه در پنج محدوده سرعت (V برحسب کیلومتر / ساعت) به شرح زیر محاسبه شد:

- $V \leq ۸۰$
- $۸۰ < V \leq ۱۲۰$
- $۱۲۰ < V \leq ۱۶۰$
- $۱۶۰ < V \leq ۲۳۰$
- $۲۳۰ < V \leq ۳۰۰$

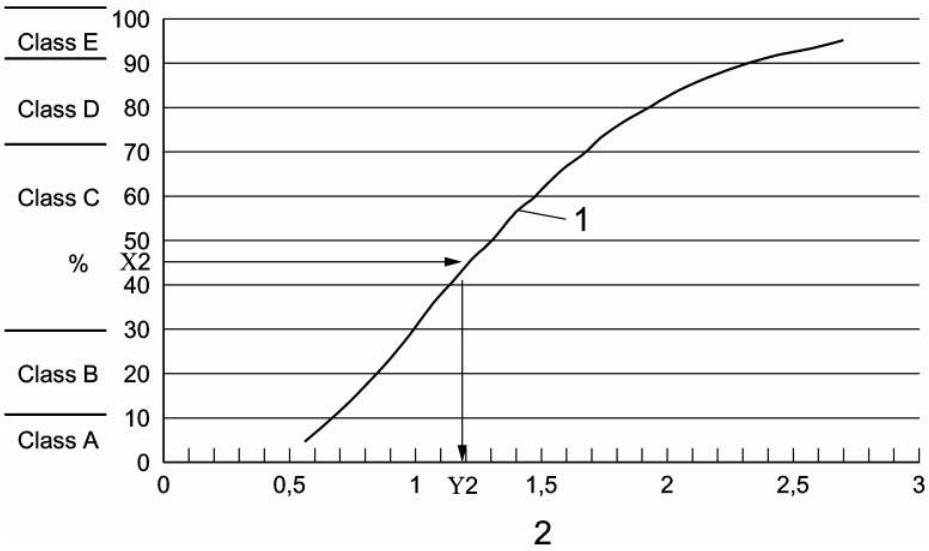
یادآوری ۱- در این بررسی، سرعت‌های بالاتر از ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت به دلیل عدم وجود اطلاعات، در نظر گرفته نشده است.

یادآوری۲- جزئیات بیشتر در رابطه با کیفیت خط در گزارش فنی FprCEN/TR 16513 موجود می باشد برای سرعت‌های بالاتر از ۱۶۰ کیلومتر برساعت، انحراف معیار استاندارد در طول موج‌های D2 (و D3) نیز ممکن است مورد نظر باشند ولی مقادیر متناظر با آنها هنوز تعریف نشده اند.

۸-۲ تشریح طبقات کیفیت خط (TQC)[1]

یک روش برای ارائه نمای کلی از کیفیت هندسی خط در یک بخش خط، توزیع فراوانی تجمعی شاخص مرجع کیفیت خط، مطابق با شکل ۲ است. این نمودار درصدی از طول خط را که کمتر از ارزش شاخص مرجع کیفیت خط معین می‌باشد، دربخشی از خط نشان می‌دهد. شکل ۲ توزیع اروپایی LL را برای دامنه سرعت ۰ کیلومتر بر ساعت تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت نشان می‌دهد. برای مثال، در این شکل، Y2 ٪ از بخش خط درنظر گرفته شده، دارای مقدار شاخص مرجع کیفیت خط کمتر از X2 می‌باشد.

[1] TQC



1 عبارتست از توزیع کیفیت خط

X عبارتست از شاخص مرجع کیفیت خط(برحسب میلیمتر) به جدول ۱ مراجعه شود

Y عبارتست از درصد توزیع کیفیت خط

شکل۲- تعیین طبقات کیفیت خط بر اساس نمونه LL برای محدوده سرعت ۰ تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت راهنمای شکل

تعریف طبقات کیفیت خط در این استاندارد بر اساس توزیع تجمعی میانگین وزنی از تمام شبکه‌های بررسی شده در این برداشت کیفیت خط می باشد. پنج طبقه کیفیت خط به شرح زیر تعریف می شود:

- کلاس A بهترین ۱۰٪ از توزیع کیفیت خط
- کلاس B - بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ از توزیع کیفیت خط
- کلاس C - بین ۳۰٪ تا ۷۰٪ از توزیع کیفیت خط
- کلاس D - بین ۷۰٪ تا ۹۰٪ از توزیع کیفیت خط
- کلاس E - بالاتر از ۹۰٪ از توزیع کیفیت خط است که نشان دهنده بدترین ۱۰٪ از توزیع می‌باشد

این پنج طبقه کیفیت خط از A تا E، کیفیت خط را برای پنج محدوده سرعت ذکر شده در قسمت ۸-۱ بصورت نزولی، طبقه‌بندی می‌کند. از آنجایی که این عملیات به طور جداگانه برای تراز طولی و هم ترازی انجام شده است، می‌تواند به طبقات کیفیت خط مختلف درمورد هر کمیت منجر شود.

درصورتیکه طبقه بندی برای یک بخش از خط با استفاده از طبقات کیفیت خط مذکور ، انجام شده باشد، روش توصیف شده در پیوست پ باید اعمال شود تا بتوان به نتایج قابل مقایسه دست پیدا کرد.

در حالتی که از طبقات کیفیت خط دیگری استفاده شود،رابطه بین طبقات کیفیت خطی که از این شاخص کیفیت خط مشتق شده اند با طبقاتی که از روش پیوست پ گرفته شده اند باید با استفاده از روش ذکر شده در پیوست ت تعیین شود.

۸-۳ مقادیر طبقات کیفیت خط

جداول ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر حدی تراز طولی و هم‌ترازی را برای طبقات کیفیت خط و هر محدوده سرعت، تعریف می‌کند.

این جداول بر اساس ویژگی‌های خطوط شبکه‌های راه‌آهن کشورهای مختلف (با توجه به روش شرح داده شده در پیوست پ) می‌باشد.

جدول ۲ تراز طولی- انحراف معیار استاندارد - دامنه D1

سرعت km/h	محدودیت انحراف معیار استاندارد به mm				
	کلاس کیفیت خط				
	A	B	C	D	E
V≤80	<1.25	1.75	2.75	3.75	>3.75
80<V≤120	<0.75	1.10	1.80	2.50	>2.50
120<V≤160	<0.65	0.85	1.40	1.85	>1.85
160<V≤230	<0.60	0.75	1.15	1.60	>1.60
230<V≤300	<0.40	0.55	0.85	1.15	>1.15
V>300	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست

یادآوری۱- از آنجایی‌که برای سرعت‌های بالاتر از ۳۰۰ کیلومتر برساعت بررسی صورت نگرفته است. مقادیری برای این محدوده سرعت ارائه نشده است.

برای سرعت های بالاتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت، انحراف معیار استاندارد در طول موج D2 (و D3) نیز ممکن است در نظر گرفته شود اما مقادیر متناظر هنوز تعریف نشده است.

جدول ۳ هم ترازی - انحراف معیار استاندارد - دامنه D1

سرعت km/h	محدودیت انحراف معیار استاندارد به mm				
	کلاس کیفیت خط				
	A	B	C	D	E
V≤80	<0.90	1.25	1.95	2.70	>2.70
80<V≤120	<0.50	0.70	1.05	1.45	>1.45
120<V≤160	<0.45	0.55	0.75	1.00	>1.00
160<V≤230	<0.40	0.50	0.70	0.90	>0.90
230<V≤300	<0.35	0.40	0.50	0.65	>0.65
V>300	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست

یادآوری۲- از آنجایی‌که برای سرعت‌های بالاتر از ۳۰۰ کیلومتر برساعت بررسی صورت نگرفته است. مقادیری برای این محدوده سرعت ارائه نشده است.

برای سرعت‌های بالاتر از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت، انحراف معیار استاندارد در طول موج D2 (و D3) نیز ممکن است در نظر گرفته شود اما مقادیر متناظر هنوز تعریف نشده است.

۸-۴ تخصیص طبقات کیفیت خط

بر اساس شاخص مرجع کیفیت خط، روش‌های زیر، در میان دیگر روش‌ها، می‌تواند برای تخصیص طبقات کیفیت خط به بخش‌های شبکه استفاده شود:

- حداکثر مقدار: حداکثر تمام شاخص‌های مرجع کیفیت خط به منظور توصیف کیفیت خط برای بخشی از شبکه، مورد استفاده قرار می‌گیرد؛
- مقدار میانگین: شاخص مرجع کیفیت خط میانگین، از تمام شاخص‌های مرجع کیفیت خط در شبکه در نظر گرفته شده محاسبه می‌شود و به منظور توصیف کیفیت خط برای آن بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد؛
- درصد توزیع شاخص مرجع کیفیت خط (برای مثال، ۱۰٪،۹۰٪، و غیره): پس از محاسبه توزیع تجمعی شاخص مرجع کیفیت خط در بخشی از شبکه موردنظر، درصد اصلی انتخاب می‌شود و مقدار شاخص مرجع کیفیت خط متناظر با آن برای توصیف کیفیت خط در بخش مربوطه، مورد استفاده قرار می گیرد.

- درصد طبقه کیفیت خط مورد نیاز: درصدی از طول بخشی از شبکه مورد نظر (بخشی که کیفیت خط حداقل الزامات طبقه کیفیت خط را برآورده می نماید.)، به عنوان مثال "۷۰ ٪ از طول تجمعی از یک خط باید حداقل طبقه کیفی B[1] را برآورده کند".

روش‌های فوق می تواند برای هر یک از ۳ سطح تجمع شرح داده شده در بند ۷ استفاده شود.

۸-۵ کاربرد محتمل طبقات کیفیت خط

طبقات کیفیت خط در این استاندارد برای کمی‌سازی کیفیت هندسه خط مقرر شده است. لیست غیر جامع زیر، موارد ممکنی که طبقات کیفیت خط می‌تواند استفاده شود، را ارائه می‌دهد:

- شاخص کلیدی عملکرد محتمل در یک استراتژی نگهداری توسط مدیر زیرساخت، که در آن به طور معمول بسیاری از اطلاعات باید در یک یا چند عدد خلاصه شود.
- ایجاد یک برنامه کاری دقیق(با ذکر جزئیات) توسط مدیران زیرساخت
- پذیرش(تایید) عملیاتی که برکیفیت هندسی خط اثرگذار هستند(برای مثال، عملیات نوسازی یا زیرکوبی خط)
- پایش کیفیت خط در سطح جهانی برای مقاصد قراردادی، برای مثال قراردادهای بین مدیریت زیر ساخت و مالک زیرساخت؛
- اهداف قراردادی بین بهره بردار قطار و مالک زیرساخت.
- طراحی یک وسیله نقلیه با توجه به الزامات کیفیت سیر و کیفیت خط (خطوطی که در آن وسیله نقلیه در حال سیر است).
- انتخاب بخش‌های خط برای پذیرش(تایید سیر) وسیله نقلیه

برای هرگونه استفاده احتمالی از طبقات کیفیت خط، روش های توصیه شده در جدول زیر آورده شده است. در این جدول، نمادهای "++ / + / ـ / ـ ـ" نشاندهنده بیشترین ارتباط تا کمترین ارتباط می‌باشد.

[1] TQC B

جدول ۴ ارتباط روش تخصیص برای استفاده از طبقات کیفیت خط

کاربرد	مقدار ماکزیمم	مقدار میانگین	درصد توزیع TQIsref	درصد TQC مورد نیاز
شاخص‌های کلیدی عملکرد مورد استفاده در استراتژی نگهداری سطح بالا	- -	+	+ +	+ +
برنامه کاری دقیق برای تعمیر و نگهداری خط	+ +	+ +	+	+
پذیرش(تایید) عملیات اثرگذار بر کیفیت هندسه خط	+ +	+	+	- -
پایش کیفیت خط برای مقاصد قراردادی بین مدیریت زیر ساخت و مالک زیرساخت	- -	-	+ +	+ +
اهداف قراردادی بین بهره بردار قطار و مالک زیرساخت	- -	+	+	+ +
طراحی یک وسیله نقلیه با توجه به الزامات کیفیت سیر و کیفیت خط	+	+	+ +	+
انتخاب بخش‌هایی از خط برای پذیرش (تایید سیر) وسیله نقلیه	+	+	+ +	+

پیوست الف
(الزامی)
روش شتاب جرم نقطه‌ای (PMA)

الف-۱ مقدمه

این پیوست جزئیات بیشتری در مورد زمینه و کاربرد توصیه شده روش PMA که در بند ۶-۴-۳ توصیف شده است، ارائه می‌دهد.

الف-۲ توصیف مدل PMA

روش PMA بر اساس مدل ساده طبق موارد زیر می‌باشد:

- مدل PMA، یک وسیله نقلیه مجازی بدون فنر را در نظر می‌گیرد، فرض بر این است که جرم نقطه‌ای می‌باشد، در نتیجه فقط حرکت مرکز ثقل بررسی شده است. این جرم نقطه‌ای در یک فاصله معینی (Z) روی خط مرکزی عرض خط واقعی هدایت می‌شود.
- جرم نقطه‌ای در یک سرعت ثابت مطابق با حداکثر سرعت مسیر روی بخش خط اندازه‌گیری شده حرکت می‌نماید.
- عیب هندسی خط اندازه‌گیری شده را می‌توان با تراز طولی و هم ترازی هر دو ریل توصیف نمود.
- با توجه به عیب هندسی خط، که با تراز طولی و هم ترازی هر دو ریل توصیف می‌شود، جرم نقطه‌ای متحمل شتاب‌های a_z و a_y در جهت‌های افقی و عمودی می‌شود.
- جمع بردار این شتاب‌ها جهت مشخص نمودن کیفیت خط به کار می‌رود.

الف-۳ محاسبه شکل ارزیابی PMA

به کارگیری معادلات حرکت و نادیده گرفتن موارد ریاضی در جه بالاتر منجر به فرمول برای شتاب می‌گردد.

$$a_y = c \cdot v^n (\overline{AL}'' - \Psi . \overline{LL}'' + z \cdot (\overline{LL}''' - \Psi''))$$

$$a_z = c \cdot v^n (\overline{LL}'' + \Psi \cdot \overline{AL}'' + z \cdot (\Psi'^2 + \overline{LL}''^2))$$

جمع عمودی هر دو اجزاء شتاب منجر به شکل ارزیابی نهایی می‌شود:

$$a_{yz} = \sqrt{a_y^{\,2} + a_z^{\,2}}$$

که

V= حداکثر سرعت

$\overline{LL}$= تراز طولی D1، میانگین ریل‌های راست و چپ

$\overline{AL}$= تراز طولی D1، میانگین ریل‌های راست و چپ

ψ = (ریل چپLL- ریل راست LL)/d

Z= ارتفاع مرکز شتاب

n= توان، باز برای مقیاس گذاری

c= ضریب، باز برای مقیاس گذاری

‘ = اولین مشتق در حوزه فاصله

“= دومین مشتق در حوزه فاصله

”= سومین مشتق در حوزه فاصله

d= فاصله بین مراکز تاج ریل، که برابر است با موارد زیر:

- ۱۵۰۰ میلی‌متر برای عرض خط اسمی ۱۴۳۵ میلی متر
- ۱۶۰۰ میلی متر برای عرض خط اسمی ۱۵۲۴ میلی متر
- ۱۷۴۰ میلی متر برای عرض اسمی ۱۶۶۸ میلی متری

کاربرد عملی بر روی داده هندسه خط عادی به وضوح نشان می‌دهد که این فرمول‌ها ممکن است طبق موارد زیر بدون از دست دادن اهمیت و ارزش خود ساده شده باشد.

$$a_y = c \cdot v^n (\overline{AL}'' + z \cdot (\overline{LL}''' - \Psi''))$$

$$a_z = c \cdot v^n . \overline{LL}''$$

$$a_{yz} = \sqrt{a_y^2 + a_z^2}$$

با توجه به ترازهای مختلف قید شده در بند ۸، پیشنهاد می‌گردد میانگین a_{yz} روی یک فاصله ۱۰۰ متری بدست آورده شود. این رقم یا انحراف معیار استاندارد می‌تواند برای ارزیابی کیفی هندسه خط مورد استفاده قرار گیرد.

الف-۴ ویژگی‌های روش PMA

- روش ارزیابی PMA طبق قانون دوم نیوتن نشان می‌دهد که شتاب‌ها نیاز به هدایت یک جرم نقطه‌ای، (جهت مدل قید شده در بالا) دارند. بنابراین روش PMA دارای یک زمینه مکانیکی واضح است.

- مدل PMA شامل هیچ گونه ویژگی‌های خاص وسیله نقلیه نبوده و نمی‌تواند هیچ گونه واکنش‌های خاص وسیله نقلیه را نشان دهد، بنابراین این مدل به عنوان روش ارزیابی مستقل وسیله نقلیه در نظر گرفته می‌شود.
- مدل PMA، حداکثر سرعت مسیر ارزیابی شده را در نظر می‌گیرد. جهت رسیدن به شکل کیفیت خط PMA یکسان، یک خط با حداکثر سرعت بالای مسیر، نیاز به عیب هندسی کمتری نسبت به حداکثر سرعت پایین‌تر مسیر دارد. در این روش مقدار حد تکی ممکن است (برای احتمالاً تمام یا حداقل یک محدوده گسترده از حداکثر سرعت مسیر)، مورد استفاده قرار گیرد.
- مشتقات تراز طولی و هم ترازی حاکم بر شکل ارزیابی می‌باشد. بنابراین عیوب با نوسان‌های مشابه اما با طول موج مختلف منجر به شکل‌های ارزیابی مختلف می‌گردد. بهتر است ارتباط بین شکل ارزیابی PMA و نیروهای اندر کنش چرخ و ریل در نظر گرفته شود تا ارتباط بین پارامترهای هندسه خط (طبق استاندارد EN 13848-1) و نیروهای اندرکنش چرخ و ریل.
- روش PMA فقط یک شکل با کیفیت برای هر دو انحرافات جانبی، عمودی و همچنین ریل چپ و راست خط، ارائه می‌دهد. در این روش ترکیبی از عیوب جدا از هم در تراز طولی و هم ترازی در نظر گرفته می‌شود.

پیوست ب
(الزامی)
روش‌های تحلیل بر اساس پاسخ وسیله نقلیه (VRA)

ب-۱ مقدمه

این پیوست با روش‌های VRA بر اساس شبیه‌سازی عددی با استفاده از مدل‌های وسیله نقلیه MBS (سیستم بدنه چندگانه) سازمان دهی شده است.

روش‌های دیگر مانند شبکه‌های عصبی، فیلترهای خطی و سایر روش‌ها که در برخی از بسته‌های نرم افزار تجاری استفاده می‌شود، وجود دارد.

در مثال زیر یک روش VRA شرح داده شده است. مدل‌های خودرو جهت تعیین مجموعه ای از توابع ارزیابی که برآورد حداکثر پاسخ وسیله نقلیه مورد انتظار را ارائه می‌دهد، برای تعدادی از انواع وسیله نقلیه مختلف عبوری از بخش خط اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مثال ارائه شده، سیگنال‌های اندازه‌گیری تراز طولی، هم‌ترازی و تراز عرضی تقسیم بر عیوب تکی که پی، درپی با در نظرگرفتن انطباق عیوب جانبی و عمودی ارزیابی شده است، می‌شود. پارامترهای ورودی توابع ارزیابی عبارت از دامنه و شیب‌های عیوب تکی جدا از هم و همچنین سرعت مجاز محلی و انحنای موضعی خط می‌باشد.

- مجموع نیروهای هدایت کننده جانبی در هر چرخ و حور : ΣY
- خارج قسمت نیروهای تماسی جانبی و عمودی در هر چرخ: Y/Q
- حداکثر نیروی عمودی چرخ : Q_{max}
- حداقل نیروی عمودی چرخ: Q_{min}
- حداکثر شتاب بدنه واگن (جانبی):a_y
- حداکثر شتاب بدنه واگن (عمودی): a_z

این پارامترها به مقادیر حدی خودشان نرمالیزه شده‌اند. که بر اساس استاندارد EN 14383 می‌باشند. خروجی برای هر نقطه اندازه‌گیری عبارت از حداکثر درصدهای محاسبه شده انواع وسایل نقلیه می‌باشد. لذا این روش VRA، حداکثر استفاده مقدار حدی، برای بحرانی‌ترین پارامتر پاسخ وسیله نقلیه (حساس‌ترین نوع وسیله نقلیه) را ارائه می‌دهد.

ب-۲ تعیین توابع ارزیابی

برای هر نوع وسیله نقلیه یک مجموعه توابع ارزیابی موردنظر، باید تعیین گردد. این فرآیند توسط طرح قید شده در شکل ب-۱ نشان داده شده است.

در اولین مرحله چندین مدل وسیله نقلیه MBS بسیار دقیق و خوب معتبرسازی گردیده است و برای شبیه-سازی پاسخ وسیله نقلیه تعداد زیادی از تغییرات عیوب خط جدا شده (عیوب آزمون)، در ترکیب با سرعت وسیله نقلیه مختلف V و قوس خط cr مورد استفاده قرار گرفته است. در قوس‌ها، سرعت وسیله نقلیه به منظور رسیدن به حداکثر مجاز کمبود شیب عرضی برای وسیله نقلیه مورد نظر، انتخاب شده است.
هندسه خط با تراز طولی پارامترهای(LL)، هم‌ترازی (AL) و تراز عرضی (CL) ارائه شده است. عیوب آزمون دارای شکل موج سینوسی تعریف شده در زیر می‌باشد.

$$y(x)=\begin{cases} amp\left(1-\cos\left(2\pi\dfrac{L-x}{L}\right)\right) & ,\quad 0\le x\le L \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

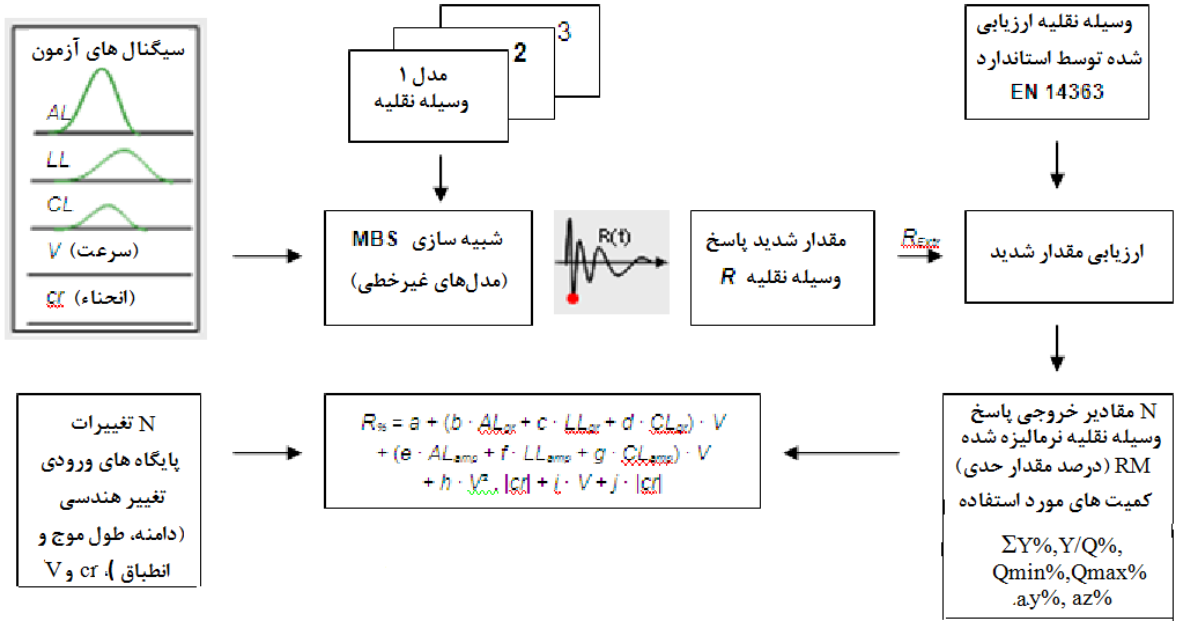
که

y عیب آزمون جدا شده

amp نصف دامنه عیب آزمون جدا شده

L طول عیب

با دامنه‌های سیستماتیک مختلف و طول‌های عیوب، محدوده کامل عیوب جدا شده مورد انتظار، پوشش داده می‌شود. به علاوه انواع مختلفی از انطباق عیوب خط عمودی و جانبی در نظر گرفته شده است. باید اطمیان حاصل گردد که حداقل مقادیر حدی برای پاسخ وسیله نقلیه به دست آمده است.
نتیجه این شبیه‌سازی‌ها سیگنال‌های زمانی پارامترهای پاسخ وسیله نقلیه موردنظر که طبق استاندارد EN 14363 فیلتر شده‌اند می‌باشد.
از این پارامترها، مقادیر خروجی توسط نرمالیزه کردن مقادیر شدید پاسخ وسیله نقلیه محاسبه شده به مقادیر حدی موردنظر، به دست می‌آید. این مقادیر حدی برمبنای استاندارد EN 14363 می‌باشد اما می‌توان طبق استراتژی‌های تعمیر و نگهداری تطبیق داده شود.



محاسبه ضرایب a تا j توابع اندازه گیری برای هر پارامتر پاسخ وسیله نقلیه و هر نوع وسیله نقلیه توسط تحلیل رگرسیون چند بعدی

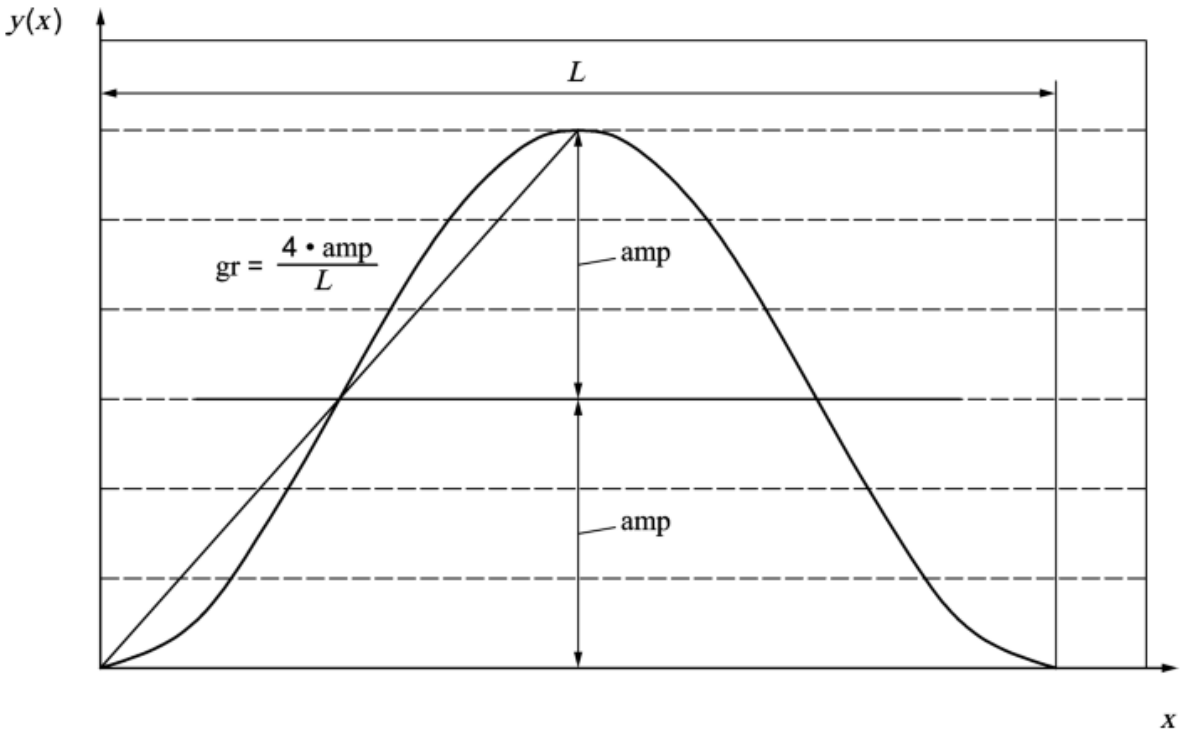
(٪R = پاسخ مقدار حدی برحسب درصد)

شکل ب-۱- تعیین توابع ارزیابی

دومین مرحله برای هر پارامتر پاسخ وسیله نقلیه i=1,2…6 و برای هر نوع وسیله نقلیه k، پارامتر ارزیابی طبق موارد زیر می‌باشد.

$$R_{i,k}=a_{i,k}+(b_{i,k}.AL_{gr}+c_{i,k}.LL_{gr}+d_{i,k}.CL_{gr}+e_{i,k}.AL_{amp}+f_{i,k}.LL_{amp}+g_{i,k}.CL_{amp}).V+h_{i,k}.V^2.cr+i_{i,k}.V+j_{i,k}.|cr|$$

در فرمول فوق، شاخص "amp" نشان دهنده دامنه و شاخص " g" نشان دهنده میانگین شیب عیوب آزمون طبق شکل ب-۲ می‌باشد، ضرایب مورد نیاز توابع ارزیابی با حل سیستم تعیین شده معادل تشکیل شده توسط پارامترهای ورودی در ترکیب با مقادیر خروجی مربوط به شبیه سازی‌های MBS محاسبه می گردد.



شکل ب-۲- تعریف پارامترهای عیوب آزمون

ب-۳ کاربرد توابع ارزیابی

برای ارزیابی اندازه‌گیری‌های هندسی خط با روش VRA، محاسبه میانگین سیگنال‌های راست و چپ برای هر دو هم‌ترازی و تراز طولی مورد نیاز می‌باشد.

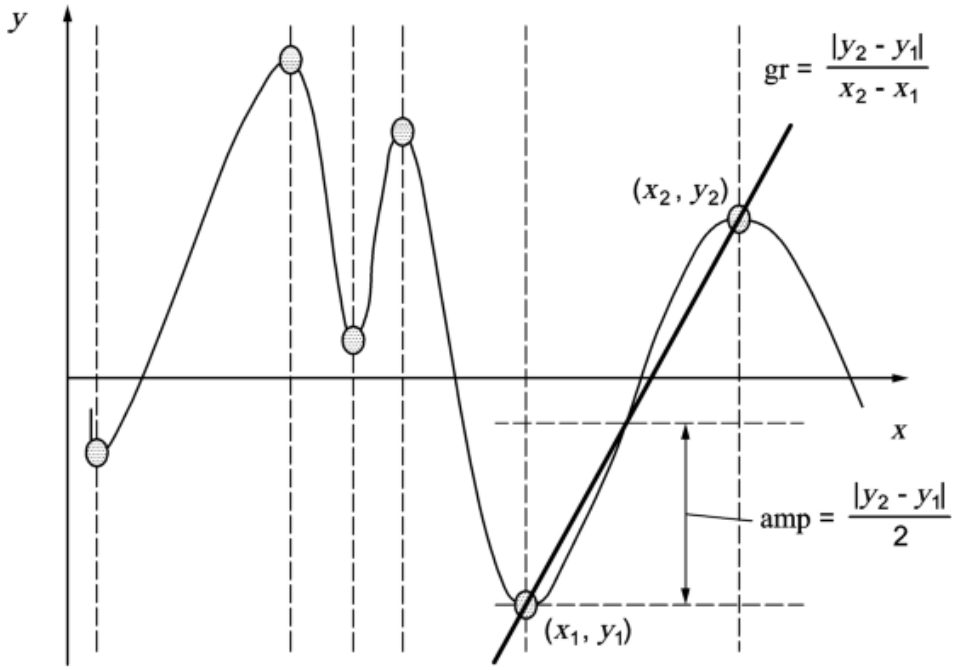
کاهش ممکنه عیوب خط با توجه به میانگین، با کوچک کردن ضرایب ۱ و ۲ جبران می‌شود.

$$AL^* = 1{,}2 \cdot (AL_{right} + AL_{left}) / 2$$

$$LL^* = 1{,}2 \cdot (LL_{right} + LL_{left}) / 2$$

سیگنال‌های کوچک شده AL^* و LL^* از قبل تعریف شده و همچنین سیگنال اندازه گیری شده اصلی تراز عرضی باید به عیوب سیگنال پی در پی که به عنوان بخش بین دو مقادیر شدید موضعی بعدی سیگنال تعریف شده است (به شکل ب-۳ مراجعه گردد)، تقسیم گردد.

برای جلوگیری از ارزیابی طول موج کوتاه و بی ربط، حداقل فاصله بین مقادیر شدید باید تعیین گردد (برای مثال 1.0m) بنابراین برای هر عیب تکی سیگنال‌های LL^* و AL^* و CL^*، ویژگی پارامترهای دامنه (amp) و شیب (gr) می تواند به طور جداگانه به دست آید (به شکل ب-۳ مراجعه گردد)



شکل پ-۳- انحراف سیگنال‌های هندسی خط اندازه‌گیری شده

دو پارامتر ورودی باقی مانده مورد نیاز برای ارزیابی توابع ارزیابی، مقدار مطلق قوس اندازه گیری شده موضعی خط cr و سرعت وسیله نقلیه مربوط (V) می‌باشد.

سرعت وسیله نقلیه مربوط (V) به عنوان حداقل موارد زیر تعیین شده است:

- سرعت خط موضعی V_{line}
- حداکثر سرعت وسیله نقلیه مجاز V_{lim}
- حداکثر سرعت در قوس V_{curve} قید شده در طراحی شیب عرضی D و حداکثر کمبود شیب عرضی مجاز L_{adm} وسیله نقلیه

$V = (V_{line}, V_{lim}, V_{curve})$ با $v_{curve} = \sqrt{\frac{g(D + I_{adm})}{d \cdot |cr|}}$

که

cr انحناء اندازه‌گیری شده موضعی خط

g $9.81 m/s^2$

d 1 500 برای عرض خط اسمی 1 435 mm

یادآوری- طراحی شیب عرضی می‌تواند با شیب عرضی موضعی (برای مثال از تراز عرضی فیلتر شده جریان پایین) تخمین زده شود.

با استفاده از این پارامترهای ورودی توابع ارزیابی از قبل تعیین شده تمام پارامترهای پاسخ وسیله نقلیه ارزیابی شده $R_{i,k}$ نشان دهنده مقادیر حدی مورد انتظار می‌تواند توسط فرمول زیر محاسبه شود.

$$R_{i,k} = a_{i,k} + (b_{i,k} \cdot AL^*_{gr} + c_{i,k} \cdot LL^*_{gr} + d_{i,k} \cdot CL^*_{gr} + e_{i,k} \cdot AL^*_{amp} + f_{i,k} \cdot LL^*_{amp} + g_{i,k} \cdot CL^*_{amp})\, V + h_{i,k}\, V^2\, cr + i_{i,k} \cdot V + j_{i,k} \cdot |cr|$$

خروجی روش VRA برای هر نقطه اندازه‌گیری، مقدار حداکثر تمام پارامترهای پاسخ وسیله نقلیه ارزیابی شده $R_{i,k}$ می‌باشد. نهایتاً این مقادیر خروجی می‌توانند جهت تعیین مقادیر TQI برای بخش خط داده شده، بستگی به تراز انتخاب شده توافق شده، به طور آماری تحلیل شوند.

- در روش‌های VRA، از رابطه بین هندسه خط و رفتار وسیله نقلیه جهت ارزیابی کیفیت هندسه خط استفاده می‌گردد. با استفاده از توابع ارزیابی تحلیلی، این روش، تخمین حداکثر پاسخ وسیله نقلیه نرمالیزه شده با مقادیر حدی مورد انتظار که انطباق عیوب خط عمودی و جانبی درترکیب با سرعت وسیله نقلیه مجاز و در نتیجه کمبود شیب عرضی در نظر گرفته شده است، را ارائه می‌دهد.
- روش‌های VRA به هیچ تعریفی از کلاس‌های سرعت احتیاج دارد زیرا مقادیر حدی پاسخ وسیله نقلیه، مستقل از سرعت می‌باشد.
- در مورد تجاوز از مقدار حدی تعریف شده پارامترهای پاسخ وسیله نقلیه، سرعت محدوده شده اعمال شده را، می‌توان تعیین نمود.
- توابع ارزیابی می‌تواند مطابق با انواع وسیله نقلیه مربوطه که مجاز به اجرا در بخش خط در نظر گرفته شده است، انتخاب گردد.

پیوست پ
(الزامی)
روش برای محاسبه TQ/s (TQI_{ref})

پ-۱ طبق بند ۸-۱ انحراف معیار استاندارد (SD) تراز طولی و هم‌ترازی محاسبه شده در دامنه D1 به عنوان مرجع جهت توصیف کیفیت هندسه خط در نظر گرفته شده است.

از این به بعد، روش کامل جهت محاسبه مرجع TQI(TQI_{ref}) توضیح داده می‌شود.

پ-۲ توصیف روش مرجع

داده ارائه شده برای محاسبه مرجع TQI_{ref} باید شامل موارد زیر باشد:

- خطوط ساده (مسطح) مسیرهای اصلی، ایستگاه‌های خارجی و داخلی می‌باشند.
- سوزن‌های مجزا شده یا گروه سوزن‌ها واقع در مسیر اصلی و در مسیر سرعت اجرا در مقابل، تمام خط‌های کناری باید کنار گذاشته شود.

محاسبه باید با استفاده از انحراف معیار استاندارد تراز طولی SD_{LL} و انحراف معیار استاندارد هم‌ترازی SD_{AL} در دامنه D1 انجام گیرد.

در مواردی که منشاء داده اندازه گیری قاب مرجع متحرک اندازه گیری می‌باشند، داده باید رنگ کاری مجدد جهت رسیدن به D1 شوند. میانگین داده ریل راست و چپ باید به عنوان یک میانگین انحراف معیار استاندارد هر ریل طبق موارد زیر گرفته شود.

$$\overline{SD}_{AL} = \frac{SD_{AL}_left + SD_{AL}_right}{2} \qquad \overline{SD}_{LL} = \frac{SD_{LL}_left + SD_{LL}_right}{2}$$

که

SD انحراف معیار استاندارد می‌باشد.

$\overline{SD}$ میانگین انحراف معیار استاندارد هر ریل می‌باشد.

LL تراز طولی می‌باشد.

AL هم ترازی می‌باشد.

محاسبه انحراف معیار استاندارد باید طبق موارد زیر باشد:

- انحراف معیار استاندارد روی یک فاصله 200m محاسبه می‌شود.
- محاسبه در هر مرحله اندازه گیری برای مثال 0.25m انجام می‌شود.
- اگر توزیع فرکانس تجمعی تعیین شده باشد، باید برای محدوده سرعت با استفاده از کلاس‌های دقت 0.01mm محاسبه گردد.

داده باید به شش طبقه سرعت طبق موارد زیر مجزا شده باشند:

الف: $V = 80$ km/h

ب: $80 \text{ km/h} < V = 120 \text{ km/h}$

پ: $120 \text{ km/h} < V = 160 \text{ km/h}$

ت: $160 \text{ km/h} < V = 230 \text{ km/h}$

ث: $230 \text{ km/h} < V = 300 \text{ km/h}$

ج: $V > 300$ km/h

پیوست ت
(الزامی)
روش طبقه بندی مدل جایگزینی TQL با استفاده از TQCs

ت-۱ مقدمه

طبق بند ۸-۱، انحراف معیار استاندارد (SD) تراز طولی و هم‌ترازی به عنوان مرجع توصیف کیفیت هندسی خط در نظر گرفته می‌شود.

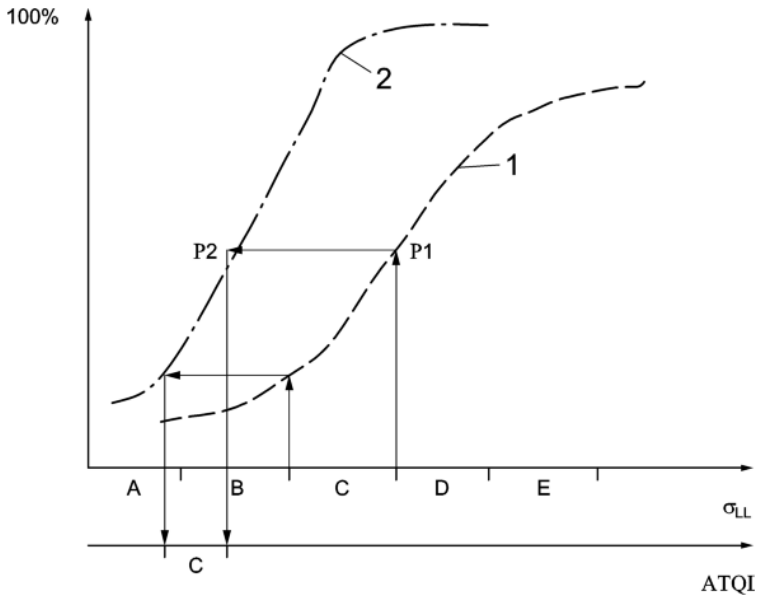
برای شبکه‌هایی که روش مرجع طبق پیوست پ مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، یک روش محاسبه ای TQI جایگزین ممکن است، اعمال گردد. در این صورت رابطه بین TQCs به دست آمده با استفاده از این TQI جایگزین و TQCs به دست آمده با استفاده از روش مرجع ممکن است با توجه به روش توضیح داده شده زیر برقرار گردد.

ت-۲ توصیف روش تبدیل

روش تبدیل توضیح داده شده در زیر برای هر دو تراز طولی و هم‌ترازی به کار می‌رود. اما اگر جایگزین TQI با یک مقدار تکی برای جهت عمودی و طولی نشان داده شود، تبدیل باید بر مبناء SD_{LL} باشد. روش تبدیل باید برای هر محدوده سرعت اعمال گردد.

به منظور تبدیل TQI به مرجع $TQI(TQI_{ref})$، اطلاعات زیر مورد نیاز می‌باشد:

- یک توضیح فرکانس تجمعی ملی TQI_{ref} (NTQI، خط‌های نقطه‌چین در شکل ت-۱)
- یک توزیع فرکانس تجمعی جایگزین TQI (ATQI، خط‌های تیره در شکل ت-۱)



راهنما:

1 توزیع فرکانس تجمعی ملی (TQI_{ref}($NTQI_{ref}$)

2 توزیع فرکانس تجمعی جایگزین TQI(ATQI)

شکل ت-۱- انتقال بین TQI_{ref} و TQLs جایگزین

به منظور تبدیل یک مقدار حدی TQC برای محدوده سرعت ارائه شده، مراحل زیر باید انجام گیرد.

- مقدار حدی از جدول ۲ یا ۳ باید برای مثال طبقه C گرفته شود و درصد مربوط به توزیع فرکانس تجمعی ملی TQI_{ref} پیدا شود. (NTQI، به نقطه P1 از شکل ت-۱ مراجعه گردد)
- مقدار ATQI مربوط به درصد تجمعی از همان توزیع فرکانس تجمعی TQI جایگزین (NTQI به نقطه P2 در شکل ت-۱ مراجعه گردد). این مقدار ATQI، انتقال کلاس حدی انتخاب شده در اولین مرحله (برابر مثال کلاس C) می‌باشد.

کتابنامه

[1] FprCEN/TR 16513, Railway applications - Track - Survey of track geometry quality

[2] EN 13848-5, Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 5: Geometric quality levels – Plain line

[3] EN 14363, Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles -Testing of running behaviour and stationary tests