

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

تلفن: ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلاممیز)

تلفن: ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹



مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





استاندارد ملی ایران

۱۰۵۱۳

تجددیدنظر اول

۱۳۹۷



جمهوری اسلامی ایران

**Islamic Republic of Iran**

سازمان ملی استاندارد ایران

**Iranian National Standardization Organization**

INSO

10513

1st Revision

2019

Identical with  
ISO 8608: 2016

## ارتعاش مکانیکی – پروفیل‌های سطح جاده گزارش داده‌های اندازه‌گیری شده

**Mechanical vibration – Road surface  
profiles – Reporting of measured data**

ICS:17.160; 93.080.10

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۰۲۶ (۳۲۸۰۶۰۳۱-۸)

دورنگار: ۰۲۶ (۳۲۸۰۸۱۱۴)

ایمیل: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No. 2592 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.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه 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 منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرفکنندگان، 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 کمیته ملی مرتبط با آن رشتہ 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 در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسائل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاه، واسنجی وسائل 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 Métrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

### «ارتعاش مکانیکی- پروفیل‌های سطح جاده- گزارش داده‌های اندازه‌گیری شده»

#### سمت و / یا محل اشتغال:

#### رئیس:

مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین زهرا

قشوچی برق، هادی  
(دکتری هواشناسی)

#### دبیر:

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

فولادپنجه، اکبر  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

#### اعضا: (اسمی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت آزمایش و تحقیقات قطعات و مجموعه‌های خودرو  
(ایتراك)

باقی آبادی، محمد کاظم  
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی جلفا

بلغند، یداله  
(دکتری مهندسی مکانیک)

مرکز تحقیقات و نوآوری صنایع خودرو سایپا

بوالحسنی، محمدرضا  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

ترکان پوری، کاووه  
(دکتری مهندسی مکانیک)

دانشگاه صنعتی اراک

سلامت طلب تجن گوکه، مظاہر  
(دکتری مهندسی مکانیک)

شرکت خدمات مهندسی سرمهد تبریز

قیصری، تقی  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

دانشگاه تبریز

مرامی، غلامرضا  
(دکتری مهندسی مکانیک)

#### ویراستار:

اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی

ترکمن، لیلا  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

## فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	۹
مقدمه	ز
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۱
۴ نمادها	۳
۵ روش یکسان گزارش‌دهی	۴
۱-۵ داده تک‌مسیری	۴
۱-۱-۵ توضیح پروفیل جاده	۴
۱-۱-۵ نمایش چگالی طیفی توانی هموارسازی شده	۵
۱-۵ داده‌های چندمسیری	۱۰
۳-۵ گزارش	۱۰
۱-۳-۵ عمومی	۱۰
۲-۳-۵ صفحه حاوی منحنی داده‌های یک‌مسیره	۱۰
۳-۳-۵ صفحه حاوی منحنی داده‌های چندمسیره	۱۰
۴-۳-۵ پارامترهای آنالیز	۱۰
۵-۳-۵ شرایط آزمون	۱۲
پیوست الف (آگاهی دهنده) مثالی از یک گزارش	۱۴
پیوست ب (آگاهی دهنده) مشخصات پروفیل جاده و برآش PSD	۲۱
پیوست پ (آگاهی دهنده) راهنمای عمومی برای استفاده از توصیف آماری پروفیل جاده	۲۴
پیوست ت (آگاهی دهنده) ملاحظات برای فرآیند PSD و دقت آن	۳۶
کتاب‌نامه	۴۴

## پیش‌گفتار

استاندارد «ارتفاع مکانیکی- پروفیل‌های سطح جاده- گزارش داده‌های اندازه‌گیری شده» که نخستین بار در سال ۱۳۸۶ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در سیصد و نودمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاسها مورخ ۹۷/۱۱/۱۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده 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 شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۵۱۳: سال ۱۳۸۶ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مذبور است:

ISO 8608: 2016, Mechanical vibration– Road surface profiles– Reporting of measured data

## مقدمه

مقصود این استاندارد، تسهیل گرداوری و مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده پروفیل قائم جاده است که از منابع مختلف به دست می‌آید. از این‌رو در این استاندارد، روش همسانی برای گزارش داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های تک‌مسیری و چندمسیری ارائه شده است.

بر اساس این روش، مشخص می‌شود اندازه‌گیری‌ها چگونه گزارش شوند اما به نحوه اندازه‌گیری اشاره نشده است. تجهیزات اندازه‌گیری می‌توانند بر نتایج اندازه‌گیری تأثیر بگذارند، بنابراین بعضی مشخصه‌های سیستم اندازه‌گیری نیز باید در گزارش قید شود.

پیوست الف مثالی از گزارشی است که حداقل الزامات این استاندارد را برآورده می‌کند.

در پیوست ب روش تقریبی تعیین ویژگی‌های پروفیل جاده‌ای به منظور تسهیل تقسیم‌بندی پروفیل‌های جاده‌ای به طبقات کلی، ارائه می‌شود. طبقه‌بندی کلی نیز ارائه شده است. روشی برای برآش منحنی برای تعیین مشخصه‌های داده‌های طیفی، معرفی شده است.

در پیوست پ رهنمودی کلی برای استفاده از داده‌های آماری پروفیل جاده به منظور مطالعات شبیه‌سازی و نیز مطالعات مرتبط مانند ارزیابی آسایش سرنشینان، سیستم تعليق، و پروفیل‌های جاده‌ای ارائه شده است.

در پیوست ت، درباره پردازش چگالی طیفی توانی (PSD) به روش تبدیل فوریه سریع (FFT) بحث شده است. بحثی نیز در باره‌ی دقت آماری ارائه شده است.

## ارتعاش مکانیکی - پروفیل‌های سطح جاده - گزارش داده‌های اندازه‌گیری شده

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روشی یکسان برای گزارش داده‌های پروفیل<sup>۱</sup> قائم جاده اندازه‌گیری شده در اندازه‌گیرهای یکم‌سیره یا چندم‌سیره است.

این استاندارد برای گزارش‌گیری داده‌های پروفیل قائم اندازه‌گیری شده بر روی جاده‌ها، خیابان‌ها و بزرگراه‌ها و زمین‌های برونجاده‌ای کاربرد دارد. این استاندارد برای داده‌های ریل قطار کاربرد ندارد. این استاندارد شامل روش‌ها و تجهیزات پردازش و اندازه‌گیری نمی‌شود.

### ۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

**2-1 IEC 61260-1, Electroacoustics- Octave-band and fractional-octave-band filters- Part 1: Specifications**

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 2041، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود<sup>۲</sup>:

۱-۳

بسامد مکانی

**spatial frequency**

معکوس طول موج است.

---

1 - Profile

2 - اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های [www.electropedia.org/](http://www.electropedia.org/) و [www.iso.org/obp](http://www.iso.org/obp) قابل دسترس است.

یادآوری - بسامد مکانی بر حسب سیکل بر متر (cycles/m) بیان می‌شود.

۲-۳

### چگالی طیفی توانی

#### power spectral density PSD

مقدار میانگین مربع حدی یک سیگنال بر پهنه‌ای باند بسامد واحد است.

یادآوری - برای طیف یک‌طرفه، ناحیه قرار گرفته در بین منحنی ترسیمی و محور افقی در یک منحنی خطی، باید با واریانس<sup>۲</sup> سیگنال اصلی برای گستره بسامد ارزیابی شده؛ معادل باشد. در این صورت هرگاه فرآیند محاسبه فقط از طریق تخمین طیف برای بسامدهای مثبت باشد دامنه طیفی دو برابر می‌شود.

۳-۳

### PSD جابه‌جایی

#### displacement PSD

چگالی طیفی توان جابه‌جایی پروفیل قائم جاده است.

۴-۳

### PSD سرعت

#### velocity PSD

چگالی طیفی توان، برابر تغییر جابه‌جایی پروفیل قائم جاده در واحد مسافت طی شده (شیب پروفیل قائم جاده) است.

۵-۳

### PSD شتاب

#### acceleration PSD

چگالی طیفی توان، برابر آهنگ تغییر شیب پروفیل قائم جاده در واحد مسافت طی شده است.

۶-۳

### فامزدایی

#### decolouring

روشی برای حذف تاثیر تابع انتقال سیستم اندازه‌گیری بر چگالی طیفی توان است.

یادآوری - چگالی طیفی توان خام باید قبل از هر گونه پردازش بیشتر با استفاده از تقسیم آن بر مربع قدر مطلق تابع انتقال تجهیزات اندازه‌گیری فامزدایی شود.

## هموارسازی

### smoothing

فرآیند میانگین‌گیری که در آن بلوک داده‌ها جابه‌جا شده و میانگین آن گرفته شده است.

یادآوری - در این استاندارد «PSD هموارسازی نشده» به معنی چگالی طیفی توان محاسبه شده از داده‌های اندازه‌گیری شده یعنی بر اساس پهنه‌ای باندهای استفاده شده در (یا حاصل از) محاسبات و داده‌هایی است که متفاوت از داده‌های ارائه شده در جدول ۲ هستند. اصطلاح «PSD هموارسازی شده» به معنی چگالی طیفی توان است که پس از استفاده از مراحل توصیف شده در زیربند ۲-۱-۵ به دست می‌آید.

## ۴ نمادها

نمادهای استفاده شده در این استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - نمادها

واحد	شرح	نماد
cycles/m	تفکیک‌پذیری بسامدی	$B_e$
Hz	بسامد زمانی	$f$
$m^3$	PSD جابه‌جایی	$G_d(.)$
m	سرعت PSD	$G_v(.)$
$m^{-1}$	شتاب PSD	$G_a(.)$
-	مسیر ۱ PSD	$G_1(.)$
-	مسیر ۲ PSD	$G_2(.)$
-	طیف متقطع مسیر ۱ و ۲	$G_{12}(.)$
m	فاصله بین محور جلو و محور عقب وسیله نقلیه	$l$
cycles/m	بسامد مکانی	$n$
s	زمان	$t$
m/s	سرعت وسیله نقلیه	$v$
-	تابع همدوسی	$\gamma^2$
-	واریانس	$\sigma^2$
rad/s	بسامد زاویه‌ای ( $= 2\pi f$ )	$\omega$
rad/m	بسامد مکانی زاویه‌ای ( $= 2\pi n$ )	$\Omega$

ناماد	شرح	واحد
یادآوری - نشانه (.) به این معناست که پارامتر تابع می‌تواند بسامد مکانی ( $n$ ) یا بسامد مکانی زاویه دار ( $\Omega$ ) باشد.		

## ۵ روش یکسان گزارش‌دهی

### ۱-۵ داده تک‌مسیری

#### ۱-۱-۵ توضیح پروفیل جاده

#### ۱-۱-۱-۵ عمومی

پروفیل جاده‌ای باید با یک یا هر دو روش زیر با ارجحیت روش اول یعنی PSD جابه‌جایی، توصیف شود.  
گزارش داده هموارسازی نشده همواره الزامی است.

#### ۲-۱-۱-۵ روش اول - PSD جابه‌جایی: ( $G_d$ )

پروفیل جاده باید به وسیله چگالی طیفی توان (PSD) جابه‌جایی قائم‌اش توصیف شود. گزارش باید شامل جابه‌جایی PSD نسبت به بسامد مکانی (زاویه‌ای) و در محورهای مختصات لگاریتمی باشد. دیمانسیون آن متر به توان ۳ ( $m^3$ ) نسبت به عکس متر (rad/m و cycles/m) است.

دو مقیاس باید روی عرض محور مختصات، یکبار برای ( $G_d$ ) و یکبار برای ( $\Omega$ ) داده شوند. هر دو مقیاس  $n$  و  $\Omega$  باید بر روی محور طول نشان داده شوند اما شبکه‌بندی باید فقط برای ( $G_d$ ) و  $n$  ترسیم شود (برای نمونه به شکل الف-۲ پیوست الف مراجعه شود).

#### ۳-۱-۱-۵ روش دوم - PSD شتاب: ( $G_a$ )

چگالی طیفی توان شتاب (PSD) روش مجاز جایگزین (ثانوی) برای گزارش داده‌ها است.  
در این مورد، مشخصات جاده باید به صورت PSD شتاب خود، بر حسب آهنگ تغییر شیب سطح جاده بر هر واحد مسافت طی شده توصیف شود. دیمانسیون PSD شتاب، عکس متر ( $m^{-1}$ ) است.

مقیاس‌ها باید در هر دو محور، لگاریتمی باشند. هر دو مقیاس باید روی محور عرض‌ها داده شود، یکی برای  $G_a(n)$  و یکی برای ( $\Omega$ ). روی محور طول‌ها  $n$  و  $\Omega$  هر دو باید نشان داده شوند اما شبکه باید فقط برای  $n$  و  $G_a(n)$  ترسیم شود.

#### ۴-۱-۱-۵ رابطه بین دو روش گزارش‌دهی

رابطه بین دو روش گزارش‌دهی (به زیربندهای ۲-۱-۱ و ۵-۱-۳ مراجعه شود) توسط طبق فرمول‌های (۱) و (۲) داده شده:

$$G_a(n) = (2\pi n)^4 \cdot G_d(n) \quad (1)$$

$$G_a(\Omega) = \Omega^4 \cdot G_d(\Omega) \quad (2)$$

#### ۵-۱-۱-۵ گستره بسامد مکانی

PSD گزارش شده باید بین محدوده‌های مجاز تجهیزات اندازه‌گیری محدود شود. برای گزارش‌گیری، کاربر می‌تواند هر گستره بسامد مکانی مناسب با سطح جاده، مسئله و محصول خاص خود را انتخاب کند.

سطح اندازه‌گیری شده به نوع تجهیزات اندازه‌گیری با تاثیر هموارسازی معین بستگی دارد. نوع این تجهیزات باید گزارش شود. (به یادآوری ۴ و زیربند ۳-۵-۲-۵ مراجعه شود).

**یادآوری ۱**- شکل پ-۱ پیوست پ رابطه بین سرعت خودرو، بسامد مکانی و بسامد زمانی را نشان می‌دهد. اطلاع از مشخصات سرعت و بسامد برای کلاس خاص از وسایل نقلیه، انتخاب حدود قابل استفاده برای آن کلاس وسیله نقلیه را ممکن می‌سازد (برای مثال وسایل نقلیه جاده‌ای یا وسایل نقلیه برون‌جاده‌ای<sup>۱</sup>).

**یادآوری ۲**- برای گستره پایین‌تر به طور کلی نیازی نیست بسامد مکانی برای وسایل نقلیه جاده‌ای زیر  $1 \text{ cycles/m}^{0.0}$  و  $0.05 \text{ cycles/m}^{0.05}$  اندازه‌گیری شود.

**یادآوری ۳**- اثر پوش تایر برای خودرو، در مسیر عبور ارتعاشات ناشی از جاده، به صورت فیلتر پایین‌گذر عمل می‌کند. این اثر به اندازه و ساختار تایر بستگی دارد. در اندازه‌گیری‌های عمومی جاده‌ای، برای این نتایج حد بالای  $10 \text{ cycles/m}^{0.0}$  توصیه می‌شود. طبیعتاً برای اندازه‌گیری ارتعاش سیستم تعليق، حد بالای قابل توجه به مقدار بيشينه سرعت مجاز بر روی هر جاده معين بستگی دارد. در اندازه‌گیری نوفه، حد بالای قابل توجه می‌تواند به مراتب بالاتر باشد و حتی از  $1000 \text{ cycles/m}^{0.0}$  هم فراتر برود.

**یادآوری ۴**- با توجه به پهنانی تایر نوعی اثر پوش در جهت عرضی به وجود می‌آید. یعنی از نظر ارتعاش، معمولاً میانگین «رد پا» اندازه‌گیری می‌شود. پهنا به نوع مسئله (مثلًا ارتعاش، نوفه) و محصول (تایر موتورسیکلت، تایر کامیون) بستگی دارد. اندازه‌گیری‌های عمومی جاده‌ای به محصول خاصی وابسته نیست و غالباً مسیری به پهنانی  $100 \text{ mm}$  برای اندازه‌گیری ارتعاش به کار می‌رود. برای اندازه‌گیری نوفه، غالباً از اندازه‌گیری نقطه‌ای استفاده می‌شود.

**یادآوری ۵**- برای اندازه‌گیری‌های برون‌جاده‌ای، هنگام تفسیر بسامدهای بالا لازم است دقیق بیشتری به عمل بیاید. برای سطوح نرم (برای مثال شنی) اثر ارتعاشی دست‌اندازهای کوتاه می‌تواند با بار چرخ هموارسازی و حذف شود. برای سطوح سخت (مثل سنگ) تنها اثر پوش تایر به عنوان فیلتر عمل می‌کند. در این حالت، لازم است که سطح، به دقیق در برگه داده‌ها توصیف شود (به زیربند ۳-۵-۳-۵-۲ مراجعه شود).

**یادآوری ۶**- در پیوست ب روش‌هایی برای شرح مشخصات پروفیل جاده‌ای و برای برآش داده‌های اندازه‌گیری شده توصیه شده است.

## ۲-۱-۵ نمایش چگالی طیفی توانی هموارسازی شده

هرگاه چگالی‌های طیفی توانی با روش پهنه‌ای باند ثابت محاسبه شود، نمایش آنها در یک نمودار لگاریتمی-لگاریتمی، ظاهر یا تأثیری بصری را در بسامدهای بالا ایجاد می‌کند که در آن نوسانات PSD تولید شده از توزیع توان واقعی و از نوافه آماری به صورت اغراق شده نشان می‌دهد.

به همین دلیل، PSD نیز باید در فرم هموارسازی شده، مثلاً از طریق PSD میانگین در باندهای بسامدی زیر نمایش داده شود:

- باندهای اکتاو از پایین‌ترین بسامد محاسبه شده (به جز صفر) تا بسامد مرکزی  $0,0312 \text{ cycles/m}$ ؛
  - باندهای یک سوم اکتاو از آخرین باند اکتاو تا بسامد مرکزی  $0,25 \text{ cycles/m}$  ( $1,5708 \text{ rad/m}$ )؛
  - برای بقیه گستره بسامدی، باندهای یک دوازدهم اکتاو تا بالاترین بسامد محاسبه شده.
- بسامدهای مرکزی مورد استفاده برای محاسبه PSD هموارسازی شده در جدول ۲ داده شده است.

PSD میانگین در باند تعريف شده توصیه می‌شود با فرمول ۳ محاسبه شود:

$$G_s(i) = \frac{[(n_L + 0.5).B_e - n_l(i)]G(n_L) + \sum_{j=n_L+1}^{n_H-1} G(j).B_e + [n_h(i) - (n_H - 0.5).B_e]G(n_H)}{n_h(i) - n_l(i)} \quad (3)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} & G_s(i) \text{ هموارسازی شده در باند هموارسازی } i: \\ & n_h \text{ (} n_h = \text{INT}\left(\frac{n_h(i)}{B_e} + 0.5\right) \text{ به جدول ۲ مراجعه شود)} \\ & n_L \text{ (} n_L = \text{INT}\left(\frac{n_l(i)}{B_e} + 0.5\right) \text{ به جدول ۲ مراجعه شود)} \end{aligned}$$

بقیه نمادها در جدول ۱ تعريف شده‌اند. INT تابع عدد صحیح است.

از جمله‌های اول و سوم طرف راست فرمول (۳)، به ترتیب، قسمت‌های  $n_H$  و  $n_L$  اصلی در باند هموارسازی محاسبه شده  $i$  به دست می‌آید.

اگر این طرح به علت محاسبات نتواند دنبال شود، تفاوت‌ها باید در گزارش ذکر شوند.

وقتی هموارسازی در بسامد مکانی زاویه‌ای محاسبه می‌شوند؛ همان قواعد باید رعایت شود.  
برای محاسبه آنالوگ باید همان قواعد رعایت شود.

محاسبه مختصر و آسان تکمیلی بر اساس پردازش PSD هموارسازی شده؛ منجر به توصیف مشخصات پروفیل جاده مطابق شرح پیوست ب می‌شود.

جدول ۲- بسامدهای مرکزی و بسامدهای قطع برای هموارسازی PSD، بیان شده در بسامد مکانی  $n$ 

بسامد قطع بالا $n_h$ cycles/m	بسامد مرکزی $n_c = 2^{\text{EXP}}$ cycles/m	بسامد قطع پایین $n_l$ cycles/m	توان <sup>a</sup> EXP
باندهای اکتاو			
۰,۰۰۲۸	۰,۰۰۲۰	۰,۰۰۱۴	-۹
۰,۰۰۵۵	۰,۰۰۳۹	۰,۰۰۲۸	-۸
۰,۰۱۱۰	۰,۰۰۷۸	۰,۰۰۵۵	-۷
۰,۰۲۲۱	۰,۰۱۵۶	۰,۰۱۱۰	-۶
۰,۰۴۴۲	۰,۰۳۱۲	۰,۰۲۲۱	-۵
باندهای اکتاو یک سوم			
۰,۰۵۵۷	۰,۰۴۹۶	۰,۰۴۴۲	-۴,۳۳۳
۰,۰۷۰۲	۰,۰۶۲۵	۰,۰۵۵۷	-۴
۰,۰۸۸۴	۰,۰۷۸۷	۰,۰۷۰۲	-۳,۶۶۷
۰,۱۱۱۴	۰,۰۹۹۲	۰,۰۸۸۴	-۳,۳۳۳
۰,۱۴۰۳	۰,۱۲۵۰	۰,۱۱۱۴	-۳
۰,۱۷۶۸	۰,۱۵۷۵	۰,۱۴۰۳	-۲,۶۶۷
۰,۲۲۲۷	۰,۱۹۸۴	۰,۱۷۶۸	-۲,۳۳۳
۰,۲۸۰۶	۰,۲۵۰۰	۰,۲۲۲۷	-۲
باندهای اکتاو یک دوازدهم			
۰,۲۸۸۸	۰,۲۸۰۶	۰,۲۷۲۶	-۱,۸۳۳
۰,۳۰۶۰	۰,۲۹۷۳	۰,۲۸۸۸	-۱,۷۵۰
۰,۳۲۴۲	۰,۳۱۵۰	۰,۳۰۶۰	-۱,۶۶۷
۰,۳۴۳۵	۰,۳۳۳۷	۰,۳۲۴۲	-۱,۵۸۳
۰,۳۶۳۹	۰,۳۵۳۶	۰,۳۴۳۵	-۱,۵۰۰
۰,۳۸۵۶	۰,۳۷۴۶	۰,۳۶۳۹	-۱,۴۱۷
۰,۴۰۸۵	۰,۳۹۶۹	۰,۳۸۵۶	-۱,۳۳۳

جدول-۲ (ادامه)

بسامد قطع بالا $n_h$ cycles/m	بسامد مرکزی $n_c = 2^{\text{EXP}}$ cycles/m	بسامد قطع پایین $n_l$ cycles/m	توان <sup>a</sup> EXP
باندهای اکتاو یکدوازدهم			
۰,۴۳۲۸	۰,۴۲۰۴	۰,۴۰۸۵	-۱,۲۵۰
۰,۴۵۸۵	۰,۴۴۵۴	۰,۴۳۲۸	-۱,۱۶۷
۰,۴۸۵۸	۰,۴۷۱۹	۰,۴۵۸۵	-۱,۰۸۳
۰,۵۱۴۷	۰,۵	۰,۴۸۵۸	-۱
۰,۵۴۵۳	۰,۵۲۹۷	۰,۵۱۴۷	-۰,۹۱۷
۰,۵۷۷۷	۰,۵۶۱۲	۰,۵۴۵۳	-۰,۸۳۳
۰,۶۱۲۰	۰,۵۹۴۶	۰,۵۷۷۷	-۰,۷۵۰
۰,۶۴۸۴	۰,۶۳۰۰	۰,۶۱۲۰	-۰,۶۶۷
۰,۶۸۷۰	۰,۶۶۷۴	۰,۶۴۸۴	-۰,۵۸۳
۰,۷۲۷۸	۰,۷۰۷۱	۰,۶۸۷۰	-۰,۵۰۰
۰,۷۷۱۱	۰,۷۴۹۲	۰,۷۲۷۸	-۰,۴۱۷
۰,۸۱۷۰	۰,۷۹۳۷	۰,۷۷۱۱	-۰,۳۳۳
۰,۸۶۵۵	۰,۸۴۰۹	۰,۸۱۷۰	-۰,۲۵۰
۰,۹۱۷۰	۰,۸۹۰۹	۰,۸۶۵۵	-۰,۱۶۷
۰,۹۷۱۵	۰,۹۴۳۹	۰,۹۱۷۰	-۰,۰۸۳
۱,۰۲۹۳	۱	۰,۹۷۱۵	.
۱,۰۹۰۵	۱,۰۵۹۵	۱,۰۲۹۳	۰,۰۸۳
۱,۱۵۵۴	۱,۱۲۲۵	۱,۰۹۰۵	۰,۱۶۷
۱,۲۲۴۱	۱,۱۸۹۲	۱,۱۵۵۴	۰,۲۵۰
۱,۲۹۶۸	۱,۲۵۹۹	۱,۲۲۴۱	۰,۳۳۳
۱,۳۷۴۰	۱,۳۳۴۸	۱,۲۹۶۸	۰,۴۱۷
۱,۴۵۵۷	۱,۴۱۴۲	۱,۳۷۴۰	۰,۵۰۰
۱,۵۴۲۲	۱,۴۹۸۳	۱,۴۵۵۷	۰,۵۸۳
۱,۶۳۳۹	۱,۵۸۷۴	۱,۵۴۲۲	۰,۶۶۷
۱,۷۳۱۱	۱,۶۸۱۸	۱,۶۳۳۹	۰,۷۵۰
۱,۸۳۴۰	۱,۷۸۱۸	۱,۷۳۱۱	۰,۸۳۳
۱,۹۴۳۱	۱,۸۸۷۷	۱,۸۳۴۰	۰,۹۱۷
۲,۰۵۸۶	۲	۱,۹۴۳۱	۱
۲,۱۸۱۰	۲,۱۱۸۹	۲,۰۵۸۶	۱,۰۸۳
۲,۳۱۰۷	۲,۲۴۴۹	۲,۱۸۱۰	۱,۱۶۷

جدول-۲ (ادامه)

بسامد قطع بالا $n_h$ cycles/m	بسامد مرکزی $n_c = 2^{\text{EXP}}$ cycles/m	بسامد قطع پایین $n_l$ cycles/m	توان <sup>a</sup> EXP
باندهای اکتاو یکدوازدهم			
۲,۴۴۸۱	۲/۳۷۸۴	۲,۳۱۰۷	۱,۲۵۰
۲,۵۹۳۷	۲,۵۱۹۸	۲,۴۴۸۱	۱,۳۳۳
۲,۷۴۷۹	۲,۶۶۹۷	۲,۵۹۳۷	۱,۴۱۷
۲,۹۱۱۳	۲,۸۲۸۴	۲,۷۴۷۹	۱,۵۰۰
۳,۰۸۴۴	۲,۹۹۶۶	۲,۹۱۱۳	۱,۵۸۳
۳,۲۶۷۸	۳,۱۷۴۸	۳,۰۸۴۴	۱,۶۶۷
۳,۴۶۲۱	۳,۳۶۳۶	۳,۲۶۷۸	۱,۷۵۰
۳,۶۶۸۰	۳,۵۶۳۶	۳,۴۶۲۱	۱,۸۳۳
۳,۸۸۶۱	۳,۷۷۵۵	۳,۶۶۸۰	۱,۹۱۷
۴,۱۱۷۲	۴	۳,۸۸۶۱	۲
۴,۳۶۲۰	۴,۲۳۷۹	۴,۱۱۷۲	۲,۰۸۳
۴,۶۲۱۴	۴,۴۸۹۸	۴,۳۶۲۰	۲,۱۶۷
۴,۸۹۶۲	۴,۷۵۶۸	۴,۶۲۱۴	۲,۲۵۰
۵,۱۸۷۴	۵,۰۳۹۷	۴,۸۹۶۲	۲,۳۳۳
۵,۴۹۵۸	۵,۳۳۹۴	۵,۱۸۷۴	۲,۴۱۷
۵,۸۲۲۶	۵,۶۵۶۹	۵,۴۹۵۸	۲,۵۰۰
۶,۱۶۸۸	۵,۹۹۳۲	۵,۸۲۲۶	۲,۵۸۳
۶,۵۳۵۷	۶,۳۴۹۶	۶,۱۶۸۸	۲,۶۶۷
۶,۹۲۴۳	۶,۷۲۷۲	۶,۵۳۵۷	۲,۷۵۰
۷,۳۳۶۰	۷,۱۲۷۲	۶,۹۲۴۳	۲,۸۳۳
۷,۷۷۲۳	۷,۵۵۱۰	۷,۳۳۶۰	۲,۹۱۷
۸,۲۳۴۴	۸	۷,۷۷۲۳	۳
<b>بیانیه</b> - یک همپوشانی کوچک بین پایین ترین باند اکتاو یکدوازدهم و بالاترین باند اکتاو یکسوم وجود دارد. این همپوشانی مقادیر ۰/۵، ۱، ۲، ۴ را به عنوان بسامدهای مرکزی در باندهای یکدوازدهم حفظ می کند. این مسئله کار را برای محاسبه مشخصات جاده (به بند ب-۴ پیوست ب مراجعه شود) بالافصله از هموار سازی باند یکدوازدهم؛ راحت می کند.			
<sup>a</sup> Exponent			

## ۲-۵ داده‌های چندمسیری

داده‌های پروفیل جاده چندمسیره باید به صورت منحنی PSD هر مسیر مطابق زیربند ۱-۵ توصیف و منحنی‌های رابطه‌مندی آنها به صورت تابع همدوسی<sup>۱</sup> آنها بیان شود (به فرمول ۴ مراجعه شود).

$$\gamma^2 = \frac{G_{12}^2(.)}{G_1(.) \cdot G_2(.)} \quad (4)$$

زمانی که بیش از دو مسیر اندازه‌گیری می‌شود، مسیر نزدیک به لبه جاده که بیشترین رفت و آمد در آن انجام شده باشد باید به عنوان مسیر مرجع برای محاسبه توابع همدوسی در نظر گرفته شود. منحنی باید براساس توصیفات زیربند ۱-۵، هموارسازی شود.

## ۳-۵ گزارش

### ۱-۳-۵ عمومی

گزارش باید شامل یک یا چند صفحه حاوی منحنی و اطلاعات عمومی باشد.

### ۲-۳-۵ صفحه حاوی منحنی داده‌های یک‌مسیره

صفحه حاوی منحنی برای داده‌های تک‌مسیره باید شامل PSD هموارسازی نشده و PSD هموارسازی شده باشد. هنگامی که اطلاعات در یک صفحه داده می‌شود، بهتر است منحنی‌های مجزا با دقیقت متمایز شوند.

صفحه حاوی منحنی PSD باید شامل اطلاعات داده شده در زیربندهای ۳-۱-۴-۳-۵، ۳-۱-۴-۳-۵، ۴-۱-۴-۳-۵، ۵-۱-۴-۳-۵ و ۲-۳-۵-۳-۵ باشد.

همچنین توصیه می‌شود مشخصات پروفیل جاده توصیف شده در پیوست ب، از جمله مشخصات باند اکتاو و عمومی جاده و PSD برآششده در صفحه داده‌ها نشان داده شود. (برای مثال به شکل الف-۳ و شکل الف-۵ پیوست الف مراجعه شود)

### ۳-۳-۵ صفحه حاوی منحنی داده‌های چندمسیره

برای داده‌های چندمسیره، صفحه‌های هر PSD باید مطابق با آنچه در زیربند ۲-۳-۵ توصیف شد، همراه با یک صفحه منحنی برای تابع همدوس گزارش شوند. این صفحه باید شامل منحنی همدوسی هموارسازی شده باشد. عرض مسیر باید روی این صفحه نشان داده شود.

وقتی اطلاعات روی صفحه داده شده باشد، بهتر است منحنی‌های جداگانه به دقیقت متمایز شوند.

### ۴-۳-۵ پارامترهای آنالیز

۱-۴-۳-۵ برای همه فرم‌های آنالیز مکانی، اطلاعات زیر باید گزارش شوند:

۱-۴-۳-۵ روش آنالیز مورد استفاده، آنالوگ یا دیجیتال مشخص شود.

۲-۱-۴-۳-۵ فیلترهای پیش‌پردازش باید از نظر بسامد مکانی قطع، شیب (dB/octave) و نوع فیلتر (برای مثال فیلتر با ترورث<sup>۱</sup>) گزارش شوند. در مورد آنالیزهای دیجیتالی، گزارش باید شامل فیلتر ضدپله‌گی<sup>۲</sup> باشد.

۳-۱-۴-۳-۵ تفکیک‌پذیری پهنهای باند: در مورد تجزیه پهنهای باند ثابت نسبی، کافیست که فقط بخشی از پهنهای باند اکتاو را توضیح دهید.

۴-۱-۴-۳-۵ فاصله واقعی طی شده داده‌ها بر حسب متر، آنالیز و گزارش شده است.

برای تعیین کمیت طول موج‌های m با دقت آماری ۶۰٪ در تفکیک‌پذیری بسامد مکانی ۱۰۰۰ cycles/m، فاصله طی شده باید حداقل m ۱۰۰ باشد.

در بعضی موارد، ممکن است دستیابی به این حدود غیرممکن باشد یا اصلاً ممکن نباشد، مثل جاده‌های کوتاه یا برای مطالعه فرم‌های خاصی از سطوح. در این مورد، یادداشتی در مورد وضعیت الزامی است. برای بحث درباره دقت آماری، به پیوست ت مراجعه شود.

۵-۱-۴-۳-۵ دقت آماری برآورد طیفی داده‌ها: در مورد آنالیز پهنهای باند ثابت نسبی، دقت آماری باریک‌ترین پهنهای باند باید گزارش شود. دقت آماری باید به صورت مقدار ٪ ± تفسیر و به ازای سطح اطمینان ٪ ۹۵ بر مبنای خطای تصادفی محاسبه شود (برای مثال دقت آماری باید به صورت ۱/۹۶ برابر خطای استاندارد نرمال‌سازی شده ذکر شود).

۲-۴-۳-۵ برای آنالیزهای طیفی آنالوگ، علاوه بر آنچه در زیربند ۱-۴-۳-۵ مشخص شده، اطلاعات زیر باید گزارش شود.

۱-۲-۴-۳-۵ کلاس فیلترهای پهنهای باند باید مطابق با استاندارد IEC 61260-1 باشد.

۲-۲-۴-۳-۵ شیب‌ها (dB/octave) و نوع فیلتر پهنهای باند ثابت ذکر شود.

۳-۴-۳-۵ برای آنالیزهای طیفی دیجیتال علاوه بر آنچه در زیربند ۱-۴-۳-۵ مشخص شده، اطلاعات زیر باید گزارش شود.

1- Butterworth

2 - Anti-aliasing filter

۱-۳-۴-۳-۵ روش‌های خاص استفاده شده (مانند تبدیل فوریه سریع، میانگین حاصل ضرب زمان‌های پس‌افت<sup>۱</sup>، فیلتر دیجیتال پیوسته).

۲-۳-۴-۳-۵ بسامد مکانی نمونه‌برداری.

۳-۴-۳-۵ تابع پنجره نمونه‌برداری، ضریب تصحیح استفاده شده.

۴-۳-۴-۳-۵ تفکیک‌پذیری پهنانی باند گزارش شده، اگر متفاوت از پهنانی باند آنالیز باشد (برای مثال وقتی هموارسازی بسامد مورد استفاده قرار می‌گیرد).

### ۵-۳-۵ شرایط آزمون

۱-۵-۳-۵ تاریخ اندازه‌گیری باید گزارش شود.

۲-۵-۳-۵ ابزارهای مورد استفاده باید به صورت زیر گزارش شود:

۱-۲-۵-۳-۵ شرح مختصری از سیستم اندازه‌گیری

الف- طراحی مکانیکی.

ب- وسیله اسکن کردن:

- در مورد وسیله تماسی (برای مثال چرخ): توضیح راجع به طراحی (برای مثال چرخ نرم)، جرم، فشار تایر، ابعاد تایر، قطر موثر، بار آزمایش اسمی و ابعاد ناحیه تماس زیر بار اسمی آزمایش؛

- در مورد وسیله غیرتماسی (برای مثال سیستم رادار): تفکیک‌پذیری، ابعاد ناحیه اندازه‌گیری شده مؤثر و غیره.

پ- توانایی تجهیزات برای در نظر گرفتن اریبی<sup>۲</sup> شیب و تاثیرات شیب عرضی در مسافت‌های طولانی و طول موج‌های بلند.

۲-۲-۵-۳-۵ فلوچارتی که نشان دهنده مبدل‌ها، سنجش از راه دور<sup>۳</sup>، ثبات‌ها، فیلترها و غیره.

۳-۲-۵-۳-۵ بهتر است زنجیره کالیبراسیون و ادوات سیستم اندازه‌گیری با دقیق‌تر گزارش شوند. بهتر است جزئیات طراحی، روش تضمین درستی و تابع انتقال هر کدام در گزارش یا در فهرست مراجع استفاده شده ارائه شوند.

۴-۲-۵-۳-۵ بسامدهای قطع فیلترهای استفاده شده هنگام ثبت داده‌ها.

1- Mean lagged product

2- Bias

3- Telemetry

۳-۵-۳-۵ توصیف جاده یا زمین باید به شرح زیر گزارش شود.

۳-۵-۳-۵ ۱- تعريف جاده: کشور، شماره جاده، مکان، روستا، مسیر و در صورت امکان نقشه‌ای کوچک. همچنین تراکم ترافیک (در صورت امکان، میانگین ترافیک روزانه در سال (AADT)، سرعت متعارف وسیله نقلیه و دیگر اطلاعات توصیفی مربوط باید گزارش شود.

۳-۵-۳-۵ ۲- پروفیل جاده باید حداقل راجع به نوع سطح (کف بتونی، خاک کوبیده، سنگفرش و غیره) و شرایط سطح (سنگفرش نو، جاده فرسوده، جاده با نگهداری ضعیف و غیره)، شیب (شیب طولی)، شیب جنبی (شیب عرضی)، و شعاع قوس (اگر وجود داشته باشد). در مورد اندازه‌گیری بروز جاده‌ای، بهتر است مقاومت نفوذ مخروط خاک<sup>۱</sup> با اشاره به روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده یا توصیف آن گزارش شود. (به استانداردهای ISO 22476-3، ISO 22476-1 و مرجع شماره [18] کتابنامه مراجعه شود).

۳-۵-۳-۵ ۳- تعريف مسیر اندازه‌گیری شده: فاصله از مسیر اندازه‌گیری شده تا کناره نزدیک جاده. توصیه می‌شود کروکی جاده ترسیم و در آن مسیرهای اختصاصی دوچرخه، پارکینگ و مسیر تردد اصلی نشان داده شود. بهتر است همه وضعیت‌های غیرعادی مشخص شود.

۳-۵-۳-۵ ۴- باید عکسی از جاده پیوست شود. این عکس باید از ارتفاع  $1/4$  m گرفته شود (تقریباً همارتفاع چشم‌های راننده ماشین سواری). همچنین در عکس باید نشانه مقیاس دو بعدی و موقعیت مسیرهای اندازه‌گیری شده مشخص باشد.

۳-۵-۳-۵ ۵- اگر داده‌های دو یا چندمسیره داده شده باشد، باید مطابق با زیربند ۳-۵-۳-۵ توصیف شود. فاصله بین مسیرها نیز باید داده شود.

---

1- The cone penetration resistance of the soil

## پیوست الف

### (آگاهی دهنده)

#### مثالی از یک گزارش

##### الف-۱ کلیات

این پیوست شامل داده‌های فرضی است که به عنوان مثالی از گزارش دومسیره که حداقل الزامات این استاندارد را برآورده می‌کند، مرتب شده است. این گزارش فاقد توصیف سیستم اندازه‌گیری و عکس است.

در شکل الف-۳ و شکل الف-۵ داده‌های «یادآوری»، مشخصات توصیه شده پروفیل جاده است که در پیوست ب توصیف شده است. این مشخصات الزامی نیستند اما توصیه شده‌اند.

فرمت برگه داده‌ها استاندارد نیستند.

یادآوری - اعداد داخل پرانتزها ارجاع به زیربندهای در این استاندارد است.

##### الف-۲ پارامترهای آنالیز

آنالیز (به زیربندهای ۱-۱-۴-۳-۵ و ۱-۳-۴-۳-۵ مراجعه شود): FFT

فیلتر ضدپله‌گی (به زیربند ۱-۴-۳-۵ مراجعه شود): ۴۸ dB/octave

فیلتر باتروث: ۰,۵ cycles/m پایین‌گذر

بسامد مکانی نمونه (به زیربند ۲-۳-۴-۳-۵ مراجعه شود): ۱/۴ cycles/m

تابع پنجره نمونه‌برداری (به زیربند ۳-۴-۳-۵ مراجعه شود): هنینگ<sup>۱</sup>

ضریب تصحیح (PSD) (به زیربند ۳-۳-۴-۳-۵ مراجعه شود): <sup>۲</sup>۱,۶۳

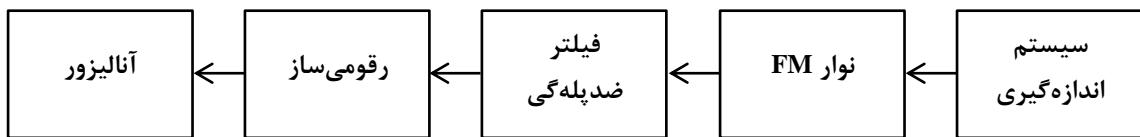
##### الف-۳ شرایط آزمون

سیستم اندازه‌گیری (به زیربندهای ۱-۲-۵-۳-۵، ۳-۲-۵-۳-۵، ۴-۲-۵-۳-۵ مراجعه شود): ...

فلوچارت (به زیربند ۲-۲-۵-۳-۵ مراجعه شود)، به شکل الف-۱ مراجعه شود.

1- Hanning

۲ - در اینجا شرح جزئیات یا مرجع استفاده شده درج می‌شود.



راهنمای:

سیستم اندازه‌گیری:  
نوار FM:  
فیلتر ضدپله‌گی:  
رقومی‌ساز:  
آنالیزور:  
مجموعه‌ای شامل سنسور، ترانسدوسر، تقویت کننده‌ی سیگنال و حذف نویه، و ...  
دستگاه ضبط سیگنال‌های دریافتی از سنسور شامل مدولاسیون فرکانس  
فیلتری که شکل موج را در نقاط گوشیدار و تیز اصلاح می‌کند  
مدار تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به سیگنال‌های دیجیتال  
تبدیل کننده‌ی سیگنال‌های دیجیتالی به منحنی‌های استاندارد

شکل الف-۱- فلوچارت سیستم اندازه‌گیری

#### الف-۴ شرح جاده

تعريف جاده (۱-۳-۵-۳)، به شکل الف-۲ مراجعه شود.

- ترافیک: AADT (میانگین ترافیک روزانه در سال)<sup>۱</sup> ، ۴۲۰۰ خودرو در هر روز
- سرعت متعارف وسیله نقلیه: ۹۰ km/h

پروفیل جاده (به زیربند ۳-۵-۳-۵-۳ مراجعه شود)

- کف(جاده) بتنی، ۱۰ سال قدمت
- درجه: ۰٪
- شبیه: ۰,۰۶٪
- بدون پیچ
- عکس (۳-۵-۳-۵-۳): ...

۱- Annual average daily traffic

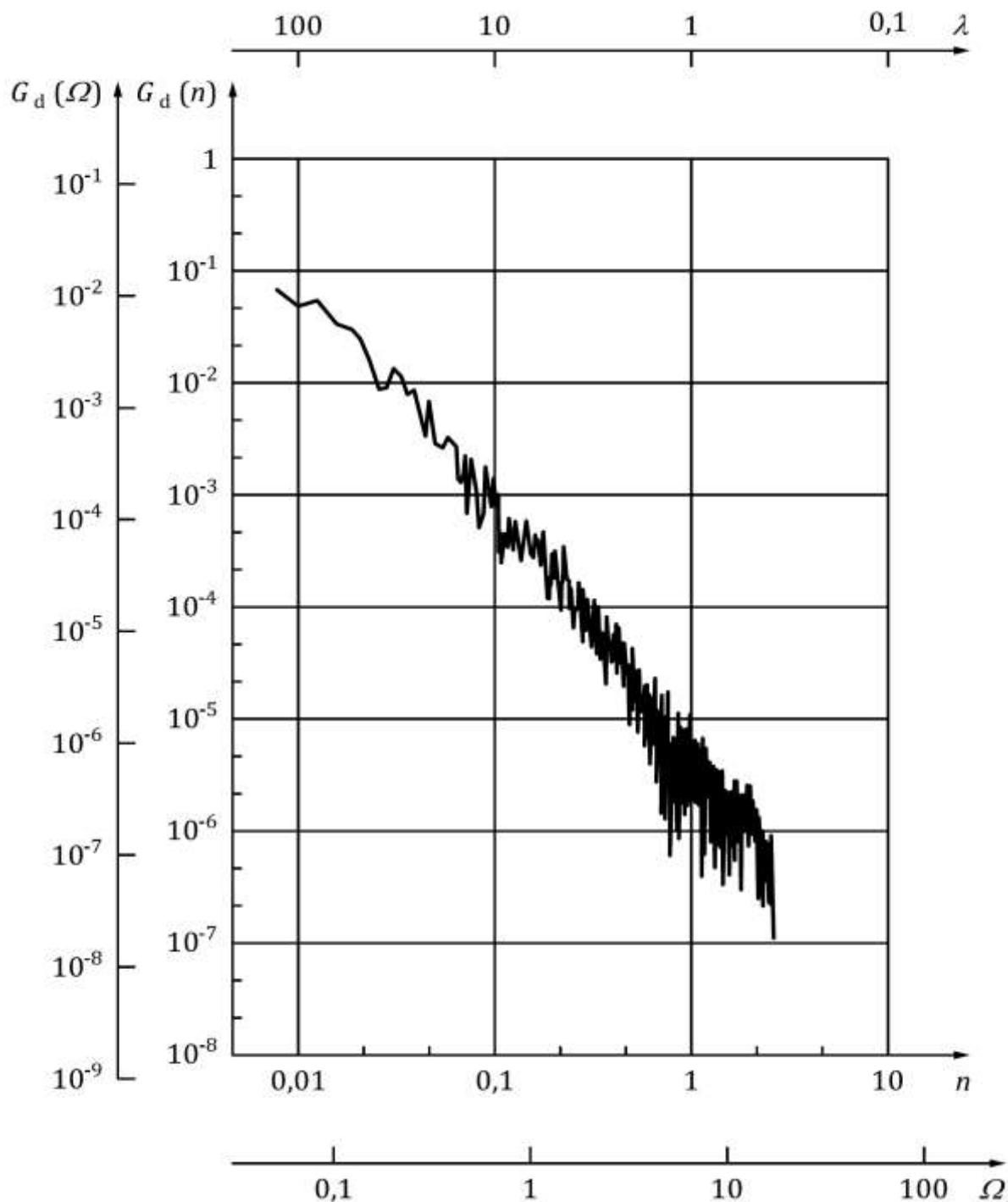
۲- در این مثال آورده نشده است

### الف-۵ مشخصات جاده

مشخصات اکتاو و عمومی برای شکل الف-۳ و شکل الف-۵ در جدول الف-۱ داده شده است.

جدول الف-۱- مشخصه‌سازی اکتاو و عمومی

شکل الف-۵		شکل الف-۳			بسامد مرکزی $n_c$ cycles/m
$G_d(n_c)$ $10^{-6} \text{ m}^3$	r.m.s جابه‌جایی m	$G_d(n_c)$ $10^{-6} \text{ m}^3$	r.m.s جابه‌جایی m		
۸۱۷۶۸,۹۱	۰,۰۲۱۳	۷۶۱۵۷,۲۰	۰,۰۲۰۵	۰,۰۰۷۸	
۳۶۹۸۷,۶۱	۰,۰۲۰۲	۴۸۸۹۴,۷۱	۰,۰۲۳۲	۰,۰۱۵۶	
۷۱۶۴,۶۶	۰,۰۱۲۶	۱۲۵۹۹,۴۷	۰,۰۱۶۷	۰,۰۳۱۲	
۳۸۲۷,۵۸	۰,۰۱۳۰	۲۸۹۵,۰۰	۰,۰۱۱۳	۰,۰۶۲۵	
۸۱۹,۹۰	۰,۰۰۰۸۵	۶۷۳,۵۵	۰,۰۰۷۷	۰,۱۲۵	
۱۰۶,۶۸	۰,۰۰۰۴۳	۱۷۲,۲۶	۰,۰۰۵۵	۰,۲۵	
۲۶,۴۵	۰,۰۰۰۳۱	۳۲,۱۲	۰,۰۰۳۴	۰,۵	
۴,۲۱	۰,۰۰۰۱۷	۴,۴۲	۰,۰۰۱۸	۱	
۱,۰۸	۰,۰۰۰۱۲	۱,۴۶	۰,۰۰۱۴	۲	
برازش خطی؛ $10^{11} \text{ cycles/m} < n < 2,83 \text{ cycles/m}$					تعیین مشخصه‌های عمومی
r.m.s = $0,0359 \text{ m}$ ; r.m.s = $0,0301 \text{ m/s}$ ; $w = 2,22$ ; $G_d(0,1 \text{ cycles/m}) = 830 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	r.m.s = $0,0384 \text{ m}$ ; r.m.s = $0,0337 \text{ m/s}$ ; $w = 2,16$ ; $G_d(0,1 \text{ cycles/m}) = 892 \times 10^{-6} \text{ m}^3$				

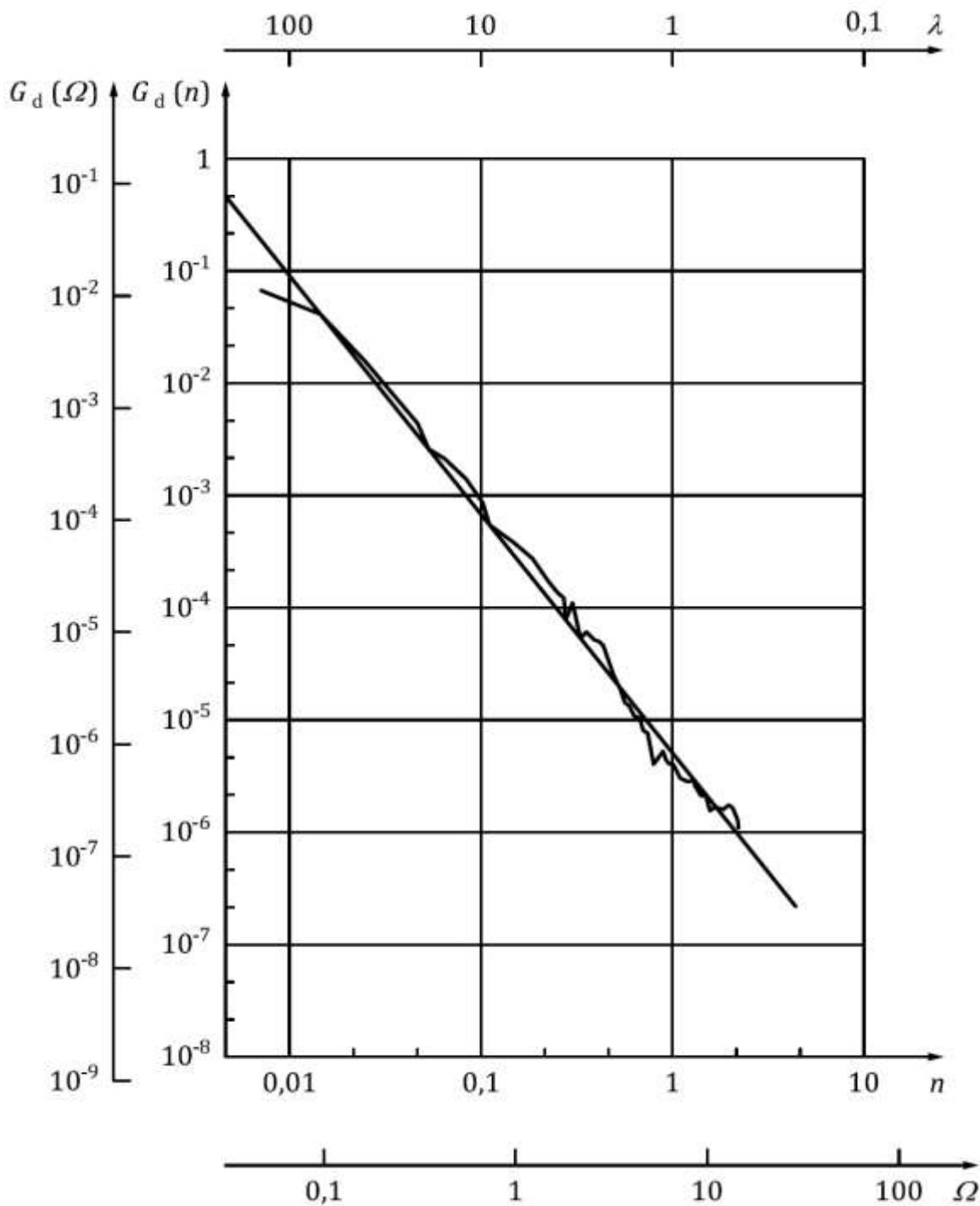


راهنمای:

بسامد مکانی، cycle/m	$n$	طول موج، m	$\lambda$
بسامد مکانی زاویه‌ای، rad/m	$\Omega$	جاهه‌جایی چگالی طیفی توان، $m^3$	$G_d(\Omega), G_d(n)$

یادآوری - کشور: بلژیک؛ جاده: N1000؛ محل: Xstad؛ جهت: از شمال به جنوب؛ سطح: کف بتون؛ فاصله از مسیر تا سمت راست جاده: ۱؛ مسافت طی شده: ۳۵۷۱ m؛  $B_0 = ۰.۰۰۲۸$  cycles/m؛  $\epsilon_r = ۰.۳۱$ ؛ دقت آماری:  $\pm ۶۱\%$ .

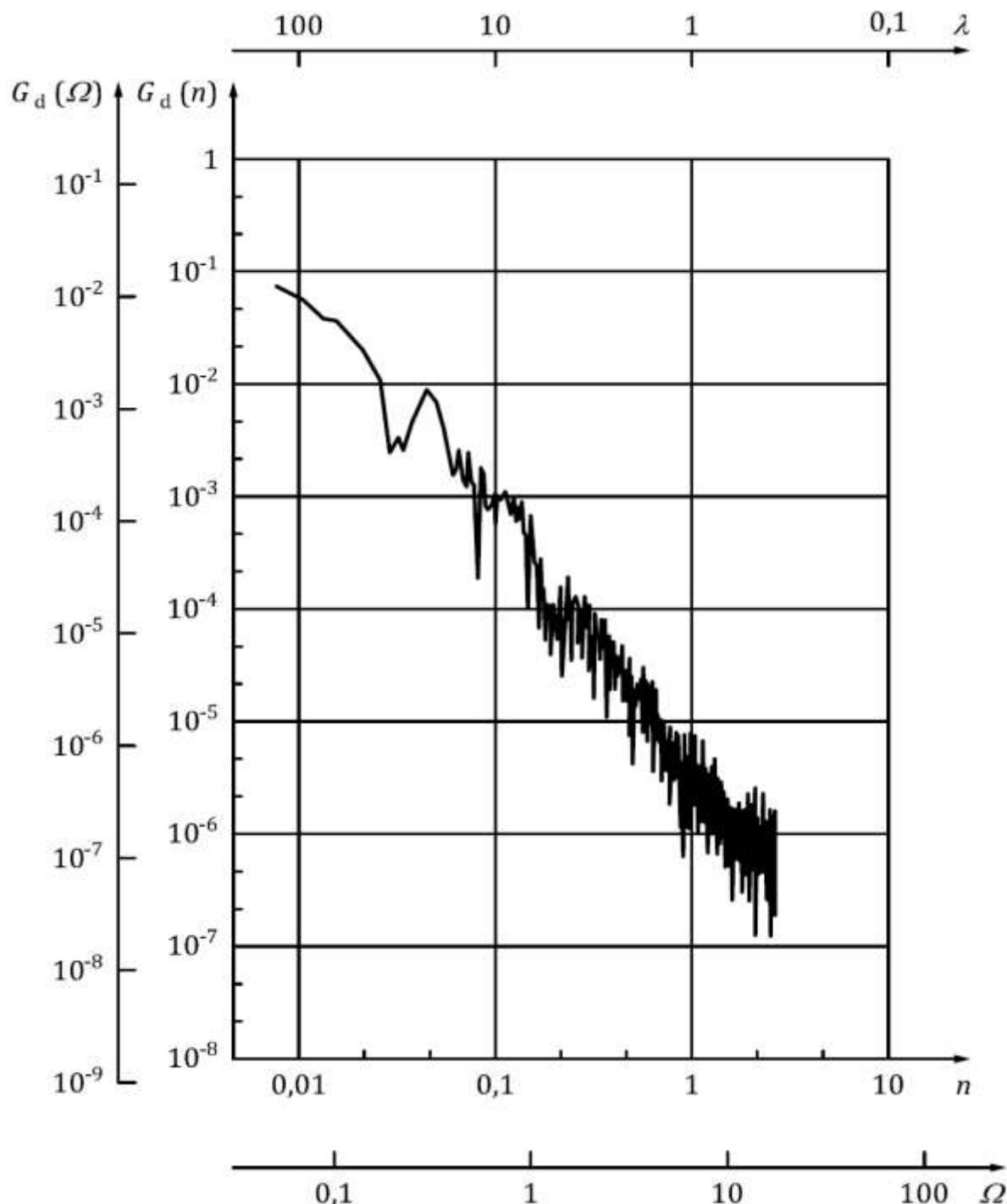
شکل الف-۲- PSD هموارسازی نشده مسیر ۱



راهنمای:

- |   |
|---|
| <b>یادآوری ۱</b> - کشور: بلژیک؛ جاده: N1000؛ محل: Xstad؛ جهت: از شمال به جنوب؛ سطح: کف بتون؛ فاصله از مسیر تا سمت راست جاده: ۱؛ مسافت طی شده: ۳۵۷۱ m؛ $G_d(\Omega)$ : $\frac{cycles/m}{rad/m}$ ؛ $n$ : $\frac{cycles/m}{rad/m}$ ؛ $\lambda$ : طول موج، m؛ $G_d(n)$ : $\frac{m^3}{m}$ ؛ $\Omega$ : بسامد مکانی زاویه‌ای، rad/m |
|---|
- برای تعیین مشخصه‌های اکتاو، به جدول الف-۱ و نیز پیوست ب مراجعه شود.

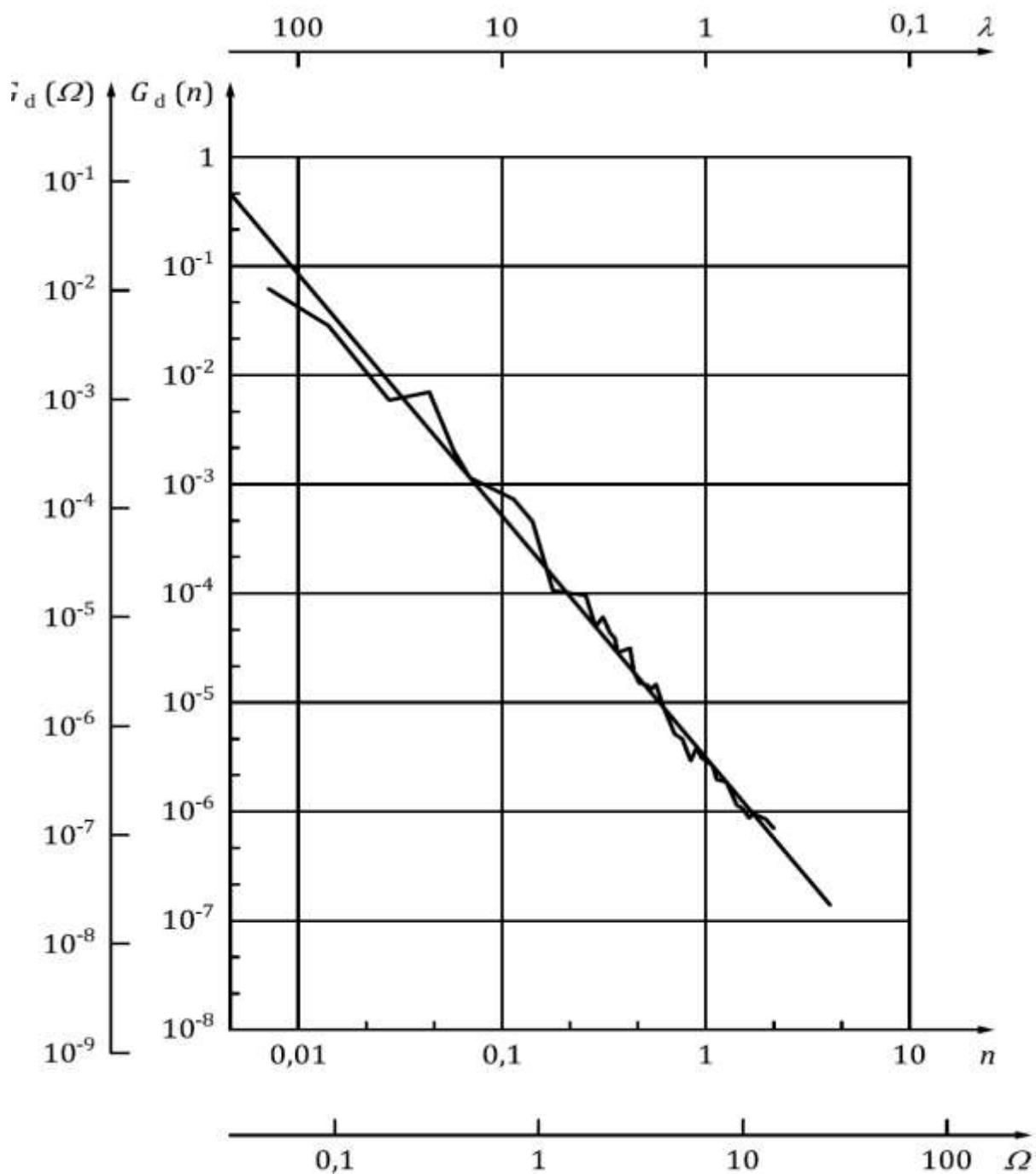
شکل الف-۳- PSD هموارسازی شده مسیر ۱



راهنمای:

بسامد مکانی، cycles/m	$n$	طول موج، m	$\lambda$
rad/m	$\Omega$	$G_d(\Omega)$ جابه‌جایی چگالی طیفی توان، $m^3$	
Xstad: جاده N1000؛ محل: Xstad؛ جهت: از شمال به جنوب؛ سطح: کف بتنون؛ فاصله از مسیر تا سمت راست جاده: ۲,۴ m؛ دقت آماری: $\pm 61\%$ ؛ $B_e = 0,0028$ cycles/m؛ $\varepsilon_r = 0,31$ ؛ مسافت طی شده: ۳۵۷۱ متر؛			

شکل الف-۴- PSD هموارسازی نشده مسیر ۲



راهنمای:

$$G_d(\Omega) \text{ جایه‌جایی چگالی طیفی توان، } \text{rad/m} \quad \lambda \text{ طول موج، } \text{m}$$

بسامد مکانی، cycles/m

$n$

بسامد مکانی زاویه‌ای، rad/m

$\Omega$

$m^3$

یادآوری ۱- کشور: بلژیک؛ جاده: N۱۰۰۰؛ محل: Xstad؛ جهت: از شمال به جنوب؛ سطح: کف بتون؛ فاصله از مسیر تا سمت راست جاده: ۲/۴ متر؛ مسافت طی شده: ۳۵۷۱ متر؛  $B_0 = ۰/۰۰۵۵$  cycles/m؛  $\xi_r = ۰/۲۳$ ؛ دقت آماری:  $\pm ۴۴\%$ .

یادآوری ۲- برای مشخصه سازی اکتاو، به جدول الف-۱ و نیز پیوست ب مراجعه شود.

### شکل الف-۵- PSD هموارسازی شده مسیر ۲

#### پیوست ب

(آگاهی دهنده)

### مشخصات پروفیل جاده و برازش PSD

#### ب-۱ کلیات

در این پیوست، تمهیداتی برای تعیین مشخصه‌های تقریبی پروفیل‌های جاده‌ای ویژه به منظور تسهیل تقسیم پروفیل‌های جاده‌ای در طبقه‌بندی‌های کلی ارائه شده است. نمونه‌ای از طبقه‌بندی کلی و برای مشخص کردن داده‌های طیفی نیز یک روش برازش منحنی ارائه شده است.

#### ب-۲ نمادها

نمادهای استفاده شده در این پیوست در جدول ب-۱ آورده شده است.

#### جدول ب-۱- نمادها

واحد	توصیف	نماد
cycles/m	بسامد مکانی	$n$
cycles/m	بسامد مکانی مرجع ( $= 0,1$ cycles/m)	$n_0$
$m^3$	جابه‌جایی PSD	$G_d(.)$
$m^{-1}$	شتاب PSD	$G_a(.)$
-	توان PSD برازش شده روی $G_d(.)$ محاسبه شده	$w$
-	توان PSD برازش شده روی $G_a(.)$ محاسبه شده	$w'$
rad/m	بسامد مکانی زاویه‌ای	$\Omega$
rad/m	بسامد مکانی زاویه‌ای مرجع ( $= 1$ rad/m)	$\Omega_0$

یادآوری - نشانه (.) به این معنا است که پارامتر تابع می‌تواند بسامد مکانی ( $n$ ) یا بسامد مکانی زاویه‌ای ( $\Omega$ ) باشد.

#### ب-۳ تعیین مشخصه‌های عمومی پروفیل جاده

مقدار جذر میانگین مربع (r.m.s) بین  $n = ۲,۸۳$  cycles/m ( $\Omega = ۰,۰۶۳$  rad/m) و  $n = ۰,۱۱$  cycles/m ( $r.m.s = ۰,۰۰۱$  rad/m) محاسبه شده از PSD جابه‌جایی، باید گزارش شود. این حدود برای باندهای اکتاو در  $\Omega = ۱۷,۷۷$  rad/m)

زیربند ۵-۱ و بند ب-۴ محاسبه می‌شود. این حدود در ارتباط با داده‌های بسامدی موجود در مقاله انتخاب شده‌اند.

برای داده‌های برونجاده‌ای، مطالعات خاص و مسافت‌های طی شده کوتاه، این گستره بسامد مکانی می‌تواند کمتر باشد. در آن صورت گستره بسامد مکانی باید گزارش شود.

#### ب-۴ تعیین مشخصه‌ها در باندهای اکتاو

برای بهدست آوردن داده‌های قابل ارزیابی و طبقه‌بندی، بهتر است طیف به باندهای اکتاو تقسیم، و مقادیر r.m.s محاسبه شده از PSD جایه‌جایی، برای هر باند یادداشت شود. بسامدهای مرکزی در جدول ب-۲ برای هر دو بسامد مکانی  $n$  بسامد مکانی زاویه  $\Omega$  داده شده است.

تعیین مشخصه‌های توصیف شده در باندهای ب-۳ و ب-۴ را می‌توان با یک محاسبه تکمیلی ساده و مختصر پس از پردازش PSD هموارسازی شده محاسبه کرد.

#### ب-۵ برازش شده PSD

شكل هموارسازی شده PSD را می‌توان با یک خط مستقیم روی داده‌های هموارسازی شده (به زیربند ۵-۲) مراجعه شود) به وسیله روش کمترین میانگین مربعات در گستره بسامد مکانی cycles/m<sup>۰.۰۱۱</sup> تا cycles/m<sup>۰.۳۸</sup> برازش کرد. این برازش را می‌توان روی منحنی عمومی ارائه کرد. فرمول برازش باید گزارش شود.

شكل عمومی PSD برازش شده مطابق با فرمول (ب-۱):

$$G_d(n) = G_d(n_0) \cdot (n/n_0)^{-w} \quad (b-1)$$

یا مطابق با فرمول ب-۲ تعیین می‌شود:

$$G_d(\Omega) = G_d(\Omega_0) \cdot (\Omega/\Omega_0)^{-w} \quad (b-2)$$

که در آن:

$n_0$  مرجع بسامد مکانی است؛ cycles/m<sup>۰.۱</sup>

$\Omega_0$  مرجع بسامد مکانی زاویه‌ای است؛ rad/m<sup>۱</sup>

توان PSD برازش شده است.  $w$

زمانی که برازش روی PSD شتاب محاسبه شده باشد توان برابر است با:  $w' = w - 4$

یادآوری- در این پیوست، فقط برازش تک خط مستقیم ارائه شده است. در مقالات، غالباً از برازش خط دوخط مستقیم یا چندخط مستقیم استفاده می‌شود، به این ترتیب استانداردسازی روشی که قطعاً راه حل یگانه‌ای را تعیین کند عملأ ناممکن است.

## جدول ب-۲- بسامدهای مرکزی و بسامدهای قطع برای تعیین مشخصه‌های PSD در باندهای اکتاو

طول موج مرکزی m	بسامد قطع بالا	بسامد مرکزی <sup>a</sup>	بسامد قطع پایین	توان Exp
بسامد مکانی cycles/m <i>n</i>				
۵۱۲	۰,۰۰۰۲۸	۰,۰۰۰۲۰	۰,۰۰۱۴	-۹
۲۵۶	۰,۰۰۰۵۵	۰,۰۰۰۳۹	۰,۰۰۲۸	-۸
۱۲۸	۰,۰۱۱۰	۰,۰۰۰۷۸	۰,۰۰۰۵۵	-۷
۶۴	۰,۰۲۲۱	۰,۰۱۵۶	۰,۰۱۱۰	-۶
۳۲	۰,۰۴۴۲	۰,۰۳۱۲	۰,۰۲۲۱	-۵
۱۶	۰,۰۸۸۴	۰,۰۶۲۵	۰,۰۴۴۲	-۴
۸	۰,۱۷۶۸	۰,۱۲۵	۰,۰۸۸۴	-۳
۴	۰,۳۵۳۶	۰,۲۵	۰,۱۷۶۸	-۲
۲	۰,۷۰۷۱	۰,۵	۰,۳۵۳۶	-۱
۱	۱,۴۱۴۲	۱	۰,۷۰۷۱	.
۰,۵	۲,۸۲۸۴	۲	۱,۴۱۴۲	۱
۰,۲۵	۵,۶۵۶۹	۴	۲,۸۲۸۴	۲
۰,۱۲۵	۱۱,۳۱۳۷	۸	۵,۶۵۶۹	۳
بسامد مکانی زاویه‌ای $\Omega$ rad/m				
۵۱۲	۰,۰۱۷۴	۰,۰۱۲۳	۰,۰۰۸۷	-۶,۳۵
۲۵۶	۰,۰۳۴۷	۰,۰۲۴۵	۰,۰۱۷۴	-۵,۳۵
۱۲۸	۰,۰۶۹۴	۰,۰۴۹۱	۰,۰۳۴۷	-۴,۳۵
۶۴	۰,۱۳۸۸	۰,۰۹۸۲	۰,۰۶۹۴	-۳,۳۵
۳۲	۰,۲۷۷۷	۰,۱۹۶۳	۰,۱۳۸۸	-۲,۳۵
۱۶	۰,۵۵۵۴	۰,۳۹۲۷	۰,۲۷۷۷	-۱,۳۵
۸	۱,۱۱۰۷	۰,۷۸۵۴	۰,۵۵۵۴	-۰,۳۵
۴	۲,۲۲۱۴	۱,۵۷۰۸	۱,۱۱۰۷	۰,۶۵
۲	۴,۴۴۲۹	۳,۱۴۱۶	۲,۲۲۱۴	۱,۶۵
۱	۸,۸۸۵۸	۶,۲۸۳۲	۴,۴۴۲۹	۲,۶۵
۰,۵	۱۷,۷۷۱۶	۱۲,۵۶۶۴	۸,۸۸۵۸	۳,۶۵
۰,۲۵	۳۵,۵۴۳۱	۲۵,۱۳۲۸	۱۷,۷۷۱۶	۴,۶۵
۰,۱۲۵	۷۱,۰۸۶۳	۵۰,۲۶۵۶	۳۵,۵۴۳۱	۵,۶۵

$$2^{\text{EXP}} = \frac{a}{\text{بسامد مرکزی}}$$

## پیوست پ

### (آگاهی دهنده)

#### راهنمای عمومی برای استفاده از توصیف آماری پروفیل جاده

##### پ-۱ کلیات

این پیوست راهنمای عمومی برای استفاده از داده‌های آماری پروفیل جاده را برای مطالعات شبیه‌سازی و مطالعات مرتبط مثل ارزیابی آسایش، سیستم‌های تعلیق و پروفیل‌های جاده فراهم می‌کند. فرض بر این است که توان PSD برازش شده  $w=2$  است به طوری که PSD سرعت، ثابت است.

##### پ-۲ نمادها

نمادهای مورد استفاده در این پیوست در جدول پ-۱ آورده شده است.

##### پ-۳ ارتباط بین بسامد زمانی و بسامد مکانی

شکل پ-۱ ارتباط بین سرعت وسیله نقلیه، بسامد مکانی و بسامد زمانی را نشان می‌دهد. دانستن بسامدهای تشدید و گستره سرعت برای کلاس وسیله نقلیه معین، انتخاب حدود قابل استفاده برای آن کلاس وسیله نقلیه را امکان‌پذیر می‌کند.

حالت کلی برای این ارتباط در فرمول پ-۱

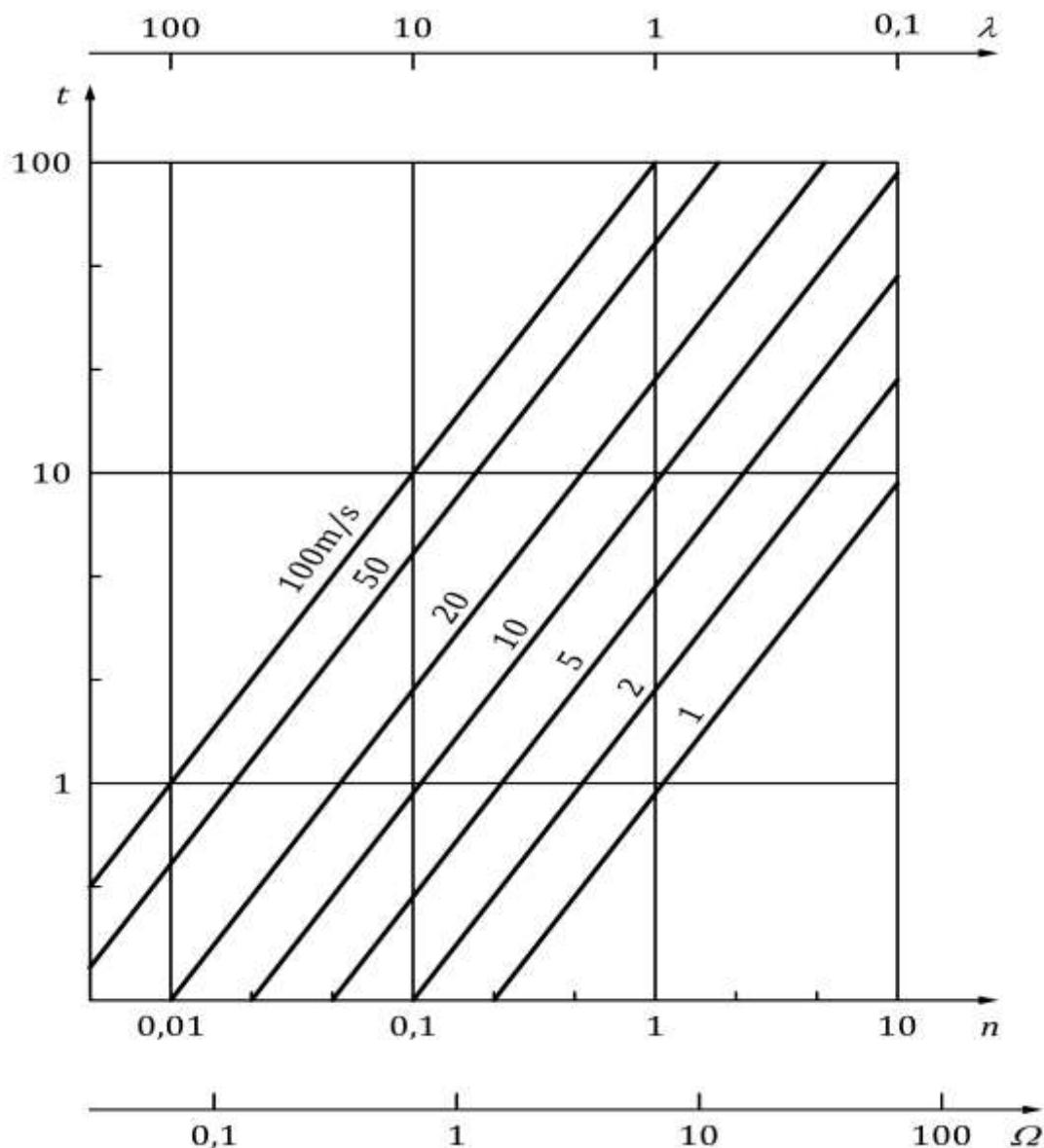
$$f = n \cdot v \quad (پ-۱)$$

یا در فرمول پ-۲ تعیین شده است:

$$\omega = \Omega \cdot v \quad (پ-۲)$$

## جدول پ-۱- نمادها

نماد	شرح	واحد
$f$	بسامد زمان	Hz
$G_d(.)$	PSD جابه جایی	$m^3$
$G_v(.)$	PSD سرعت	m
$G_a(.)$	PSD شتاب	$m^{-1}$
$l$	فاصله بین محور جلو و محور عقب وسیله نقلیه	m
$n$	بسامد مکانی	cycles/m
$n_c$	بسامد مکانی مرکزی برای یک باند بسامد	cycles/m
$n_0$	بسامد مکانی مرجع ( $= 1/10$ cycles/m)	cycles/m
$R$	شعاع تایر	m
$T$	ثابت زمانی فیلتر	s
$\Delta t$	تاخیر زمانی برای شبیه سازی چهار مسیری (دوم حوری)	s
$v$	سرعت وسیله نقلیه	m/s
$w$	توان PSD برازش شده روی (.) محاسبه شده	-
$\omega$	بسامد زاویه ای ( $= 2\pi f$ )	rad/s
$\Omega$	بسامد مکانی زاویه ای ( $= 2\pi n$ )	rad/m
$\Omega_c$	بسامد مکانی زاویه ای مرکزی یک باند بسامد	rad/m
$\Omega_0$	بسامد مکانی زاویه ای مرجع ( $= 1 \text{ rad/m}$ )	rad/m
یادآوری - نشانه (.) به این معناست که پارامتر تابع می تواند بسامد مکانی ( $n$ ) یا بسامد مکانی زاویه دار ( $\Omega$ ) باشد.		



راهنمای:

بسامد مکانی، cycle/m	$n$	طول موج، $\lambda$
بسامد مکانی زاویه‌ای، rad/m	$\Omega$	بسامد زمانی، Hz

شکل پ-۱- رابطه بین بسامد زمانی و بسامد مکانی به عنوان تابعی از سرعت وسیله نقلیه

#### پ-۴ سرعت PSD

برای مطالعات شبیه‌سازی، اغلب از نظر تغییر مختصات قائم سطح جاده بر واحد مسافت طی شده، راحت‌تر است که از PSD سرعت استفاده شود. ارتباط بین PSD جابه‌جایی ( $G_d(n)$ ) و PSD سرعت ( $G_v(n)$ ) توسط فرمول پ-۳ و پ-۴ ارائه شده است:

$$G_v(n) = G_d(n) \cdot (2\pi n)^2 \quad (\text{پ-۳})$$

$$G_v(\Omega) = G_d(\Omega) \cdot \Omega^2 \quad (\text{پ-}4)$$

هنگامی که در فرمول (پ-۵):

$$G_d(n) = G_d(n_0) \cdot (n/n_0)^{-w} \quad (\text{پ-}5)$$

توان PSD برازش شده  $\Omega^2 = w$  (به پیوست ب مراجعه شود)، آن وقتی که PSD سرعت ثابت است، همانطور که در فرمول پ-۶ و پ-۷ ارائه شده است:

$$G_v(n) = G_v(n_0) = \text{ثابت} \quad (\text{پ-}6)$$

$$G_v(\Omega) = G_v(\Omega_0) = \text{ثابت} \quad (\text{پ-}7)$$

#### پ-۵ طبقه‌بندی جاده‌ها

تخمین میزان ناهمواری جاده را می‌توان به وسیله مقدار  $G_d(n_0)$  از PSD برازش شده به دست آورد (به بند پ-۵ پیوست ب مراجعه شود). جدول پ-۲ چگالی‌های طیفی توانی را برای کلاس‌های مختلف جاده نشان می‌دهد. در شکل پ-۲ حدود کلاس روی PSD جابه‌جایی با نمودار نشان داده شده است. این طبقه‌بندی با فرض PSD سرعت ثابت، که به معنای  $w = 2$  است انجام می‌شود (به بند پ-۴ مراجعه شود).

با این حال با توجه به این واقعیت که PSD همیشه یک خط مستقیم نیست، اطلاعات بیشتر توسط چگالی طیفی توانی یا جابه‌جایی  $r.m.s$  در باندهای اکتاو مختلف داده می‌شود. به این ترتیب، می‌توان جاده را برای هر باند اکتاو در یک کلاس مناسب طبقه‌بندی کرد. همچنین می‌تواند اطلاعاتی برای روش و نیاز به تعمیر بدهد. همچنین امکان طبقه‌بندی کردن جاده برای باند مناسبی از سرعت‌ها فراهم می‌شود. برای مثال، برای بزرگراه، فرض بر این است که سرعت‌ها بین  $70 \text{ km/h}$  و  $120 \text{ km/h}$  است، باند بین  $0,0221 \text{ cycles/m}$  و  $0,1388 \text{ rad/m}$  ( $1,4142 \text{ cycles/m}$  و  $8,885 \text{ rad/m}$ ) حائز اهمیت است.

جدول پ-۳ مقدارهای متوسط و حدود را برای طبقه‌های مختلف جاده در باندهای اکتاو مختلف ارائه می‌دهد.

جدول پ-۴ مقدارهای متوسط و حدود جابه‌جایی  $r.m.s$  را برای طبقات مختلف جاده در باندهای اکتاو متفاوت ارائه می‌کند.

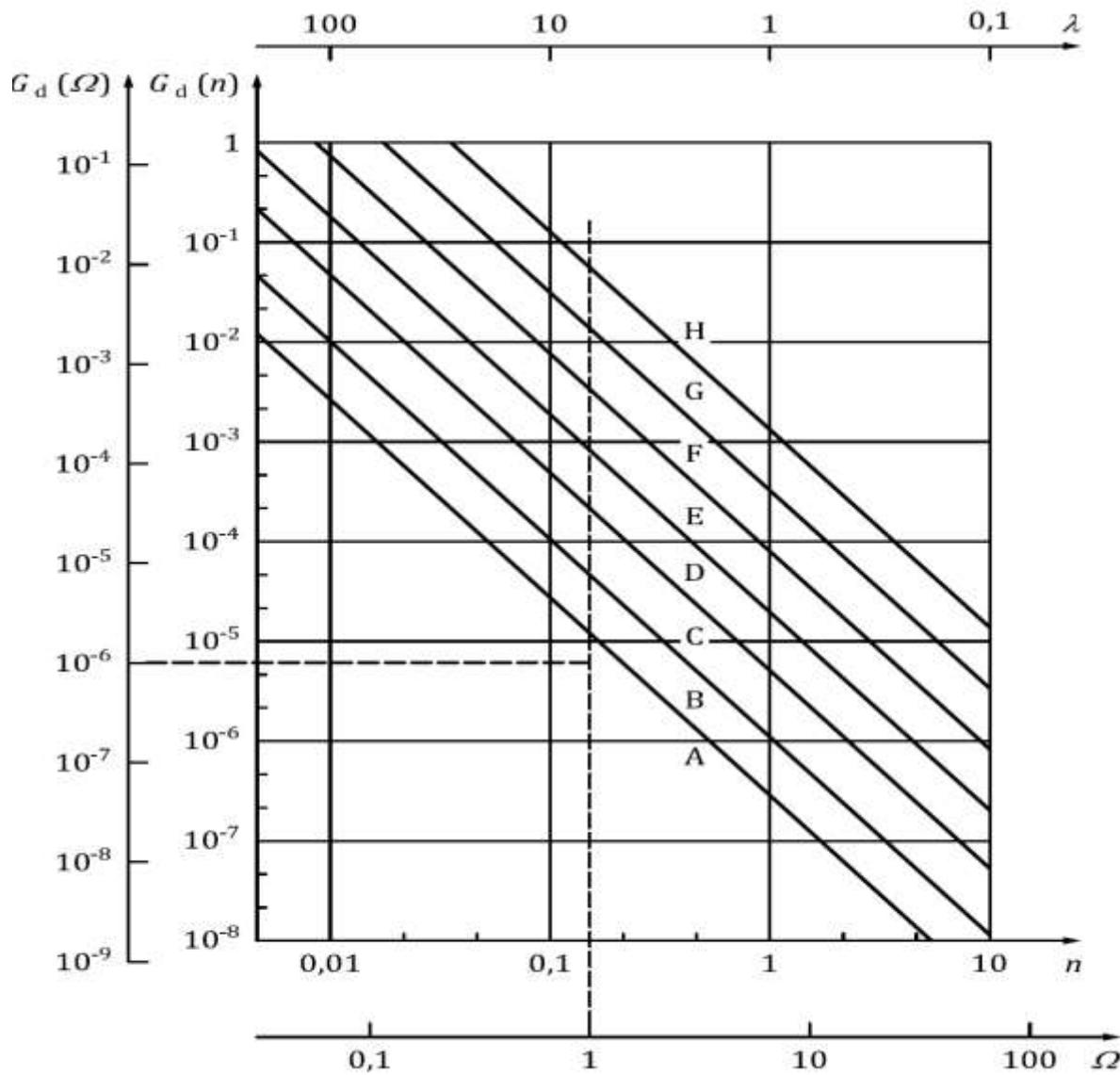
روابط داده شده در فرمول‌های (پ-۸)، (پ-۹) و (پ-۱۰) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$G_d(n_0) = 2\pi G_d(\Omega_0) \cdot [\Omega_0/(2\pi n_0)]^2 = 16G_d(\Omega_0) \quad (\text{پ-}8)$$

$$G_v(n) = G_d(n_0) \cdot (2\pi n_0)^2 \quad (\text{پ-}9)$$

$$G_v(\Omega) = G_d(\Omega_0) \cdot \Omega_0^2 \quad (\text{پ-}10)$$

یادآوری - کلمه «حد» استفاده شده در این پیوست به معنی ریاضی کلمه در ارتباط با کلمه «متوسط» اشاره دارد. به عبارت دیگر، گستره مقادیر، یک مقدار متوسط و حدودی دارد که حد نهایی محدود مقادیر را نشان می‌دهد. کلمه حد، همانطور که در این پیوست استفاده شده، نباید به معنی حد قابل قبول بودن سطح جاده تفسیر شود.



راهنمای:

بسامد مکانی، cycle/m	$n$	طول موج، m	$\lambda$
بسامد مکانی زاویه‌ای، rad/m	$\Omega$	جایه‌جایی چگالی طیفی توانی، $m^3$	$G_d(\Omega), G_d(n)$

شکل پ-۲- طبقه‌بندی جاده‌ها، کلاس A تا H

## پ-۶ راهنمای عمومی برای شبیه‌سازی جاده پ-۶-۱ کلیات

می‌توان از توصیف آماری پروفیل جاده برای شبیه‌سازی جاده آزمایشگاهی و کامپیوتراستفاده کرد هرچند می‌توان آنها را برای تعیین PSD‌های خروجی نیز به کاربرد. از آنجایی که هیچ اطلاعاتی درباره جابه‌جایی فاز ارائه نشده است، هیچ اطمینانی برای توزیع قدرمطلق اندازه پروفیل جاده وجود ندارد.

### پ-۶-۲ شبیه‌سازی یک‌مسیره (یک محور):

برای شبیه‌سازی، توصیف پروفیل جاده به عنوان یک PSD سرعت ثابت روش آسانی است ( $w = 2$ ، به بند پ-۴ مراجعه کنید).

مزیت این توصیف شبیه‌سازی بسیار ساده‌ای از جابه‌جایی با گرفتن انتگرال از نویه سفید<sup>۱</sup> است. استفاده از مشخصات دیگر معمولاً مستلزم زحمت بیشتری است و به دلیل تقریبی بودن روش‌هایی که باید به کار رود، معمولاً نتیجه نادرست به بار می‌آورد که منجر به پراکنش‌های اجتناب‌ناپذیری در نتایج آزمون‌های مقایسه‌ای می‌شود. بهتر است تاثیر تابع انتقال وسیله تکثیر در نظر گرفته شود.

### پ-۶-۳ شبیه‌سازی دومسیره (یک محور)

در شبیه‌سازی دومسیره، دو مسیر مطابق با زیربند پ-۶-۲ شبیه‌سازی شده‌اند. برای ارتباط بین دو مسیر، مطلوب است فرض شود که سطح جاده، ویژگی آیزوتروبی دارد، یعنی همه پروفیل‌های تمام قطعات جاده، صرف نظر از جهت و مکان، ویژگی‌های مشابهی دارند و تابع همدوسی حاصل از این فرض، قابل قبول است.

### پ-۶-۴ شبیه‌سازی مسیر دو یا چند محوره

در شبیه‌سازی دو یا چندمحوره خودروهای اکسل (محرك) جلو مطابق با زیربند پ-۶-۳ شبیه‌سازی شده‌اند. برای چرخ‌های متحرک می‌توان فرض کرد که چرخ‌های عقب روی پروفیل یکسان مانند چرخ جلو متناظر حرکت می‌کند. در نتیجه، چرخ عقب، بعد از تاخیری معین، همان جابه‌جایی اعمال شده متناظر با چرخ جلو را تجربه می‌کند.

تاخیر  $t$  بر حسب ثانیه، طبق فرمول پ-۱۱ تعیین می‌شود:

$$\Delta t = l/v \quad (پ-۱۱)$$

که در آن

$l$  فاصله بین محور عقب و جلوی وسیله نقلیه بر حسب متر، و

۷ سرعت وسیله نقلیه، بر حسب متر بر ثانیه است.

یادآوری- در زمین‌های روسازی نشده، عبور چرخ جلو می‌تواند مسیر پروفیل را تغییر دهد به‌طوری که پروفیل مربوط به چرخ متحرک لزوماً همان پروفیل مربوط به چرخ جلو نیست.

هرگاه شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌ساز هیدرولیکی انجام شود، بهتر است تفاوت در سفتی قائم بین تایر چرخنده و تایر غیر چرخنده در نظر گرفته شود. این تفاوت را می‌توان با استفاده از تنظیم فشار تایر و گذاشتن یک ورق با پروفیل معین بین شبیه‌ساز و تایر کاوش داد.

بهتر است برای شبیه‌سازی کامپیوتری، سفتی تایر چرخنده در نظر گرفته شود.

به منظور جلوگیری از جابه‌جایی بیش از حد در گستره بسامد زمانی کم، توصیه می‌شود کمترین بسامد را به مقدار وابسته به کمترین بسامد مورد نظر محدود کنید.

برای مطالعه واکنش‌ها از چاله‌ها یا دیگر شکل‌های پروفیل جاده، مانند درز انبساط بتونی، این فرم‌های خاص را می‌توان روی طیف عادی افروز یا به صورت جداگانه مطالعه کرد. با این حال، در این مورد هم، تاثیر اثر پوش تایر باید در نظر گرفته شود.

برای مقدار جابه‌جایی قائم کمتر از  $R / 10$ ، می‌توان از یک شبکه پایین‌گذر غیرفعال با ثابت زمانی  $T = R / 127$  استفاده کرد. به این معنی که در یک چاله، جابه‌جایی قائم مرکز چرخ به ۹۵٪ مقدار اسمی خود بعد از فاصله  $4 / R$  می‌رسد؛ مثلاً در زمان  $47 / R$  برای مقادیر جابه‌جایی بزرگتر از  $10 / R$  هیچ اصلاحی لازم نیست.

جدول پ-۲ - طبقه‌بندی جاده

میانگین هندسی	درجه ناهمواری			کلاس جاده
	حد بالا	میانگین هندسی	حد پایین	
<b>واحدهای بسامد مکانی، <math>n</math></b>				
$G_v(n)$ $10^{-6} \text{ m}$		$G_d(n_0)^a$ $10^{-6} \text{ m}^3$		
۶/۳	۳۲	۱۶	-	A
۲۵/۳	۱۲۸	۶۴	۳۲	B
۱۰/۱	۵۱۲	۲۵۶	۱۲۸	C
۴۰/۴	۲۰۴۸	۱۰۲۴	۵۱۲	D
۱۶۱۷	۸۱۹۲	۴۰۹۶	۲۰۴۸	E
۶۴۶۸	۳۲۷۶۸	۱۶۳۸۴	۸۱۹۲	F
۲۵۸۷۳	۱۳۱۰۷۲	۶۵۵۳۶	۳۲۷۶۸	G
۱۰۳۴۹۰	-	۲۶۲۱۴۴	۱۳۱۰۷۲	H
<b>واحدهای بسامد مکانی، <math>\Omega</math></b>				
$G_v(\Omega)$ $10^{-6} \text{ m}$		$G_d(\Omega_0)^b$ $10^{-6} \text{ m}^3$		
۱	۲	۱	-	A
۴	۸	۴	۲	B
۱۶	۳۲	۱۶	۸	C
۶۴	۱۲۸	۶۴	۳۲	D
۲۵۶	۵۱۲	۲۵۶	۱۲۸	E
۱۰۲۴	۲۰۴۸	۱۰۲۴	۵۱۲	F
۴۰۹۶	۸۱۹۲	۴۰۹۶	۲۰۴۸	G
۱۶۳۸۴	-	۱۶۳۸۴	۸۱۹۲	H
$n_0 = 1 \text{ cycles/m}^a$				
$\Omega_0 = 1 \text{ rad/m}^b$				
یادآوری ۱- طبقه‌بندی جاده بر اساس مقادیر $G_v(n)$ , $G_d(n_0)$ و $G_v(\Omega)$ است.				
یادآوری ۲- توان مناسب $W = 2$ فرض می‌شود (به بند ب-۵ پیوست ب و بند پ-۴ پیوست پ مراجعه شود).				
یادآوری ۳- میانگین مقادیر کلاس جاده‌های A و H فقط به منظور شیوه‌سازی است.				

**جدول پ-۳- میانگین هندسی و حدود PSD جابه‌جایی برای کلاس‌های مختلف جاده بر حسب تابعی از باندهای اکتاو**

واحدهای بسامد زاویه‌ای، $n$											میانگین و حدود $G_d(n_c)$ $10^6$ $m^3$	کلاس جاده		
بسامد مکانی مرکزی اکتاو، $n_c$ cycles/m														
۴	۲	۱	۰,۵	۰,۲۵	۰,۱۲۵	۰,۰۶۲۵	۰,۰۳۱۲	۰,۰۱۵۶	۰,۰۰۷۸					
۰,۰۱۰	۰,۰۴	۰,۱۶	۰,۶۴	۲/۵۶	۱۰,۲	۴۱,۰	۱۶۴	۶۵۵	۲۶۲۱	میانگین بالا	A			
۰,۰۲۰	۰,۰۸	۰,۳۲	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۵	۸۱,۹	۳۲۸	۱۳۱۱	۵۲۴۳					
۰,۰۲۰	۰,۰۸	۰,۳۲	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۵	۸۱,۹	۳۲۸	۱۳۱۱	۵۲۴۳	پایین میانگین بالا	B			
۰,۰۴۰	۰,۱۶	۰,۶۴	۲,۵۶	۱۰,۲۴	۴۱,۰	۱۶۳,۸	۶۵۵	۲۶۲۱	۱۰۴۸۶					
۰,۰۸۰	۰,۳۲	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹	۳۲۷,۷	۱۳۱۱	۵۲۴۳	۲۰۹۷۲					
۰,۰۸۰	۰,۳۲	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹	۳۲۷,۷	۱۳۱۱	۵۲۴۳	۲۰۹۷۲	پایین میانگین بالا				
۰,۱۶۰	۰,۶۴	۲,۵۶	۱۰,۲۴	۴۰,۹۶	۱۶۳,۸	۶۵۵,۴	۲۶۲۱	۱۰۴۸۶	۴۱۹۴۳		C			
۰,۳۲۰	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۷	۱۳۱۰,۷	۵۲۴۳	۲۰۹۷۲	۸۳۸۸۶	پایین میانگین بالا				
۰,۳۲۰	۱,۲۸	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۷	۱۳۱۰,۷	۵۲۴۳	۲۰۹۷۲	۸۳۸۸۶	پایین میانگین بالا				
۰,۶۴۰	۲,۵۶	۱۰,۲۴	۴۰,۹۶	۱۶۳,۸۴	۶۵۵,۴	۲۶۲۱,۴	۱۰۴۸۶	۴۱۹۴۳	۱۶۷۷۷۲		D			
۱,۲۸۰	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷	۵۲۴۲,۹	۲۰۹۷۲	۸۳۸۸۶	۳۳۵۵۴۴					
۱,۲۸۰	۵,۱۲	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷	۵۲۴۲,۹	۲۰۹۷۲	۸۳۸۸۶	۳۳۵۵۴۴	پایین میانگین بالا				
۲,۵۶۰	۱۰,۲۴	۴۰,۹۶	۱۶۳,۸۴	۶۵۵,۳۶	۲۶۲۱,۴	۱۰۴۸۵,۸	۴۱۹۴۳	۱۶۷۷۷۲	۶۷۱۰۸۹		E			
۵,۱۲۰	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷۲	۵۲۴۲,۹	۲۰۹۷۱,۵	۸۳۸۸۶	۳۳۵۵۴۴	۱۳۴۲۱۷۷					
۵,۱۲۰	۲۰,۴۸	۸۱,۹۲	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷۲	۵۲۴۲,۹	۲۰۹۷۱,۵	۸۳۸۸۶	۳۳۵۵۴۴	۱۳۴۲۱۷۷	پایین میانگین بالا				
۱۰,۲۴۰	۴۰,۹۶	۱۶۳,۸۴	۶۵۵,۳۶	۲۶۲۱,۴۴	۱۰۴۸۵,۸	۴۱۹۴۳,۰	۱۶۷۷۷۲	۶۷۱۰۸۹	۲۶۸۴۳۵۴		F			
۲۰,۴۸۰	۸۱,۹۲	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷۲	۵۲۴۲,۸۸	۲۰۹۷۱,۵	۸۳۸۸۶,۱	۳۳۵۵۴۴	۱۳۴۲۱۷۷	۵۳۶۸۷۰۹	پایین میانگین بالا				
۴۰,۹۶۰	۱۶۳,۸۴	۶۵۵,۳۶	۲۶۲۱,۴۴	۱۰۴۸۵,۷۶	۴۱۹۴۳,۰	۱۶۷۷۷۲,۱	۶۷۱۰۸۹	۲۶۸۴۳۵۴	۱۰۷۳۷۴۱۷		G			
۸۱,۹۲۰	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷۲	۵۲۴۲,۸۸	۲۰۹۷۱,۵۲	۸۳۸۸۶,۱	۳۳۵۵۴۴,۳	۱۳۴۲۱۷۷	۵۳۶۸۷۰۹	۲۱۴۷۴۸۲۴					
۸۱,۹۲۰	۳۲۷,۶۸	۱۳۱۰,۷۲	۵۲۴۲,۸۸	۲۰۹۷۱,۵۲	۸۳۸۸۶,۱	۳۳۵۵۴۴,۳	۱۳۴۲۱۷۷	۵۳۶۸۷۰۹	۲۱۴۷۴۸۲۴	پایین میانگین بالا	H			
۱۶۳,۸۴۰	۶۵۵,۳۶	۲۶۲۱,۴۴	۱۰۴۸۵,۷۶	۴۱۹۴۳,۰	۱۶۷۷۷۲,۱	۶۷۱۰۸۸,۶	۲۶۸۴۳۵۴	۱۰۷۳۷۴۱۷	۴۲۹۴۹۶۶۸					

یادآوری - میانگین مقادیر کلاس جاده‌ای A و H فقط به منظور شبیه‌سازی است.

جدول پ-۳ - (ادامه)

واحدهای بسامد زاویه‌ای، $\Omega_c$											کلاس جاده
بسامد مکانی مرکزی اکتاو، $\Omega_c$ rad/m											میانگین و حدود $G_d(\Omega_c) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
۲۵,۱۳۲۷	۱۲,۵۶۶۴	۶,۲۸۳۲	۳,۱۴۱۶	۱,۵۷۰۸	۰,۷۸۵۴	۰,۳۹۲۷	۰,۱۹۶۳	۰,۰۹۸۲	۰,۰۴۹۱		
۰,۰۰۱۵۸	۰,۰۰۶۳۳	۰,۰۲۵۳	۰,۱۰۱۳	۰,۴۰۵	۱,۶۲۱	۶,۴۸	۲۵,۹۴	۱۰۴	۴۱۵	میانگین بالا	A
۰,۰۰۳۱۷	۰,۰۱۲۶۷	۰,۰۵۰۷	۰,۲۰۲۶	۰,۸۱۱	۳,۲۴۲	۱۲,۹۷	۵۱,۸۸	۲۰۸	۸۳۰		
۰,۰۰۳۱۷	۰,۰۱۲۶۷	۰,۰۵۰۷	۰,۲۰۲۶	۰,۸۱۱	۳,۲۴۲	۱۲,۹۷	۵۱,۸۸	۲۰۸	۸۳۰	پایین	B
۰,۰۰۶۳۳	۰,۰۲۵۳۳	۰,۱۰۱۳	۰,۴۰۵۳	۱,۶۲۱	۶,۴۸۵	۲۵,۹۴	۱۰۳,۷۵	۴۱۵	۱۶۶۰	میانگین بالا	
۰,۰۱۲۶۷	۰,۰۵۰۶۶	۰,۲۰۲۶	۰,۸۱۰	۳,۲۴۲	۱۲,۹۶۹	۵۱,۸۸	۲۰۷,۵۱	۸۳۰	۳۲۲۰	پایین	
۰,۰۱۲۶۷	۰,۰۵۰۶۶	۰,۲۰۲۶	۰,۸۱۰	۳,۲۴۲	۱۲,۹۶۹	۵۱,۸۸	۲۰۷,۵۱	۸۳۰	۳۲۲۰	میانگین بالا	
۰,۰۲۵۳۳	۰,۱۰۱۳۲	۰,۴۰۵۳	۱,۶۲۱۱	۶,۴۸۵	۲۵,۹۳۸	۱۰۳,۷۵	۴۱۵,۰۱	۱۶۶۰	۶۶۴۰	پایین	C
۰,۰۵۰۶۶	۰,۲۰۲۶۶	۰,۸۱۰	۳,۲۴۲۲	۱۲,۹۶۹	۵۱,۸۷۶	۲۰۷,۵۱	۸۳۰,۰۲	۳۲۲۰	۱۳۲۸۰	میانگین بالا	
۰,۰۵۰۶۶	۰,۲۰۲۶۶	۰,۸۱۰	۳,۲۴۲۲	۱۲,۹۶۹	۵۱,۸۷۶	۲۰۷,۵۱	۸۳۰,۰۲	۳۲۲۰	۱۳۲۸۰	پایین	
۰,۱۰۱۳۲	۰,۴۰۵۲۸	۱,۶۲۱۱	۶,۴۸۴۶	۲۵,۹۳۸	۱۰۳,۷۵۳	۴۱۵,۰۱	۱۶۶۰,۰۵	۶۶۴۰	۲۶۵۶۱	میانگین بالا	D
۰,۲۰۲۶۴	۰,۸۱۰۵۷	۳,۲۴۲۲	۱۲,۹۶۹۱	۵۱,۸۷۶	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲	۳۲۲۰,۰۹	۱۳۲۸۰	۵۳۱۲۱	پایین	
۰,۲۰۲۶۴	۰,۸۱۰۵۷	۳,۲۴۲۲	۱۲,۹۶۹۱	۵۱,۸۷۶	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲	۳۲۲۰,۰۹	۱۳۲۸۰	۵۳۱۲۱	میانگین بالا	
۰,۴۰۵۲۸	۱,۶۲۱۱۴	۶,۴۸۴۶	۲۵,۹۳۸۲	۱۰۳,۷۵۳	۴۱۵,۰۱۲	۱۶۶۰,۰۵	۶۶۴۰,۰۱۸	۲۶۵۶۱	۱۰۶۲۴۳	پایین	E
۰,۸۱۰۵۷	۳,۲۴۲۲۲۸	۱۲,۹۶۹۱	۵۱,۸۷۶۴	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹	۱۳۲۸۰,۰۷	۵۳۱۲۱	۲۱۲۴۸۶	میانگین بالا	
۰,۸۱۰۵۷	۳,۲۴۲۲۲۸	۱۲,۹۶۹۱	۵۱,۸۷۶۴	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹	۱۳۲۸۰,۰۷	۵۳۱۲۱	۲۱۲۴۸۶	پایین	
۱,۶۲۱۱۴	۶,۴۸۴۵۶	۲۵,۹۳۸۲	۱۰۳,۷۵۲۹	۴۱۵,۰۱۲	۱۶۶۰,۰۴۶	۶۶۴۰,۰۱۹	۲۶۵۶۰,۰۷۴	۱۰۶۲۴۳	۴۲۴۹۷۲	میانگین بالا	F
۳,۲۴۲۲۲۸	۱۲,۹۶۹۱۱	۵۱,۸۷۶۴	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹۳	۱۳۲۸۰,۰۷	۵۳۱۲۱,۰۴۸	۲۱۲۴۸۶	۸۴۹۹۴۴	پایین	
۳,۲۴۲۲۲۸	۱۲,۹۶۹۱۱	۵۱,۸۷۶۴	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹۳	۱۳۲۸۰,۰۷	۵۳۱۲۱,۰۴۸	۲۱۲۴۸۶	۸۴۹۹۴۴	میانگین بالا	
۶,۴۸۴۵۶	۲۵,۹۳۸۲۲	۱۰۳,۷۵۲۹	۴۱۵,۰۱۱۵	۱۶۶۰,۰۴۶	۶۶۴۰,۰۱۸۶	۲۶۵۶۰,۰۷۴	۱۰۶۲۴۲,۹۵	۴۲۴۹۷۲	۱۶۹۹۸۸۸	پایین	G
۱۲,۹۶۹۱۱	۵۱,۸۷۶۴۵	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹۲	۱۳۲۸۰,۰۷۱	۵۳۱۲۱,۰۴۸	۲۱۲۴۸۵,۹۱	۸۴۹۹۴۴	۳۲۹۹۷۷۵	میانگین بالا	
۱۲,۹۶۹۱۱	۵۱,۸۷۶۴۵	۲۰۷,۵۰۶	۸۳۰,۰۲۳	۳۲۲۰,۰۹۲	۱۳۲۸۰,۰۷۱	۵۳۱۲۱,۰۴۸	۲۱۲۴۸۵,۹۱	۸۴۹۹۴۴	۳۲۹۹۷۷۵	پایین	
۲۵,۹۳۸۲۲	۱۰۳,۷۵۲۹۰	۴۱۵,۰۱۱۶	۱۶۶۰,۰۴۶۰	۶۶۴۰,۰۱۸۴	۲۶۵۶۰,۰۷۴۲	۱۰۶۲۴۲,۹۷	۴۲۴۹۷۱,۰۱	۱۶۹۹۸۸۸	۶۷۹۹۵۰	میانگین	H

یادآوری - میانگین مقادیر کلاس جاده‌های A و H فقط به منظور شبیه‌سازی است.

جدول پ-۴- میانگین هندسی و حدود جابه‌جایی r.m.s در ناهمواری مربوط به کلاس‌های مختلف جاده بر حسب تابعی از باندهای اکتاو

واحدهای بسامد زاویه‌ای، $n$											کلاس جاده
بسامد مکانی مرکزی اکتاو، $c$ cycles/m										میانگین و حدود جابه‌جایی r.m.s $10^{-3} \text{ m}$	
۴	۲	۱	۰.۵	۰.۲۵	۰.۱۲۵	۰.۰۶۲	۰.۰۳۱	۰.۰۱۶	۰.۰۰۷۸		
۰.۱۷	۰.۲۴	۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۷	۱.۰	۱.۳	۲	۳	۴	میانگین بالا	A
۰.۲۴	۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۶۷	۱.۰	۱.۳	۱.۹	۳	۴	۵	پایین میانگین بالا	
۰.۲۴	۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۶۷	۱.۰	۱.۳	۱.۹	۳	۴	۵	پایین میانگین بالا	B
۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۶۷	۰.۹۵	۱.۳	۱.۹	۲.۷	۴	۵	۸	پایین میانگین بالا	
۰.۴۸	۰.۶۷	۰.۹۵	۱.۳۵	۱.۹	۲.۷	۳.۸	۵	۸	۱۱	پایین میانگین بالا	C
۰.۶۷	۰.۹۵	۱.۳۵	۱.۳۵	۱.۹	۲.۷	۳.۸	۵	۸	۱۱	پایین میانگین بالا	
۰.۸۷	۰.۹۵	۱.۳۵	۱.۹۰	۲.۷	۳.۸	۵.۴	۸	۱۱	۱۵	پایین میانگین بالا	
۰.۹۵	۱.۳۵	۱.۹۰	۲.۶۹	۳.۸	۵.۴	۷.۶	۱۱	۱۵	۲۲	پایین میانگین بالا	D
۰.۹۵	۱.۳۵	۱.۹۰	۲.۶۹	۳.۸	۵.۴	۷.۶	۱۱	۱۵	۲۲	پایین میانگین بالا	
۱.۳۵	۱.۹۰	۲.۶۹	۳.۸۱	۵.۴	۷.۶	۱۰.۸	۱۵.۲	۲۲	۳۰	۳۰	پایین میانگین بالا
۱.۹۰	۲.۶۹	۳.۸۱	۵.۳۸	۷.۶	۱۰.۸	۱۵.۲	۲۲	۳۰	۴۳	پایین میانگین بالا	E
۲.۶۹	۳.۸۱	۵.۳۸	۷.۶۱	۱۰.۸	۱۵.۲	۲۱.۵	۳۰	۴۳	۶۱	پایین میانگین بالا	
۳.۸۱	۵.۳۸	۷.۶۱	۱۰.۷۶	۱۵.۲	۲۱.۵	۳۰.۴	۴۳	۶۱	۸۶	پایین میانگین بالا	
۳.۸۱	۵.۳۸	۷.۶۱	۱۰.۷۶	۱۵.۲	۲۱.۵	۳۰.۴	۴۳	۶۱	۸۶	پایین میانگین بالا	F
۵.۳۸	۷.۶۱	۱۰.۷۶	۱۵.۲۲	۲۱.۵	۳۰.۴	۴۲.۱	۶۱	۸۶	۱۲۲	پایین میانگین بالا	
۷.۶۱	۱۰.۷۶	۱۵.۲۲	۲۱.۵۳	۳۰.۴	۴۳.۱	۶۰.۹	۸۶	۱۲۲	۱۷۲	پایین میانگین بالا	
۷.۶۱	۱۰.۷۶	۱۵.۲۲	۲۱.۵۳	۳۰.۴	۴۳.۱	۶۰.۹	۸۶	۱۲۲	۱۷۲	پایین میانگین بالا	G
۱۰.۷۶	۱۵.۲۲	۲۱.۵۳	۳۰.۴۴	۴۳.۱	۶۰.۹	۸۶.۱	۱۲۲	۱۷۲	۲۴۴	پایین میانگین بالا	
۱۵.۲۲	۲۱.۵۳	۳۰.۴۴	۴۳.۰۵	۶۰.۹	۸۶.۱	۱۲۱.۸	۱۷۲	۲۴۴	۳۴۴	پایین میانگین بالا	
۱۵.۲۲	۲۱.۵۳	۳۰.۴۴	۴۳.۰۵	۶۰.۹	۸۶.۱	۱۲۱.۸	۱۷۲	۲۴۴	۳۴۴	پایین میانگین بالا	H
۲۱.۵۳	۳۰.۴۴	۴۳.۰۵	۶۰.۸۹	۸۶.۱	۱۲۱.۸	۱۷۲.۲	۲۴۴	۳۴۴	۴۸۷	پایین میانگین بالا	

یادآوری- میانگین مقادیر کلاس جاده‌های A و H فقط به منظور شبیه‌سازی است.

جدول پ-۴- (ادامه)

واحدهای بسامد زاویه‌ای، $\Omega_c$										کلاس جاده
بسامد مکانی مرکزی اکتاو، $\Omega_c$ rad/m										
۲۵,۱۳	۱۲,۵۷	۶,۲۸	۳,۱۴	۱,۰۷۱	۰,۷۸۵	۰,۳۹۳	۰,۱۹۶	۰,۰۹۸	۰,۰۴۹۱	
۰,۱۷	۰,۲۴	۰,۳۴	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹	۲,۷	۳,۸	میانگین بالا
۰,۲۴	۰,۳۴	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۷	۳,۸	۵,۴	
۰,۲۴	۰,۳۴	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۷	۳,۸	۵,۴	پایین
۰,۳۴	۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸	۵,۴	۷,۶	میانگین بالا
۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۴	۷,۶	۱۰,۷	
۰,۴۷	۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۴	۷,۶	۱۰,۷	پایین
۰,۶۷	۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۶	۱۰,۷	۱۵,۲	میانگین بالا
۰,۹۵	۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷	۱۵,۲	۲۱,۵	
۱,۳۴	۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۲	۲۱,۵	۳۰,۴	پایین
۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۵	۳۰,۴	۴۲,۹	میانگین بالا
۱,۹۰	۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۵	۳۰,۴	۴۲,۹	
۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۴	۴۲,۹	۶۰,۷	پایین
۲,۶۸	۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۴	۴۲,۹	۶۰,۷	میانگین بالا
۳,۸۰	۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹	۶۰,۷	۸۵,۹	
۵,۳۷	۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷	۸۵,۹	۱۲۱,۵	پایین
۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۹	۱۲۱,۵	۱۷۱,۸	میانگین بالا
۷,۵۹	۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۹	۱۲۱,۵	۱۷۱,۸	
۱۰,۷۴	۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۸۸	۱۲۱,۵	۱۷۱,۸	۲۴۲,۹	پایین
۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۸۸	۱۲۱,۴۵	۱۷۱,۸	۲۴۲,۹	۳۴۳,۵	میانگین بالا
۱۵,۱۸	۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۸۸	۱۲۱,۴۵	۱۷۱,۷۶	۲۴۲,۹	۳۴۳,۵	
۲۱,۴۷	۳۰,۳۶	۴۲,۹۴	۶۰,۷۳	۸۵,۸۸	۱۲۱,۴۵	۱۷۱,۷۶	۲۴۲,۹	۳۴۳,۵	۴۸۵,۸	پایین
										میانگین بالا

یادآوری - میانگین مقادیر کلاس جاده‌های A و H فقط به منظور شبیه‌سازی است.

## پیوست ت

### (آگاهی دهنده)

#### ملاحظات برای فرآیند PSD و دقت آن

##### ت-۱ کلیات

رایج‌ترین تکنیک برای ارزیابی PSD استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT)<sup>۱</sup> از داده‌های پروفیل دیجیتال است اما از تکنیک‌های دیگر نیز می‌توان استفاده کرد.

##### ت-۲ نمادها

نمادهای استفاده شده در این پیوست در جدول ت-۱ آورده شده.

##### ت-۳ رقومی‌سازی داده‌ها

رقومی‌سازی مستلزم دو تنظیم است:  $n_s$  و  $N$

در این مورد، پارامترهای مربوطه زیر ثابت هستند:

$n_h = n_s/2$  حداقل مورد نیاز است؛ به عنوان تقریب، برای جلوگیری از پله‌گی، می‌توان از  $3 n_s/2$  استفاده کرد.

$$\Delta L = 1/n_s$$

$$L' = N/n_s$$

$$B'_e = n_s/N = 1/L'$$

##### ت-۴ آماده‌سازی سیگنال قبل از رقومی‌سازی

سیگنالی که باید رقومی شود و سپس تبدیل فوریه شود؛ برای جلوگیری از پله‌پله شدن نباید شامل مولفه‌های طیفی بالای یک‌دوم بسامد نمونه‌برداری باشد. کاربرد فیلترهای ضدپله‌گی در اکثر موارد ضروری است.

---

1- Fast Fourier transform

قبل از رقومی‌سازی، مولفه‌های بسامدی را که دوره آن طولانی‌تر از مدت ثبت شده یک بلوک است، می‌توان با یک فیلتر بالاگذر با بسامد قطع پایین مناسب، کاهش داد یا حذف کرد (این دستکاری روندزدایی<sup>۱</sup> خوانده می‌شود).

روندزدایی را نیز می‌توان پس از رقومی کردن به روش‌های دیجیتال تحلیل رگرسیونی<sup>۲</sup> با چند جمله‌ای‌های مرتبه پایین انجام داد.

### جدول ت-۱ - نمادها

واحد	شرح	نماد
cycles/m	تفکیک‌پذیری بسامد، برگرفته شده از FFT	$B'_e$
cycles/m	تفکیک‌پذیری بسامد گزارش شده	$B_e$
cycles/m	پهنه‌ای باند نقطه نیم‌توان واقعی اوج	$B_r$
	مقدار امید ریاضی [.]	$E[.]$
	مقدار واقعی PSD	$G$
	مقدار تخمینی PSD	$\hat{G}$
	مشتق دوم PSD	$G''$
m	کل فاصله نمونه‌برداری یا کل رکورد	$L$
m	طول رکورد یک بلوک برای FFT	$L'$
m	اندازه بلوک محاسبه شده برای FFT	$L''$
m	بازه نمونه‌برداری	$\Delta L$
cycles/m	بسامد مکانی	$n$
cycles/m	بلندترین بسامد طیفی که باید آنالیز شود.	$n_h$
cycles/m	کوتاهترین بسامد طیفی که باید آنالیز شود.	$n_l$
cycles/m	بسامد نمونه‌برداری	$n_s$
-	اندازه بلوک برای FFT؛ معمولاً به نزدیکترین توان دو گرد می‌شود.	$N$
-	تعداد بلوک‌ها در متوسط زمان	$q$
-	تعداد اجزای میانگین‌گیری شده در بسامد هموارسازی	$r$
-	کل خطای میانگین مربعات نرمال شده	$\varepsilon$
-	خطای اریبی	$\varepsilon_b$

1 - Detrend

2 - Regression analysis

ناماد	شرح	واحد
$\varepsilon_r$	خطای استاندارد اریبی شده (معادل خطای تصادفی)	-

#### ت-۵ پنجره نمونهبرداری

بعضی از اقسام پنجره نمونهبرداری معمولاً برای اجتناب از اعوجاج طیفی موسوم به نشتی، ضروری است. منحنی‌های وزن‌دهی متعددی وجود دارد و از یک ضریب تصحیح استفاده می‌شود.

#### ت-۶ دقت آماری

##### ت-۶-۱ کلیات

دقت PSD را می‌توان بر اساس جمله‌های مؤلفه دو منبع خطا در نظر گرفت. خطای میانگین مربع نرمال شده کلی  $\varepsilon$  توسط فرمول (ت-۱) ارائه شده است:

$$\varepsilon = \left[ \frac{E[(\hat{G}(n) - G(n))^2]}{G^2(n)} \right]^{1/2} = \left[ \frac{1}{B_e \cdot L^2} + \frac{B_e^4}{576} \left( \frac{G^2(n)}{G(n)} \right)^2 \right]^{1/2} = (\varepsilon_r^2 + \varepsilon_b^2)^{1/2} \quad (ت-۱)$$

اولین جمله، مؤلفه خطای تصادفی نرمال شده  $\varepsilon_r$  و دومی خطای اریبی نرمال شده  $\varepsilon_b$  را نشان می‌دهد. در فرمول ت-۱، می‌توان تعارض میان دو الزام محدودیت خطا<sup>۱</sup> بر تفکیک‌پذیری بسامدی  $B_e$  را می‌توان دید. خطای اریبی با  $B_e$  افزایش می‌یابد در حالی که خطای تصادفی نه تنها با  $B_e$  بلکه با اندازه بلوک "L" (طول رکورد) هم کاهش می‌یابد. بنابراین استراتژی انتخاب  $B_e$  بر مبنای ملاحظات خطای اریبی و سپس اقدام به کاهش خطای تصادفی با استفاده از مزیت وابستگی اضافی به طول رکورد، است.

یادآوری - توضیح کامل‌تر درباره خطاهای آماری در مرجع شماره [10] کتابنامه آمده است.

#### ت-۶-۲ خطای تصادفی

##### ت-۶-۲-۱ کلیات

خطای نرمال شده به عنوان خطای تصادفی طبق فرمول ت-۲ تعریف شده است:

$$\varepsilon_r = (B_e \cdot L)^{-1/2} \quad (ت-۲)$$

این بدین معنی است که خطای استاندارد نرمال شده مساوی است با:

برای میانگین‌گیری زمانی (به زیربند ت-۶-۲-۲ مراجعه شود)

برای بسامد هموارسازی (به زیربند ت-۶-۲-۳ مراجعه شود)

برای روش تلفیقی

1- Error requirement

### ت-۶-۲-۲ میانگین‌گیری زمانی

میانگین‌گیری زمانی مستلزم تقسیم کل طول سیگنال به بلوک‌های مساوی، محاسبه کردن طیف هر بلوک، و میانگین‌گیری از این طیف‌ها برای طیف نتیجه است.

$$q = \frac{\text{تعداد بلوک‌ها}}{L/L^2}$$

$$B_e = B_e^2 = \frac{\text{تفکیک‌پذیری بسامدی}}{1/L^2}$$

### ت-۶-۲-۳ هموارسازی بسامد

هموارسازی بسامد مستلزم محاسبه طیف رکورد ورودی و سپس میانگین گرفتن از طیف‌ها در بسامدهای مجاور است.

*r* تعداد مولفه‌های بسامدی طیف اصلی است که با هم از آنها میانگین گرفته شده است.

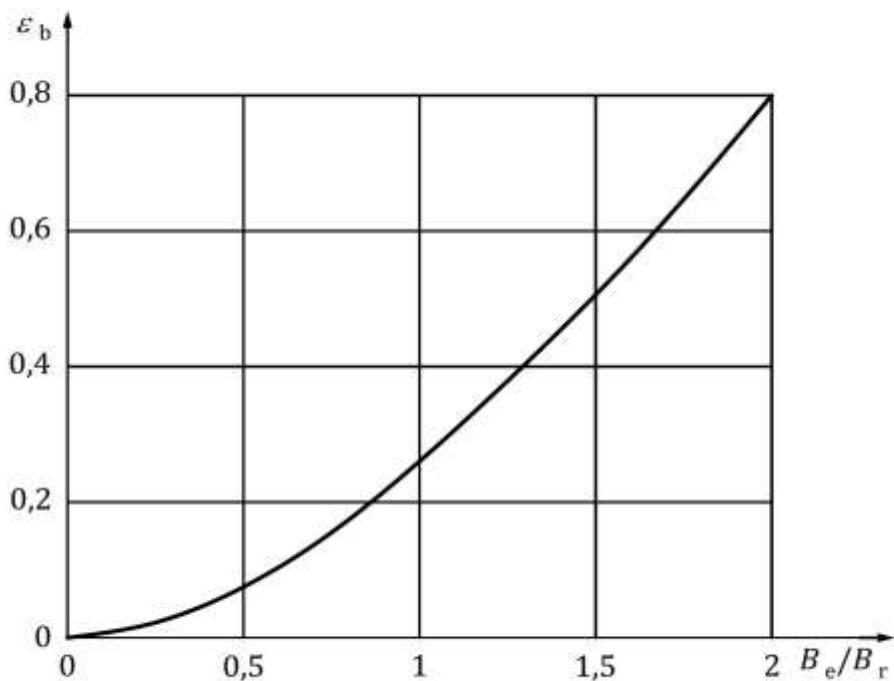
$$B_e = r \cdot B_e^2 = \frac{\text{تفکیک‌پذیری بسامدی}}{r/L^2}$$

یادآوری - میانگین‌گیری زمانی برای خطای استاندارد نرم‌ال شده یکسان، به حافظه کامپیوتر کمتری نسبت به هموارسازی بسامد نیاز دارد.

معادلات تعیین شده برای خطای استاندارد نرم‌ال‌سازی شده، تنها در مواردی اعمال می‌شود که همه میانگین‌های زمانی مستقل از سری‌های زمانی (بلوک‌ها) داده‌های است. مثلاً برای مواردی که میانگین‌ها از سری‌های زمانی متوالی (بلوک‌ها) گرفته شده است. برای مواردی که میانگین‌ها از هم‌پوشانی قطعه‌های زمانی طولانی‌تر است یا زمانی که در نرم‌ال شدگی خطای استاندارد تردید وجود دارد، بهتر است محاسبه با استفاده از فرمول ت-۲ انجام شود.

### ت-۶-۳ خطای اریبی

اگرچه در مسیرهای ریلی بیشتر اهمیت دارد، اما در داده‌های پروفیل جاده، خطای اریبی در ملاحظات PSD‌های مورد استفاده برای نشان دادن داده‌های هندسی پروفیل جاده که به نظر شامل مولفه‌های دوره‌ای است؛ نیز اهمیت دارد. از آنجا که جمله خطای اریبی در فرمول ت-۱ تابع مشتق دومی از PSD است، نقش مهمی را در تخمین اوج طیفی دارد. هنگامی که خطای اریبی وجود دارد، معمولاً اوج‌های تیز در PSD دست پایین‌تر<sup>۱</sup> از آنچه هست برآورد می‌شوند. هرچند هیچ مدرکی وجود ندارد که اوج‌های طیفی در داده‌های پروفیل شبیه اوج‌های تشیدید یک سیستم مرتبه دوم عمل کنند، نظریه این گونه برآورد دست پایین در مرجع شماره [10] کتابنامه داده شده است. شکل ت-۱ خطای اریبی برای سیستم مرتبه دوم را می‌دهد.  $B_r$  نقطه نصف قدرت واقعی پهنه‌ای باند اوج واقعی است.



راهنمای:

$B_e/B_r$  نسبت پهنهای باند

$\epsilon_b$  خطای اریبی

شکل ت-۱- خطای اریبی برای پاسخ سیستم مرتبه دوم

شکل ت-۱ با استفاده از فرمول ت-۳ محاسبه شده است:

$$D = \hat{G}(n)/G(n) = B_r/B_e \cdot \arctan(B_e/B_r) \quad (\text{ت-۳})$$

خطای اریبی با فرمول ت-۴ تعیین می‌شود:

$$\epsilon_b = \frac{1-D}{D} \quad (\text{ت-۴})$$

در پروفیل‌های جاده، احتمال وجود اوج‌های دوره‌ای بالا، کم است و به طور معمول اثر خطای اریبی می‌تواند نادیده گرفته شود.

#### ت-۷ پارامترهای انتخاب

ت-۷-۱ به طور کلی، مسئله دقت را می‌توان بر حسب سه سری از قیودی که وارد انتخاب پارامترها می‌شوند، توصیف کرد.

الف- قیود کاربرد: دامنه بسامد موردنظر و دقت آماری مطلوب.

ب- قیود اندازه‌گیری: بلندترین طول رکورد مجاز و کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری مجاز.

پ- هزینه‌های محاسبات: تعداد نقاط ورودی به روش FFT، میزان حافظه کامپیوتر موردنیاز، روش‌های محاسباتی اضافه.

معمولًاً مقدار تفکیک‌پذیری،  $B_e$ ، به صورت مساوی با کمترین بسامد مکانی در طیف موردنظر انتخاب می‌شود. این مقدار حداقل مورد نیاز برای برای انتخاب طولانی‌ترین طول موج موردنظر در داده‌ها می‌باشد و بنابراین ارزان‌ترین انتخاب در محاسبه هزینه و فایده است.

در این مورد، فاصله بین اولین دو مسیر طیفی، یک اکتاو است. پایین‌ترین مسیر طیفی نیز می‌تواند شامل مقدار زیادی نشتی از اجزا در حدود صفر هرتز باشد. به این دلیل، توصیه می‌شود، از تفکیک‌پذیری بسامد خیلی کوچکتر استفاده شود و سپس داده‌های دو یا سه منحنی طیفی اول را نادیده بگیرید. وقتی اولین منحنی طیفی بالای صفر هرتز استفاده شود، داده‌ها باید با دقت روندزدایی شوند.

ت- ۲-۷ در مثال داده شده در جدول ت-۲ فرض بر این است که از میانگین‌گیری زمانی استفاده می‌شود.

فرمول‌های زیر مفید هستند:

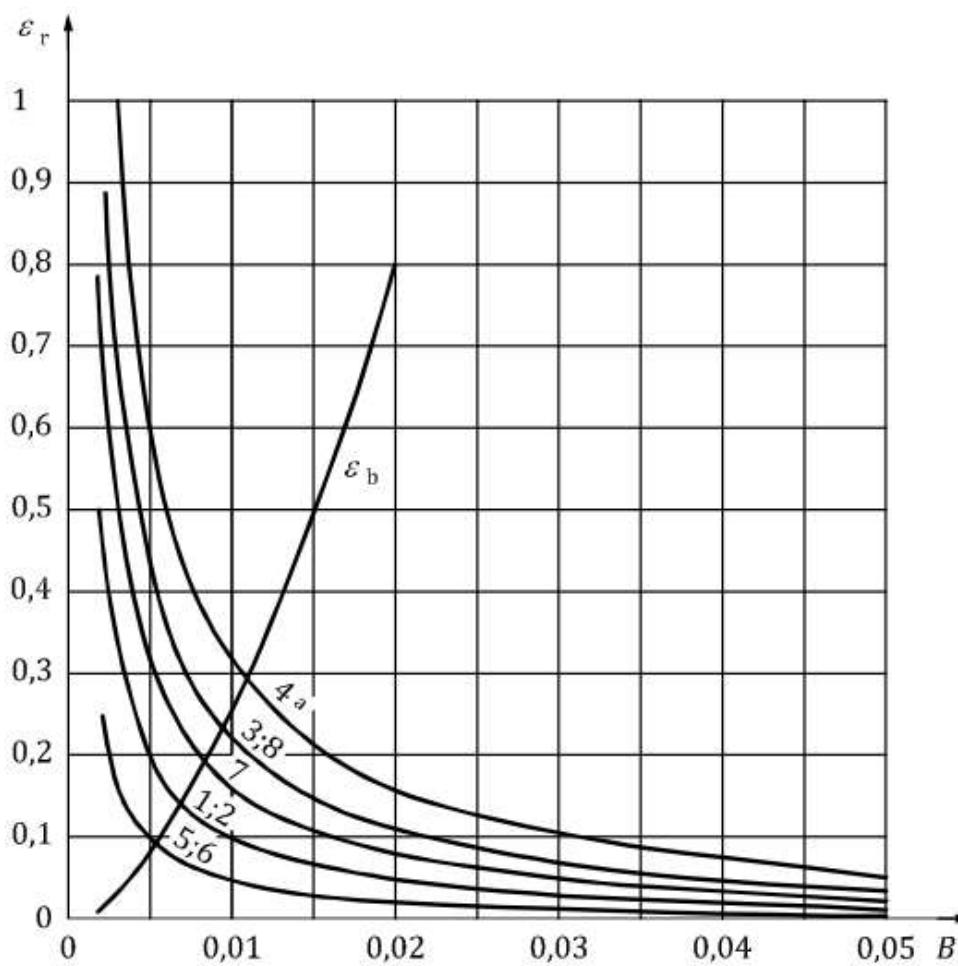
$$n_s = 2n_h \quad \text{حداقل بسامد مجاز نمونه}$$

$$N = 2n_s/n_l \quad \text{حداقل اندازه بلوک برای FFT، معمولًاً به نزدیک‌ترین توان دو گرد می‌شود.}$$

شکل ت-۲ رابطه بین خطای استاندارد نرمال شده (خطای تصادفی)، خطأ و تفکیک‌پذیری برای مثال داده شده در جدول ت-۲ را نشان می‌دهد.

**جدول ت-۲ مثال رابطه بین پارامترهای مختلف، خطای اریبی و خطای تصادفی برای موقعیت‌های اندازه‌گیری مختلف**

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	حالات
۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	کل طول سیگنال، $L(m)$
۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	طول بلوك، $L'(m)$
۰,۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۱	۰,۰۰۵	تفکیک‌پذیری، $B_e(\text{cycles}/\text{m})$
۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	بلندترین طول موج، $1/B_e(\text{m})$
۲۰	۱۰	۱	۱	۱۰	۵	۱	۱	تعداد بلوك‌ها، $q$
۰,۲۲	۰,۳۲	۰,۰۵	۰,۱	۰,۳۲	۰,۴۵	۰,۱	۰,۲	خطای تصادفی، $\varepsilon_r$
۰,۲۷	۰,۰۷۸	۰,۲۷	۰,۰۷۸	۰,۲۷	۰,۰۷۸	۰,۲۷	۰,۰۷۸	خطای اریبی، $\varepsilon_b$
۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	کوتاهترین طول موج، $1/n_h(\text{m})$
۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	۰,۵	بسامد نمونه‌برداری، $3n_h(\text{cycles}/\text{m})$
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	بسامد نمونه‌برداری، $3n_h(\text{cycles}/\text{m})$
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	تعداد نمونه‌ها در بر حسب بلوك، $L' \cdot 3n_h$
۱۵۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	تعداد نمونه‌ها در بر حسب بلوك، $L' \cdot 3n_h$
۶۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۶۰۰	۱۲۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	تعداد نمونه‌های گرد شده به نزدیک‌ترین
۲۰۴۸	۴۰۹۶	۳۲۷۶۸	۳۲۷۶۸	۲۰۴۸	۴۰۹۶	۱۶۳۸۴	۱۶۳۸۴	توان ۲
۱۰۲۴	۲۰۴۸	۱۶۳۸۴	۱۶۳۸۴	۱۰۲۴	۲۰۴۸	۸۱۹۲	۸۱۹۲	یادآوری ۱- حالات A به صورت بالاترین بسامد مکانی $5 \text{ cycles}/\text{m}$ داده می‌شود
								حالات B به صورت بالاترین بسامد مکانی $2 \text{ cycles}/\text{m}$ داده می‌شود.
								یادآوری ۲- برای حالات ۱ تا ۸، خطای تصادفی و خطای اریبی در شکل ت-۲ نشان داده شده است.



راهنمای:

cycles/m تفکیک پذیری،  $B_e$

$\epsilon_r$  خطای تصادفی

$\epsilon_b$  خطای اربیبی

برای حالت‌های ۱ تا ۸، به جدول ت-۲ مراجعه شود<sup>a</sup>

شکل ت-۲ خطای تصادفی و خطای اربیبی برای اوج‌ها با پهنای باند نیم‌توان ۰.۰۱ cycles/m

## کتابنامه

- [1] ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary  
یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۱۹: سال ۱۳۸۸، شوک و ارتعاش مکانیکی، پایش وضعیت- واژه‌نامه، با استفاده از استاندارد ISO 2041: 2014 تدوین شده است.
- [2] ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements  
یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴۳۶۸: سال ۱۳۷۷، ارزیابی مواجه انسان با ارتعاش کامل بدن- مشخصات عمومی، با استفاده از استاندارد ISO 2631-1: 1985 تدوین شده است.
- [3] ISO 8002, Mechanical vibrations — Land vehicles — Method for reporting measured data  
یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۰۷: سال ۱۳۸۶، لرزش مکانیکی- وسایل نقلیه زمینی- روش گزارش دهنده داده‌های اندازه‌گیری شده، با استفاده از استاندارد ISO 8002: 1986 تدوین شده است.
- [4] ISO 22476-1, Geotechnical investigation and testing —Field testing —Part 1: Electrical cone and piezocene penetration test  
یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۰۵-۱: سال ۱۳۹۲، تحقیقات و آزمون‌های ژیوتکنیکی- آزمون صحرایی- قسمت ۱- آزمون نفوذ مخروط الکتریکی و پیزوکون، با استفاده از استانداردهای ISO 22476-1: 2012 تدوین شده است.
- [5] ISO ISO 22476-3, Geotechnical investigation and testing –Field testing – Part 3: Standard penetration test  
یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۰۵-۳: سال ۱۳۸۷، بررسی و آزمون ژیوتکنیکی- آزمون صحرایی- قسمت ۳: نفوذ استاندارد روش آزمون، با استفاده از استانداردهای ISO 22476-3: 2005 تدوین شده است.
- [6] EN 13036-6, Road and airfield surface characteristics— Test methods— Part 6: Measurement of transverse and longitudinal profiles in the evenness and megatexture wavelength ranges
- [7] EN 13036-7, Road and airfield surface characteristics – Test methods — Part 7: Irregularity measurement of pavement courses – The straightedge test
- [8] EN 13036-8, Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 8: Determination of transverse unevenness indices
- [9] ANDRÉN P. Power spectral density approximations of longitudinal road profiles. Int. J. Veh. Des. 2006, Vol. 40, p. 2-14
- [10] BENDAT J.S., & PIERSOL A.G. Random data: Analysis and measurement procedures. John Wiley & Sons, New York, 2010
- [11] BRAUN H., & HELLENBROICH T. Meßergebnisse von Straßenunebenheiten. VDI-Berichte Nr. 877, Düsseldorf, 1991
- [12] BRUSCELLA B., ROUILLARD V. , SEK M. (1999), Analysis of road surfaces profiles. Journal of Transportation Engineering, Vol. 125, pp. 55-59

- [13] HU-MING D. Signal trend extraction of road surface profile measurement. 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS), Vol. 2, IEEE, 2010
- [14] JOHANNESSON P., & RYCHLIK I. Laplace processes for describing road profiles. 5th Fatigue Design Conference, Procedia Engineering, 66, 2013
- [15] KROPÁČ O., & MÚČKA P. Indicators of longitudinal road unevenness and their mutual relationships. Road Mater. Pavement Des. 2007, Vol. 8, pp. 523-549
- [16] LOPRENCIPE G., & CANTISANI G. Unified analysis of road pavement profiles for evaluation of surface characteristics. Canadian Center of Science and Education, Modern Applied Science, 7, No. 8, 2013
- [17] ROUILLARD V. Decomposing pavement surface profiles into a Gaussian sequence. Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing, 4, 2009
- [18] Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing: Dynamic cone penetrometer (DCP), Amsterdam, 1982