INSO
17723
1st.Edition
2014

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

استاندارد ملی ایران
۱۷۷۲۳
چاپ اول
۱۳۹۳

فرکانس‌های اصلی تشدید عرضی، طولی و پیچشی نمونه‌های بتن- روش آزمون

Fundamental transverse, longitudinal, and torsional resonant frequencies of concrete specimens– Test method

ICS: 91.100.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ 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.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی 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، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فرکانس‌های اصلی تشدید عرضی، طولی و پیچشی نمونه‌های بتن- روش آزمون»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
ارشد، بهمن (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
دبیر:	
مشاور، عاطف (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت تکین ساز آزما
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
امیری، احمد (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت بنیاد بتن آذرآبادگان
بهکام، علیرضا (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت معیارگستر صدر
پوربابا، مسعود (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه
تقی زادیه، نادر (کارشناس ارشد زمین شناسی)	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی
حیدرپور، هادی (کارشناس مهندسی عمران)	کارشناس
روا، افشین (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
زیرک کار، سهراب (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	سازمان عمران شهرداری تبریز

سامانی، ایوب (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت مهندسین مشاور خاک آب تحلیل
ظهوری، رضا (کارشناس مهندسی عمران)	بتن آماده لطفی
عدالتی، حسین (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	مجتمع تولیدی امامیه سپاه
فرشی حق رو، ساسان (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
مشک آبادی، کامبیز (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
موسایی، اصغر (کارشناس معماری)	آزمایشگاه عمران سنجش میزان
موسوی، محمد (کارشناس مهندسی عمران)	آزمایشگاه جهاد تحقیقات سهند
مهدیزاده، کامران (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	سازمان نظام مهندسی ساختمان آذربایجان‌شرقی
ولیزاده، وحید (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش گفتار		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	اصول آزمون	۲
۵	وسایل آزمون	۲
۶	آزمونه‌ها	۵
۷	تعیین فرکانس‌های تشدید- روش تشدید اجباری	۵
۸	تعیین فرکانس‌های تشدید- روش تشدید ضربه	۸
۹	محاسبات	۱۰
۱۰	گزارش آزمون	۱۲
۱۱	دقت و اریبی	۱۳

پیش گفتار

استاندارد «فرکانس‌های اصلی تشدید عرضی، طولی و پیچشی نمونه‌های بتن– روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت تکین ساز آزما تهیه و تدوین شده است و در پانصد و پنجمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده های ساختمانی مورخ ۹۳/۲/۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ASTM C215**:**2008, Fundamental transverse, longitudinal, and torsional resonant frequencies of concrete specimens– Test method

فرکانس‌های اصلی تشدید عرضی، طولی و پیچشی نمونه‌های بتن– روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای اندازه‌گیری فرکانس‌های اصلی تشدید عرضی، طولی و پیچشی نمونه‌های منشوری و استوانه‌ای بتن، به منظور محاسبه دینامیکی، مدول الاستیسیته یانگ و مدول صلبیت (گاهی اوقات، با عنوان «مدول الاستیسیته برشی» مشخص می‌شود) و ضریب پواسون است.

۱-۲ این استاندارد، اصولاً برای تشخیص تغییرات قابل‌توجه در مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌های آزمایشگاهی یا کارگاهی که در معرض هوازدگی یا دیگر اثرات بالقوه فرسایش، قرار گرفته است، کاربرد دارد. همچنین، برای پایش بهبود مدول الاستیسیته دینامیکی با افزایش بلوغ آزمونه‌ها، کاربرد دارد.

۱-۳ به طور کلی، مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی به‌دست آمده با این روش آزمون، بیش از مقدار تعیین شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۵۲۵ است. این اختلاف، تا حدودی به سطح مقاومت بتن بستگی دارد.

۱-۴ در حالت کلی شرایط ساخت، مقدار رطوبت و دیگر ویژگی‌های آزمونه‌ها (به بند ۶ مراجعه شود) نتایج به دست‌آمده را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۱-۵ ممکن است برای نمونه‌های یک بتن، با اندازه و شکل‌های مختلف، مقادیر مختلفی از مدول الاستیسیته دینامیکی با فرکانس‌های تشدید خیلی متفاوت به‌دست آید. بنابراین، مقایسه نتایج در نمونه‌هایی با اندازه یا شکل متفاوت توصیه نمی‌شود.

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد 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 می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای 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:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، بتن- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای و منشوری جهت تعیین مقاومت و چگالی بتن پیش آکنده در آزمایشگاه- آیین کار

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۵۲۵، بتن- تعیین مدول ارتجاعی و ضریب پواسون بتن- روش آزمون

2-3 ASTM C31/C31M, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

2-4 ASTM C42/C42M, Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

2-5 ASTM C125, Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

2-6 ASTM C670, Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

2-7 ASTM E1316, Terminology for Nondestructive Examinations

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استانداردهای ASTM C125 و ASTM E1316 (بخش مرتبط با آزمون اولتراسونیک) به‌کار می‌رود.

۴ اصول آزمون

۴-۱ فرکانس‌های اصلی تشدید به یکی از دو روش زیر تعیین می‌شود: **الف**- روش تشدید اجباری؛ **ب**- روش تشدید ضربه. صرف‌نظر از روش انتخاب شده، برای تمامی نمونه‌های یک سری، از روش یکسان استفاده می‌شود.

۴-۲ در روش تشدید اجباری، نمونه پشتیبانی‌شده توسط یک دستگاه محرک الکترومکانیکی، تحت ارتعاش قرار گرفته و پاسخ نمونه توسط یک دستگاه پیکاپ[1] سبک وزن، بر روی نمونه پایش می‌شود. فرکانس محرک تا رسیدن پاسخ نمونه مورد آزمون به حداکثر دامنه، مقادیر متغیری خواهد داشت. مقدار فرکانسی که سبب حداکثر پاسخ می‌شود فرکانس تشدید نمونه است. فرکانس‌های اصلی برای سه مد ارتعاشی مختلف، با جایابی مناسب محرک و دستگاه پیکاپ به دست می‌آید.

۴-۳ در روش تشدید ضربه، به نمونه پشتیبانی شده یک ضربه کوچک وارد شده و پاسخ نمونه توسط یک شتاب‌سنج سبک وزن روی نمونه اندازه‌گیری شده و خروجی شتاب‌سنج ثبت می‌شود. فرکانس اصلی ارتعاش با استفاده از پردازش دیجیتالی سیگنال و یا شمارش تعداد عبور از صفر در شکل‌موج ثبت‌شده، تعیین می‌شود. فرکانس‌های اصلی برای سه مد ارتعاشی مختلف، با جایابی مناسب نقطه ضربه و شتاب‌سنج به‌دست می‌آید.

۵ وسایل آزمون

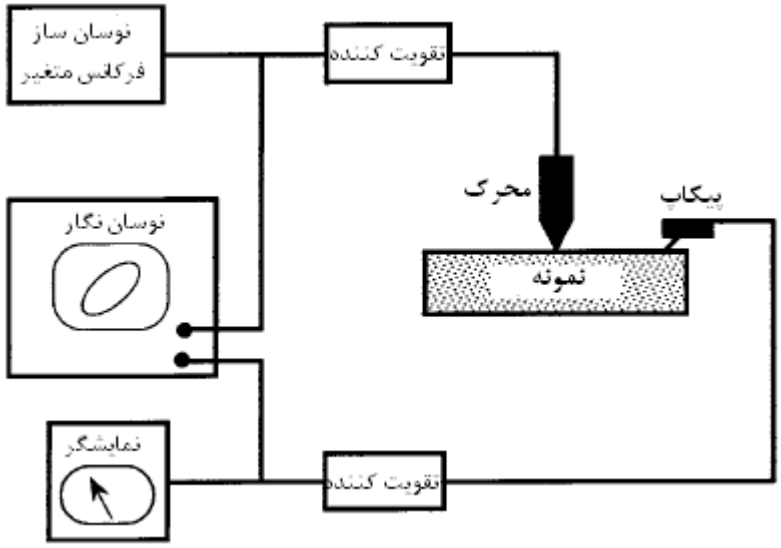
۵-۱ دستگاه تشدید اجباری (به شکل۱ مراجعه شود)

۵-۱-۱ مدار تحریک، مدار تحریک باید شامل یک نوسان‌ساز صوتی فرکانس متغیر، یک تقویت کننده و یک

1- Pickup

دستگاه محرک باشد. نوسان‌ساز باید با دقت ٪۲± گستره کاری فرکانس واقعی (حدود ۱۰۰Hz تا ۱۰۰۰۰Hz) واسنجی شود. ترکیب نوسان‌ساز و تقویت‌کننده باید قادر به تحویل توان خروجی کافی برای ایجاد ارتعاشاتی در فرکانس‌های متفاوت از فرکانس اصلی، در آزمونه باشند، و باید ابزارهایی برای کنترل خروجی داشته باشند. دستگاه محرک که برای ایجاد ارتعاش در نمونه استفاده می‌شود، باید قادر به جابجایی تمام توان خروجی از نوسان‌ساز و تقویت‌کننده، باشد. دستگاه محرک می‌تواند در تماس با آزمونه به کار رود، یا با یک فاصله از آن جدا شود. هنگامی که آزمونه در تماس با محرک است، قطعات ارتعاشی دستگاه محرک باید در مقایسه با آزمونه، جرم کوچکتری داشته باشند. نوسان‌ساز و تقویت‌کننده باید قادر به تولید ولتاژی با نوسانات حداکثر ٪۲۰± گستره فرکانس بوده و در ترکیب با دستگاه محرک، باید عاری از تشدیدهای ساختگی در خروجی باشند.

یادآوری ۱- توصیه می‌شود واسنجی نوسان‌ساز صوتی فرکانس متغیر، در برابر سیگنال‌های مخابره‌ای توسط موسسه ملی استانداردها و تکنولوژی ایستگاه رادیویی WWV، یا در برابر تجهیزات الکترونیکی مناسب نظیر شمارنده فرکانس، که قبلاً واسنجی شده و مناسب تشخیص داده شده است، به صورت دوره‌ای کنترل شود.



شکل ۱- طرح شماتیک دستگاه آزمون تشدید اجباری

۵-۱-۲ مدار پیکاپ، مدار پیکاپ باید شامل یک دستگاه پیکاپ، یک تقویت‌کننده و یک نمایشگر باشد. دستگاه پیکاپ باید ولتاژی متناسب با جابجایی، سرعت یا شتاب آزمونه، تولید کند و قطعات ارتعاشی آن باید در مقایسه با آزمونه، جرم کوچکتری داشته باشند. در گستره کاری عادی، دستگاه پیکاپ باید عاری از تشدیدهای ساختگی باشد. برای برآوردن این الزامات، می‌توان از دستگاه پیکاپ پیزوالکتریک[1] یا مغناطیسی استفاده کرد. تقویت‌کننده باید خروجی قابل‌کنترل با توان‌کافی برای تحریک نمایشگر داشته باشد. نمایشگر باید شامل ولت‌متر

1- Piezoelectric

میلی‌آمپرسنج یا صفحه نمایش گرافیکی آنی نظیر نوسان‌نگار یا سیستم داده‌یابی مجهز به صفحه نمایش باشد (به یادآوری ۲ مراجعه شود).

یادآوری ۲- برای آزمون نمونه‌هایی که فرکانس اصلی آن‌ها در محدوده‌های منطقی پیش‌بینی می‌شود، استفاده از نمایشگر نوع سنجه‌ای[1] کفایت می‌کند و حتی کارآمدتر از نوسان‌نگار یا صفحه نمایش کامپیوتری است. با این حال، توصیه می‌شود در صورت امکان برای کاربردهای تکمیلی، از صفحه نمایش گرافیکی به جای نمایشگر نوع سنجه‌ای استفاده شود. هنگامی که محدوده فرکانس اصلی نمونه‌های تحت آزمون قابل پیش‌بینی نیست، استفاده از صفحه نمایش گرافیکی به عنوان نمایشگر، ضروری است. همچنین، استفاده از صفحه نمایش گرافیکی برای بررسی انحراف تجهیزات و هنگامی که استفاده از تجهیزات برای مقاصد دیگری غیر از موارد مشخص شده در این استاندارد مطلوب باشد، بسیار مفید است.

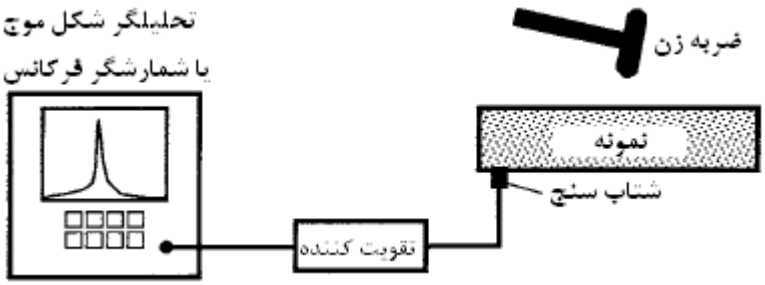
۵-۱-۳ تکیه‌گاه نمونه، تکیه‌گاه نمونه باید طوری باشد که نمونه بتواند به راحتی نوسان کند (به یادآوری ۳ مراجعه شود). موقعیت نقاط گره برای مدهای ارتعاشی مختلف، در یادآوری‌های ۴، ۵ و ۶ تشریح شده است. ابعاد سیستم تکیه‌گاه باید طوری باشد که فرکانس تشدید خارج از گستره کاری فرکانس (از ۱۰۰Hz تا ۱۰۰۰۰Hz) رخ دهد.

یادآوری ۳- به این منظور، می‌توان در نزدیکی نقاط گره از تکیه‌گاه‌های لاستیکی نرم یا صفحات کم‌ضخامت از جنس لاستیک اسفنجی، استفاده نمود.

۵-۲ دستگاه تشدید ضربه (به شکل۲ مراجعه شود)

۵-۲-۱ ضربه‌زن، ضربه‌زن باید از جنس فلز یا پلاستیک سخت باشد، و مدت زمان ضربه باید برای تحریک بالاترین فرکانس تشدید اندازه‌گیری شده، به حدکافی کوتاه باشد. سازنده باید حداکثر مقدار فرکانس تشدید را که بتوان در زمان ضربه‌زدن به نمونه بتنی شکل داده‌شده با قالب فلزی یا پلاستیکی برانگیخت، مشخص کند.

یادآوری۴- چکش ساخته شده با یک گوی فولادی صلب با قطر ۱۹ mm و یک میله لاغر، می‌تواند هنگام ضربه‌زدن به سطح بتنی صاف، فرکانس‌های تشدید را تا حدود ۱۰kHz تحریک کند. چکش فولادی با وزن گوی ۱۱۰g می‌تواند اثر مشابهی داشته باشد. گوی‌های فولادی بزرگتر، حداکثر فرکانس‌های تشدید تحریک شده را کاهش می‌دهند.



شکل ۲- طرح شماتیک دستگاه آزمون تشدید ضربه

1- Meter-type

۵-۲-۲ حسگر، حسگر باید یک شتاب‌سنج پیزوالکتریک با جرم کمتر از ۳۰g و با گستره فرکانس کاری از ۱۰۰Hz تا ۱۰۰۰۰Hz باشد. فرکانس تشدید شتاب‌سنج باید حداقل دو برابر فرکانس کاری باشد.

۵-۲-۳ تحلیل‌گر فرکانس، با استفاده از تحلیل‌گر دیجیتالی شکل‌موج یا شمارش‌گر فرکانس، سیگنال اندازه‌گیری شده توسط حسگر را تحلیل نموده و فرکانس ارتعاشی نمونه را تعیین می‌کند. تحلیل‌گر شکل‌موج، باید دارای نرخ نمونه‌برداری حداقل ۲۰Hz بوده و حداقل ۱۰۲۴ نقطه از شکل موج را ثبت کند. دقت شمارش‌گر فرکانس باید ٪۱± گستره کاری باشد.

۵-۲-۴ تکیه‌گاه نمونه، تکیه‌گاه باید مطابق با بند ۵-۱-۳ که برای روش تشدید اجباری تشریح شد، آماده شود.

۶ آزمونه‌ها

۶-۱ آماده‌سازی، آزمونه‌های استوانه‌ای یا منشوری را مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹ یا ASTM C31/C31M، ASTM C42/C42M یا سایر دستورالعمل‌های مشخص، آماده کنید.

۶-۲ اندازه‌گیری جرم و ابعاد، جرم و طول متوسط نمونه‌ها را با دقت ٪۵± و ابعاد متوسط سطح مقطع را با دقت ٪۱± تعیین کنید.

۶-۳ محدودیت‌های تناسب ابعادی، اگر نسبت طول به حداکثر راستای عرضی در نمونه، کوچک یا بزرگ باشد، غالباً تحریک مد ارتعاشی اصلی به سختی امکان‌پذیر است. بهترین نتایج زمانی به‌دست می‌آیند که این نسبت بین ۳ و ۵ باشد. برای استفاده از فرمول‌ها در این استاندارد، این نسبت باید حداقل برابر ۲ باشد.

۷ تعیین فرکانس‌های تشدید– روش تشدید اجباری

۷-۱ فرکانس عرضی

۷-۱-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد عرضی ارتعاش نماید (به یادآوری ۵ مراجعه شود). موقعیت نمونه و محرک طوری باشد که نیروی تحریک به صورت عمود بر سطح نمونه وارد شود. دستگاه محرک را تقریباً در وسط نمونه قرار دهید. دستگاه پیکاپ را طوری روی نمونه قرار دهید که راستای حساسیت پیکاپ بر راستای ارتعاش (راستای عرضی) منطبق شود (به شکل ۳ الف مراجعه شود). پیکاپ را در نزدیکی یک انتهای نمونه قرار دهید. مجاز است محرک را به صورت عمودی قرار دهید به طوری که ارتعاشات نمونه عمود بر راستای نشان داده شده در شکل ۳ الف باشد.

۷-۱-۲ آزمونه را در فرکانس‌های مختلف به ارتعاش در آورید. همزمان، نشانگر خروجی تقویت‌شده پیکاپ را مشاهده نمایید. فرکانس عرضی اصلی نمونه را ثبت کنید، که به ازای آن قرائت نمایشگر حداکثر بوده و با مشاهده نقاط گره، ارتعاش عرضی اصلی قابل تشخیص است (به یادآوری ۵ مراجعه شود). تقویت‌کننده‌ها در مدارهای تحریک و پیکاپ را طوری تنظیم نمایید که نشانگر به صورت رضایتبخش عمل نماید. برای جلوگیری از

اعوجاج، نیروی تحریک را تا حد امکان کم کنید تا پاسخ تشدید، مطلوب باشد.

یادآوری ۵- برای ارتعاش عرضی اصلی، نقاط گره در فاصله ۰٫۲۲۴ طول نمونه، از هر انتها قرار می‌گیرند (تقریباً در فاصله یک چهارم از انتها). ارتعاشات در قسمت‌های انتهایی حداکثر بوده و در مرکز تقریباً سه پنجم مقدار حداکثر و در نقاط گره، صفر است. بنابراین، حرکت پیکاپ در امتداد طول نمونه نشان می‌دهد که ارتعاشات مشاهده شده در نمایشگر ناشی از ارتعاش نمونه در مد عرضی اصلی آن می‌باشد. همچنین، برای تعیین اینکه نمونه در مد عرضی اصلی ارتعاش می‌کند یا نه، می‌توان از یک نوسانگر استفاده نمود. سیگنال محرک به جاروب افقی و سیگنال پیکاپ به جاروب عمودی نوسانگر وصل شده است. هنگامی که پیکاپ در انتهای نمونه قرار می‌گیرد، و نمونه در مد عرضی اصلی ارتعاش می‌کند، نوسانگر یک الگوی متمایل به بیضوی را نشان می‌دهد. هنگامی که پیکاپ در یک گره قرار می‌گیرد، نوسانگر یک خط افقی را نشان می‌دهد. هنگامی که پیکاپ در مرکز نمونه قرار می‌گیرد، نوسانگر یک الگوی بیضوی اما در جهت مخالف حالتی که پیکاپ در انتهای نمونه قرار می‌گیرد، نشان خواهد داد. نوسانگر همچنین می‌تواند برای تشخیص اینکه فرکانس محرک، فرکانس تشدید اصلی است، به کار رود. هنگامی که فرکانس محرک کسری از فرکانس اصلی باشد، حالت تشدید نمی‌تواند رخ دهد. در این حالت، اما الگوی نوسانگر بیضی نخواهد بود.

۷-۲ فرکانس طولی

۷-۲-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد طولی ارتعاش نماید (به یادآوری ۶ مراجعه شود). موقعیت نمونه و محرک طوری باشد که نیروی تحریک به صورت عمود و تقریباً در مرکز یک سطح انتهایی نمونه وارد شود. دستگاه پیکاپ را طوری روی نمونه قرار دهید که راستای حساسیت پیکاپ بر راستای ارتعاش (راستای طولی) منطبق شود (به شکل ۳ ب مراجعه شود).

۷-۲-۲ آزمونه را در فرکانس‌های مختلف به ارتعاش در آورید. همزمان، نشانگر خروجی تقویت‌شده پیکاپ را مشاهده نمایید. فرکانس طولی اصلی نمونه را ثبت کنید، که به ازای آن قرائت نمایشگر حداکثر بوده و با مشاهده نقاط گره، ارتعاش طولی اصلی قابل تشخیص است (به یادآوری ۶ مراجعه شود).

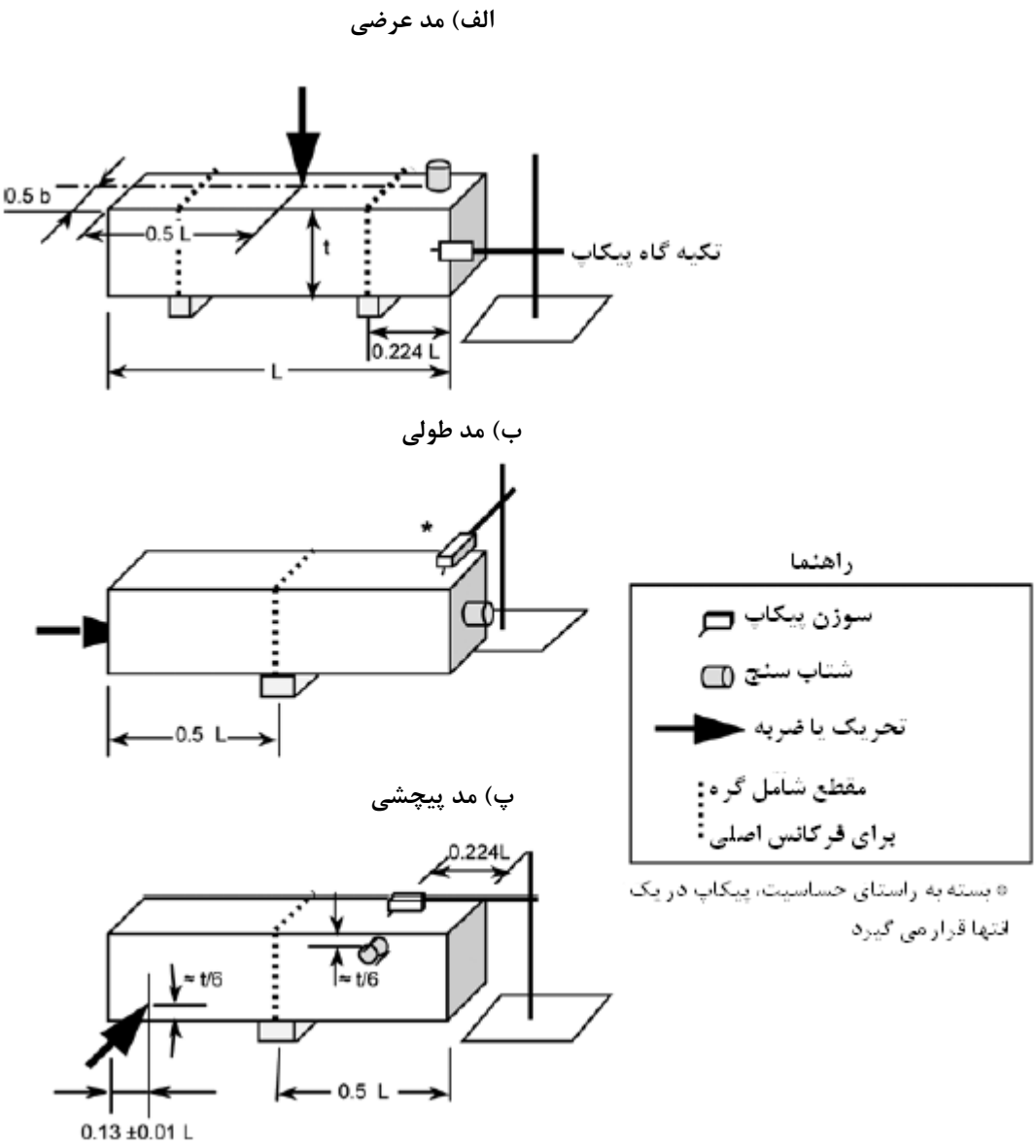
یادآوری ۶- برای مد طولی اصلی، یک گره در مرکز طول نمونه وجود دارد. ارتعاشات در قسمت‌های انتهایی، حداکثر هستند.

۷-۳ فرکانس پیچشی

۷-۳-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد پیچشی ارتعاش نماید (به یادآوری ۷ مراجعه شود). موقعیت نمونه و محرک طوری باشد که نیروی تحریک به صورت عمود بر سطح نمونه وارد شود. برای نمونه‌های منشوری، دستگاه محرک را نزدیک لبه بالایی یا پایینی نمونه، با فاصله ۰٫۰۱± ۰٫۱۳ طول نمونه از انتها و تقریباً یک ششم ارتفاع نمونه از لبه قرار دهید (به شکل ۳پ مراجعه شود). برای نمونه‌های استوانه‌ای، دستگاه محرک را بالا یا پایین خط وسط استوانه قرار دهید. دستگاه پیکاپ را روی سطح نمونه و در سمت مخالف طوری قرار دهید که منطبق بر نقاط گره برای ارتعاش عرضی اصلی باشد (به شکل ۳ الف مراجعه شود). واحد پیکاپ را طوری روی نمونه قرار دهید که راستای حساسیت پیکاپ بر راستای ارتعاش (عمود بر محور طولی) منطبق شود.

۷-۳-۲ آزمونه را در فرکانس‌های مختلف به ارتعاش در آورید. همزمان، نشانگر خروجی تقویت‌شده پیکاپ را مشاهده نمایید. فرکانس پیچشی اصلی نمونه را ثبت کنید، که به ازای آن قرائت نمایشگر حداکثر بوده و با مشاهده نقاط گره، ارتعاش پیچشی اصلی قابل تشخیص است (به یادآوری ۷ مراجعه شود).

یادآوری ۷- برای مد پیچشی اصلی، یک گره در مرکز نمونه وجود دارد. ارتعاشات در انتهاها، حداکثر هستند. جایابی دستگاه محرک و پیکاپ، همان طوری که در شکل ۳پ نشان داده شده است، می‌تواند تداخل ارتعاشات عرضی را که همزمان با ارتعاشات پیچشی رخ می‌دهند، را به حداقل رساند.



شکل ۳- موقعیت‌های محرک (یا ضربه) و سوزن پیکاپ (یا شتاب‌سنج)

۸ تعیین فرکانس‌های تشدید– روش تشدید ضربه

۸-۱ فرکانس عرضی

۸-۱-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد عرضی ارتعاش نماید (به یادآوری ۵ مراجعه شود). شتاب‌سنج را در نزدیکی انتهای نمونه، همچنان که در شکل ۳ الف نشان داده شده است، ثابت کنید.

یادآوری ۸- شتاب‌سنج را می‌توان با استفاده از موم نرم یا سایر مواد مناسب، نظیر چسب یا گریس به نمونه چسباند. در صورتی که نمونه مرطوب باشد، می‌توان از یک جت هوا برای خشکاندن سطح محل اتصال استفاده نمود. به طور جایگزین، شتاب‌سنج را می‌توان به صورت نوارکشی در محل ثابت نمود، که بهتر است برای اطمینان از اتصال مناسب شتاب‌سنج و نمونه از مواد اتصال دهنده استفاده کرد.

۸-۱-۲ تحلیل‌گر شکل‌موج یا شمارشگر فرکانس را برای ثبت داده‌ها آماده کنید. نرخ نمونه‌برداری تحلیل‌گر دیجیتالی شکل موج را روی ۲۰kHz تنظیم نمایید (به یادآوری ۹ مراجعه شود) و تعداد نقاط نمونه‌برداری را ۱۰۲۴ در نظر بگیرید. سیگنال خروجی شتاب‌سنج را برای تحریک داده‌یابی به کار برید. با استفاده از ضربه‌زن، به صورت عمود بر سطح و تقریباً در وسط نمونه، ضربه‌ای وارد نمایید.

یادآوری ۹- فرکانس نمونه‌برداری باید حداقل دو برابر فرکانس تشدید آزمونه باشد. فرکانس نمونه‌برداری ۲۰ kHz برای نمونه‌هایی با فرکانس تشدید کمتر از ۱۰kHz کاربرد دارد، که عمدتاً در نمونه‌های آزمایشگاهی معمول است. در صورت وجود فرکانس‌های تشدید بالاتر، فرکانس نمونه‌برداری را متناسب با آن افزایش دهید.

۸-۱-۳ فرکانس تشدید نشان داده شده توسط تحلیل‌گر شکل‌موج (به یادآوری ۱۰ مرجعه شود) یا شمارش‌گر فرکانس را ثبت نمایید. آزمون را دوبار تکرار نموده و مقدار متوسط فرکانس تشدید عرضی را ثبت کنید. در صورتی که فرکانس اندازه‌گیری شده بیش از ٪۱۰ از مقدار متوسط، اختلاف داشته باشد، آن اندازه را در نظر نگرفته و آزمون را تکرار نمایید. هنگامی که از یک شمارش‌گر فرکانس مبتنی بر روش عبور از صفر استفاده می‌شود، پس از وقوع ۱۰ سیکل اول ارتعاشات عرضی، داده‌برداری را آغاز کنید (به یادآوری ۱۱ مراجعه شود).

یادآوری ۱۰- هنگام استفاده از تحلیل‌گر شکل‌موج، فرکانس تشدید فرکانسی است که به ازای آن، دامنه طیف یا توان طیف به‌دست‌آمده از تبدیل سریع فوریه[1] سیگنال‌های ثبت‌شده شتاب‌سنج، دارای بالاترین نقطه اوج است. فرکانس اصلی تشدید را می‌توان با ضربه‌زدن به نمونه در یکی از نقاط گره، تشخیص داد. دامنه طیف به ازای فرکانس اصلی باید بدون نقطه اوج یا دارای نقطه اوج کوچکی باشد.

یادآوری ۱۱- هنگام استفاده از وسایل آزمون مبتنی بر روش عبور از صفر، در سنجش فرکانس تشدید نمونه‌های در معرض فرسایش نظیر سیکل‌های یخزدن و آب‌شدن، دقت کنید. فرسایش نمونه، مقدار میرایی را افزایش داده و دامنه ارتعاش پس از ضربه، در مقایسه با نمونه سالم، سریع‌تر از بین می‌رود. برای تعیین دقیق فرکانس، مدت زمان نمونه‌برداری باید متناسب با مدت زمان زوال ارتعاش باشد. علاوه بر آن، وقوع تعداد سیکل‌های کمتری قبل از آغاز داده‌برداری ممکن است قابل قبول باشد.

1- Fast fourier transform

۸-۲ فرکانس طولی

۸-۲-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد طولی ارتعاش نماید (به یادآوری ۶ مراجعه شود). شتاب‌سنج را تقریباً در مرکز سطح انتهایی نمونه، همچنان که در شکل ۳ ب نشان داده شده است، ثابت کنید.

۸-۲-۲ تحلیل‌گر شکل‌موج یا شمارشگر فرکانس را برای ثبت داده‌ها آماده کنید. نرخ نمونه‌برداری تحلیل‌گر دیجیتالی شکل موج را روی ۲۰kHz تنظیم نمایید (به یادآوری ۱۰ مراجعه شود) و تعداد نقاط نمونه‌برداری را ۱۰۲۴ در نظر بگیرید. سیگنال خروجی شتاب‌سنج را برای تحریک داده‌یابی به کار برید. با استفاده از ضربه‌زن، به صورت عمود بر سطح و تقریباً در مرکز سطح انتهایی فاقد شتاب‌سنج، ضربه‌ای وارد نمایید.

۸-۲-۳ فرکانس تشدید نشان داده شده توسط تحلیل‌گر شکل‌موج (به یادآوری ۱۰ مرجعه شود) یا شمارش‌گر فرکانس را ثبت نمایید. آزمون را دوبار تکرار نموده و مقدار متوسط فرکانس تشدید طولی را ثبت کنید. در صورتی که فرکانس اندازه‌گیری شده بیش از ٪۱۰ از مقدار متوسط، اختلاف داشته باشد، آن اندازه را در نظر نگرفته و آزمون را تکرار نمایید. هنگامی که از یک شمارش‌گر فرکانس مبتنی بر روش عبور از صفر استفاده می‌شود، پس از وقوع ۳۰ سیکل اول ارتعاشات طولی، داده‌برداری را آغاز کنید، و مطمئن شوید که ضربه به صورت عمود بر سطح وارد می‌شود (به یادآوری ۱۱ مراجعه شود).

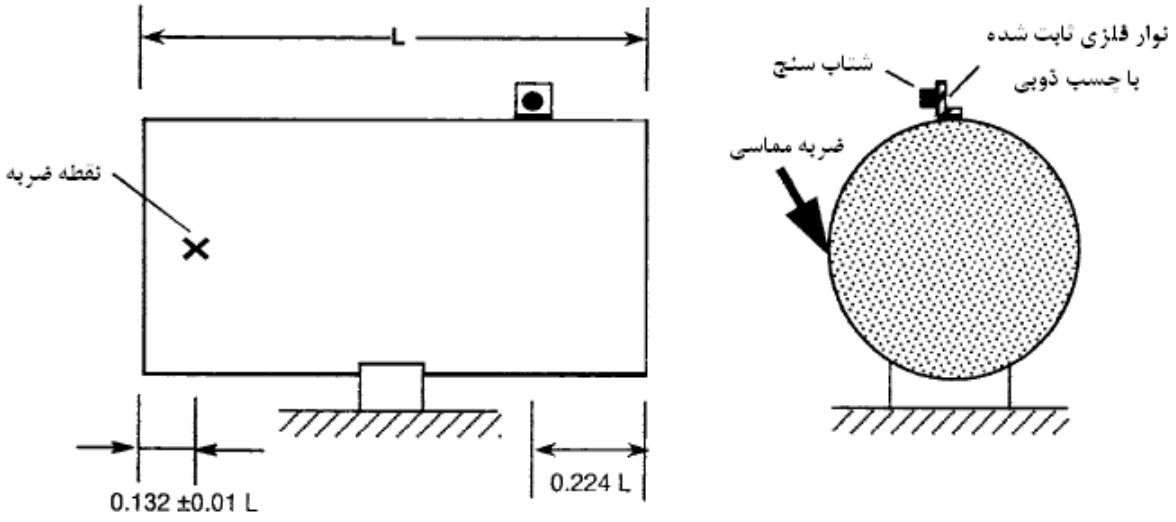
۸-۳ فرکانس پیچشی

۸-۳-۱ نمونه را طوری پشتیبانی کنید که بتواند آزادانه در مد پیچشی ارتعاش نماید (به یادآوری ۷ مراجعه شود). برای نمونه‌های منشوری، شتاب‌سنج را نزدیک لبه نمونه و در سطح مقطعی که شامل یک نقطه گره ارتعاش عرضی اصلی است، ثابت کنید (به شکل ۳پ مراجعه شود). برای نمونه‌های استوانه‌ای، شتاب‌سنج را طوری روی نمونه سوار کنید که راستای حساسیت آن مماس بر سطح مقطع دایره‌ای باشد، که شامل یک نقطه گره ارتعاش عرضی اصلی است.

یادآوری ۱۲- همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، یک شیوه اتصال شتاب‌سنج به نمونه استوانه‌ای، استفاده از چسب است.

۸-۳-۲ تحلیل‌گر شکل‌موج یا شمارشگر فرکانس را برای ثبت داده‌ها آماده کنید. نرخ نمونه‌برداری تحلیل‌گر دیجیتالی شکل موج را روی ۲۰kHz تنظیم نمایید (به یادآوری ۱۰ مراجعه شود) و تعداد نقاط نمونه‌برداری را ۱۰۲۴ در نظر بگیرید. سیگنال خروجی شتاب‌سنج را برای تحریک داده‌یابی به کار برید. برای نمونه‌های منشوری، ضربه را در نقطه‌ای نزدیک لبه بالایی یا پایینی نمونه، با فاصله ۰٫۰۱± ۰٫۱۳ طول نمونه از انتها و تقریباً یک ششم ارتفاع نمونه از لبه، وارد نمایید (به شکل ۳پ مراجعه شود). برای نمونه‌های استوانه‌ای ضربه را مماس بر سطح و با فاصله مساوی از انتها، وارد نمایید (به شکل ۴ مراجعه شود).

۸-۳-۳ فرکانس تشدید نشان داده شده توسط تحلیل‌گر شکل‌موج (به یادآوری ۱۰ مرجعه شود) یا شمارش‌گر فرکانس را ثبت نمایید. آزمون را دوبار تکرار نموده و مقدار متوسط فرکانس تشدید پیچشی را ثبت کنید. در صورتی که فرکانس اندازه‌گیری شده بیش از ٪۱۰ از مقدار متوسط، اختلاف داشته باشد، آن اندازه را در نظر نگرفته و آزمون را تکرار کنید. هنگامی که از یک شمارش‌گر فرکانس مبتنی بر روش عبور از صفر استفاده می‌شود، پس از وقوع ۱۰ سیکل اول ارتعاشات پیچشی، داده‌برداری را آغاز کنید (به یادآوری ۱۱ مراجعه شود).



شکل ۴- موقعیت‌های ضربه و شتاب‌سنج برای مد پیچشی نمونه استوانه‌ای

۹ محاسبات

۹-۱ مدول دینامیکی الاستیسیته یانگ، E، را با توجه به فرکانس عرضی اصلی، جرم و ابعاد آزمونه، مطابق رابطه زیر بر حسب پاسکال محاسبه کنید:

دینامیکی $E = CMn^2$ (۱)

که در آن:

M جرم آزمونه، بر حسب kg؛

n فرکانس عرضی اصلی، بر حسب Hz؛

C برای استوانه برابر است با (L^3T/d^4) ۱٫۶۰۶۷، برحسب m^{-1}، یا

برای منشور برابر است با (L^3T/bt^3) ۰٫۹۴۶۴، برحسب m^{-1}؛

L طول آزمونه، برحسب m؛

d قطر استوانه، برحسب m؛

t, b ابعاد سطح مقطع منشور، برحسب m، t در راستای تحریک می‌باشد، و؛

T ضریب تصحیح، که به نسبت شعاع ژیراسیون، K (شعاع ژیراسیون برای استوانه برابر است با $d/4$ و برای منشور برابر است با $t/3.464$) به طول آزمونه، L و به ضریب پواسون بستگی دارد. در جدول۱مقادیر T برای مقادیر مختلف K/L و ضریب پواسون داده شده است.

جدول ۱- مقادیر ضریب تصحیح،T

K/L	مقادیر T [A]			
	μ=۰٫۱۷	μ=۰٫۲۰	μ=۰٫۲۳	μ=۰٫۲۶
۰	۱	۱	۱	۱
۰٫۰۱	۱٫۰۱	۱٫۰۱	۱٫۰۱	۱٫۰۱
۰٫۰۲	۱٫۰۳	۱٫۰۳	۱٫۰۳	۱٫۰۳
۰٫۰۳	۱٫۰۷	۱٫۰۷	۱٫۰۷	۱٫۰۷
۰٫۰۴	۱٫۱۳	۱٫۱۳	۱٫۱۳	۱٫۱۴
۰٫۰۵	۱٫۲۰	۱٫۲۰	۱٫۲۱	۱٫۲۱
۰٫۰۶	۱٫۲۸	۱٫۲۸	۱٫۲۹	۱٫۲۹
۰٫۰۷	۱٫۳۸	۱٫۳۸	۱٫۳۹	۱٫۳۹
۰٫۰۸	۱٫۴۸	۱٫۴۹	۱٫۴۹	۱٫۵۰
۰٫۰۹	۱٫۶۰	۱٫۶۱	۱٫۶۱	۱٫۶۲
۰٫۱۰	۱٫۷۳	۱٫۷۴	۱٫۷۵	۱٫۷۶
۰٫۱۲	۲٫۰۳	۲٫۰۴	۲٫۰۵	۲٫۰۷
۰٫۱۴	۲٫۳۶	۲٫۳۸	۲٫۳۹	۲٫۴۱
۰٫۱۶	۲٫۷۳	۲٫۷۵	۲٫۷۷	۲٫۸۰
۰٫۱۸	۳٫۱۴	۳٫۱۷	۳٫۱۹	۳٫۲۲
۰٫۲۰	۳٫۵۸	۳٫۶۱	۳٫۶۵	۳٫۶۹
۰٫۲۵	۴٫۷۸	۴٫۸۴	۴٫۸۹	۴٫۹۶
۰٫۳۰	۶٫۰۷	۶٫۱۵	۶٫۲۴	۶٫۳۴

[A] ضریب پواسون برای بتن اشباع شده با آب ممکن است بزرگتر از ۰٫۱۷ باشد. ضریب تصحیح، T، برای سایر مقادیر ضریب پواسون، μ، و K/L داده شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T' = T\left[\frac{1 + (0.26\mu + 3.22\mu^2)K/L}{1 + 0.1328\ K/L}\right]$$

که در آن T برابر است با مقادیر مربوط به μ=۰٫۱۷ که در ستون دوم جدول ۱ برای K/L داده شده، مشخص است.

۹-۲ مدول دینامیکی الاستیسیته یانگ، E، را با توجه به فرکانس طولی اصلی، جرم و ابعاد آزمونه، مطابق رابطه زیر بر حسب پاسکال محاسبه کنید:

$$E = DM(n')^2 \quad \text{دینامیکی} \qquad (۲)$$

که در آن:

n' فرکانس طولی اصلی، بر حسب Hz، و؛

D برای استوانه برابر است با (L/d^2) ۵٫۰۹۳، برحسب m^{-1}، یا

برای منشور برابر است با (L/bt) ۴، برحسب m^{-1}.

۹-۳ مدول دینامیکی صلبیت، G، را با توجه به فرکانس پیچشی اصلی، جرم و ابعاد آزمونه، مطابق رابطه زیر بر حسب پاسکال محاسبه کنید:

$$G = BM(n'')^2 \quad \text{دینامیکی} \qquad (۳)$$

که در آن:

n'' فرکانس پیچشی اصلی، بر حسب Hz؛

B برابر است با $(4LR/A)$، برحسب m^{-1}؛

R ضریب شکل:

برای استوانه با مقطع دایره‌ای برابر است با ۱

برای منشور با سطح مقطع مربع برابر است با ۱٫۱۸۳

برای منشور با سطح مقطع مستطیلی برابر است با $(a/b + b/a)/[4a/b - 2.52(a/b)^2 + 0.21(a/b)^6]$

که a، b و m ابعاد سطح مقطع آن است، و a کوچکتر از b می‌باشد، و؛

A مساحت سطح مقطع آزمونه، برحسب m^2.

۹-۴ ضریب پواسون دینامیکی (نسبت کرنش عرضی به طولی)، μ، را برای یک جسم همگن، مطابق رابطه زیر محاسبه کنید:

$$\mu = (E/2G) - 1 \qquad (۴)$$

یادآوری ۱۳- مقادیر ضریب پواسون برای بتن، معمولاً بین ۰٫۱۰ برای نمونه‌های خشک و ۰٫۲۵ برای نمونه‌های اشباع متغیر است. برای بتنی که در سنین اولیه مورد آزمون قرار می‌گیرد، مقادیر بزرگتری پیش‌بینی می‌شود.

۱۰ گزارش آزمون

۱۰-۱ موارد زیر را برای هر آزمونه گزارش کنید:

الف- شماره شناسایی؛

ب- ابعاد سطح مقطع با دقت ٪۰٫۱؛

پ- طول با دقت ٪۰٫۵؛

ت- جرم با دقت ٪۰٫۵

ث- تشریح عیوب، در صورت وجود، و؛

ج- مد ارتعاشی و فرکانس تشدید مرتبط با دقت ۱۰Hz.

۱۰-۲ چنانچه مدول دینامیکی الاستیسیته یانگ یا مدول دینامیکی صلبیت محاسبه شده است، آن را با دقت ۰٫۵GPa گزارش کنید.

۱۰-۳ اگر ضریب پواسون دینامیکی محاسبه شده است، آن را با دقت ۰٫۰۱ گزارش کنید.

۱۱ دقت و اریبی

۱۱-۱ دقت روش تشدید اجباری، بیانیه دقت ذیل، صرفاً برای فرکانس عرضی اصلی است، که روی نمونه‌های منشوری قالب‌گیری شده، تعیین شده است. آن‌ها نباید برای منشورهای بتنی که در معرض آزمون‌های یخ‌زدن و ذوب‌شدن قرار گرفته‌اند، به کار روند. در حال حاضر، داده‌های مناسب جهت تعیین دقت فرکانس‌های طولی و پیچشی اصلی، در دسترس نمی‌باشد.

۱۱-۱-۱ دقت اپراتور واحد، معیار پذیرش اندازه‌گیری‌های فرکانس عرضی اصلی که توسط اپراتور واحد یک آزمایشگاه بر روی آزمونه‌های بتنی ساخته شده از مواد یکسان و با عمل‌آوری یکسان به‌دست می‌آید، در جدول ۲ داده شده است. این حدود، روی گستره فرکانس عرضی اصلی از ۱۴۰۰Hz تا ۳۳۰۰Hz کاربرد دارد. ابعاد مختلف آزمونه به صورت زیر است (بعد اول در راستای ارتعاش می‌باشد):

ابعاد بر حسب میلی‌متر

۴۰۶ × ۱۰۲ × ۷۶

۴۰۶ × ۷۶ × ۱۰۲

۴۰۶ × ۱۱۴ × ۸۹

۲۸۶ × ۷۶ × ۷۶

۴۰۶ × ۸۹ × ۱۰۲

۴۱۳ × ۷۶ × ۷۶

یادآوری ۱۴- ضرایب ناپایداری فرکانس عرضی اصلی در دامنه فرکانس‌های داده شده برای گستره ابعاد آزمونه و سن یا عمل‌آوری بتن، تقریباً ثابت است.

جدول ۲- نتایج آزمون برای اپراتور واحد یک آزمایشگاه

	ضریب ناپایداری ٪[A]	گستره قابل قبول دو نتیجه ٪ میانگین[A]
یک آزمونه از یک مخلوط	۱	۲٫۸
میانگین سه آزمونه از یک مخلوط[B]	۰٫۶	۱٫۷
میانگین سه آزمونه از سه مخلوط مختلف	۱	۲٫۸

[A] این اعداد، به ترتیب بیانگر حدود ٪ 1s و ٪ d2s تشریح شده در استاندارد ASTM C670، می‌باشند.
[B] مطابق استاندارد ASTM C670، محاسبه شده است.

۱۱-۱-۲ دقت بین آزمایشگاهی، ضریب ناپایداری بین آزمایشگاهی، برای میانگین سه آزمونه گرفته شده از یک مخلوط بتن در گستره فرکانس عرضی اصلی از ۱۴۰۰Hz تا ۳۳۰۰Hz (به یادآوری ۱۵ مراجعه شود)، برابر ٪ ۳٫۹ است. بنابراین، دو میانگین به‌دست آمده از سه آزمونه حاصل از یک مخلوط که در آزمایشگاهای مختلف تحت آزمون قرار می‌گیرد، نباید بیش از ٪ ۱۱ میانگین مشترک آن‌ها، اختلاف داشته باشد.

یادآوری ۱۵- این اعداد، به ترتیب بیانگر حدود ٪ 1s و ٪ d2s تشریح شده در استاندارد ASTM C670، می‌باشند.

۱۱-۲ دقت روش تشدید ضربه، دقت این روش آزمون، هنوز تعیین نشده است. گرچه تجربه نشان داده است، هنگامی که یک تحلیل‌گر فرکانس مورد استفاده قرار گیرد، آزمون‌های مکرر بر روی یک نمونه، مقادیر فرکانس تشدید با ±۱ گام دیجیتال از یکدیگر، به‌دست می‌دهد (به یادآوری ۱۶ مراجعه شود).

یادآوری ۱۶- گام دیجیتال در دامنه طیف برابر است با فرکانس نمونه‌برداری تقسیم بر تعداد نقاط در بازه زمانی شکل موج. به عنوان مثال، برای فرکانس نمونه‌برداری ۲۰kHz (فاصله زمانی نمونه، ۵۰μs) و ۱۰۲۴ نقطه در شکل‌موج، گام دیجیتال برابر است با: 20000/1024 = 19.5 Hz.

۱۱-۳ اریبی، اریبی روش تشدید اجباری یا روش تشدید ضربه تعیین نشده است، زیرا هیچ نمونه مرجعی در دسترس نیست.