



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۶۲۷

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18627

1st. Edition

2014

تعیین ضریب تغییر شکل پذیری برجای
توده سنگ با استفاده از روش بارگذاری
صفحه انعطاف پذیر - روش آزمون

**Determination of In Situ Modulus of
Deformation of Rock Mass Using Flexible
Plate Loading Method- Test Method**

ICS: 93.020

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه 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 حوزهای مختلف در کمیسیونهای فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و موسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادهای سازمانهای دولتی و غیردولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیونهای فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته 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 موسسات و سازمانهای علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت 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 شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندیهای خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

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 تضمین کیفیت فرآورده ها و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده های تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای فرآورده های کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و سایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و سایل سنجش، تعیین عیار فلزات گران بها 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

«تعیین ضریب تغییر شکل پذیری برجای توده سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه

انعطاف پذیر - روش آزمون»

رئیس:

منوچهریان، سید محمد امین
(دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک سنگ)

دبیر:

کولیوند، فرشاد
(دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک سنگ)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اعظمی، محمدعلی
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ)

معدن مس سونگون اهر

امیری دهنو، مجید
(کارشناسی شیمی محض)

سازمان ملی استاندارد ایران

جوادی، حامد
(کارشناسی مهندسی نفت)

شرکت زمین حفاران کاسیت

شرفی، عنایت اله
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

سازمان ملی استاندارد ایران

صداقت، اصغر
(کارشناسی ارشد مهندسی نفت)

شرکت پتروسرویس

طهماسبی، فرید
(کارشناسی مهندسی عمران)

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان
لرستان

فرجون، محمد
(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت ساختمانی ارسا

کاووسی، بهزاد
(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت نیمرخ

شرکت پتروخمسه آسیا

مظفری، مهدی
(کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)

شرکت ساختمانی پرلیت

ناظمی، حمید
(کارشناسی مهندسی عمران)

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی
کشور

ناوی، پدram
(دکتری زمین‌شناسی)

شرکت زمین حفاران کاسیت

ندری، کیانوش
(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت سنگسرای آذربایجان

نقی‌پور، رسول
(کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
د	پیش گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ اصول آزمون
۵	۵ محدودیت‌ها و مشکلات
۶	۶ وسایل
۸	۷ اقدام‌های ایمنی پیشگیرانه
۸	۸ شرایط محل آزمون
۱۰	۹ روش انجام آزمون
۱۶	۱۰ محاسبات
۱۸	۱۱ گزارش آزمون
۲۱	۱۲ دقت و اریبی
۲۳	۱۳ پیوست الف (الزامی) تضمین کیفیت (QA)

پیش‌گفتار

استاندارد «تعیین ضریب تغییر شکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه انعطاف‌پذیر- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت زمین حفاران کاسیت تهیه و تدوین شده و در پانصد و سی و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۰۸/۲۷ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه 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 تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ASTM D4395: 2008, Standard Test Method for Determining In Situ Modulus of Deformation of Rock Mass Using Flexible Plate Loading Method

تعیین ضریب تغییر شکل پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه انعطاف‌پذیر - روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارایه روش آماده‌سازی، تجهیزات، روش انجام آزمون و ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌کاهی)^۱ برای تعیین مدول تغییر شکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه انعطاف‌پذیر است.

- این روش آزمون برای تونل‌ها یا سایر فضاهای زیرزمینی کوچک طراحی شده است؛ اما با اصلاحات مناسب در سطح زمین نیز قابل کاربرد است.

- این روش آزمون به طور معمول عمود یا موازی با محور اعمال فشاری انجام می‌گیرد که توسط بار طراحی دیکته می‌شود.

- آزمون‌های وابسته به زمان، با وجود آن که در این استاندارد پوشش داده نشده‌اند، ممکن است انجام شوند ولی باید بر اساس استاندارد دیگری گزارش شوند.

- نتایج این نوع روش آزمون برای پیش‌بینی جابجایی‌های ایجاد شده در توده‌سنگ توسط بارهای ناشی از یک سازه یا ساختمان زیرزمینی استفاده می‌شود. این روش یکی از چندین روش آزمونی است که بهتر است انجام شود. نتایج مدول‌های برجا به طور عمومی کم‌تر از مدول‌های الاستیک (کشسان) تعیین شده در آزمایشگاه هستند.

- مدول‌ها بر مبنای روش تحلیل الاستیک^۲ بار گسترده یکنواخت (تنش یکنواخت) عمل‌کننده بر روی یک سطح دایره‌ای از ماده‌ای الاستیک و نیمه بی‌کران^۳ محاسبه می‌شوند.

- این روش آزمون به طور عموم در دمای محیط انجام می‌شود، اما می‌توان تجهیزات را برای عملیات در سایر دماها نیز اصلاح یا جایگزین کرد.

یادآوری ۱- کیفیت نتایج به‌دست آمده در این استاندارد به صلاحیت شخص انجام‌دهنده آزمون، مناسب بودن تجهیزات و امکانات مورد استفاده بستگی دارد. به طور معمول نمایندگی‌هایی که معیارهای استاندارد بند ۲-۴ را در نظر می‌گیرند، قادر هستند با شایستگی و به طور علمی، آزمون/ نمونه‌برداری/ بازرسی و غیره را انجام دهند. به کاربران این استاندارد هشدار داده

1 - Data Reduction

2 - Elastic Solution

3 - Semi-Infinite Elastic Medium

می‌شود که صرف انطباق با روش استاندارد بند ۲-۴، اطمینانی برای به‌دست آوردن نتایج قابل قبول وجود ندارد. نتایج قابل اطمینان به عوامل زیادی بستگی دارد؛ استاندارد بند ۲-۴ روشی برای ارزیابی برخی از این عوامل را فراهم می‌کند.

یادآوری ۲- کلیه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باید مطابق با راهنماهای ارقام معنی‌دار و گرده شده، ارایه شده در استاندارد بند ۲-۹، باشند. روش استفاده شده در این استاندارد برای تعیین میزان داده‌هایی که جمع‌آوری، محاسبه یا یادداشت می‌شوند، به طور مستقیم به دقت داده‌هایی که برای طراحی یا کاربردهای دیگر اعمال می‌شوند، مربوط نیست.

یادآوری ۳- مراجع پیوست این استاندارد، حاوی اطلاعات بیش‌تری در مورد این روش آزمون هستند.

هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش استاندارد را بیان نمی‌کند. بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت نموده و قبل از استفاده، محدودیت‌های اجرایی آنرا مشخص کند. برای اقدامات پیشگیرانه خاص، بند ۷ را ببینید.

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 تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۲۶، تعیین ضریب تغییر شکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب- روش آزمون

- 2-2 ASTM D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids
- 2-3 ASTM D 2113 Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation
- 2-4 ASTM D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction
- 2-5 ASTM D 4403 Practice for Extensometers Used in Rock
- 2-6 ASTM D 4879 Guide for Geotechnical Mapping of Large Underground Openings in Rock
- 2-7 ASTM D 5079 Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples
- 2-8 ASTM D 5434 Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock
- 2-9 ASTM D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data
- 2-10 ASTM D 6032 Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد بند ۲-۲، اصطلاحات زیر نیز به کار می‌رود.

۱-۳ انحنا (تغییر شکل خمشی)^۱

میزان حرکت صفحه بارگذاری، بالشتک ملاتی^۲ و یا سنگ در جهت اعمال بار به عنوان انحنا (تغییر شکل خمشی) در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳ صفحه انعطاف پذیر^۳

از نظر فرض علمی، به صفحه‌ای که هیچ گونه صلبیتی نداشته باشد، اطلاق می‌شود.

۳-۳ بار

به نیروی کل اعمالی بر روی سطح سنگ اطلاق می‌شود.

۴-۳ مدول تغییر شکل پذیری مضاعف (اوج تا اوج)^۴

شیب خطی است که نقاط اوج منحنی‌های تنش-کرنش در چرخه‌های بارگذاری و باربرداری را به هم متصل می‌کند (شکل ۱ را ببینید).

۵-۳ مدول تغییر شکل پذیری بازیافتی^۵

مدول مماسی (تانژانتی) منحنی تنش-کرنش در باربرداری است. این مدول به طور معمول بیش‌تر از سایر مدول‌ها بوده و جایی که شرایط باربرداری وجود دارد، از این مدول در محاسبات استفاده می‌شود. اختلاف بین مدول مماسی و مدول بازیافتی، ظرفیت پسماند^۶ (هیسترزیس) مصالح یا قابلیت اتلاف انرژی^۷ نامیده می‌شود (شکل ۲ را ببینید).

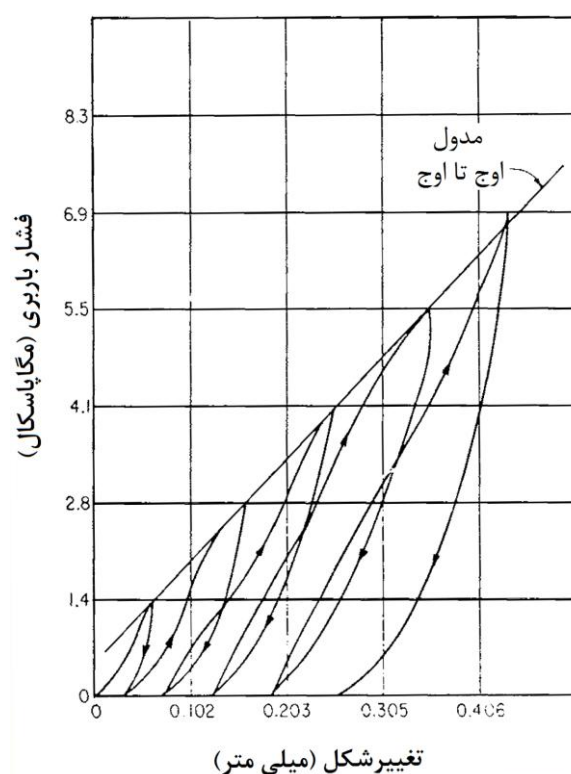
-
- 1 - Deflection
 - 2 - Mortar Pad
 - 3 - flexible Plate
 - 4 - Peak-to-Peak Modulus of Deformation
 - 5 - Recovery Modulus of Deformation
 - 6 - Hysteresis
 - 7 - Energy Dissipation Capabilities

۳-۶ مدول تغییر شکل پذیری سکانتی (مقاطع)^۱

شیب خط واصل بین مبدا صفر و هر تنش تعیین شده در منحنی تنش- کرنش است. توصیه می‌شود این مدول برای مراحل بارگذاری کامل از صفر تا بار مورد نظر، مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۲ را ببینید).

۳-۷ مدول تغییر شکل پذیری تانژانتی (مماسی)^۲

شیب خط مماس بر منحنی تنش-کرنش در عنصر کوچکی از منحنی بارگذاری است که بهترین معرف برای پاسخ الاستیک بوده و توسط مفسر قضاوت شده است. این مدول از تاثیر انتهای منحنی صرف نظر کرده و برای تغییرات تنش کوچک مناسب‌تر است. از نسبت بین مدول سکانتی و مدول تانژانتی می‌توان به عنوان روشی برای اندازه‌گیری آسیب تنش وارده بر مصالح استفاده کرد (شکل ۲ را ببینید).



شکل ۱- تغییر شکل سطح سنگ به صورت تابعی از فشار باربری

۴ اصول آزمون

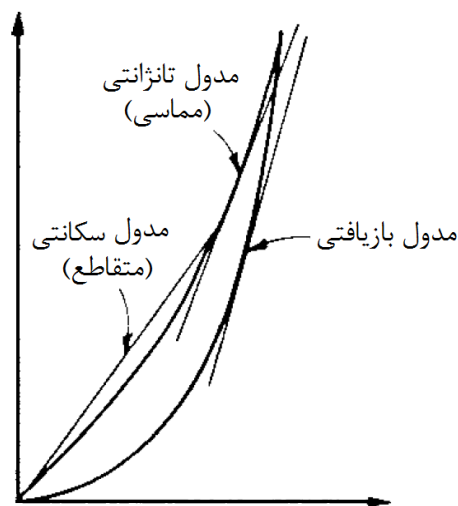
۴-۱ ناحیه دو سطح موازی بازکننده مورد آزمون را مسطح و صاف کنید.

1 - Secant modulus of Deformation
2 - Tangent Modulus of Deformation

۲-۴ سامانه بارگذاری هیدرولیک شامل جک‌های تخت، ستون صلب، و سخت‌افزار مربوطه را بین دو سطح ساخته و بالشتک ملاتی را بر روی هر دو سطح قرار دهید.

۳-۴ اگر باید انحنا (تغییر شکل خمشی) در عمق توده سنگ اندازه‌گیری شود، مطابق با استاندارد بند ۲-۵، ابزار کشیدگی سنج^۱ را در درون توده سنگ نصب کنید.

۴-۴ دو سطح را به صورت نمو افزایشی تحت بارگذاری و باربرداری قرار داده و تغییر شکل‌های سطحی توده سنگ و تغییر شکل در عمق توده سنگ (اگر مطلوب است)، را پس از افزایش اندازه‌گیری کنید. سپس مدول تغییر شکل‌ها را محاسبه کنید.



شکل ۲- رابطه بین مدول‌های تانژانسی، سکانتی و بازیافتی

۵ محدودیت‌ها و مشکلات

۱-۵ به طور معمول توده سنگ تحت بارگذاری، برخلاف فرضیات اصول نظری، همگن نیست. توده سنگ مطابق با ویژگی‌های تغییر شکل‌پذیری همان ناحیه، واکنش خواهد داد. بنابراین اندازه‌گیری‌های انحنا در نقاط مجزا بر روی سطح سنگ، به شدت تحت تاثیر خصوصیات توده سنگی است که در آن موقعیت قرار دارد و ممکن است نتایج آزمون معرف توده سنگ نباشد. چنانچه در محاسبات از میانگین انحنای صفحه استفاده شود، این مشکل کاهش می‌یابد.

۵-۲ در عملیات اندازه‌گیری انحنا در عمق توده‌سنگ، می‌توان برای انعکاس میانگین خصوصیات تغییرشکل‌پذیری توده‌سنگ بین نقاط اندازه‌گیری، از طول اندازه‌گیری محدود استفاده کرد. روش بارگذاری صفحه‌ای، با تمام مزایایی که دارد با سه مشکل و مانع روبرو است.

۵-۲-۱ توده‌سنگ در سطوح تنش خیلی پایین مورد آزمون قرار می‌گیرند مگر این که نقاط اندازه‌گیری خیلی نزدیک به سطح سنگ باشند و به همین دلیل مشکلاتی مشابه با مشکلات اندازه‌گیری سطحی اتفاق می‌افتد. انجام آزمون در سطوح پایین تنش ممکن است موجب شود مدول‌های به‌دست آمده غیرواقعی باشند، چرا که در سطوح پایین تنش، بازشدگی ریزترک‌ها، درزه‌ها و سایر ناپیوستگی‌های سنگ، مدول را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند.

۵-۲-۲ آشفته‌گی ناشی از قرار دادن وسایل اندازه‌گیری انحنا در توده‌سنگ، ارزیابی را مشکل می‌کند. بنابراین در این روش آزمون روش‌هایی برای نصب این وسایل طراحی شده است که حداقل دست‌خوردگی را در توده‌سنگ به وجود آورد.

۵-۲-۳ در سنگ‌هایی که مدول تغییرشکل‌پذیری خیلی بالایی دارند، ممکن است دقت وسایل اندازه‌گیری برای حصول نتایج مناسب کافی نباشد.

۵-۳ از تاثیر نرخ بارگذاری بر مدول‌ها صرف‌نظر شده است.

۵-۴ در محاسبات از تاریخچه تنش توده‌سنگ چشم‌پوشی می‌شود.

۵-۵ این روش آزمون به ضریب پواسون حساس نیست.

۵-۶ ضریب پواسون می‌بایست فرض شود یا از روش‌های آزمون آزمایشگاهی به‌دست آورده شود.

۶ وسایل

۶-۱ تجهیزات ضروری برای انجام این روش آزمون شامل مواردی برای، آماده‌سازی محل آزمون، حفاری و چاه‌نگاری^۱ چال‌های مورد نیاز برای نصب وسایل ابزار دقیق، اندازه‌گیری تغییرشکل سنگ، اعمال و برداشتن بارهای آزمون، ثبت داده‌های آزمون، و حمل و نقل اجزا متنوع به محل آزمون هستند.

۲-۶ تجهیزات آماده‌سازی محل آزمون^۱، این تجهیزات شامل مجموعه‌ای از وسایل حفاری از قبیل دستگاه حفاری، پتک و چکش‌های مخصوص خرد کردن زواید سنگی هستند. توصیه می‌شود در طی آماده‌سازی نهایی سطح آزمون، انجام عملیات آتشباری مجاز نباشد. در صورت امکان بهتر است حفر چال‌های نصب وسایل اندازه‌گیری، با مغزه‌گیری از عمق حداقل ۱۰m (۳۰ft) همراه باشد.

۳-۶ تجهیزات بازبینی چال^۲، در صورتی که مغزه به‌دست آمده سست است یا برای تعیین جهت صحیح، مغزه‌ها نامناسب هستند؛ می‌توان از هر گونه وسیله بازبینی مطلوب برای بررسی چال و مقایسه عوارض زمین‌شناسی مشاهده شده در مغزه‌ها استفاده کرد.

۴-۶ وسایل اندازه‌گیری تغییرشکل^۳، این وسایل شامل یک کشیدگی‌سنج گمانه‌ای چندنقطه‌ای^۴ (MPBX) برای هر چال ابزاربندی و یک قطرسنج تونل هستند. به طور معمول برای اندازه‌گیری‌های سطحی از سنجنده‌های عقربه‌ای یا تراگذارهای^۵ (ترانس‌دیوسرهای) تفاضل متغیر خطی (LVDT)^۶ استفاده می‌شود. دقت این وسایل باید $\pm 0.0025\text{mm}$ ($\pm 0.0001\text{in}$) و حساسیت آن‌ها $\pm 0.0013\text{mm}$ ($\pm 0.00005\text{in}$) باشد. در حالتی که مدول تغییرشکل‌پذیری توده‌سنگ بیش‌تر از 35GPa (5MPsi) است، خطای بالای 0.1mm (0.004in) می‌تواند نتایج آزمون را از درجه اعتبار ساقط کند.

۵-۶ تجهیزات بارگذاری^۷، تجهیزات بارگذاری شامل وسایلی برای اعمال بار و ستون‌های مهارکننده (به طور معمول لوله‌های آلومینیومی یا فولادی جدار ضخیم) برای انتقال بار هستند. توصیه می‌شود برای اعمال بار از جک‌های تخت در هر سطح سنگ استفاده شود و بهتر است قدرت کافی برای اجازه دادن به انحنای سنگ و نگه داشتن فشار در مقدار ثابت سه درصد را داشته باشد.

۶-۶ سلول بارسنج^۸، برای اندازه‌گیری فشار در جک‌های تخت از فشارسنج، تراگذار فشار یا سلول بارسنج استفاده می‌شود. توصیه می‌شود فشارسنج یا تراگذار فشار با در نظر گرفتن خطای دستگاه‌های خوانش، دقتی معادل حداقل $\pm 0.14\text{MPa}$ ($\pm 20\text{Psi}$) و حداقل حساسیت $\pm 0.069\text{MPa}$ ($\pm 10\text{Psi}$) داشته

1 - Test Site Preparation Equipment

2 - Borehole Viewing Device

3 - Deformation Measuring Instruments

4 - Multiple Position Borehole Extensometer (MPBX)

۵- وسیله‌ای که انرژی یک نوع نشانک / سیگنال را به نوع دیگری از انرژی تبدیل می‌کند (Transducer).

6 - Linear Variable Differential Transformers (LVDT)

7 - Loading Equipment

8 - Load Cells

باشد. توصیه شده است که سلول بارسنج نیز با در نظر گرفتن خطای دستگاه‌های خوانش، دارای حداقل دقت $\pm 4/4 \text{ kN}$ ($\pm 1000 \text{ lbf}$) و حداقل حساسیت $\pm 2/22 \text{ kN}$ ($\pm 500 \text{ lbf}$) باشند.

۷-۶ بالشتک‌های باربری^۱، بالشتک‌های باربری که بین سطح سنگ و جک قرار می‌گیرند، باید از جنسی باشند که مدول آن‌ها از مدول سنگ مورد آزمون (که از یک نمونه دست نخورده گرفته شده است)، بیش‌تر نباشد. برای این منظور به طور معمول می‌توان از سیمان با کیفیت بالا استفاده کرد (در صورتی که زمان گیرش آن بیش‌تر از چند روز نباشد). می‌توان برای کاهش صلبیت سیمان به آن خاکستر یا سایر مواد مناسب اضافه کرد.

۷ اقدام‌های ایمنی پیشگیرانه

۷-۱ بهتر است از قبل، صلاحیت کلیه افراد درگیر در انجام آزمون، به طور رسمی مطابق با فرآیندهای تضمین کیفیت پیوست الف-۱، رسیدگی شده باشد.

۷-۲ انطباق کلیه تجهیزات و وسایل با ویژگی‌های عملکردی بخش ۶، مورد بررسی قرار گیرد. اگر هیچ الزامی بیان نشده است، توصیه‌های کارخانه سازنده تجهیزات می‌تواند راهنمای مناسبی باشد، اما باید به کارایی کافی آن توجه شود. بررسی عملکرد تجهیزات، با واسنجی تجهیزات و سامانه‌های اندازه‌گیری انجام می‌شود. انجام واسنجی و مستندسازی مطابق با پیوست الف-۱ انجام شود.

۷-۳ اجرای ایمنی با استانداردهای ایمنی قابل اجرا است. برای مانع از شکست‌های شدید سامانه فشار، باید خطوط فشار از هوا تخلیه شوند (هواگیری شوند). توصیه می‌شود تغییر شکل‌های کلی، بیش‌تر از توانایی انبساطی جک تخت نباشد؛ به طور معمول این انبساط، حدود سه درصد قطر یک جک تخت فلزی است.

۸ شرایط محل آزمون

۸-۱ هر منطقه متمایز ساختاری از نواحی انتخابی توده‌سنگ که از نظر زمین‌شناسی معرف توده‌سنگ است، را تحت آزمون قرار دهید. برای تعیین میزان تاثیر عوارض زمین‌شناسی مانند گسل‌ها^۲، مناطق خردشده^۳، حفرات، ادخال‌ها^۴ (اینکلوزیون‌ها) و موارد مشابه، آزمون بر روی بخش‌هایی که شامل این عوارض

1 - Bearing Pads
2 - Faults
3 - Fracture Zones
4 - Inclusions

هستند، انجام شود. طرح آزمون باید طوری طراحی شود که تاثیر عوارض زمین‌شناسی موضعی به روشنی قابل تشخیص باشد.

۸-۲ ابعاد صفحه بارگذاری به زمین‌شناسی محل، فشار اعمالی و ابعاد بازکننده، بستگی دارد. بهتر است قبل از حفاری بازکننده، این پارامترها مورد بررسی قرار گیرند. ابعاد بهینه بازکننده باید به طور تقریبی شش برابر قطر صفحه بارگذاری باشد. به طور معمول قطری معادل ۰٫۵ تا یک متر (۱٫۵ تا ۳٫۲۵ اینچ) برای صفحه بارگذاری توصیه می‌شود. اما می‌توان با توجه به شرایط محل، از صفحه‌ای با سایر قطرهای نیز استفاده کرد.

۸-۳ توصیه می‌شود اثرات ناهمسانگردی^۱، با انجام آزمون در جهات مناسب بررسی شود؛ به عنوان مثال در سنگ‌های رسوبی^۲ می‌توان آزمون را در جهات عمود و موازی سطوح لایه‌بندی، یا در یک جریان بازالتی^۳، آزمون را در جهات عمود یا موازی با محور طویل ستون جریان بازالتی انجام داد.

۸-۴ بهتر است آزمون بارگذاری صفحه‌ای در محلی انجام شود که تحت تاثیر تغییرات ناشی از حفاری بازکننده قرار نگرفته باشد. گستردگی منطقه‌ای از توده سنگ که در اثر بارگذاری دچار انحنای می‌شود، به قطر صفحه بارگذاری و مقدار بار اعمالی بستگی دارد. صفحات بزرگ و بارهای زیاد، امکان اندازه‌گیری تغییرشکل‌ها را در فاصله بیش‌تری از سطح بازکننده فراهم می‌سازد. بنابراین اگر سنگ اطراف بازکننده در اثر حفاری دچار آسیب شده است و هدف اولیه برنامه آزمون اندازه‌گیری تغییرشکل در منطقه‌ای از سطح آسیب دیده بازکننده است، استفاده از صفحات با قطر کم در آزمون کفایت می‌کند. اما چنانچه مدول‌های برجای دست نخورده سنگ مدنظر باشد، باید از صفحات با قطر زیاد و بارهای بالاتر استفاده کرد؛ اگرچه در عمل کارهای عملیاتی اغلب اندازه تجهیزات را محدود می‌کند. به عنوان یک راه جایگزین، می‌توان برای کاهش آسیب وارده بر سنگ در منطقه مورد آزمون و در نتیجه کم‌تر کردن نیاز به انجام آزمون با صفحات بزرگ‌تر و بارهای بیش‌تر، از فرآیندهای حفاری دقیق مانند روش پیش‌شکافی^۴ یا سایر انواع آتشباری نرم دیواره^۵، استفاده کرد.

یادآوری- راهنمایی‌های ارائه شده در این بخش، در دامنه اختیارات شرکت‌ها یا سازمان‌های درخواست‌کننده آزمون بوده و به طور کلی به منظور تسهیل تعریف دامنه و توسعه الزامات ویژه محل آزمون، برای برنامه‌ریزی آزمون ارائه شده‌اند.

1 - Anisotropy
2 - Sedimentary
3 - Basalt Flow
4 - Presplitting
5 - Smooth-Wall Blasting

۸-۵ توصیه می‌شود برای تعیین کیفیت سنگ (RQD)^۱، فاصله‌داری شکستگی^۲، مقاومت و تغییرشکل، مطابق با راهنمای استاندارد بند ۸-۲ و روش آزمون استاندارد بند ۲-۱۰، مغزه‌ها (اگر وجود دارد) نگهداری و چال‌نگاری شده و مورد بررسی و آزمون قرار گیرند.

۸-۶ ممکن است شرایط برجا دیکته کند که بلافاصله پس از حفاری، آماده‌سازی برجا و ساخت بالشتک انجام شود.

۹ روش انجام آزمون

۹-۱ شماتیکی از چیدمان بهینه آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. یک سکوی چوبی که به خوبی محکم شده است، موجب می‌شود بتوان کلیه اجزا آزمون را چیده و برپا کرد (سکوی چوبی در شکل نشان داده نشده است).

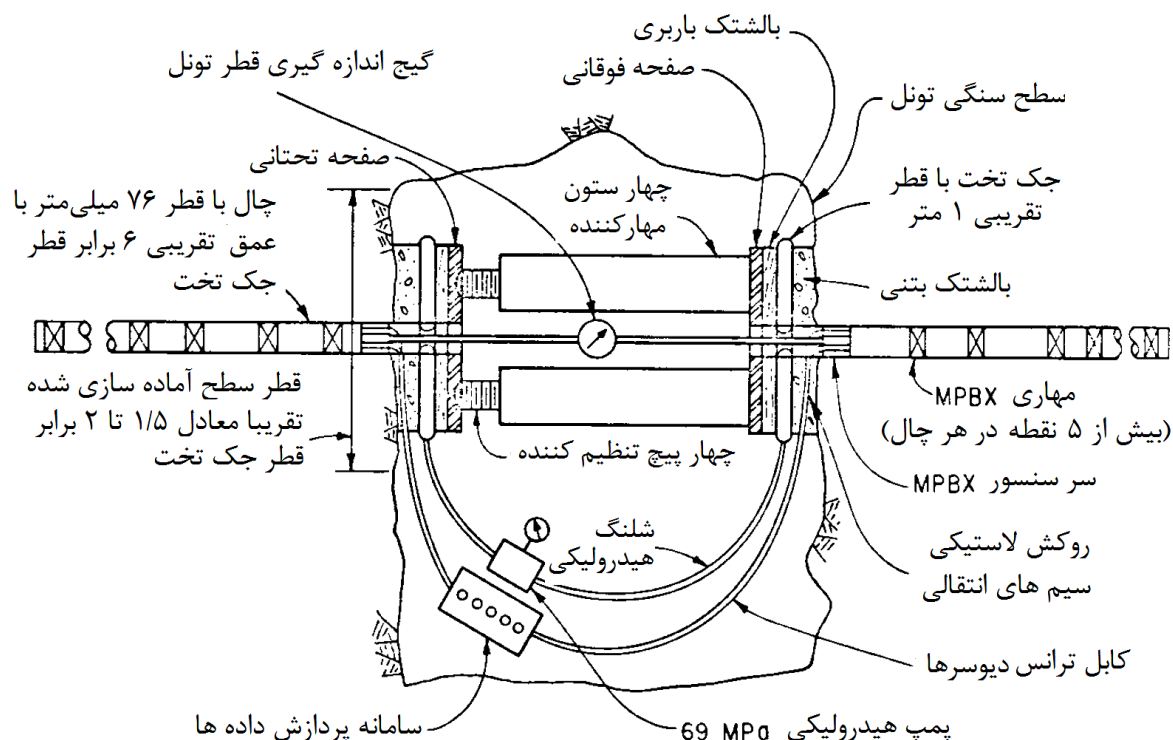
۹-۲ آزمون را در امتداد قطر یا وتر بازکننده با دو سطح باربر موازی با هم و در صفحاتی عمود بر جهت بارگذاری انجام دهید.

۹-۳ آماده‌سازی سطح باربر^۳

۹-۳-۱ روش آزمون، سطح مورد آزمون توسط روشی که حداقل آسیب را به سطح سنگ وارد کند، آماده‌سازی شود. برای این که به یک عمق یکنواخت برسیم ممکن است نیاز به حفاری وجود داشته باشد. می‌توان قطعات سنگ باقیمانده بین چال‌های حفاری را با استفاده از مهره زدن^۴ یا حرکت دادن سرمته به جلو و عقب برداشت، تا زمانی که یک سطح صاف به‌دست آید. برای برداشتن زواید سنگی در سنگ‌های سخت و متراکم، روش آتشباری کنترل شده^۵ با خرج ویژه بسیار پایین توصیه می‌شود. در مصالح نرم‌تر نیز می‌توان از ساینده‌های زبر^۶ یا وسایل برشی استفاده نمود.

۹-۳-۲ ابعاد، بهتر است ابعاد سطح آماده‌سازی شده به گونه‌ای باشد که حداقل به اندازه نصف قطر جک تخت، از لبه‌های آن گسترش داشته باشد.

1 - Rock Quality Designation (RQD)
2 - Fracture Spacing
3 - Bearing Surface Preparation
4 - Burnishing
5 - Controlled Blasting
6 - Coarse Grinding



یادآوری - سکوی چوبی تکیه‌گاه در طی نصب، در شکل نشان داده نشده است. سلول‌های بارسنج در ستون‌های مهارکننده نیز نشان داده نشده‌اند.

شکل ۳- طرح چیدمان آزمون صفحه باربر انعطاف‌پذیر

۳-۳-۹ کیفیت سنگ، سطح باربری را در قسمت بکر سنگ، آماده‌سازی کنید. مواد سست و شکسته از سطح حفاری برداشته شوند. شکستگی‌های عمیق را می‌توان با توجه به صدای خفه (بم) و کم ناشی از ضربه چکش به سطح سنگ تشخیص داد، چنین مصالحی برداشته شوند.

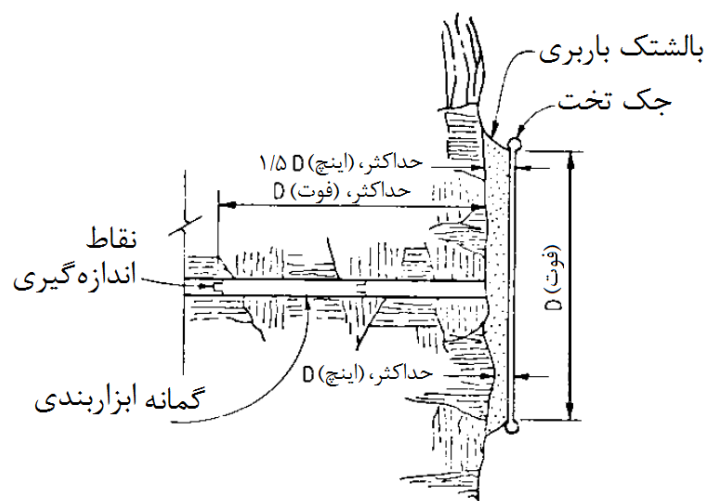
۴-۳-۹ صافی سنگ، سطح آماده‌سازی شده سنگ را تا حد امکان صاف کنید. توصیه می‌شود پرداخت نهایی سطح به گونه‌ای باشد که اختلاف بین پستی و بلندی‌های آن، از ۲۵mm (۱in) بیش‌تر نباشد. پس از تکمیل عملیات آماده‌سازی، سطح سنگ به وسیله آب شسته شود تا ذرات سست و گردوغبار آن کاملاً برطرف شود.

۵-۳-۹ تمیزی سنگ، پس از آماده‌سازی سطح، برای برداشتن هر گونه ذرات سست سنگ یا گرد و غبار ناشی از عملیات صاف کردن، آن را تمیز کرده و با آب تمیز شستشو دهید.

۴-۹ نقشه زمین‌شناسی، نقشه زمین‌شناسی سطوح باربر و محل آزمون، را هم در مقطع نمای بالا^۱ و هم در مقطع عرضی^۲ ترسیم کنید.

1 - Plan
2 - Cross Section

۵-۹ ساخت بالشتک باربر، در حالتی که جک در محل خود قرار گرفته است، بالشتک باربر را با ریختن مصالح بین سطح سنگ و جک بسازید. مصالح ساخت بالشتک توسط قالب‌های مناسب اطراف لبه‌های جک نگه داشته شوند. این روش در مورد آزمون‌هایی که در جهات نزدیک به قائم (جایی که از بالشتک‌های سیمانی استفاده می‌شود) انجام می‌گیرند، قابل اجرا نیست. در چنین شرایطی جک تخت پایینی، قبل از عمل آمدن سیمان، مستقیماً روی محل بالشتک قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود برای تطبیق وضعیت جک تخت و صفحه باربر، یک قطعه (به ضخامت تقریبی ۱۳mm (۰.۵in)) تخته نازک (از جنس چوب یا رزین) یا سایر مصالح مناسب، بین جک تخت و سطح قرار داده شود. در کلیه حالات باید مراقب بود که هیچ گونه حفره یا حباب هوایی در بالشتک باقی نماند. ضخامت بالشتک نباید در هیچ قسمتی، از $38\text{mm}/0.305\text{m}$ (۱.۵in/ft) قطر جک تخت بیش‌تر شود. الزامات ابعادی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- ابعاد مجاز برای سطح سنگ و بالشتک‌های باربری، آزمون بارگذاری صفحه انعطاف‌پذیر

۶-۹ نقاط اندازه‌گیری

۱-۶-۹ نقاط اندازه‌گیری سطحی، اندازه‌گیری تغییرشکل سطح سنگ در لبه بالشتک باربر در حداقل شش نقطه اندازه‌گیری با فواصل مساوی بر روی سطح سنگ و در حواشی بالشتک‌ها انجام می‌شود. چنانچه اندازه‌گیری‌ها بر روی سنگ در مرکز سطح بارگذاری با استفاده از یک جک تخت حلقوی انجام می‌شود، نقاط اندازه‌گیری باید حداقل در سه موقعیت مختلف با فواصل مساوی روی لبه سوراخ داخلی جک قرار داده شوند. بالشتک‌های مرجع بر روی سطح سنگ در نقاط اندازه‌گیری سطحی را محکم کنید. تراگذارهای جابجایی را طوری مستقر کنید که فقط انحنای سنگ را اندازه‌گیری کنند. این بدان معناست که پایه ثابت تراگذارها در خارج از محدوده تاثیر بارگذاری قرار داده شوند. در هیچ حالتی نباید تراگذارها بر روی وسایل باربری سوار

شوند. نقاط و تجهیزات اندازه‌گیری از قبیل آن چه در استاندارد بند ۲-۵ توصیف شده است، را در امتداد تونل نصب کنید.

به هیچ عنوان نباید تراگذارها را روی تجهیزات بارگذاری نصب کرد. وسیله اندازه‌گیری قطر بازکننده نیز بین سطوح بارگذاری نصب می‌شود.

۹-۶-۲ نقاط اندازه‌گیری در عمق توده‌سنگ

۹-۶-۲-۱ اگر اندازه‌گیری تغییرشکل در عمق توده‌سنگ مورد نیاز است، نقاط اندازه‌گیری در عمق باید در امتداد خطی با حداکثر پنج درجه انحراف نسبت به محور بارگذاری انتخاب شوند. فاصله این نقاط تا خط مذکور نباید از درصد ۱۰ عرض بالشتک باربری تجاوز کند.

۹-۶-۲-۲ چال‌های مربوط به نصب تجهیزات اندازه‌گیری باید تا حد امکان کوچک باشد. بهتر است این چال‌ها توسط دستگاه حفاری دورانی الماسه^۱ در هر دو سطح بارگذاری متقابل حفاری شوند. حفاری باید همراه با مغزه‌گیری بوده و از هر چال نیز لاگ تهیه شود. به جای الزامات حفاری ویژه، استاندارد بند ۲-۳ باید الزامات حداقلی را در نظر بگیرد. ممکن است نیاز باشد برای آزمون آزمایشگاهی مطابق با استاندارد بند ۲-۷، مغزه حفاری شده نگه داشته شود. باید داده‌های کلیه چال‌های حفاری مربوطه، به نقشه‌های زمین‌شناسی اضافه شوند.

۹-۶-۲-۳ با بررسی مغزه‌های به‌دست آمده از حفاری یا استفاده از تجهیزات بازبینی داخل چال مثل چال‌نگار^۲ یا سایر وسایل مناسب، می‌توان نقاط مناسب برای اندازه‌گیری تغییرشکل را انتخاب کرد. این نقاط باید در هر دو طرف عوارضی مثل درزه‌ها، لایه‌های نازک، رگه‌ها یا عوارض مشابه قرار گیرند. لازم است در عمقی برابر با قطر جک تخت، حداقل دو نقطه اندازه‌گیری قرار داده شود. عمیق‌ترین نقطه اندازه‌گیری باید به طور تقریبی شش برابر قطر جک تخت از سطح بارگذاری فاصله داشته باشد تا خارج از محدوده تاثیر محاسبه شده آزمون قرار گیرد. سایر نقاط اندازه‌گیری باید با توجه به شرایط زمین‌شناسی ویژه یا اهداف پروژه قرار داده شوند.

۹-۶-۲-۴ روش نصب و فرایندهای خوانش برای ابزار اندازه‌گیری یا کشیدگی‌سنج‌ها در استاندارد بند ۲-۵ توضیح داده شده است. یک سر کشیدگی‌سنج در درون سوراخ‌ها قرار داده شده و سر دیگر آن از طرف بالشتک باربری خارج از سوراخ قرار می‌گیرد. قبل از بتن‌ریزی بالشتک‌ها، یک محافظ با استفاده از لوله‌های پلی‌وینیل کلراید^۳ یا لاستیکی در داخل چال قرار داده می‌شود.

1 - Diamond-Rotary Drilled

2 - Borescope

3 - PolyVinyl Chloride (PVC)

۷-۹ کنترل‌های قبل از آزمون^۱، پس از نصب وسایل اندازه‌گیری در چال‌های حفاری شده، کلیه قسمت‌های آن به روش‌های الکترونیکی یا مکانیکی کنترل شده و از کارایی آنها اطمینان حاصل شود. این کنترل پس از نصب وسایل بارگذاری و ستون‌های مهارکننده مجدداً تکرار شود. همچنین بعد از ساخت بالشتک‌های بتنی و قبل از اولین افزایش بار، لازم است که کلیه اجزا مکانیکی، هیدرولیکی و الکترونیکی سامانه، کنترل شود.

۸-۹ چرخه‌های بارگذاری و باربرداری

۱-۸-۹ برای موفقیت‌آمیز بودن چرخه‌های بارگذاری و باربرداری باید نرخ مناسب بارگذاری در اولین مرحله آزمون تعیین شود.

۲-۸-۹ به طور کلی این آزمون در پنج مرحله تا رسیدن به فشار نهایی انجام می‌شود. هر مرحله شامل ۱۰ نوبت افزایش فشار است که توصیه می‌شود هر افزایش در مدت زمان یک دقیقه صورت گیرد. در صورت امکان، بهتر است که بار مرحله میانی برابر با بار طراحی و بار مرحله نهایی دو برابر بار طراحی باشد. لازم نیست چرخه‌ها دارای فاصله زمانی یکسانی باشند. بهتر است مرحله باربرداری نیز با نرخی مشابه مرحله بارگذاری تا رسیدن به صفر انجام شود و سپس بار صفر تا ثابت شدن تغییرشکل‌های خزشی در سنگ به همان حال نگه داشته شود. بعد از هر نوبت افزایش یا کاهش فشار، انحنای خوانش شوند. فشارهای حداکثر و صفر هر مرحله، حداقل به مدت ۱۰ دقیقه ثابت نگه داشته شود و در هر ۵ دقیقه، یک خوانش انجام شود. نمونه منحنی بارگذاری پنج مرحله‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است.

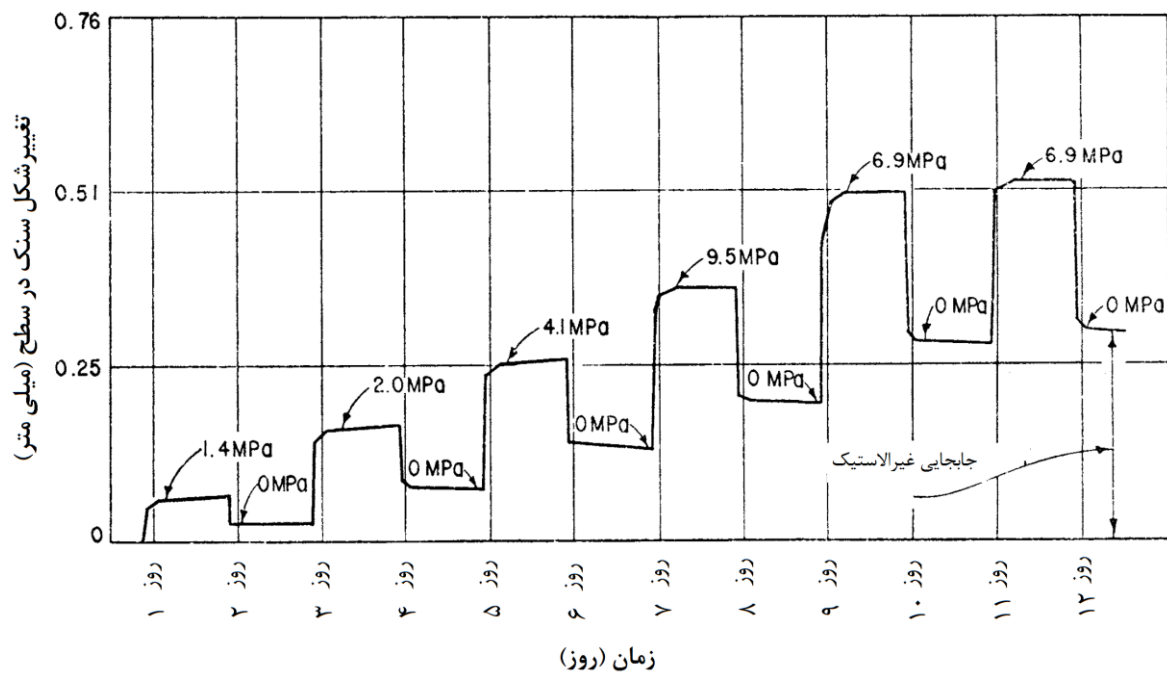
۳-۸-۹ ممکن است محدودیت زمانی باعث شود که زمان‌های ۱۰ دقیقه‌ای مورد نیاز برای خوانش جابجایی‌ها، تغییر کند. اما برای خوانش جابجایی در فشار حداکثر آزمون، دست کم به ۱۰ دقیقه زمان نیاز است.

۴-۸-۹ در صورت لزوم با این روش می‌توان جابجایی‌های آنی و تابع زمان خزشی را نیز اندازه‌گیری کرد. رابطه تغییرشکل زمانی با بارگذاری نمو افزایشی در شکل ۵ نشان داده شده است.

۵-۸-۹ داده‌ها، داده‌های آزمون را به صورتی که در جدول ۱ نشان داده شده است، ثبت کنید و داده‌های جابجایی برای هر افزایش بار را به صورتی که در شکل ۶ نشان داده شده است، حداقل برای هر آزمون، رسم کنید.

جدول ۱- برگه پیش نویس داده های آزمون تغییر شکل پذیری برجا

شماره آزمون:		پروژه:					
نوع سنگ:		ویژگی:					
قطر صفحه بارگذاری:		محل آزمون:					
انجام دهنده آزمون:		جهت یابی آزمون:					
		تاریخ:					
شماره ۴:		شماره ۱:		موقعیت نقاط اندازه گیری:			
شماره ۵:		شماره ۲:					
شماره ۶:		شماره ۳:					
تاریخ واسنجی بعدی		شماره سریال			توصیف تجهیزات		
شماره ۶:	شماره ۵:	شماره ۴:	شماره ۳:	شماره ۲:	شماره ۱:	خوانش بار	زمان
خوانش جابجایی							
شماره ۳:	شماره ۲:	شماره ۱:	خوانش بار		زمان		
توضیحات:							
تاریخ:		ناظر آزمون:					
تاریخ:		تضمین کیفیت (QA):					
تاریخ:		مهندس پروژه:					



شکل ۵- تغییر شکل سطح سنگ نسبت به زمان

۱۰ محاسبات

۱-۱۰ این معادلات بر اساس حل الاستیک بارگذاری گسترده یکنواخت (تنش ثابت) روی سطح دایره‌ای یک محیط الاستیک همسانگرد نیمه بینهایت استوار است. انحنا در این قسمت به صورت جابجایی یا حرکت در جهت بارگذاری است.

۱-۱-۱۰ محاسبه مدول تغییر شکل پذیری E ، مدول تغییر شکل پذیری (E) با توجه به انحنای اندازه‌گیری شده در مرکز سطح بارگذاری دایره‌ای از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{2(1-\nu)^2 QR}{W_c} \quad (1)$$

چنانچه مقدار انحنا، در لبه سطح بارگذاری دایره‌ای اندازه‌گیری شده است، مدول تغییر شکل پذیری از معادله ۲ محاسبه شود:

$$E = \frac{4Q(1-\nu^2)QR}{\pi W_e} \quad (2)$$

مدول تغییر شکل پذیری E ، از انحنا در نقطه‌ای درون توده سنگ زیر مرکز سطح بارگذاری دایره‌ای، از معادله ۳ محاسبه شود:

$$E = \frac{2Q(1-\nu^2)}{W_z} \left[(R^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} - Z \right] - \frac{QZ(1+\nu)}{W_z} \left[Z(R^2 + Z^2)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (3)$$

در حالتی که بارگذاری با جک تخت حلقوی انجام شده و انحنا در مرکز یک ناحیه بارگذاری حلقوی اندازه‌گیری شده است، مدول تغییر شکل پذیری E با استفاده از معادله ۴ محاسبه شود:

$$E = \frac{2Q(1-v^2)(R_2 - R_1)}{W_c} \quad (4)$$

مدول تغییرشکل پذیری E، از انحنا در لبه یک ناحیه بارگذاری حلقوی در سطح سنگ با استفاده از معادله ۵ محاسبه شود:

$$E = \frac{4Q(1-v^2)(R_2 - R_1)}{\pi W_c} \quad (5)$$

مدول تغییرشکل پذیری E، از انحنا در نقطه‌ای در عمق توده سنگ زیر مرکز یک سطح بارگذاری حلقوی، از معادله ۶ محاسبه شود:

$$E = \frac{2Q(1-v^2)}{W_z} \left[(R_2^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} - (R_1^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} \right] + \frac{Z^3 Q(1+v)}{W_z} \left[(R_1^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} - (R_2^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6)$$

به طور کلی W_z یا انحنا زیر محور مرکزی سطحی بارگذاری، با توجه به معادلات ۳ یا ۶ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$W_z = \frac{Q}{E} k_2 \quad (7)$$

با توجه به معادله ۷، مدول تغییرشکل پذیری E با مشخص بودن انحنای نسبی بین دو نقطه اندازه‌گیری در زیر مرکز سطح بارگذاری شده سنگ، با استفاده از معادله ۸ محاسبه می‌شود:

$$E = Q \frac{K_{Z_1} - K_{Z_2}}{W_{Z_1} - W_{Z_2}} \quad (8)$$

که در آن‌ها:

Q فشار وارد بر سطح بارگذاری، بر حسب MPa؛

R شعاع سطح بارگذاری، بر حسب mm؛

W_c انحنا در مرکز سطح بارگذاری، بر حسب mm؛

v ضریب پواسون سنگ؛

W_e انحنا در حاشیه سطح بارگذاری، بر حسب mm؛

Z عمق نقطه زیر مرکز سطح بارگذاری، بر حسب mm؛

W_z انحنا در عمق Z، بر حسب mm؛

R_2 شعاع خارجی حلقه، بر حسب mm؛

R_1 شعاع داخلی حلقه، بر حسب mm؛

K_{Z_2} و K_{Z_1} به ترتیب ضرایب هندسی برای اعماق Z_2 و Z_1 ؛

W_{Z_2} و W_{Z_1} به ترتیب انحنا در اعماق Z_2 و Z_1 .

لازم است حداقل برای هر مصالح یا سازه سنگی، مقدار میانگین مدول، دامنه، انحراف معیار و سطح اطمینان ۹۵ درصد میانگین کلیه نقاط اندازه‌گیری، محاسبه شود.

۱۱ گزارش آزمون

۱-۱۱ در این بخش حداقل الزامات مورد نیاز برای تکمیل و گزارش سودمند ارائه شده است. قابل ذکر است که در صورت نیاز، می‌توان اطلاعات بیش‌تری را به طور مناسب اضافه کرد و بعضی اقلام را تغییر داد. کاربردهای نتایج آزمون، فراتر از اهداف این روش آزمون است و ممکن است بخش داخلی از بعضی برنامه‌های آزمون باشد. در چنین مواردی، بهتر است یک بخش کاربردهای متناسب با فرمت توصیف شده زیر، در گزارش در نظر گرفته شود.

۱۱-۲ بخش مقدماتی گزارش

۱-۲-۱۱ در این بخش اهداف و دامنه کاربرد آزمون و مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمون تشریح شده است. بخش مقدماتی شامل موارد زیر است:

۱-۲-۱۱-۱ هدف آزمون.

۱-۲-۱۱-۲ محل آزمون، شامل موقعیت محل و راستای بارگذاری صفحه آزمون است، نمودار گرافیکی محل آزمون توصیه شده است.

۱-۲-۱۱-۳ پایه و اساس آزمون، ارائه دلایل منطقی برای انتخاب محل آزمون است.

۱-۲-۱۱-۴ محدودیت‌های آزمون، به طور کلی، تشریح مشخصاتی از محل مورد نظر برای آزمون، که با این مفروضات هم‌خوانی ندارد و محدودیت‌های استفاده از نتایج آزمون در این نواحی نیز باید توضیح داده شود.

۱-۲-۱۱-۵ توصیف زمین‌شناسی محل آزمون، توصیه شده است که تشریح کامل شرایط زمین‌شناسی محل آزمون قبل و بعد از آزمون شامل: لاگ مغزه‌ها^۱، عکس مغزه‌ها، عکس از سطح آماده‌سازی شده آزمون و توضیحی در مورد صدمات موضعی ناشی از آتشباری، تشریح میکروسکوپی^۲ انواع سنگ، عوارض ساختاری مؤثر در آزمون و نقشه زمین‌شناسی محل آزمون، ارائه شود.

۱۱-۳ بخش روش آزمون

۱-۳-۱۱ تجهیزات و وسایل، فهرست کاملی از کلیه تجهیزات مورد استفاده در آزمون و نام، شماره مدل، ویژگی‌های اساسی هر قطعه اصلی، ارائه شود

1 - Core Logs

2 - Macroscopic Description

۱۱-۳-۲ فرآیند انجام آزمون، توصیف کاملی از گام‌های انجام شده در فرآیند واقعی آزمون ثبت شود.

۱۱-۳-۳ تغییرات، چنانچه تجهیزات یا فرآیندهای واقعی مورد استفاده در آزمون، نسبت به الزامات اشاره شده در این روش آزمون تغییر داده شوند، باید این تغییرات همراه با دلایل آن در این قسمت گزارش ثبت شود؛ همچنین تاثیر این تغییرات بر نتایج آزمون باید مورد بحث قرار گیرد.

۱۱-۴ مبانی نظری آزمون

این بخش حاوی اطلاعاتی راجع به اصول نظری آزمون و فرضیات مرتبط با شرایط محل و روابط ریاضی مورد استفاده در پردازش اطلاعات به شرح زیر است:

۱۱-۴-۱ معادلات ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌گاهی)، کلیه معادلات ریاضی مورد استفاده برای ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌گاهی) باید به وضوح ارائه شده و به طور کامل تعریف شوند؛ کلیه فرضیات در این معادلات یا محدودیت‌های کاربرد آن و نیز بحث در مورد تاثیر این‌ها بر نتایج آزمون، در این بخش یادداشت شود.

۱۱-۴-۲ اثرات ویژه در محل

۱۱-۴-۲-۱ فرضیات، اختلاف بین شرایط واقعی محل آزمون و شرایط فرض شده در معادلات ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌گاهی) به طور دقیق بحث شود. تا حد امکان، تاثیر چنین اختلافاتی بر نتایج آزمون تخمین زده شود.

۱۱-۴-۲-۲ ضرایب تصحیح، هر ضریب یا روش اعمال شده بر روی داده‌ها برای تصحیح یک وضعیت غیر ایده‌آل، به طور کامل تشریح شود.

۱۱-۵ بخش نتایج

۱۱-۵-۱ جدول خلاصه، یک جدول خلاصه شده شامل خصوصیات مصالح سنگی، محدوده فشاری که مقادیر مدول در آن محاسبه شده‌اند، میانگین مقادیر مدول‌ها، دامنه‌ها و عدم قطعیت‌ها^۱، ارائه شود.

۱۱-۵-۲ جدول نتایج منفرد، یک جدول که در آن تعداد آزمون، مصالح/سازه سنگی، مقادیر میانگین مدول‌ها برای هر موقعیت آزمون فهرست شده است، ارائه شود. فاصله در عمق توده‌سنگ و دامنه تنش برای هر مدول، به دقت شناسایی و تعیین شود.

۱۱-۵-۳ نمایش گرافیکی، یک منحنی تغییرشکل میانگین برای هر مصالح سنگی ارائه شود.

۱۱-۵-۴ سایر اطلاعات، بهتر است که سایر انواع تحلیل‌ها و ارائه‌های زیر ارائه شود:

۱۱-۴-۵-۱ رابطه تغییرات مدول‌ها نسبت به تنش اعمالی.

۱۱-۴-۵-۲ بحث در مورد وابستگی مدول به شرایط زمین‌شناسی.

۱۱-۴-۵-۳ نمودار ستونی^۱ نتایج.

۱۱-۴-۵-۴ مقایسه نتایج به‌دست آمده با مقادیر مدول‌های آزمایشگاهی یا سایر روش‌های آزمون برجا (جدول ۲ را ببینید).

۱۱-۴-۵-۵ مقایسه نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر انواع سنگ‌ها یا مطالعات قبلی (جدول ۲ را ببینید).

جدول ۲- مدول‌های تغییرشکل‌پذیری آزمایشگاهی و صحرایی با روش بارگذاری صفحه‌ای انعطاف‌پذیر برای پروژه‌های مهم

نام پروژه	سال	نوع سنگ	تعداد آزمون‌ها	$E_F(GP_a)^A$	$E_L(GP_a)^A$	E_F/E_L
سد اورویل	۱۹۶۱	آمفیبولیت (توده‌ای)	۵	۱۰/۴	۸۹/۰	۰/۱۱
تاموت ۲	۱۹۶۲	گنایس-گرانیت	۶	۶/۹	۵۹/۱	۰/۱۲
سد دورشاک	۱۹۶۶	گرانیت-گنایس (توده‌ای)	۲۴	۲۳/۵	۵۱/۷	۰/۴۵
معدن کرسمر	۱۹۶۶-۱۹۷۴	مرمر (بلوکی)	۲	۱۵/۰	۴۷/۵	۰/۳۱
تونل نه کاپی	۱۹۶۷	دیوریت گنایس (درزدار)	۴	۴/۸	۷۷/۹	۰/۰۶
طرح گوردون	۱۹۷۱	کوارتрит	۸	۱۹/۰	۶۷/۰	۰/۲۸
آبشارهای چرچیل	۱۹۷۱	گنایس (توده‌ای)	۱۰	۴۱/۵	۵۵/۰	۰/۷۵
وال دک II	۱۹۷۳	گریواک	نامشخص	۵/۰	۲۰/۰	۰/۲۵
پروژه میکا	۱۹۷۴	گنایس کوارتزیتی	۱۲	۲۷/۶	۲۷/۰	۱/۰۴
پروژه LG-2	۱۹۷۶	گرانیت (توده‌ای)	نامشخص	۵۰/۰	۸۰/۰	۰/۶۲
الاندس برگ	۱۹۷۷	گریواک	۳۳	۳۹/۶	۷۳/۴	۰/۵۴

۱۱-۶ داده‌های الحاقی، وجود یک پیوست توصیه شده است و بهتر است و شامل موارد زیر باشد:

۱۱-۶-۱ یک برگه داده‌های آزمون کامل برای هر آزمون (جدول ۱)، تهیه شود.

۱۱-۶-۲ نمودار تغییرشکل نسبت به فشار (همانند شکل ۱) ترسیم شود. می‌توان از اطلاعات این نمودار برای تعیین منحنی تنش- کرنش، برای به‌دست آوردن مقادیری برای محاسبه مدول‌های مختلف، و برای تعیین خصوصیات واجهش و الاستیسیته، استفاده کرد.

۱۱-۶-۳ نمودار تغییرشکل نسبت به زمان (همانند شکل ۵) ترسیم شود. این نمودار برای مطالعه رفتار و ویژگی‌های خزشی سنگ مفید است و بهتر است برای تعیین زمان‌های مورد نیاز برای هر افزایش بار، در طی آزمون در اختیار باشد.

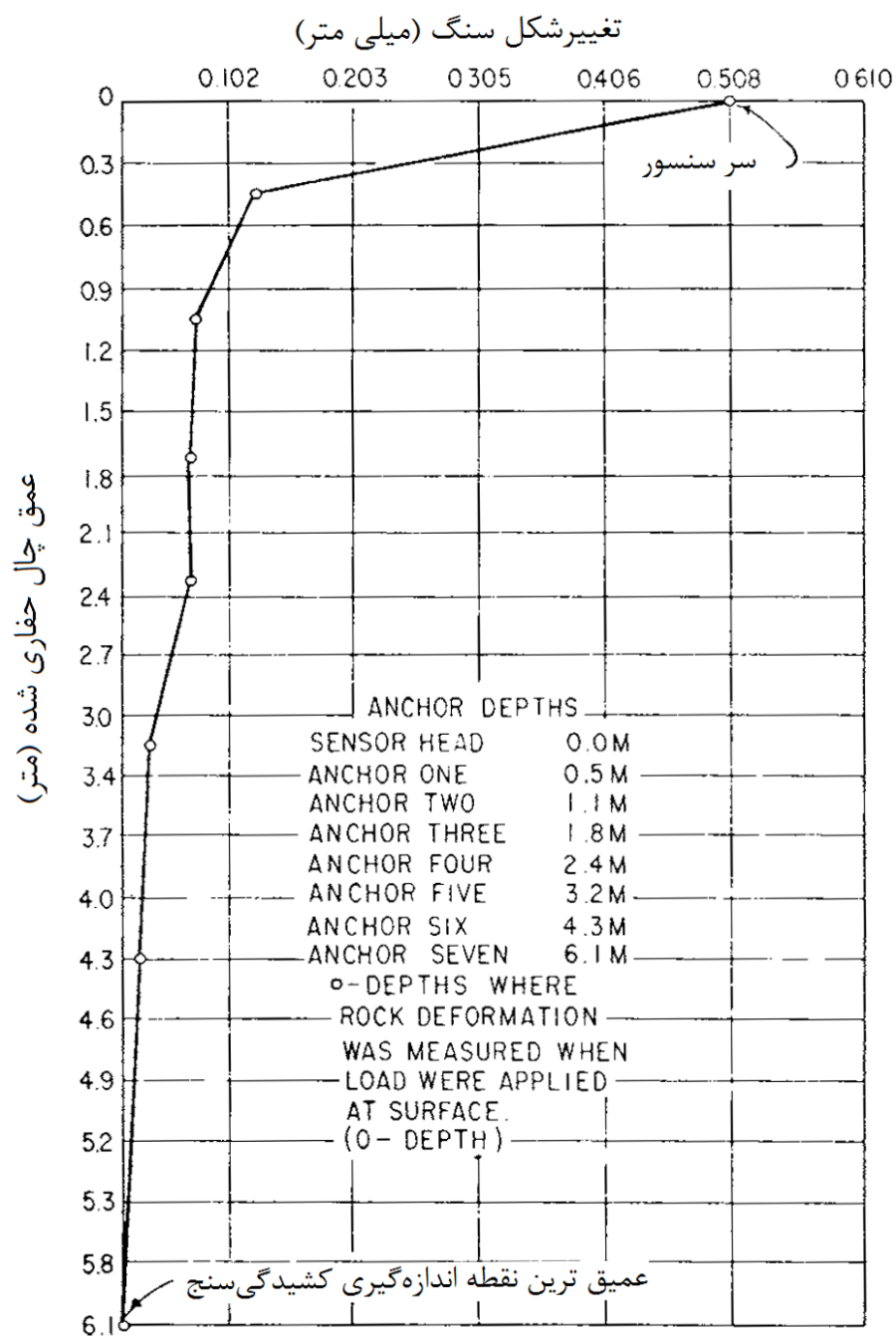
۱۱-۶-۴ نمودار تغییرشکل نسبت به عمق با مرجع عمیق‌ترین مهاری (همانند شکل ۶) ترسیم شود. این پروفیل اطلاعات برای شناسایی نواحی دارای آنومالی^۱ با مدول‌های پایین یا بالا نسبت به میانگین محاسبه شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این چنین نواحی یک بار شناسایی شده‌اند، می‌توان آن‌ها را با استفاده از مغزه‌های گرفته شده از چال‌های حفاری شده برای ابزار دقیق، تصحیح کرد. اگر مهاری‌های کشیدگی‌سنج گمانه‌ای چندنقطه‌ای (MPBX) به طور مناسب نصب شوند، می‌توان مدول این مناطق را با استفاده از معادله ارایه شده در بخش ۱۰ محاسبه کرد.

۱۲ دقت^۲ و اریبی^۳

۱۲-۱ دقت، به علت ماهیت مصالح سنگی آزموده شده توسط این روش آزمون، در این زمان، ایجاد محل‌های آزمون چندگانه که ویژگی‌های یکنواختی داشته باشند، یا امکان‌پذیر نیست یا بسیار پرهزینه است. بنابراین، از آن جایی که نمی‌توان محل‌های آزمون با عملکرد مشابه را مورد آزمون قرار داد، نمی‌توان اختلاف بین آزمون‌های را تعیین کرد زیرا تغییرات مشاهده شده در نتایج، فقط به علت تغییرات محل آزمون، اپراتور، آزمون برجا یا تغییرات آزمون آزمایشگاهی است.

۱۲-۲ اریبی، هیچ مقدار مرجع پذیرفته شده‌ای برای این آزمون وجود ندارد؛ بنابراین نمی‌توان اریبی را تعیین کرد.

1 - Anomalous
2 - Precision
3 - Bias



شکل ۶- جابجایی محوری نسبت به عمق، مربوط به عمیق ترین مهار

پیوست الف
(الزامی)
تضمین کیفیت (QA)

الف-۱ تضمین کیفیت

الف-۱-۱ موارد زیر الزاماتی حداقلی برای تضمین این هستند که نتایج به دست آمده قابل دفاع یا رد کردن باشند. مقصود این بخش توصیف فرآیندهایی برای تضمین کیفیت نیست، اما هدف آن شناسایی این نکات در طی آزمونی است که در آن عملیات تضمین کیفیت، توصیه شده است.

الف-۱-۱-۱ پیش تایید صلاحیت افراد، باید قبل از انجام آزمون، صلاحیت کلیه افراد تایید شود.

الف-۱-۱-۲ بازرسی آزمون، توصیه می شود افراد مسئول تضمین کیفیت (QA) تجهیزات آزمون را مورد بررسی قرار دهند. بهتر است پس از آزمون، فقط در صورتی که فرم پیش نویس داده های آزمون (جدول ۱) به طور کامل تکمیل شده است، بررسی شده و امضا شود.

الف-۱-۱-۳ اسناد مورد نیاز

الف-۱-۱-۳-۱ اعتبارسنجی کارایی تجهیزات، بهتر است واحد تضمین کیفیت، یادداشتهای واسنجی کامل و تاییدیه ها را نگهداری کند.

الف-۱-۱-۳-۲ شماره سریال تجهیزات، بهتر است واحد تضمین کیفیت بررسی کند که شماره سریال تجهیزات استفاده شده در آزمون در فرم پیش نویس داده های آزمون (جدول ۱) یادداشت شده باشد.

الف-۱-۱-۳-۳ امضاهای تاییدیه آزمون، بهتر است واحد تضمین کیفیت، یک رونوشت از امضاهای تاییدیه آزمون در فرم پیش نویس داده های آزمون (جدول ۱) را نگهداری کند.