INSO
18626
1st. Edition
2014

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

استاندارد ملی ایران
۱۸۶۲۶
چاپ اول
۱۳۹۳

تعـیین ضریب تغییرشکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب- روش آزمون

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

ICS: 93.020

به‌نام 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 حوز های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و موسسات 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 فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین‌ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند 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 می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول تضمین کیفیت فرآورده‌ها و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده‌های تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای فرآورده‌های کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی 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

«تعیین ضریب تغییرشکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب- روش آزمون»

رییس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
منوچهریان، سید محمد امین (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک سنگ)	شرکت ارجان پی
دبیر:	
کولیوند، فرشاد (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک سنگ)	شرکت زمین حفاران کاسیت
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 زمین‌حفاران 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

مظفری، مهدی (کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)	شرکت پتروخمسه آسیا
ناظمی، حمید (کارشناسی مهندسی عمران)	شرکت ساختمانی پرلیت
ناوی، پدرام (دکتری زمین‌شناسی)	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
ندری، کیانوش (کارشناسی مهندسی عمران)	شرکت زمین حفاران کاسیت
نقی‌پور، رسول (کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)	شرکت سنگسرای آذربایجان

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش‌گفتار		د
مقدمه		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۲
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	اصول آزمون	۴
۵	محدودیت‌ها و مشکلات	۵
۶	وسایل	۶
۷	اقدام‌های ایمنی پیشگیرانه	۸
۸	شرایط محل آزمون	۱۰
۹	روش انجام آزمون	۱۱
۱۰	محاسبات	۱۶
۱۱	گزارش آزمون	۱۷
۱۲	دقت و اریبی	۲۱
۱۳	پیوست الف (الزامی) تضمین کیفیت (QA)	۲۳

پیش‌گفتار

استاندارد «تعیین ضریب تغییرشکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب- 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 ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM D4394: 2008, Standard Test Method for Determining In Situ Modulus of Deformation of Rock Mass Using Rigid Plate Loading Method

تعیین ضریب تغییرشکل برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب- روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارایه روش آماده‌سازی، تجهیزات، روش انجام آزمون و ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌کاهی)[1] برای تعیین مدول تغییرشکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه صلب 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 بار گسترده یکنواخت (تنش یکنواخت) عمل‌کننده بر روی یک سطح دایره‌ای در یک محیط الاستیک نیمه بی‌نهایت، که یک جابجایی عمودی ثابت بر روی سطح بارگذاری شده محیط ایجاد می‌کند، 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- کلیه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باید مطابق با راهنماهای ارقام معنی‌دار و گرده شده، ارایه شده در استاندارد بند ۲-۸، باشند.

یادآوری ۲- 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.

---

1 - Data Reduction

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

هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به‌کاربرد این روش استاندارد را بیان نمی‌کند. بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت کرده و قبل از استفاده، محدودیت‌های اجرایی آن را 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. بدین‌ترتیب آن مقررات جزیی 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 ۱۸۶۲۷، تعیین ضریب تغییرشکل‌پذیری برجای توده‌سنگ با استفاده از روش بارگذاری صفحه انعطاف‌پذیر- 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 4403 Practice for Extensometers Used in Rock

2-5 ASTM D 4879 Guide for Geotechnical Mapping of Large Underground Openings in Rock

2-6 ASTM D 5079 Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples

2-7 ASTM D 5434 Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock

2-8 ASTM D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data

2-9 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 ارایه شده در استاندارد بند ۲-۲، اصطلاحات زیر نیز به‌کار می‌رود.

۳-۱ انحنا (تغییرشکل خمشی)[1]

میزان حرکت صفحه بارگذاری صلب، بالشتک ملاتی[2] و یا سنگ در جهت اعمال بار، به‌عنوان انحنا (تغییرشکل خمشی) در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲ بار

به نیروی کل اعمالی بر روی سطح سنگ اطلاق می‌شود.

۳-۳ مدول تغییرشکل‌پذیری مضاعف (اوج تا اوج)[3]

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

۳-۴ مدول تغییرشکل‌پذیری بازیافتی[4]

مدول مماسی (تانژانتی) منحنی تنش- کرنش در باربرداری است. این مدول به طور معمول بزرگ‌تر 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[5] (انباشت) یا قابلیت اتلاف انرژی[6] مصالح نامیده می‌شود (شکل ۲ را ببینید).

۳-۵ صفحه صلب[7]

صفحه‌ای که در حداکثر بار آزمون، انحنای (تغییرشکل خمشی) مرکز آن نسبت به لبه‌ها کم‌تر از ۰٫۰۰۰۱mm (۰٫۰۰۲۵in) است.

۳-۶ مدول تغییرشکل‌پذیری سکانتی (متقاطع)[8]

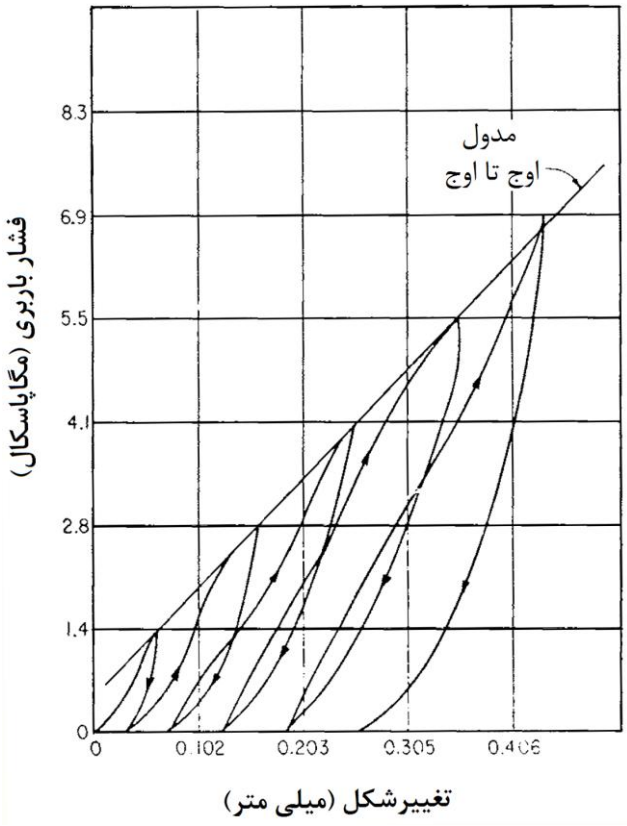
شیب خط واصل بین مبدا صفر و هر تنش تعیین شده در منحنی تنش- کرنش است. توصیه می‌شود این مدول برای مراحل بارگذاری کامل از صفر تا بار مورد نظر، مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۲ را ببینید).

---

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

۳-۷ مدول تغییرشکل‌پذیری تانژانتی (مماسی)[1]

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 صرف‌نظر 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- تغییرشکل سطح سنگ به صورت تابعی از فشار باربری

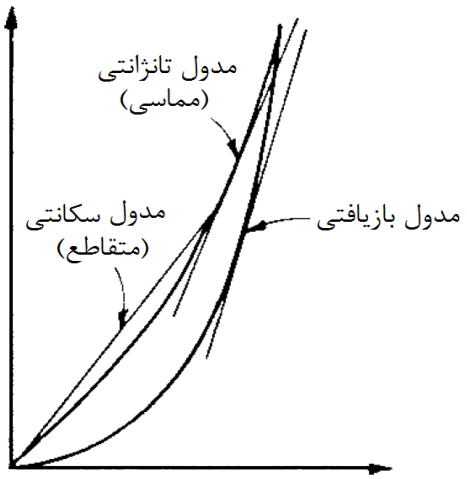
۴ اصول آزمون

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

۴-۲ یک بالشتک ملاتی[2] و صفحه فلزی صلب را بر روی هر یک از سطوح قرار دهید و یک سامانه بارگذاری هیدرولیک بین صفحات صلب بر روی هر دو سطح، قرار دهید.

1 - Tangent Modulus of Deformation
2 - Mortar Pad

۴-۳ اگر باید انحنا (تغییرشکل خمشی) در عمق توده‌سنگ اندازه‌گیری شـود، مطابق با استاندارد بند ۲-۴، ابزار کشیدگی‌سنج[1] را در درون توده‌سنگ نصب کنید.



شکل ۲- رابطه بین مدول‌های تانژانتی، سکانتی و بازیافتی

۴-۴ دو سطح را به صورت نمو افزایشی تحت بارگذاری و باربرداری قرار داده و تغییرشکل‌های سطحی توده‌سنگ و تغییرشکل در عمق توده‌سنگ (اگر مطلوب است)، را پس از افزایش اندازه‌گیری کنید. سپس مدول تغییرشکل‌ها را محاسبه کنید.

۵ محدودیت‌ها و مشکلات

۵-۱ به طور معمول ساخت یک صفحه غیرمنعطف و صلب برای بارگذاری بر روی سطوح سنگ مشکل است. به هر حال اگر صفحه باید تا حد امکان صلب ساخته شود، بهتر است سطح سنگ صاف شود و یک مصالح نازک و دارای مدول بالا به عنوان بالشتک استفاده شود، که موجب می‌شود خطای نتایج آزمون به حداقل برسد.

۵-۲ به طور معمول سـطح توده‌سنگ تحـت بارگذاری، برخلاف فرضـیات اصول نظری، همگن نیست. توده‌سنگ مطابق با ویژگی‌های تغییرشکل‌پذیری همان ناحیه، واکنش خواهد داد. بنابراین اندازه‌گیری‌های انحنا در نقاط مجزا بر روی سطح سنگ، به شدت تحت تاثیر خصوصیات توده‌سنگی است که در آن موقعیت قرار دارد و ممکن است نتایج آزمون معرف توده‌سنگ نباشد. چنان‌چه در محاسبات از میانگین انحنای صفحه استفاده شود، این مشکل کاهش می‌یابد.

1 - Extensometer Instrument

۵-۳ در عملیات اندازه‌گیری انحنا در عمق توده‌سنگ، می‌توان برای انعکاس میانگین خصوصیات تغییرشکل توده‌سنگ بین نقاط اندازه‌گیری، از طول اندازه‌گیری محـدود استفاده کرد. روش بارگذاری صفحه‌ای، با تمام مزایایی که دارد، با سه مشکل و مانع روبرو است.

۵-۳-۱ 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.

۵-۳-۲ آشفتگی 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.

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

۵-۴ از تاثیر نرخ بارگذاری بر مدول‌ها صرف‌نظر شده است.

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

۵-۶ این روش آزمون به ضریب پواسون حساس نیست.

۵-۷ 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[1] چال‌های مورد نیاز برای نصب وسایل ابزاردقیق، اندازه‌گیری تغییرشکل سنگ، اعمال و برداشتن بارهای آزمون، ثبت داده‌های آزمون، و حمل و نقل اجزا متنوع به محل آزمون هستند.

1 - Logging

۲-۶ تجهیزات آماده‌سازی محل آزمون[1]، 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[2]، در صورتی که مغزه به‌دست آمده سست است یا برای تعیین جهت صحیح، مغزه‌ها نامناسب باشند؛ می‌توان از هر گونه وسیله بازبینی مطلوب برای بررسی چال و مقایسه عوارض زمین‌شناسی مشاهده شده در مغزه‌ها استفاده نمود.

۴-۶ وسایل اندازه‌گیری تغییرشکل[3]، این وسایل شامل یک کشیدگی‌سنج گمانه‌ای چندنقطه‌ای[4] (MPBX) برای هر چال ابزاربندی و یک قطرسنج تونل هستند. به طور معمول برای اندازه‌گیری‌های سطحی از سنجنده‌های عقربه‌ای یا تراگذارهای[5] (ترانس‌دیوسرهای) تفاضل متغیر خطی (LVDT)[6] استفاده می‌شود. توصیه می‌شود دقت این وسایل باید ±۰٫۰۰۲۵mm (±۰٫۰۰۰۱in) و حساسیت آن‌ها ±۰٫۰۰۱۳mm (±۰٫۰۰۰۰۵in) باشد. در حالتی که مدول تغییرشکل‌پذیری توده‌سنگ بیش‌تر از ۳۵GPa (۵MPsi) است، خطای بالای ۰٫۰۱mm (۰٫۰۰۰۴in) می‌تواند نتایج آزمون را از درجه اعتبار ساقط کند.

۵-۶ تجهیزات بارگذاری[7]، 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 بازوهای هیدرولیکی یا جک‌های تخت استفاده شود و بار را به صورت هیدرولیکی با قدرت و حجم کافی تا فشار مطلوب سه درصد، بر روی هر سطح سنگ اعمال کرده و نگه دارند. در صورت استفاده از جک‌های تخت، بهتر است این وسایل قدرت کافی برای اجازه دادن به انحنای سنگ را داشته باشند و به گونه‌ای ساخته شوند که دو صفحه اصلی به طور موازی و مجزا از هم در سراسر قسمت قابل استفاده محدوده بارگذاری حرکت داشته باشند. بهتر است یک یاتاقان کروی[8] با ظرفیت مناسب به یکی از صفحات باربری متصل شود.

---

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 - Spherical Bearing

۶-۶ سلول بارسنج[1]، برای اندازه‌گیری بار بر روی صفحات بارگذاری، استفاده از سلول بارسنج توصیه شده است. توصیه می‌شود با در نظر گرفتن خطای دستگاه‌های خوانش، سلول بارسنج دقتی معادل حداقل ±۴٫۴kN (±۱۰۰۰lbf) و حساسیت حداقل ±۲٫۲kN (±۵۰۰lbf) داشته باشد. ممکن است یک فشارسنج یا تراگذار فشار برای پایش فشار هیدرولیکی به منظور محاسبه بار استفاده شود، البته مشروط بر این که این وسیله بتواند بار را با ویژگی‌های مشابه با سلول بارسنج اندازه‌گیری کند. توصیه شده است که سلول بارسنج نیز با در نظر گرفتن خطای دستگاه‌های خوانش، دقتی معادل حداقل ±۰٫۱۴MPa (±۲۰Psi) و حساسیت حداقل ±۰٫۰۶۹MPa (±۱۰Psi) داشته باشد. اگر از بازوهیدرولیکی استفاده می‌شود، باید اثرات اصطکاک بازو بر آزمون تعیین شود. در صورت استفاده از جک‌های تخت، باید مراقب بود که جک‌ها در بالاتر از محدوده توانایی‌شان مورد بهره‌برداری قرار نگیرند.

۶-۷ بالشتک‌های باربری[2]، بالشتک‌های باربری باید دارای مدول الاستیسیته ۳۰GPa (۴MPsi) بوده و قادر باشند سطح سنگ و صفحات بارگذاری را با هم منطبق کنند. توصیه شده است که برای این منظور از سیمان زودگیر یا بتن‌ریزی بالشتک‌ها استفاده شود.

۶-۸ صفحات باربری[3]، در عمل صفحات باربری باید یک صفحه صلب باشند. یک صفحه بارگذاری مطلوب در شکل ۳ نشان داده شده است. اگرچه ممکن است طرح دقیق و مصالح استفاده شده متفاوت با شکل ۳ باشد، اما سختی صفحات بارگذاری باید به گونه‌ای باشد که هنگام بارگذاری حداکثری روی این صفحات، انحنای قابل اندازه‌گیری نداشته باشند.

۷ اقدام‌های پیشگیرانه ایمنی

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

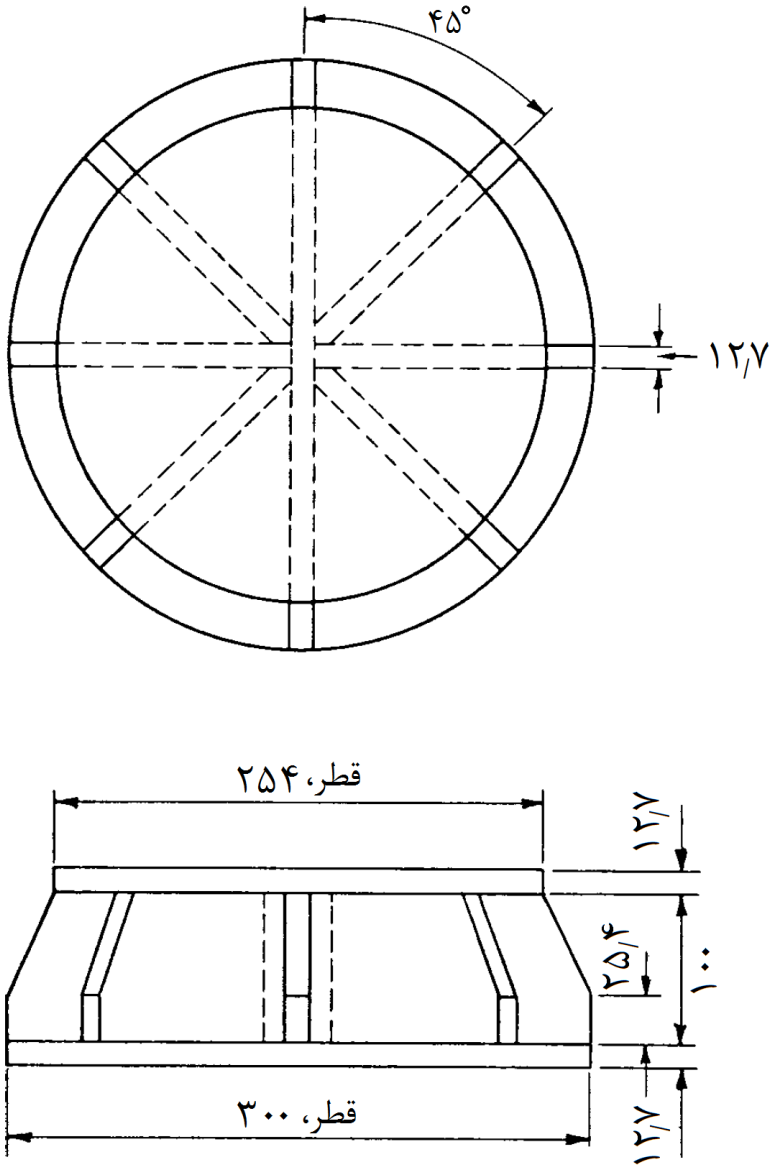
۷-۲ انطباق کلیه تجهیزات و وسایل با ویژگی‌های عملکردی بخش ۶، مورد بررسی قرار گیرد. اگر هیچ الزامی بیان نشده است، توصیه‌های کارخانه سازنده تجهیزات می‌تواند راهنمای مناسبی باشد، اما باید به

1 - Load Cells
2 - Bearing Pads
3 - Bearing Pads

کارایی کافی آن توجه شود. بررسی عملکرد تجـهیزات، با واسـنجی تجهیزات و سامانه‌های اندازه‌گیری انجام می‌شود. انجام واسنجی و مستندسازی مطابق با فرآیندهای تضمین کیفیت انجام شود.

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

ابعاد برحسب میلی‌متر



یادآوری- کلیه درزها، به طور کامل جوش شده‌اند.

شکل ۳- طرح چیدمان آزمون صفحه باربر انعطاف‌پذیر

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[1]، مناطق خرد شده[2]، حفرات[3]، ادخال‌ها[4] (اینکلوزیون‌ها) و موارد مشابه، آزمون بر روی بخش‌هایی که شامل این عوارض 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 مورد آزمون، 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 ۰٫۵m تا ۱m (۱٫۵in تا ۳٫۲۵in) برای صفحه بارگذاری توصیه می‌شود. اما می‌توان با توجه به شرایط محل، از صفحه‌ای با سایر قطرها نیز استفاده کرد. باید یک نقشه از بازکننده و محل آزمون مطابق با استاندارد بند ۲-۴ تهیه شود.

۸-۳ توصیه می‌شود اثرات ناهمسانگردی[5]، با انجام آزمون در جهات مناسب بررسی شود؛ به عنوان مثال در سنگ‌های رسوبی[6] می‌توان آزمون را در جهات عمود و موازی سطوح لایه‌بندی، یا در یک جریان بازالتی[7]، آزمون را در جهات عمود یا موازی با محور طویل ستون‌های 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 توده‌سنگ که در اثر بارگذاری دچار انحنا می‌شود، به قطر صفحه بارگذاری و مقدار بار اعمالی بستگی دارد. صفحات بزرگ و بارهای زیاد، امکان اندازه‌گیری تغییرشکل-ها 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 است، 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 جاگزین، می‌توان برای کاهش آسیب وارده

1 - Faults
2 - Fracture Zones
3 - Cavities
4 - Inclusions
5 - Anisotropy
6 - Sedimentary
7 - Basalt Flow

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[1] یا سایر انواع آتشباری نرم دیواره[2]، استفاده کرد.

۸-۵ توصیه می‌شود برای تعیین کیفیت سنگ (RQD)[3]، فاصله‌داری و راستای شکستگی[4]، شرایط سطوح درزه‌ها، مقاومت و تغییرشکل، مغزه‌ها (اگر وجود دارد) نگهداری و چال‌نگاری شده و تحت آزمون قرار گیرند. به ازای الزامات ویژه، باید روش‌های آزمون استاندارد بندهای ۲-۳، ۲-۶، ۲-۷، و ۲-۹، حداقل الزامات را مد نظر قرار دهند.

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

یادآوری- راهنمایی‌های ارایه 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 ارایه شده‌اند.

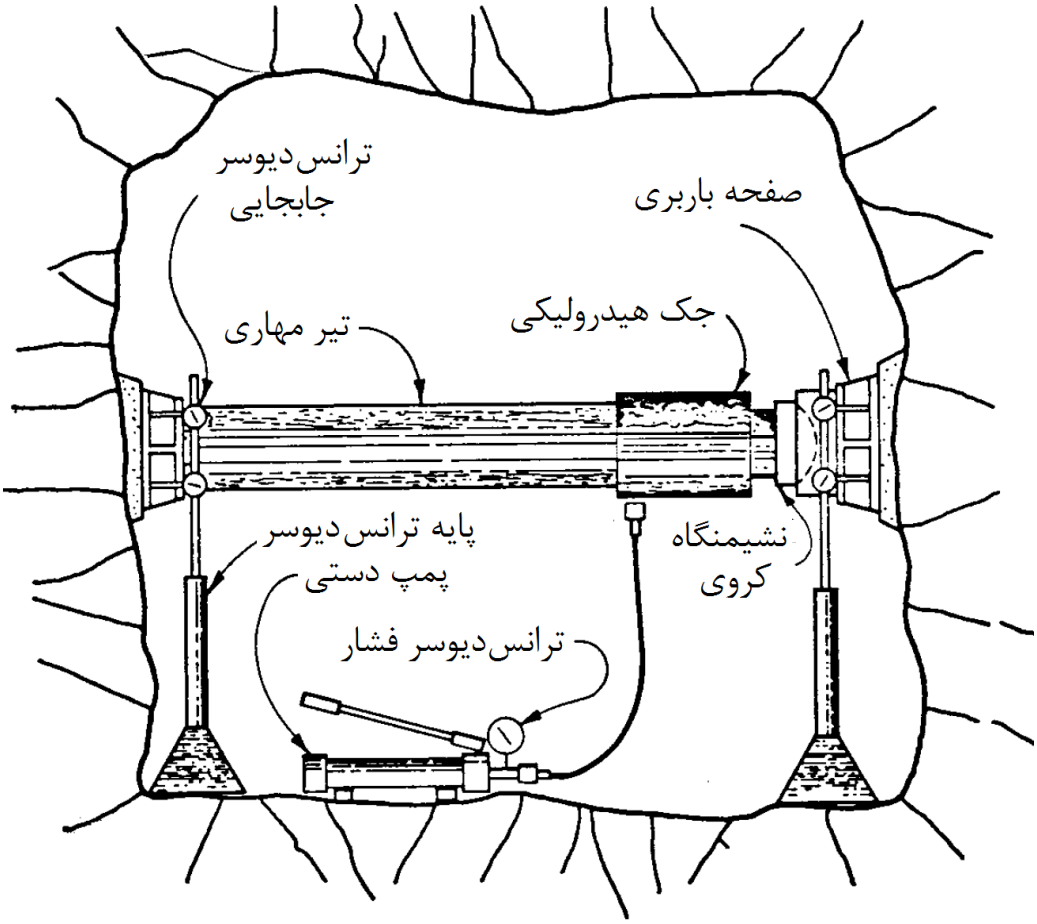
۹ روش انجام آزمون

۹-۱ آزمون را در امتداد قطر یا وتر بازکننده با دو سطح باربر موازی با هم و در صفحاتی عمود بر جهت بارگذاری انجام دهید. شماتیکی از چیدمان بهینه آزمون در شکل ۴ 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 آماده‌سازی سطح باربر[5]

۹-۲-۱ روش آماده‌سازی، 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[6] 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 با خرج ویژه بسیار پایین توصیه می‌شود. در مصالح نرم‌تر نیز می‌توان از ساینده‌های زبر یا وسایل برشی استفاده نمود.

1 - Presplitting
2 - Smooth-Wall Blasting
3 - Rock Quality Designation (RQD)
4 - Fracture Spacing
5 - Bearing Surface Preparation
6 - Burnishing



یادآوری- چال‌های حفاری شده نشان داده نشده‌اند

شکل ۴- طرح چیدمان آزمون بارگذاری صفحه صلب

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

۹-۲-۳ 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.

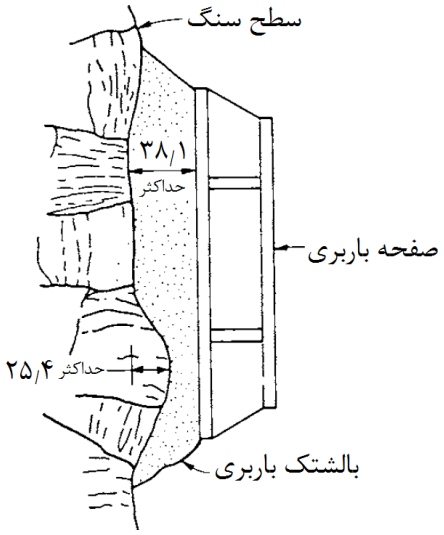
۹-۲-۴ صافی سنگ، سطح آماده‌سازی شده سنگ را تا حد امکان صاف کنید. توصیه می‌شود پرداخت نهایی سطح به گونه‌ای باشد که اختلاف بین پستی و بلندی‌های آن، از ۲۵mm (۱in) بیش‌تر نباشد.

۹-۲-۵ 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.

۹-۳ نقشه زمین‌شناسی، نقشه هندسی و زمین‌شناسی دقیق محل آزمون، را هم در مقطع نمای بالا[1] و هم در مقطع عرضی[2] ترسیم کنید.

۹-۴ 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 قایم (جایی که از بالشتک‌های سیمانی استفاده می‌شود) انجام می‌گیرند، قابل اجرا نیست. در چنین شرایطی صفحه باربر پایینی، قبل از عمل آمدن سیمان، به طور مستقیم روی محل بالشتک قرار می‌گیرد. در کلیه حالات باید مراقب بود که هیـچ گونه حـفره یا حـباب هـوایی در بالشتک باقی نماند. ضخامت بالشتک نباید در هیچ قسمتی، از ۱۲٫۵ درصد قطر جک تخت بیش‌تر شود. الزامات ابعادی در شکل ۵ نشان داده شده است.

ابعاد برحسب میلی‌متر



شکل ۵- ابعاد مجاز سطح سنگ و بالشتک باربر

۹-۵ نقاط اندازه‌گیری

۹-۵-۱ 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. بالشتک‌های مرجع بر روی سطح سنگ در نقاط اندازه‌گیری سطحی را محکم کنید. نقاط اندازه‌گیری انحنا باید حداقل در سه موقعیت مختلف با فواصل مساوی اطراف صفحه قرار داده شوند. تراگذارهای جابجایی را طوری مستقر

1 - Plan
2 - Cross Section

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 بارگذاری سوار شوند. نقاط و تجهیزات اندازه‌گیری از قبیل آن چه در استاندارد بند ۲-۴ توصیف شده است، در امتداد بازکننده نصب شوند.

۹-۵-۲ نقاط اندازه‌گیری در عمق توده‌سنگ

۹-۵-۲-۱ 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 ۱۰ درصد عرض بالشتک باربری تجاوز کند.

۹-۵-۲-۲ چال‌های مربوط به نصب تجهیزات اندازه‌گیری باید تا حد امکان کوچک باشد. بهتر است این چال‌ها توسط دستگاه حفاری دورانی الماسه[1] در هر دو سطح بارگذاری متقابل حفاری شوند. حفاری باید همراه با مغزه‌گیری بوده و از هر چال نیز لاگ تهیه شود. ممکن است نیاز باشد برای آزمون آزمایشگاهی مطابق با استاندارد بند ۲-۶، مغزه حفاری شده نگه داشته شود. باید داده‌های کلیه چال‌های حفاری مربوطه، به نقشه‌های زمین‌شناسی بند ۹-۳، اضافه شوند.

۹-۵-۲-۳ با بررسی مغزه‌های به‌دست آمده از حفاری یا استفاده از تجهیزات بازبینی داخل چال مثل چال‌نگار[2] 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.

۹-۵-۲-۴ روش نصب و فرآیندهای خوانش برای ابزار اندازه‌گیری یا کشیدگی‌سنج‌ها در استاندارد بند ۲-۴ 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[3] یا لاستیکی در داخل چال قرار داده می‌شود.

1 - Diamond-Rotary Drilled
2 - Borescope
3 - PolyVinyl Chloride (PVC)

۹-۵-۲-۵ دقت و حساسیت وسایل ابزاردقیق انتخاب شده باید مطابق با مقادیر مدول مورد انتظار باشد. خطای مربوط به آزمون منفرد، باید ارزیابی شود. این موارد شامل اثرات ترکیبی تراگذارها، منابع تامین برق، ابزارهای بازخوانی و خوانش و موارد مشابه با آن هستند.

۹-۶ کنترل‌های قبل از آزمون[1]، 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 مجددا 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.

۹-۷ چرخه‌های بارگذاری و باربرداری

۹-۷-۱ برای موفقیت‌آمیز بودن چرخه‌های بارگذاری و باربرداری می‌توان با مشاهده در طی آزمون، نرخ مناسب بارگذاری در اولین مرحله آزمون تعیین شود.

۹-۷-۲ 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، انحناها 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. نمونه‌ای از منحنی بارگذاری پنج مرحله‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.

۹-۷-۳ بدون توجه به اصلاحات فرآیندهای پیشین، فشار حداکثر به مدت ۱۰ دقیقه نگه داشته شود.

۹-۷-۴ در صورت لزوم با این روش می‌توان تغییرمکان‌های آنی و تابع زمان خزشی را نیز اندازه‌گیری کرد. رابطه تغییرشکل زمانی با بارگذاری نمو افزایشی در شکل ۶ نشان داده شده است.

۹-۷-۵ داده‌ها، داده‌های آزمون را به صورتی که در جدول ۱ نشان داده شده است، حداقل برای هر آزمون ثبت کنید.

---

1 - Pretest Check

۱۰ محاسبات

۱۰-۱ این معادلات بر اساس حل الاستیک[1] برای یک جسم صلب (انحنای ثابت) روی سطح دایره‌ای یک محیط الاستیک همسانگرد نیمه بینهایت[2] استوار است.

۱۰-۲ محاسبه مدول تغییرشکل‌پذیری *E*

۱۰-۲-۱ مدول تغییرشکل‌پذیری (E) با توجه به انحنای اندازه‌گیری شده در مرکز سطح بارگذاری دایره‌ای در سطح سنگ، از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{(1-\mu^2)\cdot P}{2W_a \cdot R} \qquad (۱)$$

۱۰-۲-۲ اگر داده‌های تغییرشکل زیرسطحی جمع‌آوری شده است، مدول تغییرشکل‌پذیری E، از انحنا در نقطه‌ای درون توده‌سنگ زیر مرکز سطح بارگذاری دایره‌ای، از معادله ۲ محاسبه شود:

$$E = \frac{(1+\mu)\cdot P}{2\cdot \pi \cdot W_z \cdot R}\cdot\left[(2-2\cdot\mu)\cdot arcsin\cdot\left(\frac{R}{(R^2+Z^2)^{0.5}}\right)+\frac{R\cdot Z}{R^2+Z^2}\right] \qquad (۲)$$

که در آن‌ها:

E مدول تغییرشکل‌پذیری، برحسب MPa؛

P بار کل بر روی صفحه صلب، برحسب kN؛

R شعاع سطح بارگذاری، برحسب mm؛

W_a انحنا در مرکز سطح بارگذاری، برحسب mm؛

μ ضریب پواسون سنگ.

Z عمق نقطه زیر مرکز سطح بارگذاری، برحسب mm؛

W_Z انحنا در عمق z، برحسب mm.

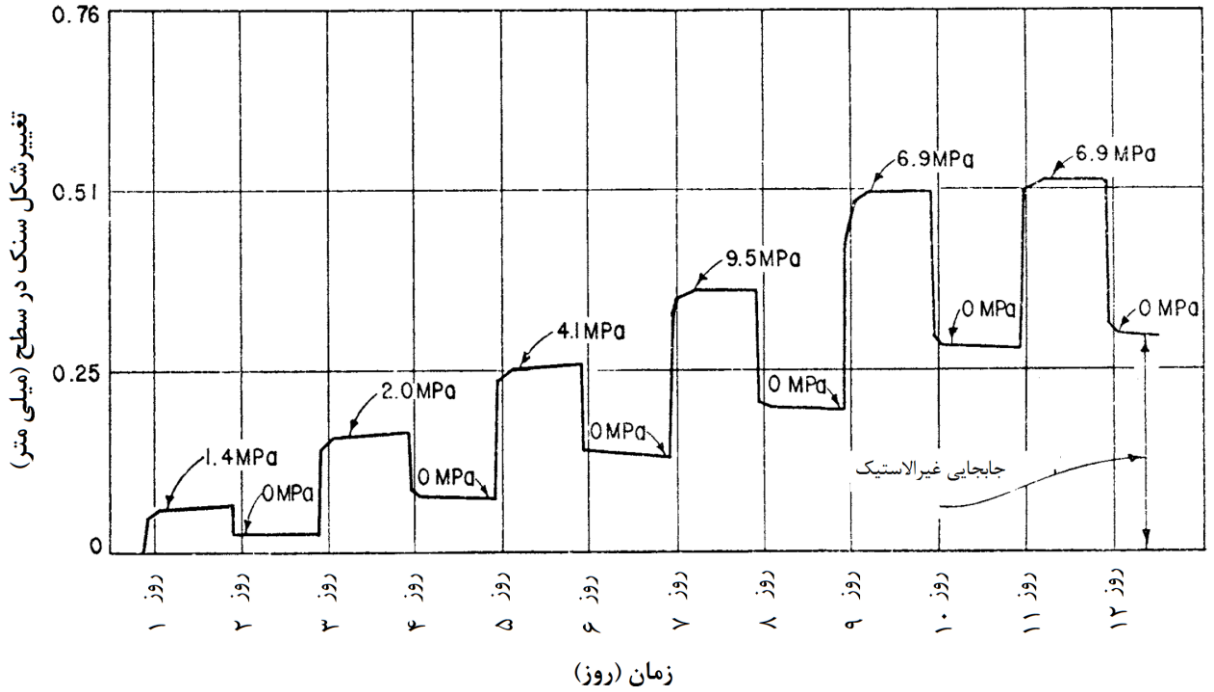
لازم است حداقل برای هر مصالح یا سازه سنگی، مقدار میانگین مدول، دامنه[3]، انحراف معیار[4] و سطح اطمینان[5] ۹۵ درصد میانگین کلیه نقاط اندازه‌گیری محاسبه شود. اگر مهاری‌های کشیدگی‌سنج گمانه‌ای چندنقطه‌ای (MPBX) به گونه‌ای که توصیه شده hsj ، نصب شده باشند، مدول‌های این نواحی می‌توانند با استفاده از معادلات ارایه شده در بخش ۱۰ محاسبه شوند. هم‌چنین محاسبات استاندارد بند ۲-۱ را ببینید.

---

1 - Elastic Solution
2 - Semi-Infinite Isotropic Elastic Medium
3 - Range
4 - Standard Deviation
5 - Confidence Limits

۱۱ گزارش آزمون

۱-۱۱ در این بخش حداقل الزامات مورد نیاز برای گزارش سودمند ارایه شده است. قابل ذکر است که در صورت نیاز، می‌توان اطـلاعات بیش‌تری را به طور مـناسب اضافه کرد و بعضی اقلام را تغییر داد. کاربردهای نتایج آزمون، فراتر از اهـداف این روش آزمون اسـت 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.



شکل ۶- تغییرشکل سطح سنگ نسبت به زمان

۲-۱۱ 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:

۱-۱-۲-۱۱ هدف آزمون.

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

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

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

۱۱-۲-۱-۵ توصیف زمین‌شناسی محل آزمون، توصیه شده است که تشریح کامل شرایط زمین‌شناسی محل آزمون قبل و بعد از آزمون شامل: لاگ مغزه‌ها[1]، عکس مغزه‌ها، عکس از سطح آماده‌سازی شده آزمون و توضیحی در مورد صدمات موضعی ناشی از آتشباری، تشریح میکروسکوپی[2] انواع سنگ و عوارض ساختاری موثر در آزمون ارایه شوند. رسم نقشه زمین‌شناسی محل آزمون، قبل و بعد از آزمون توصیه شده است.

۱۱-۳ بخش روش آزمون

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

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

۱۱-۴-۱ معادلات ساده‌سازی صورت مسئله (داده‌کاهی)، کلیه معادلات ریاضی مورد استفاده برای ساده-سازی صورت مسئله (داده‌کاهی) باید به وضوح ارایه 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 (داده‌کاهی) 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 غیرایده‌آل، به طور کامل تشریح شود.

1 - Core Logs
2 - Macroscopic Description

جدول ۱- برگه پیش‌نویس داده‌های آزمون تغیرشکل‌پذیری برجا

پروژه:		شماره آزمون:	
ویژگی:		نوع سنگ:	
محل آزمون:		قطر صفحه بارگذاری:	
جهت‌یابی آزمون:		انجام دهنده آزمون:	
تاریخ:			
موقعیت نقاط اندازه‌گیری:	شماره۱:		شماره۴:
	شماره۲:		شماره۵:
	شماره۳:		شماره۶:

توصیف تجهیزات	شماره سریال	تاریخ واسنجی بعدی

زمان	خوانش بار	شماره۱:	شماره۲:	شماره۳:	شماره۴:	شماره۵:	شماره۶:

خوانش جابجایی

زمان	خوانش بار	شماره۱:	شماره۲:	شماره۳:

توضیحات:

ناظر آزمون:	تاریخ:
تضمین کیفیت (QA):	تاریخ:
مهندس پروژه:	تاریخ:

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[1]، ارایه 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، ارایه شود. فاصله در عمق توده‌سنگ و دامنه تنش برای هر مدول، به دقت شناسایی و تعیین شود.

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

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

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

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

۱۱-۵-۴-۳ نمودار ستونی[2] نتایج.

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

۱۱-۵-۴-۵ 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 اورووِیل	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 (توده ای)	۲۴	۲۳٫۵	۵۱٫۷	۰٫۴۵
معدن کرسمور	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	کوارتریت	۸	۱۹٫۰	۶۷٫۰	۰٫۲۸
آبشارهای چرچیل	۱۹۷۱	گنایس (توده ای)	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 (توده ای)	نامشخص	۵۰٫۰	۸۰٫۰	۰٫۶۲
الاندس‌برگ	۱۹۷۷	گریواک	۳۳	۳۹٫۶	۷۳٫۴	۰٫۵۴

1 - Uncertainties
2 - Histograms

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 ۲) ترسیم شود. می‌توان از اطلاعات این نمودار برای تعیین شکل 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 ۶) 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.

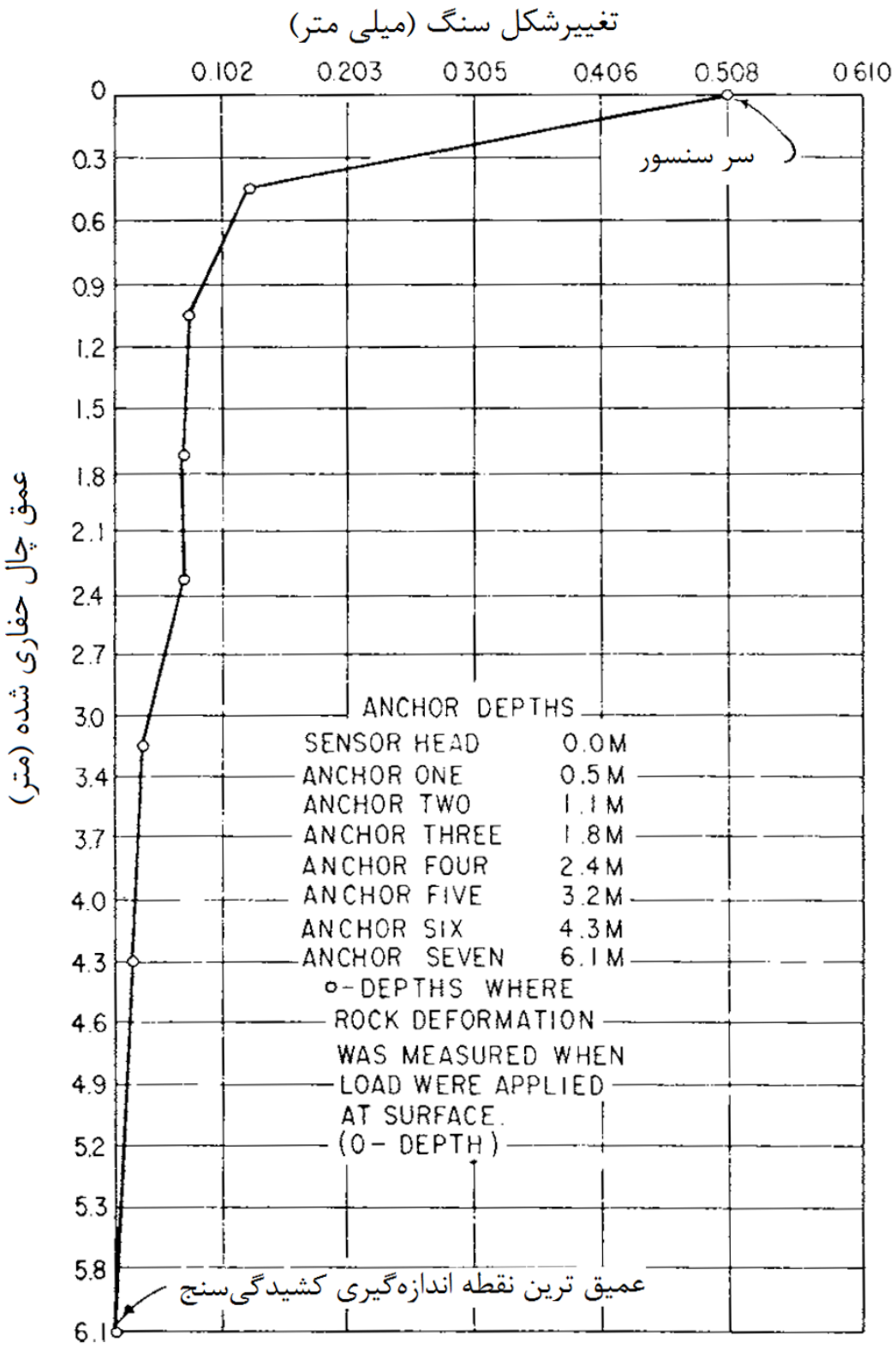
۱۱-۶-۴ نمودار تغییرشکل نسبت به عمق با مرجع عمیق‌ترین مهاری (همانند شکل ۷) ترسیم شود.. این پروفیل اطلاعات برای شناسایی نواحی دارای آنومالی[1] با مدول‌های پایین یا بالا نسبت به میانگین محاسبه شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این چنین نواحی یک بار شناسایی شده‌اند، می‌توان آن‌ها را با استفاده از مغزه‌های گرفته شده از چال‌های حفاری شده برای ابزاردقیق، تصحیح کرد.

۱۲ دقت[2] و اریبی[3]

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 پر هزینه است. بنابراین، از آن جایی که نمی‌توان محل‌های آزمون با عملکرد مشابه را مورد آزمون قرار داد، نمی‌توان اختلاف بین آزمون‌ها 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 بایاس را تعیین کرد.

1 - Anomalous
2 - Precision
3 - Bias



شکل ۷- جابجایی محوری نسبت به عمق، مربوط به عمیق‌ترین مهاری

پیوست الف

(الزامی)

تضمین کیفیت (QA)

الف-۱ تضمین کیفیت

الف-۱-۱ موارد زیر الزاماتی حداقلی برای اطمینان از این هستند که نتایج به‌دست 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 پیش‌تایید صلاحیت افراد

باید قبل از انجام آزمون، صلاحیت کلیه افراد تایید شود.

الف-۱-۱-۲ بازرسی آزمون، افراد مسئول تضمین کیفیت (QA) باید چیدمان، فرآیند و تجهیزات آزمون را مورد بررسی قرار دهند. بهتر است پس از آزمون، فقط در صورتی که فرم پیش‌نویس داده‌های 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 تاییدیه‌ها 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 پیش‌نویس داده‌های آزمون (جدول ۱) یادداشت شده باشد.

الف-۱-۱-۳-۳ امضاهای تاییدیه آزمون، واحد تضمین کیفیت باید یک رونوشت از امضاهای تاییدیه آزمون در فرم پیش‌نویس داده‌های آزمون (جدول ۱) را نگه‌داری کند.