



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۸۰۷-۹

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18807-9

1st.Edition

2015

روش‌های آزمون سیمان - قسمت ۹:
گرمای هیدراته شدن - روش نیمه دررو

**Methods of testing cement - Part 9: Heat
of hydration – Semiadiabatic method**

ICS: 91.100.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

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 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 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 ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای 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 مؤسسات و سازمان های 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 نیازمندی های 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 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 درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز واسنجی (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، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، واسنجی (واسنجی) وسایل 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

«روش‌های آزمون سیمان - قسمت ۹: گرمای هیدراته شدن - روش نیمه دررو»

رئیس:

تدین، محسن
(دکترای مهندسی عمران)

سمت و / یا نمایندگی

انجمن بتن ایران

دبیر:

رحمتی، علیرضا
(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

مجتمع تولیدی، تحقیقاتی و
آزمایشگاهی پاکدشت بتن

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

احمدنژاد، سلیم
(کارشناس ارشد مهندس شیمی)

شرکت سیمان هرمزگان

اسگرو، آرزو
(کارشناس ارشد شیمی)

شرکت سیمان سامان غرب

ایزد پناه، عبدالرحیم
(کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

شرکت سیمان تهران

بیژنی، کورش
(کارشناس ارشد شیمی)

شرکت سیمان هرمزگان

پیرهادی ده‌علیخانی، بهمن
(کارشناس ارشد شیمی)

مجتمع تولیدی، تحقیقاتی و
آزمایشگاهی پاکدشت بتن

جلالی، محمد
(کارشناس شیمی)

شرکت مهندسی و تحقیقات غدیر

جهانگیریان، مهدی
(کارشناس مدیریت)

شرکت سیمان هگمتان

شرکت بتن البرز	حسینی مقدم، علیرضا (کارشناس ارشد مهندسی معدن)
شرکت سیمان سپاهان	خانی، هوشنگ (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)
شرکت سیمان شرق	رحمانی، مزدک (کارشناس مهندسی مواد - سرامیک)
شرکت سیمان هرمزگان	زارعی، حسن (کارشناس شیمی)
انجمن صنفی کارفرمایان سیمان	سازور، رسول (کارشناس شیمی)
پژوهشگاه استاندارد	سامانیان، حمید (کارشناس ارشد مهندسی مواد - سرامیک)
شرکت پاک بتن ری	سخنور، فرهاد (کارشناس مهندسی معدن)
مجتمع تولیدی، تحقیقاتی و آزمایشگاهی پاکدشت بتن	سلامی، الهام (کارشناس ارشد مهندسی صنایع)
شرکت مهندسی و تحقیقات غدیر	شایسته نام، محمد (کارشناس ارشد شیمی)
عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی	شرقی، عبدالعلی (دکترای مهندسی عمران)
سازمان ملی استاندارد ایران	عباسی رزگله، محمد حسین (کارشناس مهندسی مواد - سرامیک)
شرکت سیمان داراب	عفیف، شیرین (کارشناس شیمی)

شرکت سیمان بجنورد	عقیقی، ناصر (کارشناس مهندسی شیمی)
شرکت سیمان دشتستان	قاسمی، جواد (کارشناس صنایع شیمیایی)
شرکت سیمان هرمزگان	گل بهاری، محمود (کارشناس مهندسی شیمی)
شرکت سیمان بجنورد	لطفی، مجید (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)
سازمان ملی استاندارد ایران	مجتبوی، سید علیرضا (کارشناس مهندسی مواد-سرامیک)
شرکت سیمان کردستان	محمدی مقدم، ابراهیم (کارشناس ارشد مهندسی مواد)
شرکت سیمان آبیک	محمودی، سعید (کارشناس مهندسی معدن)
مجتمع تولیدی، تحقیقاتی و آزمایشگاهی پاکدشت بتن	ملک‌شاهی، ایمان (کارشناس مهندسی عمران)
شرکت سیمان اردستان	موسوی، سید حسن (کارشناس ارشد سیستم بهره‌وری)
شرکت سیمان غرب	نجفی، مسعود (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصول
۲	۴ وسایل
۶	۵ تعیین گرمای هیدراته شدن
۸	۶ محاسبه گرمای هیدراته شدن
۱۰	۷ بیان نتایج
۱۱	پیوست الف (الزامی) واسنجی گرماسنج
۱۸	پیوست ب (اطلاعاتی) مثال عملی از تعیین گرمای هیدراته شدن

پیش‌گفتار

استاندارد «روش‌های آزمون سیمان - قسمت ۹: گرمای هیدراته شدن - روش نیمه دررو» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در پانصد و شصت و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ 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 مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

EN 196-9: 2010, Methods of testing cement - Part 9: Heat of hydration - Solution method

مقدمه

این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۸۸۰۷ است.

سیمان - روش‌های آزمون - قسمت ۹: گرمای هیدراته شدن - روش نیمه دررو

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد تعیین گرمای هیدراته شدن سیمان به وسیله گرماسنجی نیمه دررو^۱، تحت عنوان روش «لانگوان»^۲ است.

۲-۱ هدف این آزمون، اندازه‌گیری پیوسته گرمای هیدراته شدن سیمان در روزهای اولیه می‌باشد. گرمای هیدراته شدن برحسب ژول بر گرم سیمان بیان می‌شود.

۳-۱ این استاندارد برای همه سیمان‌ها و چسباننده‌های هیدرولیکی با ترکیبات شیمیایی مختلف به جز سیمان-های با گیرش تند کاربرد دارد.

یادآوری ۱- روش جایگزین تحت عنوان روش انحلال در استاندارد ملی ایران به شماره ۸-۱۸۸۰۷ شرح داده شده است. ولی در هر صورت این روش می‌تواند به‌طور مستقل استفاده شود.

یادآوری ۲- بهترین همبستگی بین دو روش در ۴۱ ساعت برای روش نیمه دررو (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۹-۱۸۸۰۷) و ۷ روز برای روش انحلال حاصل می‌گردد (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۸-۱۸۸۰۷).

هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی مربوط به کاربرد این روش را بیان نمی‌کند. بنابراین وظیفه کاربر این استاندارد است که موارد ایمنی و اصول بهداشتی را رعایت کرده، قبل از استفاده محدودیت‌های اجرایی آن را مشخص کند.

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:

- | | |
|-----|--|
| ۱-۲ | استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۸۸۰۷، سیمان - روش‌های آزمون - قسمت ۱: تعیین مقاومت |
| ۲-۲ | استاندارد ملی ایران به شماره ۸-۱۸۸۰۷، سیمان - روش‌های آزمون - قسمت ۸: گرمای هیدراته شدن - روش انحلال |
| ۳-۲ | استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۴۰: سال ۱۳۸۳، ماسه مرجع مورد مصرف در تعیین مقاومت خمشی و فشاری سیمان - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون |

1- Semi-adiabatic
2- Langavant

2-5 EN 573-3:2009, Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition and form of products

۳ اصول

روش نیمه دررو شامل وارد کردن یک نمونه ملات تازه درون گرماسنج به منظور تعیین مقدار گرمای آزاد شده بر اساس افزایش دما می باشد. در یک زمان مشخص گرمای هیدراته شدن نمونه، معادل مجموع گرمای انباشته شده در گرماسنج و گرمای تلف شده در هوای اطراف، در کل مدت آزمون می باشد. افزایش دمای ملات با دمای یک نمونه خنثی در یک گرماسنج مرجع مقایسه می شود. افزایش دما اساساً به خواص سیمان بستگی دارد و معمولاً بین (۱۰ تا ۵۰) درجه کلوین است.

۴ وسایل

۴-۱ گرماسنج

شامل یک ظرف شیشه‌ای^۱ هوابندی شده با یک درپوش عایق بندی شده، می باشد. این ظرف شیشه‌ای درون یک ظرف سخت و محکم به عنوان محافظ قرار دارد (شکل ۱ را ببینید). گرماسنج آزمون و گرماسنج مرجع (بند ۴-۲ را ببینید) باید ساختار و ویژگی‌های زیر را داشته باشند:

الف - ظرف شیشه‌ای عایق شده، (نظیر ظرف شیشه‌ای دوار^۲) ساخته شده از یک شیشه بوروسیلیکات نقره اندود که قسمت تحتانی آن کروی شکل بوده و ابعاد درونی، به قطر حدود ۹۵ میلی متر، عمق حدود ۲۸۰ میلی متر و ضخامت خارجی حدود ۱۲۰ میلی متر می باشد. یک صفحه مدور لاستیکی به قطر حدود ۸۵ میلی متر و ضخامت حدود ۲۰ میلی متر در انتهای ظرف شیشه‌ای به منظور حفاظت از ظرف نمونه و تقسیم فشار به صورت مساوی روی دیواره شیشه‌ای، قرار داده می شود.

ب - پوشش یا قاب خیلی سخت، با یک پایه به اندازه کافی پهن به منظور اطمینان از استقرار و پایداری تمام بخش‌ها قرار داده می شود (ساخته شده از دورالومین^۳ به ضخامت ۳ میلی متر). ظرف شیشه‌ای باید از دیواره‌های جانبی حدود ۵ میلی متر فاصله داشته باشد و روی یک محافظ با ضخامت (۴۰ تا ۵۰) میلی متر و ساخته شده از مواد با رسانایی گرمایی کم قرار گیرد (برای مثال پلی استایرن منبسط شده). لبه بالایی ظرف شیشه‌ای باید با یک واشر لاستیکی حلقوی که ضخامتش کم تر از ۵ میلی متر نباشد و با رسانایی گرمایی کم، محافظت شود. واشر لاستیکی روی پوشش گرماسنج نصب می شود. حلقه باید به منظور فراهم کردن یک سطح محکم برای دریچه جهت اطمینان از خوب قفل شدن دستگاه استفاده شود.

1-Flask
2- Dewar
3- Duralumin

پ- درپوش عایق، که از ۳ بخش ساخته شده است:

۱- قسمت تحتانی به صورت استوانه‌ای می‌باشد، به منظور پیش‌گیری از هدر رفتن گرما به محیط بیرونی و درون ظرف شیشه‌ای با قطری برابر با قطر داخلی آن و ضخامت ۵۰ میلی‌متر تعبیه می‌شود و باید از پلی استایرن منبسط شده (تقریباً رده چگالی ۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) یا مواد دیگر با خواص گرمایی مشابه ساخته شود. پایه آن با یک لایه پلاستیکی با ضخامت ۲ میلی‌متر (مانند پلی متیل متاکریلات^۱) محافظت می‌شود.

۲- قسمت مرکزی که جهت اطمینان از محکم بودن گرماسنج و هوا بند بودن گرماسنج جهت کاهش اتلاف گرما به کار گرفته می‌شود و شامل یک صفحه مدور لاستیکی اسفنجی با قطر ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد.

۳- قسمت فوقانی ساخته شده که از یک پوشش محکم و سخت و به منظور اطمینان از استقرار صحیح درپوش روی ظرف شیشه‌ای دوار استفاده می‌شود.

ت- مشخصات عملکردی، ضریب اتلاف گرمایی گرماسنج نباید برای افزایش ۲۰ درجه کلونین، بیش از ۱۰۰ ژول بر ساعت بر کلونین^۲ باشد. این مقدار همراه با ظرفیت گرمایی باید مطابق با فرآیند واسنجی ارائه شده در پیوست الف تعیین شود (بند الف-۳-۱ را ببینید).

واسنجی مجدد در شرایط زیر لازم است:

- حداقل ۴ سال یا پس از ۲۰۰ آزمون؛

- هنگامی که گرماسنج یا اجزای عایق آن تخریب شود.

به منظور جلوگیری از تخریب عایق بندی گرماسنج، دمای ملات آزمون نباید از ۷۵ درجه سلسیوس تجاوز کند.

۴-۲ گرماسنج مرجع، همان ساختار و خصوصیات گرماسنج آزمون را دارد (بند ۴-۱ را ببینید).

این گرماسنج باید شامل یک محفظه ملات باشد که نمونه ملات داخل آن از حداقل ۱۲ ماه قبل مخلوط شده باشد (این ملات خنثی در نظر گرفته می‌شود).

یادآوری- هنگامی که دسترسی به یک نمونه خنثی فراهم نباشد می‌توان از یک استوانه آلومینیومی با ظرفیت گرمایی مشابه با محفظه ملات و نمونه ملات استفاده نمود.

۴-۳ دماسنج‌های با مقاومت‌های پلاتینی، برای گرماسنج مرجع و هر گرماسنج آزمون، یک بازه حداقل دمایی (۱۹ تا ۷۵) درجه سلسیوس را داشته باشد.

اگر رساناهای مقاومت الکتریکی از مس ساخته شده باشند سطح مقطع آن‌ها در قسمتی که از میان درپوش عبور می‌کند نباید بیش‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر مربع باشد. اگر از فلزات دیگر ساخته شده باشند مجموع مقاومت گرمایی هر سانتی‌متر رسانا، باید بزرگ‌تر از ۰/۱ کلونین بر میلی‌وات^۳ باشد (مقاومت گرمایی با رسانای مسی دارای سطح مقطع ۰/۲۵ میلی‌متر مربع و طول ۱ سانتی‌متر برابر می‌باشد).

1- Polymethyl methacrylate

2- J.h⁻¹.K⁻¹

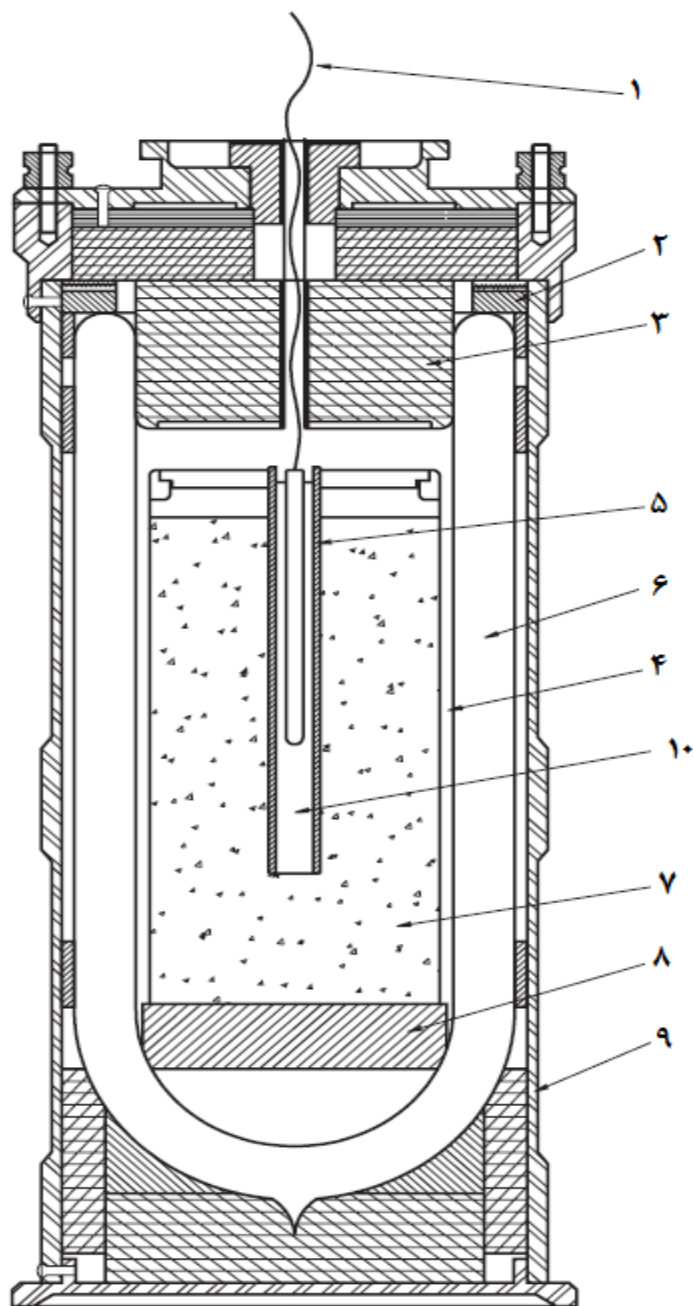
3- K.mW⁻¹

خروجی گرما از دماسنج نباید از ۳ میلی‌وات تجاوز کند. اگر خروجی گرما بیش از ۰٫۲ میلی‌وات باشد، از به-
کارگیری جریان مستقیم باید پرهیز شود. این امر به منظور اطمینان از صحت دمای کل اندازه‌گیری شده و دمای
تجهیزات ثبت کننده دما، توصیه می‌شود.

دمای آزمون باید با دقت ± 0.3 درجه سلسیوس اندازه‌گیری شود.

در مواقعی که گرماسنج در محل و با حضور رساناهای مورد استفاده برای آزمون گرمای هیدراته شدن واسنجی
شود، مجموع سطح مقطع رساناها حداکثر ۰٫۸ میلی‌متر مربع خواهد بود (۴سیم با قطر ۰٫۵ میلی‌متر). اما باید به
صورتی باشد که ضریب اتلاف گرمایی، گرماسنج برای افزایش دمای ۲۰ کلوین کم‌تر از ۱۰۰ ژول بر ساعت
بر درجه کلوین باشد (بند الف-۳-۱-۱ را ببینید).

پوشش محافظتی این رساناها باید از مواد با رسانایی گرمای کم ساخته شود.



راهنما:

- | | |
|----|------------------------|
| ۱ | دماسنج مقاومتی پلاتینی |
| ۲ | واشر |
| ۳ | درپوش عایق |
| ۴ | محفظه ملات |
| ۵ | پوشش دماسنج |
| ۶ | محفظه دو جداره |
| ۷ | نمونه ملات |
| ۸ | صفحه لاستیکی |
| ۹ | پوشش و قاب سخت |
| ۱۰ | روغن |

شکل ۱- نمایشی از گرماسنج

۴-۴ محفظه ملات، از یک ظرف استوانه‌ای با پوشش مناسب و حجم تقریبی ۸۰۰ سانتی‌مترمکعب تشکیل شده و به‌منظور قرار دادن آزمون ملات در آن طراحی شده است.

محفظه ملات که باید نسبت به نفوذ بخار آب عایق باشد پس از هر آزمون دور انداخته می‌شود. این موضوع باید به‌وسیله توزین محفظه ملات بعد از هر آزمون بررسی شود (بند ۵-۲-۳ را ببینید). محفظه ملات باید از یک صفحه قلع ضد جوش الکتریکی با ضخامت اسمی ۰/۳ میلی‌متر، ساخته شده باشد. همچنین دارای قطری حدود ۸۰ میلی‌متر و ارتفاعی حدود ۱۶۵ میلی‌متر باشد. ارتفاع آن باید طوری طراحی شود که یک فضای خالی، حدود ۱۰ میلی‌متر بین بالای جعبه ملات و درپوش وجود داشته باشد.

درب محفظه ملات باید طوری به یک لوله استوانه‌ای به‌عنوان محل قرار گیری دماسنج که کف آن بسته است، در وسط درب محفظه ملات قرار می‌گیرد. قطر داخلی جای گرماسنج (لوله) باید کمی بیش‌تر از دماسنج باشد. طول آن باید حدود ۱۰۰ میلی‌متر تا ۱۲۰ میلی‌متر باشد و تا مرکز نمونه آزمون ادامه داشته باشد.

۴-۵ دستگاه ثبت دما، قادر به ثبت مقادیر اندازه گیری شده توسط هر دماسنج می‌باشد.

۴-۶ دستگاه‌های مخلوط‌کن ملات، مطابق با استاندارد ملی ایران به‌شماره.....

۵ تعیین گرمای هیدراته شدن

۱-۵ آزمایشگاه

دمای آزمایشگاه باید در (20 ± 2) درجه سلسیوس باشد. دمای اتاقی که در آن آزمون انجام می‌شود باید (20 ± 1) درجه سلسیوس باشد. دمای اندازه‌گیری شده گرماسنج مرجع باید دمای محیط باشد و در طول آزمون با رواداری ± 0.5 درجه سلسیوس حفظ شود. فاصله بین هر گرماسنج باید تقریباً ۱۲۰ میلی‌متر باشد. سرعت تهویه هوای اطراف گرماسنج‌ها باید کم‌تر از ۰/۵ متربرثانیه باشد.

هنگامی که چندین آزمون به‌طور هم‌زمان انجام می‌شوند حداقل یک گرماسنج مرجع برای هر شش گرماسنج آزمون تهیه شود. هر جا چندین گرماسنج آزمون همراه با یک گرماسنج مرجع استفاده می‌شود، باید آن شش گرماسنج در یک آرایش شش ضلعی منظم باشند که گرماسنج مرجع در مرکز آن قرار می‌گیرد.

۲-۵ روش انجام آزمون

۱-۲-۵ ترکیب ملات

ترکیب ملات باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۸۰۷-۱ باشد. جرم آزمون باید (1575 ± 1) گرم باشد. هر قسمت از ملات که مخلوط می‌شود شامل (360 ± 0.5) گرم سیمان، (1080 ± 1) گرم ماسه استاندارد CEN و ماسه‌ای که با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۴۰ مطابقت دارد و (180 ± 0.5) گرم آب مقطر یا آب یون‌زدایی شده، می‌باشد.

یادآوری - چون بازیافت تمام مواد اضافه شده به محفظه همزن غیر ممکن می‌باشد در نتیجه مقدار ملاتی که باید مخلوط شود باید کمی بیش‌تر از ۱۵۷۵ گرم (نسبت جرمی اجزاء تشکیل دهنده) باشد.

۵-۲-۲ مخلوط کردن

سیمان، آب، ماسه، محفظه ملات، ظرف مخلوط کن و سایر لوازم در تماس با ملات باید در اتاقک آزمون نگهداری شود. در محل انجام کار، ماسه و سیمان را در ظرف مخلوط کن ریخته و با استفاده از مخلوط کن، مخلوط سیمان و ماسه را به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت کم همگن نمود و سپس آب را اضافه کرده و زمان را ثبت کرده و فوراً با سرعت کم به مدت ۶۰ ثانیه مخلوط کنید. مخلوط کن را در وضعیت سرعت زیاد تنظیم کرده و مواد را به مدت بیش از ۶۰ ثانیه مخلوط کنید.

یادآوری- به منظور جلوگیری از اتلاف گرما زمان اختلاط در این استاندارد از زمان اختلاط در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۸۰۷-۱ کوتاه تر یا کم تر توصیه شده است.

۵-۲-۳ شرایط و آماده سازی آزمون

بلافاصله پس از اختلاط، (1 ± 1575) گرم از ملات را توزین کنید و درون محفظه (بند ۴-۴ را ببینید) که قبلاً همراه با درپوش با دقت ± 0.5 گرم وزن شده ریخته و درپوش را به صورتی قرار دهید که اطمینان از عدم نفوذ هوا به داخل محفظه حاصل شود. جای دماسنج را با (0.5 ± 2.5) سانتی متر مکعب روغن (مثل روغن معدنی رقیق) به منظور افزایش تماس گرمای بین نمونه آزمون و دماسنج پر کنید. محفظه محتوی ملات را با دقت ± 0.5 گرم به منظور بررسی هرگونه نفوذ بخار آب در پایان آزمون وزن کنید. بلافاصله پس از وزن کردن، محفظه ملات را درون گرماسنج آزمون قرار دهید و با درپوش، آن را ببندید. فوراً دماسنج (بند ۴-۳ را ببینید) را درون جای دماسنج به صورتی قرار دهید که تقریباً در وسط آزمون باشد. درپوش را با امکانات و ابزار موجود، هوابندی کنید. یادآوری- هم چنین می توان، درپوش را با استفاده از یک درزگیر انعطاف پذیر، هوابندی کرد.

فرآیند اختلاط و جای گذاری آزمون، نباید بیش از ۶ دقیقه طول بکشد.

در انتهای آزمون، محفظه ملات با محتویات آن را، مجدداً با دقت ± 0.5 گرم وزن کنید. اگر کاهش جرم بیش از ۲ گرم باشد آزمون قابل قبول نمی باشد و باید مجدداً تکرار شود.

۵-۳ اندازه گیری گرما

زمان افزودن آب به عنوان زمان شروع کار زمان سنجی در نظر گرفته می شود. اندازه گیری گرما، شامل خواندن دمای آزمون و دمای نمونه خنثی که در گرماسنج مرجع قرار دارد در زمان های خاص می باشد (بند ۴-۲ را ببینید).

اولین خواندن باید حداقل در ۳۰ دقیقه اول انجام شده و پس از آن هر یک ساعت برای ۲۴ ساعت اول، هر چهار ساعت در روز دوم و هر شش ساعت تا زمان سپری شدن دوره آزمون، انجام می گیرد. تعداد اندازه گیری ها، بر اساس خواص سیمان مورد آزمون، ممکن است افزایش یابد. زمان های خواندن هر دما باید برحسب ساعت و دقیقه ثبت گردد.

در هر خواندن دما، افزایش دمای آزمون، θ_t ، باید به عنوان تفاوت دمای آزمون، T_5 ، و نمونه خنثی، T_r ، در گرماسنج مرجع تعیین شود.

۶ محاسبه گرمای هیدراته شدن

یادآوری - یک مثال در پیوست ب ارائه شده است.

۶-۱ اصول محاسبه

گرمای هیدراته شدن، Q ، بر حسب ژول بر گرم سیمان پس از زمان سپری شده، t ، از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_0 - \frac{1}{m_c} \int_0^t \alpha \times \theta_t \times dt \quad (1)$$

که در آن:

m_c جرم سیمان نمونه آزمون بر حسب گرم؛

t زمان هیدراته شدن بر حسب ساعت؛

C ظرفیت گرمایی کل گرماسنج بر حسب ژول بر کلوین (بند ۶-۲ را ببینید)؛

α ضریب اتلاف گرمایی گرماسنج (بند ۶-۳ را ببینید) بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین؛

θ_t تفاوت دمای مقایسه شده بین گرماسنج آزمون با گرما سنج مرجع در زمان t (بند ۶-۵ را ببینید) بر حسب کلوین.

قسمت اول رابطه (۱) گرمای انباشته شده در گرماسنج (A) و قسمت دوم، گرمای از دست رفته در محیط اطراف (B) را نشان می‌دهد (هر کدام بر حسب ژول بر گرم سیمان) می‌باشد. رابطه (۱) می‌تواند به شکل رابطه (۲) ساده‌تر شود:

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_t - \frac{1}{m_c} \sum_{i=0}^{i=n} \bar{\alpha}_i \times \bar{\theta}_i \times \Delta t_i \quad (2)$$

که در آن:

$\bar{\alpha}_i$ و $\bar{\theta}_i$ مقادیر میانگین ضریب اتلاف گرما و تفاوت دمای مقایسه شده بین گرماسنج آزمون با گرما سنج مرجع در طول بازه زمانی Δt_i می‌باشد.

۲-۶ محاسبه گرمای انباشته شده در گرماسنج

گرمای انباشته شده در گرماسنج (A) بر حسب ژول بر گرم سیمان از ظرفیت گرمایی کل گرماسنج، جرم سیمان، (m_c) و افزایش دمای آزمون θ_0 در یک نقطه زمانی، t ، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{c}{m_c} \theta_t \quad (۳)$$

در اینجا ظرفیت گرمایی، c ، کل گرماسنج که شامل محفظه ملات و نمونه ملات آزمون می‌باشد طبق رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$c = 0.8(m_c + m_s) + 3.8m_w + 0.50m_b + \mu \quad (۴)$$

که در آن:

۰٫۸ ظرفیت گرمایی برای واحد جرم سیمان به علاوه ماسه بر حسب ژول بر کلوین بر گرم؛

۳٫۸ ظرفیت گرمایی میانگین هر واحد جرم آب بر حسب ژول بر کلوین بر گرم؛

۰٫۵ ظرفیت گرمایی برای هر واحد جرم محفظه ملات بر حسب ژول بر کلوین بر گرم؛

μ ظرفیت گرمایی گرماسنج خالی بر حسب ژول بر گرم؛

m_c جرم سیمان بر حسب گرم؛

m_s جرم ماسه بر حسب گرم؛

m_w جرم آب بر حسب گرم؛

m_b جرم ظرف مخلوط کن خالی به همراه درپوش بر حسب گرم.

یادآوری - آب پیوندی، ظرفیت گرمایی کم‌تر برای هر واحد جرم آب از ۴٫۱۸ ژول بر کلوین بر گرم می‌باشد.

۳-۶ محاسبه گرمای تلف شده در محیط اطراف

اتلاف گرمایی باید برای زمان‌های شناخته شده هیدراته شدن به وسیله زمان سپری شده بین اندازه‌گیری‌های متوالی دمای آزمون محاسبه شود (بند ۳-۵ را ببینید).

ضریب اتلاف گرمایی، گرماسنج بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین از رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$\alpha = a - b \times \theta \quad (۵)$$

که در آن:

a ، b ثابت واسنجی گرماسنج هستند (بند الف-۳-۱-۱ را ببینید)؛

θ تفاوت دمای مقایسه شده بین گرماسنج آزمون با گرماسنج مرجع بر حسب کلوین.

اتلاف گرما در هوای محیط (B) بر حسب ژول بر گرم سیمان در طول دوره زمانی هیدراته شدن، t_n ، با رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$B = \frac{1}{m_c} \sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i \times \bar{\theta}_i \times \Delta t_i \quad (۶)$$

که در آن:

Δt_i زمان سپری شده بین اندازه گیری در زمان $t_{(i-1)}$ و اندازه گیری بعدی در زمان t_i بر حسب ساعت است. $\bar{\theta}_i$ میانگین افزایش دمای نمونه آزمون در بازه زمانی t_i و $t_{(i-1)}$ بر حسب کلوین است و با رابطه (۷) بیان می‌شود.

$$\bar{\theta}_i = \frac{\theta_i + \theta_{(i-1)}}{2} \quad (۷)$$

$\bar{\alpha}_i$ میانگین ضریب اتلاف گرمای گرماسنج در یک دوره زمانی Δt بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین می‌باشد و با رابطه (۸) بیان می‌شود:

$$\bar{\alpha}_i = a + b \times \bar{\theta}_i \quad (۸)$$

۴-۶ محاسبه گرمای هیدراته شدن

گرمای هیدراته شدن، Q ، بر حسب ژول بر گرم سیمان باید به عنوان جمع گرمایی انباشته شده در گرماسنج و گرمای تلف شده در هوای محیط از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$Q = A + B \quad (۹)$$

۷ بیان نتایج

۱-۷ گزارش نتایج

نتایج اندازه گیری باید در یک گزارش آزمون و معمولاً به شکل یک جدول که نشان دهنده گرمای هیدراته شدن بر حسب ژول بر گرم سیمان در سن خاص هیدراته شدن بوده و شامل بقیه نتایج در آن فاصله (مثل ۱۲ ساعت، ۱ روز، ۲ روز، ۳ روز، ۵ روز، ۷ روز) تنظیم گردد.

نتایج گزارش شده برای گرمای هیدراته شدن باید بر حسب ژول بر گرم سیمان بیان شود.

۲-۷ دقت

۱-۲-۷ تکرارپذیری

انحراف استاندارد تکرارپذیری، σ_r ، در تعیین گرمای هیدراته شدن ۵ ژول بر گرم می‌باشد.

بنابراین اگر نتایج دو آزمون انجام شده از دو آزمایشگاه مختلف بر روی نمونه‌های سیمان مشابه مقایسه شوند، نباید بیش از ۱۴ ژول بر گرم با هم اختلاف داشته باشند.

۲-۲-۷ تجدید پذیری

انحراف استاندارد تجدید پذیری، σ_R ، حدود ۱۵ ژول بر گرم می‌باشد. بنابراین اگر نتایج دو آزمون انجام شده از دو آزمایشگاه مختلف بر روی نمونه‌های سیمان مشابه مقایسه شوند، نباید بیش از ۴۲ ژول بر گرم با هم اختلاف داشته باشند.

پیوست الف
(الزامی)
واسنجی گرما سنج

الف-۱ اصول

روش واسنجی شامل جایگزینی محفظه ملات و آزمون در گرماسنج به منظور واسنجی آن، با یک استوانه واسنجی (بند الف-۲-۴) با ابعاد یکسان می‌باشد. یک منبع الکتریکی مشخص در استوانه واسنجی به منظور افزایش دما استفاده می‌شود. مقدار انرژی الکتریکی به کار رفته با گرمای افزایش یافته در گرماسنج و گرمای تلف شده در محیط برابر می باشد. اندازه گیری گرمای تلف شده از طریق انرژی الکتریکی مورد نیاز برای تثبیت دما به دست می‌آید. تعیین ظرفیت گرمایی و اندازه گیری آن از طریق جدا نمودن منبع الکتریکی و اندازه گیری میزان افت گرمای گرماسنج صورت می‌گیرد.

بادآوری- زمان لازم برای رسیدن به تعادل گرمایی (حالت پایدار) گرماسنج حداقل ۸ روز می‌باشد. پس از عبور از یک مرحله واسنجی دما به مرحله دیگر، توسط به‌کارگیری ولتاژ ورودی جدید در ترمینال‌های مقاومت، زمان لازم برای رسیدن به یک حالت پایدار جدید، تقریباً ۶ روز است.

الف-۲ دستگاه و منبع تغذیه

الف-۲-۱ گرماسنج مرجع، (بند ۴-۲ را ببینید) باید در فاصله ۱۲۰ میلی‌متر از گرماسنجی که قرار است واسنجی گردد، قرار داده شود.

الف-۲-۲ ولت سنج با جریان مستقیم، با دقت ± 0.1 درصد که باید در ولتاژ بین ۰ تا ۱۰۰ ولت عمل کند.

الف-۲-۳ اندازه‌گیر پل مقاومت یا اهم متر، با دقت ± 0.2 درصد

الف-۲-۴ استوانه واسنجی، (شکل الف-۱ را ببینید) که از یک هسته آلومینیومی که بر روی آن یک مقاومت با مقدار حداقل ۲۰۰ اهم با استفاده از مواد با مقاومت بالا (مثل سیم کنستانتانت با قطر 0.2 میلی‌متر) پیچیده شده، ساخته شده است. خصوصیات آلومینیم استفاده شده برای هسته باید مشخص شود: EN AW 1080A مطابق با استاندارد EN 573-3 (مانند آلومینیم ۹۹٫۸ درصد با گرمای ویژه ۹۰۰ زول بر کیلوگرم بر کلوین). هسته باید در یک پوشش که اندازه مشابه با محفظه ملات دارد پیچانده شود (شکل ۱ و ۴-۴ را ببینید). سیم‌های مقاومت باید به‌منظور جلوگیری از اتلاف گرما، سطح مقطع کوچک داشته باشند (حداکثر 0.5 میلی‌متر مربع)

الف-۲-۵ دماسنج‌های با مقاومت پلاتینی، این دماسنج باید به نحو مقتضی و مذکور در بند ۴-۳ در داخل گرماسنج نصب و محکم گردد و همچنین دارای دقت اندازه گیری دما با دقت ± 0.15 درجه سلسیوس باشد. محدوده دمای اندازه گیری در این دماسنج بین (۲۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس) می‌باشد.

الف-۲-۶ منبع تغذیه تثبیت شده، با ولتاژ قابل تنظیم حداقل بین (۲ تا ۶۰) ولت، به عنوان تابعی از بار
 $\Delta V/V \leq 2 \times 10^{-4}$ و همچنین تابعی از ولتاژ برق $\Delta V/V \leq 1 \times 10^{-4}$
 الف-۲-۷ اتاق آزمون، شرایط اتاق آزمون باید مطابق با بند ۵-۱ باشد.

الف-۳ روش انجام واسنجی

الف-۳-۱ تعیین ضریب اتلاف گرمایی کل، α

الف-۳-۱-۱ روش کار

ضریب α ، باید با اندازه‌گیری در حالت پایدار به دست آید:

الف- گرمای انتشار یافته بر حسب ژول در استوانه واسنجی (بند ۴-۲ را ببینید) که قبلاً در گرماسنج واسنجی شده قرار داده شده، اثر می‌گذارد.

ب- دمای این استوانه در ارتباط با دمای نمونه آزمون خنثی در گرماسنج مرجع که نزدیک آن قرار گرفته است (بند الف-۱-۱ را ببینید).

وقتی شرایط پایدار حاصل شد گرمای تولید شده با گرمای از دست رفته در هوای محیط برابر خواهد بود و اتلاف گرمایی از رابطه (الف-۱) محاسبه می‌شود:

$$P = V^2 \times R^{-1} = \alpha \times \theta_c \quad (\text{الف-۱})$$

و از آن ضریب اتلاف گرمایی کل بر حسب وات بر کلوین از رابطه (الف-۲) بیان می‌شود:

$$\alpha = V^2 \times R^{-1} \times \theta_c^{-1} \quad (\text{الف-۲})$$

یا بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین از طریق رابطه (الف-۳):

$$\alpha = 3600V^2 \times R^{-1} \times \theta_c^{-1} \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن:

V ولتاژ ورودی در پایانه مقاومت بر حسب ولت؛

R مقاومت سیم پیچ بر حسب اهم؛

P میزان اتلاف گرما بر حسب وات؛

θ_c اختلاف دما بین استوانه واسنجی و نمونه مرجع خنثی بر حسب کلوین؛

α ضریب اتلاف گرمایی کل گرماسنج در اختلاف دمای θ_c بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین.

اندازه‌گیری میزان اتلاف گرما باید با دقت $\pm 5\%$ درصد انجام گیرد. از آنجا که ضریب α به صورت تقریبی نزدیک تابع خطی θ است، این ضریب می‌تواند با دقت لازم در پنج نقطه در محدوده دمایی آزمون محاسبه شود. (جدول الف-۱ را ببینید)

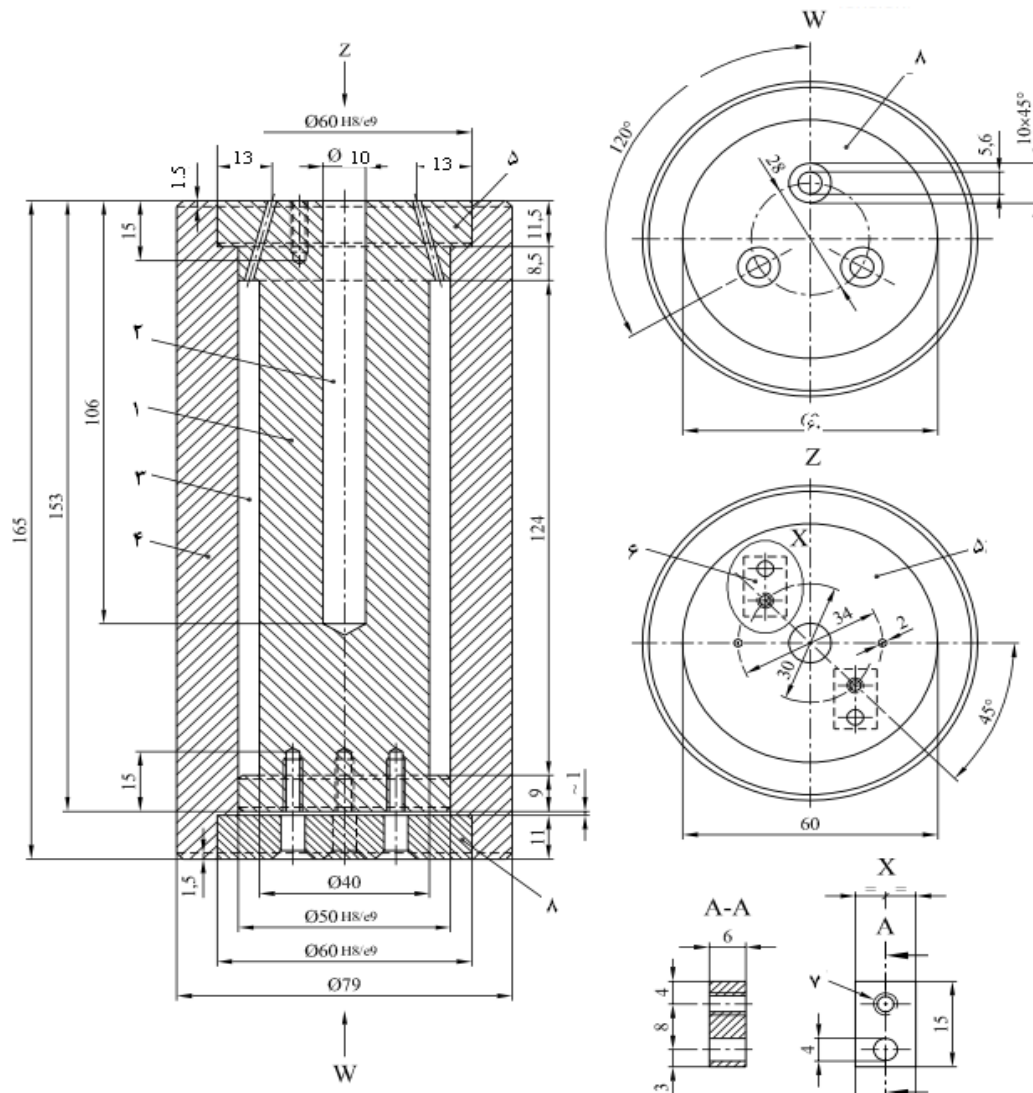
یادآوری - برای مثال اندازه‌گیری‌ها برای افزایش دما (۱۰، ۱۷، ۲۴، ۳۱ و ۳۸) کلوین ممکن است صورت پذیرد.

با استفاده از پنج مقدار تعیین شده α معادله خطی واسنجی می‌تواند به صورت رابطه (الف-۴) نوشته شود:

$$\alpha = a + b \times \theta_c \quad \text{(الف-۴)}$$

و ثابت‌های a و b باید به روش حداقل مربعات محاسبه شود. نقاط واسنجی باید نزدیک به خط مستقیم باشد (اگر ضریب همبستگی کم‌تر از ۰/۹۷ باشد، واسنجی باید تکرار شود). برای افزایش دما ۲۰ کلوین ضریب α نباید بیش‌تر از ۱۰۰ ژول بر ساعت بر کلوین باشد.

ابعاء بر حسب میلی متر



راهنما:

- | | | | |
|---|--------------------|---|-----------------|
| ۵ | صفحه کلاهک | ۱ | هسته آلومینیومی |
| ۶ | اتصال (پلاستیک‌ها) | ۲ | پوشش دماسنج |
| ۷ | سوراخ تعبیه شده | ۳ | مقاومت |
| ۸ | صفحه پایه | ۴ | غلاف |

شکل الف-۱- نمایی از استوانه واسنجی

الف-۳-۱-۲ نمونه محاسباتی

به عنوان مثال نمونه زیر (جدول الف-۱ و رابطه الف-۳ را ببینید) مراحل محاسبه را نشان می دهد.

جدول الف-۱ محاسبه ضریب اتلاف گرمایی، α

۵۸,۷۰	۴۸,۴۰	۴۱,۷۰	۳۷,۱۰	۳۱,۶۰	دمای استوانه واسنجی بر حسب درجه سلسیوس
۱۹,۸۸	۱۹,۸۰	۱۹,۷۷	۱۹,۸۳	۱۹,۹۷	دمای مرجع بر حسب درجه سلسیوس
۳۸,۸۲	۲۸,۶۰	۲۱,۹۳	۱۷,۲۷	۱۱,۶۳	تفاوت دمای مقایسه شده بین گرماسنج آزمون با گرما سنج مرجع θ بر حسب درجه کلوین
۳۹,۶۰	۳۳,۴۸	۲۸,۹۵	۲۵,۵۲	۲۰,۷۸	ولتاژ V بر حسب ولت
۲۰,۳۶	۲۰,۳۶	۲۰,۳۶	۲۰,۳۶	۲۰,۳۶	مقاومت R بر حسب اهم
۰,۷۷۰۲	۰,۵۵۰۵	۰,۴۱۱۶	۰,۳۱۹۹	۰,۲۱۲۱	توان P بر حسب وات
۷۱,۴۳	۶۹,۳۰	۶۷,۵۷	۶۶,۶۸	۶۵,۶۵	ضریب α بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین

بر اساس تحلیل های معادله خط مستقیم ($\alpha = a + b \times \theta$) نتایج برای مقادیر $a=۶۳$ و $b=۰,۲۱۶$ و ضریب همبستگی $۰,۹۹$ بدست می آید.

مقدار ضریب اتلاف گرمای کل برای گرماسنج (α) برای افزایش دمای ۲۰ کلوینی اینگونه محاسبه می شود:

$$\alpha = a + b \times \theta = ۶۳ + ۰,۲۱ \times ۲۰ = ۶۷,۳ \text{ j.h}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$$

مقدار ضریب همبستگی خطی $۰,۹۹$ است. بنابراین واسنجی پذیرفته می شود و گرماسنج با الزامات عمل کردی مطابقت دارد.

الف-۳-۲ تعیین ظرفیت گرمایی

الف-۳-۲-۱ روش کار

اندازه گیری ظرفیت گرمایی یک گرماسنج خالی، μ ، باید از طریق روش سرد کردن فوری انجام گیرد. به این منظور استوانه واسنجی، باید پس از رسیدن به حالت سکون در نقطه آخر واسنجی به منظور تعیین α از منبع تغذیه اش جدا شود (بند الف ۳-۱ را ببینید).

ظرفیت گرمایی کل گرماسنج، c_T ، حاوی استوانه واسنجی به ظرفیت گرمایی، c_c ، را تعیین کنید و با استفاده از آن ظرفیت گرمایی، گرماسنج خالی، μ ، را محاسبه کنید.

ظرفیت گرمایی استوانه واسنجی با تعیین مجموع گرمای ویژه اجزای مختلف تشکیل دهنده استوانه محاسبه می‌شود، در مدت زمان سرد کردن تغییرات دما از رابطه (الف-۵) به دست می‌آید.

$$-c_r \times d\theta = a \times \theta \times dt = (a + b \times \theta) \times \theta \times dt \quad (\text{الف-۵})$$

c_r که ظرفیت گرمایی کل گرماسنج در بردارنده استوانه واسنجی می‌باشد بر حسب ژول بر کلوین از رابطه (الف-۶) به دست می‌آید:

$$c_T = \frac{a \times t_d}{\ln((\theta_0 \times \alpha_t) / (\theta_t \times \alpha_0))} \quad (\text{الف-۶})$$

که در آن:

t_d زمان سپری شده از لحظه جدا کردن منبع تغذیه بر حسب ساعت؛

θ_0 اختلاف دمای گرماسنج در حال واسنجی با گرماسنج مرجع در لحظه جدا کردن منبع بر حسب کلوین؛

α_0 ضریب اتلاف گرمای کل برای اختلاف دمای θ_0 بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین؛

θ_t اختلاف دما در یک زمان t_d ، بر حسب کلوین؛

α_t ضریب اتلاف گرمای کل برای اختلاف دمای θ_t بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین.

اختلاف دمای اولیه باید بین (۳۵ تا ۴۰) کلوین باشد. ظرفیت گرمایی گرماسنج خالی μ بر حسب ژول بر کلوین از رابطه (الف-۷) به دست می‌آید.

$$\mu = c_T - c_C \quad (\text{الف-۷})$$

زمان سرد کردن باید بین (۲۲ تا ۳۰) ساعت باشد.

الف-۳-۲-۲ نمونه محاسباتی

به عنوان مثال نمونه زیر (جدول الف-۲) مجموعه محاسبات را نشان می دهد

جدول الف-۲ اندازه گیری ظرفیت گرمایی، گرما سنج خالی μ

۲۸	۲۶	۲۴	۲۲	۰	زمان بر حسب ساعت
۳۶,۲۰	۳۷,۲۳	۳۸,۳۲	۳۹,۵۰	۵۸,۷۰	دمای استوانه واسنجی بر حسب درجه سلسیوس
۱۹,۷۷	۱۹,۷۹	۱۹,۷۹	۱۹,۸۱	۱۹,۸۸	دمای مرجع بر حسب درجه سلسیوس
۱۶,۴۳	۱۷,۴۴	۱۸,۵۳	۱۶,۶۹	۳۸,۸۲	اختلاف دما θ بر حسب درجه سلسیوس
۶۶,۵۵	۶۶,۷۷	۶۷	۶۷,۲۵	۷۱,۳۹	ضریب اتلاف گرمای کل α بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین
۲۲۳۴	۲۲۳۴	۲۲۳۶	۲۲۳۸	-	ظرفیت گرمایی کل c_T بر حسب ژول بر کلوین
۱۸۵۲	۱۸۵۲	۱۸۵۲	۱۸۵۲	-	ظرفیت گرمایی کل استوانه c_c بر حسب ژول بر کلوین
۳۸۲	۳۸۲	۳۸۴	۳۸۶	-	ظرفیت گرمایی گرماسنج فعلی μ بر حسب ژول بر کلوین

ظرفیت گرمایی استوانه مقدار ۱۸۵۲ ژول بر کلوین محاسبه شده بود (بند الف-۳-۲-۱ را ببینید). از جدول فوق میانگین ظرفیت گرمایی، گرماسنج، ۳۸۴ ژول بر کلوین به دست می آید. افزایش اولیه دما ۳۸,۸۲ کلوین و زمان آزمون ۲۸ ساعت بوده است. بنابراین اندازه گیری با الزامات و شرایط واسنجی پذیرفته شده، مطابقت دارد.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

مثال عملی از تعیین گرمای هیدراته شدن

ب-۱ شرایط کلی آزمون

سیمانی که این آزمون‌ها روی آن انجام شده است، سیمان CEMIII/B رده مقاومتی ۳۲٫۵ مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۷۵۱۸ است. دمای اتاق آزمون ۲۰ درجه سلسیوس می‌باشد. مشخصات گرماسنج آزمون:

- $\alpha = 63/0 + 0/216 \times \theta$ ، ضریب اتلاف گرمایی گرماسنج بر حسب ژول بر ساعت بر کلوین
- $\mu = 384$ ، ظرفیت گرمایی گرماسنج خالی بر حسب ژول بر کلوین

ب-۲ محاسبات پایه

ظرفیت گرمایی کل، c_T ، گرماسنج، محفظه ملات و ملات بر حسب ژول بر کلوین (رابطه ۴ را ببینید)، از رابطه (ب-۱) محاسبه شده است:

$$c = 0.8(350+1050) + (3.8+175) + (0.5+138)384 = 2238 \quad (\text{ب-۱})$$

و مجموع ظرفیت گرمایی برای سیمان بر حسب ژول بر گرم از رابطه (ب-۲) محاسبه شده است:

$$\frac{c}{m} = \frac{2238}{350} = 6.39 \quad (\text{ب-۲})$$

ب-۳ تعیین نتایج آزمون

جدول ب-۱، خلاصه‌ای از نتایج را برای موارد زیر تنظیم کرده است:

- زمان‌های اندازه‌گیری دمای آزمون و نمونه مرجع؛
- افزایش دما، اختلاف دمای گرماسنج آزمون با گرماسنج مرجع می‌باشد؛
- گرماهای تلف شده از گرماسنج؛
- گرمای هیدراته شدن محاسبه شده در ۲۴ ساعت اول.

جدول ب-۱ محاسبه گرمای هیدراته شدن

زمان ساعت	افزایش دما کلوین	گرمای تلف شده ژول بر گرم	گرمای هیدراته شدن ژول بر گرم
۰٫۳۳	۱٫۹۲	۰٫۰۶	۱۲٫۳
۱	۱٫۹۹	۰٫۲۹	۱۳
۲	۲٫۱۵	۰٫۶۷	۱۴٫۴
۳	۲٫۴۰	۱٫۰۸	۱۶٫۴
۴	۲٫۸۵	۱٫۵۶	۱۹٫۸
۵	۳٫۵۶	۲٫۱۴	۲۴٫۹
۶	۴٫۴۷	۲٫۸۷	۳۱٫۴
۷	۵٫۵۰	۳٫۷۹	۳۸٫۹
۸	۶٫۵۴	۴٫۸۹	۴۶٫۷
۹	۷٫۵۴	۶٫۱۹	۵۴٫۴
۱۰	۸٫۴۷	۷٫۶۷	۶۱٫۸
۱۱	۹٫۳۹	۹٫۳۳	۶۹٫۴
۱۲	۱۰٫۲۴	۱۱٫۱۰	۷۶٫۶
۱۳	۱۱٫۰۴	۱۳٫۱۴	۸۳٫۷
۱۴	۱۱٫۷۷	۱۵٫۲۷	۹۰٫۵
۱۵	۱۲٫۴۷	۱۷٫۵۵	۹۷٫۳
۱۶	۱۳٫۱۵	۱۹٫۹۵	۱۰۴
۱۷	۱۳٫۸۵	۲۲٫۴۹	۱۱۱
۱۸	۱۴٫۵۵	۲۵٫۱۸	۱۱۸٫۲
۱۹	۱۵٫۲۲	۲۷٫۹۹	۱۲۵٫۳
۲۰	۱۵٫۷۷	۳۰٫۹۳	۱۳۱٫۸
۲۱	۱۶٫۱۶	۳۳٫۹۶	۱۳۷٫۳
۲۲	۱۶٫۳۸	۳۷٫۰۵	۱۴۱٫۸
۲۳	۱۶٫۴۸	۴۰٫۱۸	۱۴۵٫۵
۲۴	۱۶٫۴۰	۴۳٫۳۰	۱۴۸٫۲

جدول ب-۲ مجموعه‌ای از مراحل است که توسط آن محاسبه گرمای هیدراته شدن حاصل می‌شود. در ردیف ۱ دوره هیدراته‌شدن و در ردیف ۲ افزایش دمای تعیین شده از اختلاف آزمون و نمونه مرجع را نشان می‌دهد (بند ۳-۵ را ببینید).

در ردیف (۳) محاسبات گرمای انباشته شده در گرماسنج بر حسب هر گرم سیمان می‌باشد (رابطه ۳ را ببینید).
ردیف (۴) میانگین افزایش دما در هر دوره (رابطه ۷ را ببینید)، ردیف (۵) میانگین ضریب اتلاف گرمای کل، در دوره محاسبه می‌باشد (رابطه ۸ را ببینید)، و ردیف (۶) طول هر دوره زمانی.
از موارد مذکور در ردیف (۷) کل گرمای از دست رفته در هوا و در ردیف (۸) کل گرمای از دست رفته به ازای هر گرم سیمان در انتهای هر دوره زمانی تعیین شده است (رابطه ۶ را ببینید).
در ردیف (۹) گرمای هیدراته شدن انباشته شده در انتهای هر دوره از جمع گرمای انباشته در گرماسنج (ردیف ۳) و مجموع گرمای تلف شده (ردیف ۸) محاسبه می‌شود (رابطه ۹ را ببینید)

جدول ب-۲- جزئیات محاسبات برای اولین چهار سن

۳,۰۰	۲,۰۰	۱,۰۰	۰,۳۳	(ردیف ۱) سن ساعت
۲,۴۰	۲,۱۵	۱,۹۹	۱,۹۲	(ردیف ۲) $\theta_i = T_s - T_R$ کلوین
۱۵,۳۵	۱۳,۷۵	۱۲,۷۲	۱۲,۲۸	(ردیف ۳) $A = \frac{c}{m_c} \times \theta_i = 6.39 \times \theta_i$ ژول بر گرم
$(۲,۴۰ + ۲,۱۵) / ۲ = ۲,۲۷$	$(۲,۱۵ + ۱,۹۹) / ۲ = ۲,۰۷$	$(۱,۹۲ + ۱,۹۹) / ۲ = ۱,۹۵$	$(۱,۹۲ + ۰) / ۲ = ۰,۹۶$	(ردیف ۴) $\theta_i = \frac{\theta_i + \theta_{(i-1)}}{2}$ کلوین
$۶۳ + (۰,۲۱۶ \times ۰,۹۶) = ۶۳,۲$	$۶۳ + (۰,۲۱۶ \times ۰,۹۶) = ۶۳,۲$	$۶۳ + (۰,۲۱۶ \times ۰,۹۶) = ۶۳,۲$	$۶۳ + (۰,۲۱۶ \times ۰,۹۶) = ۶۳,۲$	(ردیف ۵) $\alpha_i = a + b \times \theta_i$ ژول بر ساعت بر کلوین
۳-۲=۱	۲-۱=۱	۱-۰/۳۳=۰,۶۷	۰,۳۳-۰=۰,۳۳	(ردیف ۶) $\Delta t_i = t_i + t_{(i-1)}$ ساعت
$۲۳۴,۴ + (۶۳/۵ \times ۲,۲۷ \times ۱) = ۳۷۸,۹$	$۱۰۳,۱ + (۶۳,۴ \times ۲,۰۷ \times ۱) = ۲۳۴,۴$	$۲۰,۲ + (۶۳,۲ \times ۰,۹۶ \times ۰,۳۳) = ۱۰۳,۱$	$۶۳,۲ \times ۰,۹۶ \times ۰,۳۳ = ۲۰,۲$	(ردیف ۷) $\sum \bar{\alpha}_i \times \bar{\Delta t}_i$ ژول
$۱,۳۵ \times ۳۷۸,۹ = ۱,۰۸$	$۱,۳۵ \times ۲۳۴,۴ = ۰,۶۷$	$۱,۳۵ \times ۱۰۳,۱ = ۰,۲۹$	$۱,۳۵ \times ۲۰,۲ = ۰,۰۶$	(ردیف ۸) $B = \frac{1}{m_c} \sum \bar{\alpha}_i \times \bar{\theta}_i \times \Delta t_i$ ژول بر گرم
$۱۵,۳۵ + ۱,۰۸ = ۱۶,۴$	$۱۳,۷۵ + ۰,۶۷ = ۱۴,۴$	$۱۲,۷۲ + ۰,۲۹ = ۱۳,۰$	$۱۲,۲۸ + ۰,۰۶ = ۱۲,۳$	(ردیف ۹) $Q = A + B$ ژول بر گرم