

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

تلفن: ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلاممیز)

تلفن: ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹



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

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

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





INSO
17124
1st Edition
2019

Identical with
BS EN 16682: 2017

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



استاندارد ملی ایران
۱۷۱۲۴
چاپ اول
۱۳۹۷

حافظت از میراث فرهنگی - روش‌های
اندازه‌گیری میزان رطوبت، یا مقدار آب
مصالح تشکیل‌دهنده میراث فرهنگی
غیرمنقول

**Conservation of cultural Heritage- Methods
of measurement of moisture content, or
water content, in materials constituting
immovable cultural heritage**

ICS: 97.195

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: (۰۲۶) ۳۲۸۰۶۰۳۱-۸

دورنگار: (۰۲۶) ۳۲۸۰۸۱۱۴

ایمیل: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین جدیدی‌ای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیستمحیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی‌نامه سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیستمحیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی‌نامه‌نامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها ناظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاهای واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبهای و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Métrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«حفظت از میراث فرهنگی- روش‌های اندازه‌گیری میزان رطوبت، یا مقدار آب مصالح تشكیل‌دهنده میراث فرهنگی غیرمنقول»

سمت و / یا محل اشتغال:

رئیس اداره حفاظت از اموال منقول - اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی کشور

رئیس:

زندي، عصمت
(کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)

دبیر:

کارشناس امور استاندارد- اداره کل استاندارد استان کرمان

کاویانی، فرد
(کارشناسی شیمی)

اعضا: (اسمی به ترتیب حروف الفبا)

مدرس- دانشگاه شهید باهنر کرمان

ابراهیم‌زاده، رضا
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

عضو هیئت علمی- پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی

امین‌شیرازی، شهرزاد
(دکتری مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)

کارشناس آزمایشگاه- اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمان

جعفرزاده، صدیقه
(کارشناسی مرمت آثار تاریخی)

کارشناس آزمایشگاه- اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمان

جوادی، مهری
(کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)

رئیس اداره تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد استان کرمان

حافظی اردکانی، پرتو
(کارشناسی شیمی کاربردی)

عضو هیئت علمی- پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی

رحمانی، غلامرضا
(دکتری مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)

عضو مستقل

رحمتی، رضا
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

رئیس- اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی کشور

Zahedi, Mohammad Rضا
(دکتری باستان‌شناسی)

سمت و/ یا محل اشتغال:

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس امور استاندارد- اداره کل استاندارد استان
کرمان

سهرج زاده، مریم

(کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)

کارشناس- آزمایشگاه همکار پویا سنجش کیفیت

شجاعی، محمود

(کارشناسی ارشد شیمی آلی)

کارشناس آزمایشگاه- اداره کل میراث فرهنگی،
صنایع دستی و گردشگری استان کرمان

سلطان زاده، زهرا

(کارشناسی شیمی کاربردی)

کارشناس- بازنیسته سازمان میراث فرهنگی، صنایع
دستی و گردشگری

عامری، سعید

(کارشناسی مرمت آثار تاریخی)

معاونت تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد استان
کرمان

کیانفر، مریم

(کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)

معاون عمرانی- شهرداری خمین

مهبد، علی

(دکتری مهندسی عمران)

سمت کارشناس مسئول حفاظت و مرمت میراث
فرهنگی- اداره کل موزه ها و اموال منقول فرهنگی

نصیری راد، بهشته

(کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی- تاریخی)

ویراستار:

رئیس اداره اندازه شناسی، اوزان و مقیاس ها- اداره کل
استاندارد استان سمنان

خدام عباسی، روح الله

(کارشناسی ارشد فیزیک- حالت جامد)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۴	۳ اصطلاحات و تعاریف
۱۱	۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها
۱۲	۵ میزان رطوبت و مقدار آب مصالح
۱۲	۱-۵ میزان رطوبت
۱۴	۲-۵ مقدار آب
۱۴	۳-۵ مقایسه بین میزان رطوبت، یا مقدار آب
۱۵	۶ روش‌های مطلق و نسبی
۱۸	۷ اخذ و حمل و نقل یا جابه‌جایی نمونه‌ها
۱۹	۸ واسنجی
۱۹	۱-۸ کلیات
۱۹	۲-۸ واسنجی دستگاه
۲۰	۳-۸ تجدیدپذیری
۲۰	۱-۳-۸ ابزار دقیق برای اندازه‌گیری‌های مطلق
۲۰	۲-۳-۸ ابزار دقیق برای اندازه‌گیری‌های نسبی
۲۱	۹ استفاده از استانداردهای موجود در مورد مصالح ساختمانی جدید
۲۲	۱۰ گزارش آزمون
۲۳	پیوست الف (الزامی) روش‌های مطلق
۴۸	پیوست ب (الزامی) روش‌های نسبی
۵۸	پیوست پ (آگاهی‌دهنده) سایر روش‌های نسبی
۶۹	پیوست ت (آگاهی‌دهنده) روش‌های دارای الزامات ایمنی خاص
۷۳	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «حفظت از میراث فرهنگی - روش‌های اندازه‌گیری میزان رطوبت، یا مقدار آب مصالح تشکیل - دهنده میراث فرهنگی غیرمنقول» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در شانزدهمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری مورخ ۱۳۹۷/۱۱/۱۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و جدیدای ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

BS EN 16682: 2017, Conservation of cultural heritage. Methods of measurement of moisture content, or water content, in materials constituting immovable cultural heritage

مقدمه

حوزه خاصی از میراث فرهنگی با الزامات ویژه آن پا به عرصه گذاشته که در اغلب موارد استانداردهای توصیه شده فعلی برای مصالح متدالو، نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای حفاظت از میراث فرهنگی، میزان رطوبتی، یا مقدار آب مصالح در درجه اول اهمیت است. مقدار زیاد (برای مثال حل شدن نمک و سیالیت آن، آلودگی قارچی، خوردگی (فرسایش) و تورم) و همچنین مقدار کم (برای مثال متبلور شدن نمک، انقباض، ترک خوردن چوب) یا تغییرات زیاد/کم این مقدار رطوبت ممکن است خیلی آسیب‌زا باشد. بنابراین برای بررسی ریسک آسیب و اتخاذ اقدامات حفاظتی پیشگیرانه، تعیین و کنترل این متغیر حائز اهمیت است.

در مصالح ساختمانی جدید، برای اندازه‌گیری میزان رطوبتی یا مقدار آب روش‌های مختلفی بر مبنای اصول فیزیکی و شیمیابی وجود دارد ولی اغلب آن‌ها برای میراث فرهنگی قابل استفاده نبوده و لازم است که برای به کارگیری در این حوزه تطبیق و سازگار شوند.

به طور کلی توصیه بر این است که از روش‌های غیرمخرب استفاده شود ولی دقیقت آن‌ها ممکن است محدود باشد. از طرفی، دقیق‌ترین روش‌ها نیاز به نمونه‌برداری داشته و فقط در موارد استثنایی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. نتایج حاصل از روش‌های مخرب، بهخصوص بهدلیل این‌که آن‌ها با واحدهای مختلفی بیان می‌شوند ممکن است قابل مقایسه نباشند.

تفسیر اندازه‌گیری‌ها ممکن است با چند عامل مورد استفاده در هر روش (برای مثال مواد، نمک‌ها و دما) در هاله‌ای از ابهام قرار گیرد.

این استاندارد مشخصه‌ها، روش‌شناسی کاربردی، مزایا و معایب همه روش‌های اندازه‌گیری و تبیین یک گزارش همسان از داده‌ها و واحدها را مورد توجه قرارداده و مشخص می‌نماید. این استاندارد برای همه کسانی که نیاز به اندازه‌گیری و تفسیر نتایج میزان رطوبت یا مقدار آب مصالح ساختمانی دارند (بهخصوص بنایی و چوب) و در حالت کلی برای کسانی که مسئول حفاظت و مراقبت و نگهداری از ساختمان‌های میراث هستند، توصیه می‌شود.

حفظ از میراث فرهنگی - روش‌های اندازه‌گیری میزان رطوبت، یا مقدار آب مصالح تشكیل‌دهنده میراث فرهنگی غیرمنقول

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، اطلاع‌رسانی و کمک به کاربران در انتخاب و استفاده از مناسب‌ترین روش برای به دست آوردن اندازه‌گیری‌های قابل اعتماد میزان رطوبت یا مقدار آب چوب و مصالح بنایی (از جمله آجرکاری، سنگ‌کاری، بتن، گچ، ملات‌ها و غیره) در حالت خاص بنای میراث فرهنگی است.

این استاندارد یک چارچوب بنیادی برای اخذ و تفسیر این نوع اندازه‌گیری‌ها برای میراث فرهنگی بالا، که در معرض هوازدگی^۱، هجوم آفات، انتقال نمک یا سایر تبدیلات در طول زمان قرار می‌گیرند، فراهم می‌کند.

این استاندارد چهار روش مطلق (یعنی روش‌های ثقلی^۲، تیتراسیون کارل فیشر^۳، تقطیر آزوتروپ^۴ و کلسیم کربید (CaC_2)) را تشریح می‌کند؛ مشخصه‌ها، مزايا و معایب آن‌ها را توضیح داده و به‌منظور انجام اندازه‌گیری‌های قابل مقایسه‌ای با روش‌های مختلف، خصوصیاتی را برای تبدیل خوانش‌ها به یکاهای یکسان بیان می‌کند.

این استاندارد سه روش نسبی عمدۀ (یعنی مقاومت الکتریکی، مقاومت خازنی، و رطوبت نسبی در تعادل با ماده) را با تکیه بر مشخصه‌ها و عدم قطعیت‌های آن‌ها برای استفاده در حوزه میراث فرهنگی، را مشخص می‌کند.

به علاوه، این استاندارد یک مرور کلی از ۱۰ روش نسبی دیگر، مشخصه‌ها، مزايا و معایب آن‌ها را برای آگاهی بیشتر ارائه می‌کند.

این استاندارد خصوصیاتی برای واسنجی روش‌های مختلف را ارائه می‌کند. همچنین روش‌های مورد اشاره را از نظر درستی، الزام نمونه‌برداری، اندازه نمونه، استفاده آزمایشگاهی یا میدانی و سایر مسائل پیش رو در حوزه میراث فرهنگی، به‌منظور پیشگیری از استفاده نادرست از دستگاه، کاهش عدم قطعیت‌ها و جلوگیری از تفسیر اشتباه خوانش مقایسه می‌کند.

1- Weathering

2- Gravimetric

3- Karl fischer

پتانسیل‌سنجی ماده: یک روش شیمیایی برای تعیین آب در جامدات، حللا و اسیدهای آلی، الکل‌ها، استرهای، اترها، اسیدریدها و نمک‌های معدنی آبدار قابل احلال در آب، با استفاده از واکنشگر کارل فیشر (واکنشگر اختصاصی) است.

۴- روش خاص برای افزودن یک ترکیب که یک ماده جدید با نقطه جوش پایین را به وجود می‌آورد که ناهمگن بوده و یک فاز مایع نامحلول در یکدیگر را تولید می‌کند.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

- 2-1 EN ISO 374-1, Protective gloves against chemicals and micro-organisms- Part 1: Terminology and performance requirements**

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۹۶، سال ۲۲۳۶۸-۱: دستکش‌های حفاظتی در برابر مواد شیمیایی خط‌نراک و میکروارگانیسم‌ها- قسمت ۱: اصطلاحات و الزامات عملکرد برای ریسک‌های شیمیایی، با استفاده از استاندارد ISO 374-1: 2016 تدوین شده است.

- 2-2 EN 420: 2003+A1: 2009, Protective gloves - General requirements and test methods**

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۵۳۴: سال ۱۳۹۷، دستکش‌های حفاظتی- الزامات عمومی و روش‌های آزمون، با استفاده از استاندارد EN 420: 2003+A1: 2009 تدوین شده است.

- 2-3 EN 455-1: 2000, Medical gloves for single use- Part 1: Requirements and testing for freedom from holes**

- 2-4 EN 772-10: 1999, Methods of test for masonry units- Part 10: Determination of moisture content of calcium silicate and autoclaved aerated concrete units**

- 2-5 EN 837-1: 1996, Pressure gauges - Part 1: Bourdon tube pressure gauges - Dimensions, metrology, requirements and testing**

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۸۲، سال ۶۸۱۹-۱: فشارسنج خلاء‌سنچ هایبوردون، مشخصه- های فشارسنج‌ها و خلاء‌سنچ‌های بوردون، با استفاده از استاندارد EN 837-1: 1996 تدوین شده است.

- 2-6 EN 1428: 2012, Bitumen and bituminous binders- Determination of water content in bituminous emulsions- Azeotropic distillation method**

- 2-7 EN 13183-1: 2002, Moisture content of a piece of sawn timber- Part 1: Determination by oven dry method**

- 2-8 EN 13183-2: 2002, Moisture content of a piece of sawn timber- Part 2: Estimation by electrical resistance method**

- 2-9 EN 13183-3: 2005, Moisture content of a piece of sawn timber- Part 3: Estimation by capacitance method**

- 2-10 EN 15758: 2010, Conservation of Cultural Property -Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects**

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۲۸: سال ۱۳۹۵، حفاظت از اموال فرهنگی- فرآیندها و ابزارهای اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطوح اشیا، با استفاده از استاندارد ۲۰۱۰ BS EN 15758:2010 تدوین شده است.

2-11 EN 15898: 2011, Conservation of cultural property -Main general terms and definitions

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۳۲: سال ۱۳۹۵، حفاظت از اموال فرهنگی- اصطلاحات و تعاریف عمومی اصلی، با استفاده از استاندارد ۲۰۱۱ BS EN 15898:2011 تدوین شده است.

2-12 EN 16085: 2012, Conservation of Cultural property -Methodology for sampling from materials of cultural property -General rules

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۳۴: سال ۱۳۹۵، حفاظت از اموال فرهنگی- نمونه‌برداری از مصالح اموال فرهنگی- روش‌شناسی- مقررات عمومی، با استفاده از استاندارد ۲۰۱۲ BS EN 16085:2012 تدوین شده است.

2-13 EN 16096: 2012, Conservation of cultural property -Condition survey and report of built cultural heritage

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۳۶۰: سال ۱۳۹۶، حفاظت از اموال فرهنگی- بازرسی و گزارش شرایط میراث فرهنگی ساختمانی، با استفاده از استاندارد ۲۰۱۲ BS EN 16096:2012 تدوین شده است.

2-14 EN 16242: 2012, Conservation of cultural heritage -Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۳۶: سال ۱۳۹۵، حفاظت از میراث فرهنگی- فرآیندها و ابزار دقیق رطوبت محیط و انتقال رطوبت بین محیط و اموال فرهنگی، با استفاده از استاندارد ۲۰۱۲ BS EN 16242:2012 تدوین شده است.

2-15 EN ISO 10304-1: 2009, Water quality -Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions -Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate (ISO 10304-1: 2007)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۰۰-۱: سال ۱۳۸۸، کیفیت آب- تعیین آنیون‌های محلول با استفاده از کروماتوگرافی یونی- قسمت ۱: تعیین برمید، کلرید، فلورید، نیترات، نیتریت، فسفات و سولفات، با استفاده از استاندارد ISO 10304-1: 2009 تدوین شده است.

2-16 EN ISO 11461: 2014, Soil quality- Determination of soil water content as a volume fraction using coring sleeves- Gravimetric method (ISO 11461: 2001)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۳۶: سال ۱۳۸۳، خاک- تعیین آب همراه بر مبنای حجم جزئی با استفاده از استوانه‌های کرگیری- روش وزن‌سنجی، با استفاده از استاندارد ۲۰۰۱ ISO 11461: 2001 تدوین شده است.

2-17 EN ISO 13130: 2011, Laboratory glassware -Desiccators (ISO 13130: 2011)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۵۶۷: سال ۱۳۹۲، ظروف شیشه‌ای آزمایشگاهی- دسیکاتورها، با استفاده از استاندارد ISO 13130: 2011 تدوین شده است.

2-18 EN ISO 14911: 1999, Water quality -Determination of dissolved Li⁺, Na⁺, NH4⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ and Ba²⁺ using ion chromatography -Method for water and waste water (ISO 14911:1998)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۶۴۰: سال ۱۳۹۲، کیفیت آب- تعیین کاتیون‌های لیتیم، سدیم، آمونیوم، پتاسیم، منگنز، کلسیم، منیزیم، استرانسیم و باریم محلول در آب و فاضلاب به روش کروماتوگرافی یونی، با استفاده از استاندارد ISO 14911: 1999 تدوین شده است.

2-19 EN ISO 15512, Plastics- Determination of water content (ISO 15512)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱۹۱: سال ۱۳۹۵، پلاستیک‌ها- تعیین مقدار آب- روش‌های آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 15512: 2008 تدوین شده است.

2-20 ISO 760: 1978, Determination of water- Karl Fischer method (General method)

2-21 ISO 3567: 2011, Vacuum gauges — Calibration by direct comparison with a reference gauge

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۴۳۵: سال ۱۳۹۳: خلاء‌سنج‌ها- کالیبراسیون به وسیله مقایسه مستقیم با خلاء‌سنج مرجع، با استفاده از استاندارد ISO 3567: 2011 تدوین شده است.

2-22 ISO 5272: 1979, Toluene for industrial use — Specifications

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۵۱: سال ۱۳۹۴، تولئن صنعتی- مشخصه‌ها، با استفاده از استاندارد ISO 5272: 1979 تدوین شده است.

2-23 ISO 5280: 1979, Xylene for industrial use- Specification

2-24 ISO 7183: 2007, Compressed-air dryers- Specifications and testing

2-25 ISO 11465: 1993, Soil quality — Determination of dry matter and water content on a mass basis — Gravimetric method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۳۵: سال ۱۳۸۳، خاک- تعیین ماده خشک و آب همراه بر مبنای جرم پایه روش وزن‌سنجی، با استفاده از استاندارد ISO 11465: 1993 تدوین شده است.

2-26 ISO 16979: 2003, Wood-based panels — Determination of moisture content

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۵۷۸۶: سال ۱۳۸۹، چوب- اوراق فشرده- تعیین رطوبت، با استفاده از استاندارد ISO 16979: 2003 تدوین شده است.

2-27 ISO Guide 34: 2009, General requirements for the competence of reference material producers

2-28 ISO/IEC Guide 98-3: 2008, Uncertainty of measurement- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)

2-29 EN ISO/IEC 17025: 2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025: 2005)

یادآوری- استاندارد ملی ایران-ایزو-آی‌اسی شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، با استفاده از استاندارد ISO/IEC 17025: 2005 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ۲۰۱۱: EN ۱۵۸۹۸، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌روند:

۱-۳

روش/ اندازه‌گیری مطلق

absolute method/measurement

روش اندازه‌گیری که خوانش‌های آن را می‌توان برحسب سیستم بین‌المللی یکاهای بیان کرد.

۲-۳

حسگر فعال

active sensor

حسگری که برای کارکرد خود، به مقداری تامین توان الکتریکی نیاز دارد.

۳-۳

فشار اتمسفری

atmospheric pressure

فشار بارومتری (محیطی)

barometric pressure

فشار، نیروی وارد بر سطح است که توسط ستون هوای بالای نقطه اندازه‌گیری، اعمال می‌شود.

یادآوری ۱- این فشار، برحسب hPa (هکتوپاسکال) بیان می‌شود.

[منبع: زیربند ۳.۲ استاندارد ۲۰۱۲: EN ۱۶۲۴۰].

۴-۳

آب پیوندی

آب محبوس

bound water

در بنایی: مولکول‌های آب که به طور فیزیکی یا شیمیایی به مصالح پیوند خورده‌اند، آب پیوند داده شده نمی‌تواند مواد محلول را در خود حل نماید. در چوب: آب پیوند داده شده در دیواره‌های سلول؛ این آب عامل انقباض / تورم است.

۵-۳

آب متبلور

crystallization water

آب هیدراسیون

hydration water

مولکول‌های آب که جزئی از بلور یا مولکول هیدراسیون شده هستند.

۶-۳

دستگاه رطوبت‌گیر

desiccator

تجهیزاتی که در آن به منظور حفظ هوا در وضعیت تا حد امکان نزدیک به خشکی مطلق، از یک ماده رطوبت‌گیر استفاده می‌شود.

[منبع: زیربند 4.3 استاندارد 1993: EN 322]

۷-۳

خشک کردن با ماده رطوبت‌گیر

desiccant drying

روشی که در آن عمل خشک کردن با جریان پیوسته از هوای خشک (از طریق هوای فشرده) یا با جذب رطوبت توسط مواد با قابلیت جذب بالا که به عنوان ماده رطوبت‌گیر استفاده می‌شود، انجام می‌گیرد.

[منبع: زیربند 4.3 استاندارد 1993: EN 322]

۸-۳

مخرب

destructive

عامل تخریب یا آسیب رسان به مصالح میراث فرهنگی است.

۹-۳

رطوبت‌سنج نقطه شبنم

dew-point hygrometer

برای اندازه‌گیری دما است که در آن توده‌ای از هوای سرد شده، از بخار آب اشباع می‌شود.

[منبع: زیربند 3.4 استاندارد 2012: EN 16240]

۱۰-۳

دمای نقطه شبنم

dew-point temperature

دمایی که در آن، هوا در فشار ثابت و با محتوای بخار آب ثابت، بهمنظور ایجاد حالت اشباع، سرد می‌شود.
یادآوری- این دما بر حسب درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) بیان می‌شود.

[منبع: زیربند 3.6 استاندارد 2010: EN 15758].

۱۱-۳

هوای خشک

dry air

هوای اتمسفر، که بدون بخار آب باشد.

[منبع: زیربند 3.6 استاندارد 2012: EN 16240].

۱۲-۳

ماده خشک

dry matter

كل ماده‌ای که تحت شرایط خشک‌کنی مطابق با این استاندارد، تبخیر نمی‌شود.

[منبع: زیربند 2.1 استاندارد 1982: ISO 1026].

۱۳-۳

میزان رطوبت تعادلی

EMC

equilibrium moisture content

میزان رطوبتی که در آن، ماده از اتمسفر اطراف که دارای رطوبت نسبی و دمای مشخصی است، نه رطوبت می‌دهد و نه رطوبت می‌گیرد.

یادآوری- میزان رطوبت تعادلی بر حسب g/kg بیان می‌شود که به معنی نسبت جرم آب موجود در ماده تقسیم بر جرم خشک شده همان ماده است.

[منبع: زیربند 3.8 استاندارد 2012: EN 16240].

۱۴-۳

جعبه مهره‌موم شده خارجی
ESB

external sealed box

جعبه‌ای دارای پنج وجه عایق حرارتی و غیرقابل نفوذ و یک وجه باز، که برای ایجاد یک جیب هوا^۱ در تعادل رطوبت با ماده، به سطح آن بسته می‌شود.

۱۵-۳

نقطه اشباع فیبر

fibre saturation point

میزان رطوبت که در آن هیچ آب آزادی در چوب وجود ندارد در حالی که دیواره‌های سلولی از آب پیوندی، اشباع شده‌اند.

۱۶-۳

آب آزاد

free water

در بنایی: آب مایع موجود در مجرای داخلی را گویند. در چوب: آب موجود در فضاهای خالی سلول را گویند. این آب می‌تواند مواد محلول را در خود حل نماید.

۱۷-۳

رطوبت‌سنج

hygrometer

وسیله‌ای برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی است.
یادآوری- این وسیله به طور کلی از یک حسگر تشکیل شده است که در تعادل با هوا تنظیم شده و سامانه‌ای که سیگنال را از حسگر به خوانش‌های رطوبت تبدیل می‌کند.

[منبع: زیربند 3.11 استاندارد 2012 EN 16240]

۱۸-۳

تهاجمی

invasive

نیاز به فروبردن یک کاوند^۲ یا وسیله دیگر به داخل مصالح میراث فرهنگی به منظور عیب‌یابی است.

1- Air pocket
2- Probe

۱۹-۳

حسگر رطوبت نسبی غیرقابل برگشت

irreversible relative humidity sensor

حسگری که در آن سطوح رطوبت نسبی حاصل شده، به طور دائم نشانه‌گذاری شده باقی می‌مانند.

۲۰-۳

مخرب کمینه

minimally destructive

کم تهاجمی

minimally invasive

آسیب ایجاد شده یا نمونه اخذ شده‌ای است که خیلی کوچک بوده و به راحتی قابل شناسایی نیست. به طوری که قابل پذیرش در نظر گرفته می‌شود یا از نظر مزایایی که از تجزیه و تحلیل‌ها انتظار می‌رود، توجیه می‌شود.

۲۱-۳

میزان رطوبت

MC

moisture content

مقدار آب موجود در ماده، که مطابق با روش وزن‌سننجی تشریح شده در این استاندارد، تعیین می‌شود؛ این روش ممکن است ترکیبات آلی فرار را شامل شود که با حرارت دادن در دماهای متوسط ممکن است از ماده خارج شوند.

یادآوری - میزان رطوبت به صورت کسر جرمی بر حسب درصد می‌شود.

۲۲-۳

خشک کردن در گرمخانه

oven drying

روشی برای خشک کردن که در آن از یک گرمخانه تهویه‌دار در دمای $10^{\circ}\text{C} \pm 2$ استفاده می‌شود.

[منبع: زیربند 4.2 استاندارد EN 322: 1993]

۲۳-۳

حسگر غیرفعال

passive sensor

حسگری که برای کار کردن نیازی به توان الکتریکی ندارد.

۲۴-۳

پروکسی

proxy

ماده یا آزمونهای که با درنظرگیری رفتار معادل ماده مورد بررسی، جانشین یا جایگزینی برای یک ماده دیگر باشد.

۲۵-۳

رطوبت نسبی RH

relative humidity

نسبت فشار واقعی بخار هوا به فشار بخار اشباع است.

یادآوری - مقدار RH بر حسب درصد (/) بیان می شود.

[منبع: زیربند 3.9 استاندارد 2010: EN 15757]

۲۶-۳

روش نسبی

relative method

اندازه‌گیری نسبی

relative measurement

روش اندازه‌گیری که در آن نمی‌توان خوانش‌ها را بر حسب سیستم بین‌المللی یکाएماً بیان کرد و باید نسبت به واحدهای دیگری که به عنوان مرجع نگهداری می‌شود، بیان شوند.

یادآوری - مقیاس، به انتخاب خاص این مرجع بستگی دارد و ممکن است به صورت کسری از مقدار داده شده نیز بیان شود.

۲۷-۳

نمونه

sample

قسمتی از یک ماده، که در حالت ایده‌آل، معرف ماده است و برای بررسی‌های علمی، از اموال فرهنگی برداشته می‌شود.

[منبع: زیربند 3.2 استاندارد 2012: EN 16085]

۲۸-۳

دما

temperature

دماهای خوانده شده روی دماسنجی که در معرض هوا بوده و از تابش مستقیم نور آفتاب یا سایر منابع انرژی، محافظت شده است.

یادآوری- دما بر حسب درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) بیان می‌شود.

[منبع: زیربند 3.1 استاندارد 2010: EN 15758]

۲۹-۳

دماسنجد

thermometer

برای اندازه‌گیری دما متشکل از یک حسگر، که با هوا یا سطح در تعادل حرارتی (اگر با دماسنجد هوایی اندازه‌گیری شده باشد) است یا گاهی اوقات یک کاوند که حسگر را احاطه و از آن محافظت می‌کند، و سامانه‌ای که ورودی حاصل از حسگر را به یک خروجی که بر حسب درجه سلسیوس بیان می‌شود، تبدیل می‌کند.

[منبع: زیربند 3.20 استاندارد ۱۰: EN 15758]

۳۰-۳

خشک کردن با ایجاد خلاء

vacuum drying

روش خشک کردن با استفاده از خلاء برای پائین آوردن فشار اتمسفر تا $4\pm 2 \text{ hPa}$ در داخل محفظه خشک کن است.

۳۱-۳

سنجه خلاء

vacuum gauge

ابزار دقیق برای اندازه‌گیری فشار گاز یا فشار بخار است که کمتر از فشار غالب اتمسفر باشند.

[منبع: زیربند 2.1.2 استاندارد ۱۰: ISO 3529-3]

۳۲-۳

مقدار آب

WC

water content

مقدار آب موجود در ماده که مطابق با تیتراسیون کارل فیشر^۱ مشخص شده در این استاندارد، تعیین شود؛ این روش ممکن است در بردارنده آب متبلور هم باشد.

یادآوری- مقدار آب به صورت کسر جرمی بر حسب درصد (%) بیان می‌شود.

1- Karl Fischer titration

۴ نمادها و کوتنهنوشت‌ها

در این استاندارد کوتنهنوشت‌های زیر به کار می‌رود:

EFD	Evanescence-Field Dielectrometry	دیکتریک سنجی میدان محو شونده
EMC	Equilibrium Moisture Content	میزان رطوبت تعادلی
ESB	External Sealed Box	جعبه مهروموم شده خارجی
IAEA	International Atomic Energy Agency, Vienna	آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، واقع در وین
KF	Karl Fischer	کارل فیشر
KFT	Karl Fischer titration	تیتراسیون کارل فیشر
C-KFT	coulometric KFT	تیتراسیون کارل فیشر کولون‌سنجدی
V-KFT	volumetric KFT	کارل فیشر حجم‌سنجدی
MC	Moisture Content expressed on dry basis	میزان رطوبت بیان شده بر مبنای خشک
MCw	Moisture Content expressed on wet basis	میزان رطوبت بیان شده بر مبنای تر
NIR	Near Infrared	نزدیک فروسرخ
NIRS	Near Infrared Spectroscopy	اسپکتروسکوپی فروسرخ
NMR	Nuclear Magnetic Resonance	تشدید مغناطیسی هسته‌ای
OV-KFT	Oven-vaporization KF titration	تیتراسیون کارل فیشر تبخیر در گرمخانه
C-OV-KFT	coulometric oven-vaporization KF titration	تیتراسیون کارل فیشر تبخیر در گرمخانه و کولون‌سنجدی
V-OV-KFT	Volumetric oven-vaporization KF	تیتراسیون کارل فیشر تبخیر در گرمخانه همراه با حجم‌سنجدی
RH	Relative Humidity	رطوبت نسبی
SI	units International System of units	سامانه بین‌المللی یکاهای
SRXTM	Synchrotron-based X-Ray Tomographic Microscopy	میکروسکوپ توموگراف اشعه X بر مبنای سینکترون
TDR	Time-Domain Reflectometry	بازتاب‌سنجدی نسبت به زمان

TGA	Thermogravimetric Analysis	تجزیه و تحلیل‌های ثقل‌سنگی حرارتی
VOC	volatile organic compounds	ترکیبات آلی فرار
WC	Water content expressed on dry basis	مقدار آب بیان شده بر مبنای خشک
WCw	Water content expressed on wet basis	مقدار آب بیان شده بر مبنای تر
□	dielectric constant	ثابت دی‌الکتریک
m_H	initial (moist) mass of the test sample	جرم اولیه (رطوبت) نمونه آزمون
m_o	mass of the sample after drying	جرم نمونه بعد از خشک شدن
m_w	mass of water extracted from the sample	جرم آب خارج شده از نمونه

۵ میزان رطوبت و مقدار آب مصالح

۱-۵ میزان رطوبت

۱-۱-۵ کلیات

میزان رطوبت به صورت نسبت میان جرم آب خارج شده از نمونه ماده و جرم نمونه خشک تعریف می‌شود که بر حسب (٪) بیان می‌شود، یعنی:

$$MC = \frac{m_w}{m_0} \times 100 = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

جرم اولیه نمونه مرطوب؛ m_H

جرم نمونه پس از خشک شدن؛ m_0

جرم آب خارج شده از نمونه است (به استاندارد ISO 16979: 2003، استانداردهای EN ISO 11461: 2014 و EN 772-10: 1999، EN 13183-1: 2002 مراجعه شود).

میزان رطوبت از صفر (نمونه کاملاً خشک) تا مقداری که با تخلخل ماده در حالت اشباع مشخص می‌شود، نوسان می‌کند.

به طور خاص میزان رطوبت به روش وزن‌سنگی (استاندارد ISO 16979: 2003) یا سایر روش‌هایی که با معادله پایه (۱) مطابقت دارند، اندازه‌گیری می‌شود. از نقطه نظر تجربی، روش خشک کردن در گرمخانه که به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود، ممکن است حاوی ترکیبات آلی فرار باشد (VOC) که ممکن است در حین حرارت دادن ماده در دماهای متوسط گرمخانه، آزاد شوند.

میزان رطوبت، به صورت نسبت کمیت‌های همگن بیان می‌شود و به همین دلیل مستقل از واحد به کار رفته برای بیان m_H و m_0 است. به هر حال در گزارش اندازه‌گیری، استفاده از سیستم بین‌المللی یکاهای (SI) برای جرم (یعنی گرم) توصیه می‌شود. میزان رطوبت باید با دقت٪ ۰/۱ و با بیان این‌که بر مبنای وزن خشک است، بیان شود.

۲-۱-۵ حالت خشک در برابر حالت تر

میزان رطوبت تعریف شده در معادله (۱) بر مبنای خشک بیان می‌شود، یعنی به جرم m_0 نمونه، پس از خشک شدن اشاره دارد (برای مثال با استفاده از روش وزن‌سنجدی بند الف-۲). روش‌های دیگری نیز وجود دارند (برای مثال تقطیر آزوتروپیک بند الف-۵، آزمون کلسیم کربید (CaC_2) بند الف-۶) که تعیین مستقیم m_w و m_H را مجاز دانسته ولی موجب تخریب نمونه می‌شود، بطوری که در آن صورت تعیین m_0 با کمک ترازو غیرممکن خواهد بود. برای این روش‌ها، میزان رطوبت معمولاً بر مبنای تر (MC_w) بیان شده و جرم نمونه مرتبط m_H به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود، یعنی:

$$MC_w = \frac{m_w}{m_H} \times 100 \quad (2)$$

البته $MC > MC_w$ است. اختلاف بین MC و MC_w مقایسه بین خوانش‌ها را مبهم می‌سازد. برای تفهیم و مشخص شدن موضوع، در استاندارد در همه روش‌ها، استفاده از رطوبت بر مبنای خشک را توصیه می‌کند.

در صورتی که روشنی باعث تخریب نمونه‌ها شود، یکی از گزینه‌های زیر باید استفاده شود:

گزینه ۱: مقدار $m_0 = m_H - m_w$ را محاسبه نموده و از معادله (۱) استفاده کنید.

گزینه ۲: با استفاده از معادله (۲) مقدار MC_w را بر مبنای خیس تعیین کنید و سپس با استفاده از معادله (۳) که MC را با MC_w مرتبط می‌کند، آن را بر مبنای تر تبدیل.

$$MC = \left(\frac{MC_w}{100 - MC_w} \right) \times 100 \quad (3)$$

رابطه معکوس آن به صورت زیر است:

$$MC_w = \left(\frac{MC}{100 + MC} \right) \times 100 \quad (4)$$

۳-۱-۵ حالت وزن‌سنجدی در برابر حالت حجم‌سنجدی

هنگامی که MC اندازه‌گیری می‌شود، باید به صورت زیر، بر حسب درصد نمونه، بیان شود:

الف- حالت وزن‌سنجدی، یعنی MC برابر با نسبت بین جرم آب از دست‌رفته و جرم نمونه خشک شده (بر مبنای خشک) یا نمونه مرتبط (بر مبنای تر) است. نتیجه بر حسب درصد جرم بیان می‌شود.

ب- حالت حجم‌سنگی، یعنی MC برابر با نسبت بین حجم آب از دسترفته (جرم آن بر حسب گرم برابر با حجم بر حسب سانتیمتر مکعب است) و حجم واقعی نمونه مرتبط است. نتیجه بر حسب درصد حجمی بیان می‌شود.

برای جلوگیری از پیچیدگی، لازم است مشخص شود که درصد رطوبت از اندازه‌گیری‌های وزن‌سنگی یا حجم‌سنگی حاصل شده است. حالت وزن‌سنگی از خلل و فرج یا گرادیان‌ها مستقل است؛ حالت حجم‌سنگی با توجه به چگالی ماده و وجود خلل و فرج، تغییر می‌کند. هنگامی که چگالی ماده همگن نباشد، این پدیده موجب بروز مسائلی می‌شود. روش حجم‌سنگی ممکن است از نقطه‌ای به نقطه دیگر (برای مثال تخریب‌ها، آفات یا خلل و فرج‌ها) یا نسبت به گذشت زمان که معمولاً در مصالح میراث فرهنگی روی می‌دهد، تغییر کند.

۲-۵ مقدار آب

مقدار آب (WC) شامل همه انواع آب موجود در یک ماده یعنی، آب آزاد، آب پیوندی و آب متبلور و غیر از VOC است.

WC با استفاده از تیتراسیون کارل فیشر (بند الف-۴) اندازه‌گیری می‌شود که مخصوص آب است (برای مثال آب آزاد، آب پیوندی، آب متبلور) (به استاندارد ۱۹۷۸: ISO 760: مراجعه شود).

گرچه در کاربردهای متداول میزان رطوبت بر مبنای تر بیان می‌شود، به دلایلی در این استاندارد توصیه می‌شود که از رطوبت بر مبنای خشک استفاده شود تا امکان مقایسه نتایج با سایر روش‌ها مقدور شود. همان‌طوری که در بند قبل برای MC مشخص شد، WC باید بر مبنای خشک بیان شود، با این تفاوت که در معادلات مذکور، WC با MC جایگزین می‌شود.

۳-۵ مقایسه بین میزان رطوبت، یا مقدار آب

در صورتی که نمونه حاوی VOC یا آب متبلور در مواد معدنی هیدراسیون شده باشد، افت جرم پس از خشک شدن صرفاً ناشی از رطوبت نیست. اختلاف بین نتایج، هنگامی که از روش‌های مختلف استفاده می‌شود، ممکن است به علت وجود VOC یا آب متبلور (هر دو به شدت ارزیابی m_w خارج شده از نمونه را افزایش می‌دهند)، حساسیت روش اندازه‌گیری نسبت به این عوامل و دمای عملیاتی باشد. هر کسی باید درک روشی از نوع آب شناسایی شده و هدف اندازه‌گیری داشته باشد: برای مثال MC: رطوبت قابل تبادل با محیط (انقباض / تورم چوب؛ سیالیت نمک محلول^۱، قالب) یا WC: کل مقدار آب شامل آب متبلور. در برخی موارد ممکن است این اختلاف نتایج دو مقایسه محاسبه شود یا سهم مربوط به VOC یا آب متبلور حذف شود. برای سایر موارد، تعیین درستی از WC می‌تواند به جای روش خاص MC ترجیح داده شود (یا برعکس) زیرا نمونه‌های کوچکتری مورد نیاز هستند.

در مورد نیروهای الکترومغناطیسی (برای مثال خازنی) یا جایی که پرتو امواج مایکروویو به داخل ماده نفوذ می‌کند (برای مثال مایکروویو، دیالکتریکسنジ با جذب میدانی^۱، بازتابسنジ در دامنه زمان^۲) وضعیت پیچیده‌تر است. نیروهای الکترومغناطیسی یا پرتو امواج مایکروویو به دلیل ساختار قطبی مولکول‌های آب واکنش خواهد داد. به هر حال در صورتی که مولکول آب جزئی از ساختار ماده باشد، (برای مثال زنجیر سلولز، آب متبلور) یا در برابر برانگیختگی بی تفاوت باشد، عکس العمل متفاوت خواهد بود. در نتیجه، همه مولکول‌های آب به سیگنال پاسخ داده ولی مولکول‌هایی که پیوند قوی ایجاد کرده‌اند، به صورت ضعیفتر نشان خواهد داد و رطوبت آزاد عکس العمل خواهد داشت. در چنین مواردی تفسیر خوانش دستگاه سر راست نخواهد بود.

در راهنمایی‌های زیر، WC یا MC مقدار آب موجود در یک نمونه مرطوب را ارائه خواهد داد که با یکی از روش‌های اندازه‌گیری شده در این استاندارد، می‌تواند استخراج و تعیین شود.

به منظور کمک به کاربر، هر روش به صورت صریح بیان خواهد کرد که WC یا MC را اندازه‌گیری می‌کند. این روش‌ها به دلیل این که خوانش‌های ارائه شده توسط آن‌ها معرف MC یا WC هستند و به چیز دیگری (به غیر از عدم قطعیت‌های مشاهده‌ای (میدانی) وابسته نیستند، «مطلق» در نظر گرفته می‌شوند).

در صورتی که یک روش اندازه‌گیری با استاندارد مرجع مناسبی قابل واسنجی نباشد، مقدار مطلق MC (یا WC) نامعلوم می‌ماند، اما ممکن است انجام مقایسه نسبی، از یک نقطه اندازه‌گیری (در یک لحظه مشخص) تا نقطه اندازه‌گیری دیگر (در لحظات بعدی) برای تشخیص گرادیان‌ها در فضای زمان، مفید باشد. چنین روش‌هایی به نظر می‌رسد که «نسبی» را تأمین یا تهیه کنند.

۶ روش‌های مطلق و نسبی

۶-۱ روش‌های مطلق

روش‌های مطلق، روش‌های اندازه‌گیری هستند که با تعریف پایه بند ۵ انطباق داشته و خوانش‌های آن‌ها را می‌توان بر حسب سیستم بین‌المللی یکاها بیان کرد. روش‌های مطلق، بر مبنای استخراج آب از نمونه ماده (شامل VOC یا آب متبلور) هستند. در صورتی که نمونه‌برداری امکان‌پذیر باشد، مقدار آب نمونه به طور مستقیم با وزن‌سنجدی، تیتراسیون، تقطیر یا فشار گاز تعیین می‌شود و به صورت درصد جرم نمونه ماده، بیان می‌شود. برای اندازه‌گیری m_H و m_0 یا m_w نیاز به نمونه‌برداری است؛ متغیر سوم از اختلاف بین دو متغیر دیگر محاسبه می‌شود.

روش‌های مطلق مورد نظر در این استاندارد، در جدول ۱ فهرست شده‌است. دستگاه، روش اجرا، مسائل خاص مربوط به حوزه میراث فرهنگی و توصیه‌های الزامی، در پیوست الف تشریح شده‌است.

1- Evanescent-field dielectrometry

2- Time-domain reflectometry

جدول ۱- روش‌های مطلق مورد نظر این استاندارد، همان‌طور که در پیوست الف مشخص شده و اصول فیزیکی و شیمیایی به کار رفته برای تعیین m_w ، m_0 و m_H

مخصوص برای تعیین	اصول فیزیکی و شیمیایی			روش	بند
	m_w	m_0	m_H		
MC	(محاسبه شده)	ماده رطوبت‌گیری	وزن	وزن سنجی	الف-۲
WC	تیتراسیون	(محاسبه شده)	وزن	KF تیتراسیون	الف-۴
MC	تقطیر	(محاسبه شده)	وزن	تقطیر آزوتروپیک	الف-۵
MC	فشار گاز	(محاسبه شده)	وزن	کلسیم کربید (CaC ₂)	الف-۶

غیر از کلسیم کربید (CaC₂)، همه روش‌های مطلق، برای تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی طراحی شده و فقط تحت شرایط استثنایی، می‌توانند برای اندازه‌گیری‌های میدانی، مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۶ روش‌های نسبی

روش‌های نسبی، روش‌هایی هستند که به‌طور مستقیم با تعریف پایه بند ۵ انطباق نداشته ولی به مکانیزم‌های فیزیکی اشاره دارند. نتایج نمی‌تواند بر حسب سیستم بین‌المللی یکاها بیان شود ولی نسبت به واحدهای دیگر به عنوان مرجع استفاده می‌شوند. روش‌های نسبی، به‌طور ویژه برای شناسایی اختلاف‌هایی در سراسر فضا و زمان استفاده می‌شوند، برای مثال به منظور بررسی تغییر نسبی MC (یا WC) در یک نقطه مشخص نسبت به نقطه دیگر، بدون در نظر گرفتن مقدار. مزایای عمدۀ روش‌های نسبی این است که از عهده اندازه‌گیری بر جا برآمده، برای مشاهدات سریع میدانی مناسب بوده و به ویژه این‌که اغلب آن‌ها غیرمخرب بوده یا کم تهاجمی هستند.

روش‌های نسبی مورد نظر این استاندارد، در جدول ۲ فهرست شده‌اند. مشخصات، مسائل مرتبط و توصیه‌های مربوط به حوزه میراث فرهنگی در پیوست ب (الزامی) و پیوست پ (آگاهی‌دهنده) گزارش می‌شوند.

جدول ۲- روش‌های نسبی مورد نظر این استاندارد، همان‌طور که در پیوست‌های ب و پ مشخص شده است

بند	روش	اصل فیزیکی
۲-ب	مقاومت الکتریکی	قانون اهم
۳-ب	خازنی	ظرفیت دی‌الکتریک آب
۴-ب	RH تعادلی	تعادل بین RH و MC
۲-پ	مایکروویو	تداخل مولکول آب با تابش الکترومغناطیس (بسامد امواج مایکروویو)
۳-پ	دی‌الکتریک سنجی با جذب میدانی (EFD)	تداخل مولکول آب با تابش الکترومغناطیس (بسامد امواج مایکروویو)
۴-پ	بازتاب‌سنجی در دامنه زمان (TDR)	تداخل مولکول آب با تابش الکترومغناطیس (بسامد امواج رادیویی)
۵-پ	تشددید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)	گشتاور مغناطیسی و بسامد تشددید مولکول آب
۶-پ	طیف‌سنجی نزدیک فروسرخ (NIRS)	بازتاب تابش فروسرخ
۷-پ	پالس‌های فرماصوتی	سرعت پالس‌های فرماصوتی
۸-پ	گرمانگاری	انتشار حرارتی اجسام

روش‌های نسبی، بر مبنای تشخیص و ارزیابی غیرمستقیم رطوبت داخل مصالح ساختمانی هستند. به‌طور کلی، همه روش‌های نسبی ممکن است، پس از انجام واسنجی نسبت به یک ماده مرجع، در مقایسه با روش وزن‌سنجی، یا تیتراسیون کارل فیشر، به درصد جرمی تبدیل شوند. در مورد مصالح مشخص شده با VOC یا آب متبلور، مقایسه MC و WC، نیاز به تصحیح دارد. گرچه تبدیل خودکار یا جداول تبدیل ارائه شده توسط تولیدکننده مفید هستند، ولی به‌دلیل تغییراتی که مواد فرسوده ممکن است در اثر کهنه‌گی، عوامل هوازدگی، حمل و نقل شیمیایی یا زیست شناختی به آن دچار شوند، انجام هر واسنجی، مشکل است.

روش‌های دیگری که نیاز به الزامات ایمنی خاصی دارند، در جدول ۳، فهرست شده و در پیوست ت، گزارش می‌شوند.

جدول ۳- روش‌هایی که نیاز به الزامات ایمنی خاصی دارند، همان‌طور که در پیوست ت مشخص شده است

بند	روش	اصل فیزیکی
۲-ت	اشعه‌های X	جذب اشعه‌های X
۳-ت	اشعه‌های گاما	جذب اشعه‌های گاما
۴-ت	پراش نوترون‌ها	پراش نوترون‌ها

۶-۳ مقایسه بین روش‌های مطلق و نسبی

روش‌های مطلق و نسبی به کار رفته برای ارزیابی MC یا WC، بر مبنای اصول فیزیکی یا شیمیایی مختلف هستند و آن‌ها ممکن است قابل مقایسه نباشند. برای مثال، روش وزن‌سنجی (به بند الف-۲ مراجعه شود) و تیتراسیون کارل فیشر (بند الف-۴) جرم کل مولکول‌های آب موجود در نمونه را بدون توجه به این‌که آن‌ها در داخل نمونه، از نظر فضایی چگونه توزیع شده‌اند، ارائه می‌دهد. از طرف دیگر، مقاومت الکتریکی (بند ب-۲) با میزان رطوبت و وجود نمک‌های محلول، تغییر می‌کند. روش‌های خازنی (بند ب-۳) و امواج

مایکروویو (زیربند پ-۲) نیز به مقدار کل مولکول‌های آب واکنش نشان می‌دهد، اما خروجی، به عوامل دیگری شامل چگونگی توزیع مولکول‌ها در داخل ماده نیز بستگی دارد، به این صورت که برای مولکول‌هایی که نزدیک حسگر هستند، سیگنال تولیدی، بزرگتر است. این موضوع سبب بروز مسائل جدی در مورد توزیع‌ها و گرادیان‌های رطوبت زیرسطحی غیریکنواخت می‌شود. روش رطوبت نسبی در تعادل با مواد، بر اساس حسگرها یا پروکسیدها (بند ب-۴) از مصالح و وجود نمک‌ها تاثیر می‌پذیرد. این روش نتایج درستی را برای مقادیر پایین گستره MC تا نقطه‌ای که مقداری آب مایع در خلل و فرج ظاهر می‌شود، ارائه می‌دهد. به طور خلاصه، همه روش‌ها از تعداد عوامل مزاحم که از موردی به موردن دیگر دارای رابطه متفاوتی هستند، تاثیر می‌پذیرند.

برای عدم قطعیت‌های فوق، برخی از اندازه‌گیری‌ها که نتایج نسبی (روش‌های نسبی) را ارائه می‌دهند، خوانش‌ها را با واحد دلخواه ارائه می‌کنند که برای بررسی تغییرات نسبی MC یا WC مفید است. سایر ابزار دقیق، برای برآورده کردن نیازهای عملی، خوانش‌ها را پس از واسنجی با مصالح انتخاب شده، بر حسب درصد (%) ارائه می‌کنند. در بیشتر موارد، اگر MC یا WC قسمت خاصی از مصالح میراث فرهنگی، بالاتر-پائین‌تر از قسمت دیگر باشد، یعنی فقط خوانش‌های نسبی، این ابزار دقیق قابلیت اعتماد بیشتری دارد. برخی از تولیدکنندگان که برای اهداف تجاری و ساختمنی برای فراهم نمودن مقیاس در خوانش‌های مطلق، ابزار دقیق خود را با مصالح جدید شناخته‌شده واسنجی می‌کنند. به هر حال چنین واسنجی ممکن است برای مصالح میراث فرهنگی مناسب نبوده و لازم است که مورد به مورد، ارزیابی شود.

۷ اخذ و حمل و نقل یا جایه‌جایی نمونه‌ها

در اصل، همه روش‌های مبتنی بر تجزیه نمونه‌ها تهاجمی (بخشی از ماده از بین می‌رود) و مخرب (موجب آسیب می‌شود) بوده و بهتر است از آن‌ها اجتناب شود. همه روش‌های مطلق نیاز به استخراج بخش کوچکی از ماده به نمایندگی از خواص و ترکیب کلی مصالح ساختمان تحت بررسی دارند. جرم نمونه لازم برای اندازه‌گیری، به هر حال از روشنی به روش دیگر، همان‌طور که در جدول الف-۱ و شکل الف-۲ پیوست الف و مشخص شده است، ممکن است متغیر باشد.

در صورتی که نمونهبرداری لازم باشد، باید توسط افراد ماهر و آشنا به اموال فرهنگی انجام شده و باید از طرح نمونهبرداری درست، مطابق با استاندارد 2012 EN 16085:2012 تبعیت کند. استاندارد 2012 EN 16085:2012 روش‌شناسی و معیارهای کلی برای نمونهبرداری از مصالح اموال فرهنگی بهمنظور بررسی علمی آن‌ها را ارائه می‌کند. اگرچه آن استاندارد به‌طور خاص تبادل رطوبت را مورد بحث قرار نمی‌دهد؛ برای این کار موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

در برنامه نمونه برداری باید در نظر گرفته شود که با توجه به رخدادهای آب و هوایی فعلی و گذشته، حفاظت‌های دائمی، یا موقتی و غیره، رطوبت بین سطح و لایه‌های عمیق‌تر به طور قابل توجهی ممکن است تغییر

کند. به همین دلایل برنامه نمونه برداری باید با وضعیت محیطی و نسبت به آب و هوا فعالی و گذشته (دست کم ۳۰ روز) و فصل، سازگار شده باشد.

در طول جابه جایی، دستکاری و توزین، ممکن است نمونه ها با محیط اطراف، تبادل رطوبت کنند؛ به همین دلیل نمونه ها باید در ظروف مهروموم شده نگه داری شده و در برابر تغییرات دما، محافظت شوند. به منظور کاهش آسیب به میراث فرهنگی، استفاده از نمونه های کوچک، ترجیح داده می شوند، گرچه نمونه های با اندازه های خیلی کوچک، ممکن است منجر به افزایش ریسک خطا شود. نمونه های اخذ شده از لایه سطحی یا زیرسطحی معرف مواد داخلی نیستند.

تجهیزات نمونه برداری و ظروف مربوط به نمونه ها باید خنثی باشند، یعنی از آلومینیوم یا شیشه ساخته شوند که ماده، روی آن ها هیچ کنش یا اثرینداشته باشد. آن ها باید تمیز، خشک بوده و به طور کامل مهروموم شوند تا در طول نقل و انتقال یا انبارش از تبادل رطوبتی با محیط، پیشگیری شود.

تماس مستقیم با انگشتان نیز ممکن است در اثر انتقال چربی و/یا عرق، منجر به افزایش وزن نمونه شود. نمونه ها باید با دستکش های آزمایشگاهی یا پزشکی غیرقابل نفوذ (برای مثال لاتکس^۱، وینیل^۲، پلی کلروپرن^۳، پلی ایزوپرن^۴، نیتریل^۵، پلی اورتان^۶، استایرن بوتا دین^۷) مطابق با استاندارد EN ISO 374-1: 2009، استاندارد EN 420: 2003+A1: 2009 یا استاندارد EN 455-1: 2000 جابه جا شوند تا از تماس مضر آن با دست و جذب رطوبت پیشگیری شود.

۸ واسنجی

۱-۸ کلیات

واسنجی، قابلیت ردیابی اندازه شناختی را از طریق سایر استانداردهای اندازه گیری، ابزار دقیق یا سامانه های اندازه گیری که دارای عدم قطعیت ناچیزی هستند، مطابق با استاندارد EN ISO/IEC 17025: 2005 برقرار می کند. واسنجی زنجیره ای متشكل از ابزار دقیق (یعنی وسیله)، روش اجرایی اندازه گیری و ماده مرجعی است که از طریق آن، نمودار، منحنی یا جدول تهیه می شوند. این عمل نیازمند فعالیت در شرایط مشابه است.

1- Latex

2- Vinyl

3- Polychloroprene

4- Polyisoprene

5- Nitrile

6- Ppolyurethane

7- Styrene butadiene

۲-۸ واسنجی ابزار دقیق

۱-۲-۸ کلیات

همراه همه ابزار دقیق، باید یک گواهی نامه واسنجی ارائه شود که توسط یک آزمایشگاه، مطابق با استاندارد EN ISO/IEC 17025: 2005 تصدر شده است. گواهی نامه واسنجی، باید تصحیح خوانش‌های وسیله تحت واسنجی و عدم قطعیت مربوطه را مطابق با استاندارد ISO/IEC 98-3: 2008 گزارش کند. این گواهی نامه رده درستی ارزیابی شده یک ابزار دقیق را توصیف می‌کند. واسنجی باید به طور متناوب بررسی شود. اگر انحرافی فراتر از خصوصیات ارائه شده توسط تولیدکننده داشته باشد، ابزار دقیق باید دوباره واسنجی شود.

۲-۲-۸ واسنجی برای میزان رطوبت

واسنجی اندازه‌گیری‌های MC باید با روش وزن‌سنجدی و با استفاده از مناسب‌ترین روش خشک‌کردن، انجام شود (به بند الف-۳ مراجعه شود).

۳-۲-۸ واسنجی برای مقدار آب

واسنجی برای اندازه‌گیری‌های WC باید با تیتراسیون کارل فیشر (بند الف-۴) انجام شود. گرچه V-KFT یک روش مطلق است، تیتر کردن عامل نیز باید همچنان با استفاده از یک واسنج استاندارد تعیین شود (عمدتاً تارت سدیم دواه به صورت پودر). از طرف دیگر، برای C-KFT، تعیین تیترکننده، مورد نیاز نیست. به هر حال C-KFT دست کم به بررسی کل سامانه تیتراسیون، به کمک تجزیه مواد مرجع مورد تایید (کیفیت عملکردی) نیاز دارد.

یادآوری - برداشتن نمونه‌ها برای واسنجی، یک عمل مخرب بوده و ممکن است مسائل جدی برای مصالح میراث فرهنگی ایجاد کند. به هر حال باید توجه داشت که واسنجی، فقط به تعداد محدودی نمونه نیاز دارد که استفاده از آن‌ها برای به دست آوردن یک منحنی واسنجی، قابل توجیه است. نمونه‌برداری می‌تواند با اجازه و تحت نظر از درست یک نگهبان حرفه‌ای و اجد شرایط، انجام گیرد.

۳-۸ تجدیدپذیری

۱-۳-۸ ابزار دقیق برای اندازه‌گیری‌های مطلق

به منظور ارائه مقادیر درست و قابل تکرار MC یا WC، ابزار دقیق برای روش‌های مطلق موجود در پیوست الف، باید واسنجی شوند.

۲-۳-۸ ابزار دقیق برای اندازه‌گیری‌های نسبی

به منظور ارائه خوانش‌های تکرارپذیر تحت شرایط عملیاتی یکسان و ماده مرجع ویژه، ابزار دقیق روش‌های نسبی موجود در پیوست ب و پیوست‌های آگاهی‌دهنده پ و ت باید واسنجی شوند. نتیجه واسنجی باید یک گواهی نامه واسنجی باشد که حاوی نمودار واسنجی، منحنی واسنجی یا جدول واسنجی برای ماده مرجع

است. خوانش‌های ابزار دقیق به راحتی قابل تفسیر بوده و در صورتی که ماده تحت بررسی همگن بوده و مشخصه‌های آن خیلی شبیه به ماده مرجع به کار رفته برای واسنجی باشد عدم قطعیت کمتری خواهد داشت، برای مثال مصالح ساختمانی جدید یا مصالح کهنه‌ای که در شرایط خوب نگهداری شده‌اند. اگر ماده همگن نبوده یا با ماده مرجع به کار رفته برای واسنجی تفاوت داشته باشد، یا از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی یا کانی‌شناسی با گذشت زمان تغییر کرده باشد، خوانش‌ها تحت تاثیر عدم قطعیت‌های بزرگی قرار می‌گیرند که تفسیر را با ابهام مواجه می‌سازد. این حالت ممکن است در مورد مصالح کهنه و تخریب شده میراث فرهنگی موضوعیت داشته باشد. برای مثال اغلب روش‌های نسبی، از وجود خلل و فرج داخلی، محاری، گرادیان‌های رطوبت، نمک‌های رسوبی یا مواد قطبی، تاثیر می‌گیرند.

۳-۳-۸ مقایسه بین روش‌های مطلق و نسبی

مقایسه بین روش‌های مطلق و نسبی برای مصالح ساختمانی جدید آسان است ولی ممکن است برای مصالح میراث فرهنگی مشکل باشد. در حالت کلی، هر واسنجی، برای یک مطالعه خاصی که برای آن واسنجی انجام شده است معتبر بوده و برای مدت زمان محدودی اعتبارخواهد داشت. یک واسنجی به ندرت برای سایر مصالح میراث فرهنگی ظاهراً مشابه، عمومیت داده می‌شود.

بعضی از نمونه‌ها، برای توضیح تفاوت بین روش‌های مطلق و نسبی یا برای کمک به کاربر در انتخاب مناسب‌ترین روش مرتبط با شرایط ماده و سایر متغیرهای کلیدی (برای مثال درستی مورد نیاز، امکان حذف نمونه‌ها، اندازه مجاز نمونه) در پیوست الف (شکل‌های الف-۱، الف-۲ و الف-۳) و پیوست ب (شکل‌های ب-۱، ب-۲ و ب-۳) گزارش شده است.

۹ استفاده از استانداردهای موجود در مورد مصالح ساختمانی جدید

در مورد روش‌های خاص برای اندازه‌گیری میزان رطوبت مصالح ساختمانی جدید تعدادی استاندارد وجود دارد که در بند ۲ فهرست شده‌است. به هر حال، واقعیت این است که وجود استاندارد به این معنی نیست که این روش به طور مستقیم برای حوزه خاصی از میراث فرهنگی قابل استفاده خواهد بود، زیرا استانداردهای فوق، ممکن است نیاز به اصلاح داشته یا به کارگیری آن‌ها نیاز به اصلاحات داشته یا کاربرد آن‌ها ممکن است محدود بوده یا حتی غیرممکن باشد.

روش‌های مطلق، مخرب یا تهاجمی هستند زیرا مبتنی بر استخراج و تجزیه و تحلیل نمونه‌های باشند. رطوبت نسبی در تعادل با ماده (حفره ایجادشده) نیز مخرب است. مقاومت الکتریکی، در صورتی که از تکه‌های کوچکی استفاده شود، اندکی مخرب است. بیشتر روش‌های نسبی غیرمخرب بوده و برای مصالح فرسوده نشده مناسب هستند، ولی نمی‌توانند برای اندازه‌گیری‌های کمی ماده‌ای که فرسوده بوده، دگرگون شده و خواص فیزیکی یا شیمیایی آن تغییر کرده است، به کار گرفته شود، برای مثال با آلوهدهشدن به نمک، تخلخل زیاد یا -تونل زدن حشرات، آلودگی قارچی، پوشش‌های سطحی مربوط به آماده‌سازی‌های گذشته. در این

موارد، بهتر است به جای دستگاه‌های مطلق، استفاده از دستگاه‌های تجاری با مقیاس مطلق که توسط تولیدکننده عرضه شده است، مورد توجه قرار گیرند.

اصلًا همه روش‌ها و استانداردهایی که امکان ایجاد آسیب در مصالح میراث فرهنگی را دارند، از نظر اخلاقی بهتر است پذیرفته نشود؛ هرچند استثنائاتی هم ممکن است وجود داشته باشد، اگر کاملاً ضرورت داشته باشد که مقدار MC (یا WC) معلوم شود، باید تحت توصیه و نظارت درست افراد حرفه‌ای و واجد شرایط، انجام شود.

در حوزه میراث فرهنگی، استانداردهای موجود برای مصالح ساختمانی جدید ممکن است فقط در تعداد محدودی از موارد، تحت بعضی محدودیت‌های خاص یا شرایط ویژه مختلف، به کار گرفته شود. این استاندارد مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف انجام داده، نوع استفاده بهتر از این استانداردها و تغییراتی را که بهتر است برای حوزه خاصی از میراث فرهنگی اعمال شود، را مشخص می‌کند.

۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید مطابق با استاندارد 2012 EN 16085 و استاندارد 2012 EN 16096 تهیه شوند. به علاوه، گزارش باید موارد زیر را مشخص کند:

الف- روش و دستگاه به کار رفته برای اندازه‌گیری MC (یا WC)، ارجاع به بند و زیربند مربوطه در این استاندارد ملی؛

ب- آیا از مصالح، نمونه اخذ شده یا خیر

۱- اگر نمونه اخذ شده است (روش‌های مطلق): گزارش باید شامل همه جزئیات مربوط به روش استفاده- شده برای نمونه‌برداری (مطابق با استاندارد 2012 EN 16085؛ تعداد نمونه‌ها، محل درست نقاط نمونه‌برداری و سایر جزئیاتی که برای شناسایی نمونه مفید هستند، باشد؛

۲- اگر نمونه اخذ نشده است (روش‌های نسبی): گزارش باید به طور صریح، محل درست نقاطی را که خوانش‌های دستگاه در آن‌جا انجام شده است، بیان کند؛

پ- نتیجه اندازه‌گیری؛

۱- برای روش‌های مطلق: اندازه‌گیری‌های MC (یا WC) باید به صورت درصد (%) جرم خشک نمونه آزمون، بیان شود؛

۲- برای روش‌های نسبی: خوانش‌های دستگاه باید همراه با مقیاس مربوطه، گزارش شود.

ت- اطلاعات محیطی مورد نیاز برای تفسیر داده‌ها، برای مثال تاریخ، ساعت، دمای هوای سطح ماده؛ RH (دما و RH) مطابق با استانداردهای EN 15758: 2010 و EN 16242: 2012 اندازه‌گیری می‌شود). گزارش باید شرایط کلی آب و هوای آهمان روز و ۳۰ روز قبل از اندازه‌گیری را نیز، مشخص کند.

ث- در مورد مصالح بنایی، گزارش باید آنیون‌های^۱ و کاتیون‌های^۲ موجود در ماده را ارائه کند؛ آن‌ها را باید با کروماتوگرافی یونی (استاندارد EN ISO 14911: 1999 و استاندارد EN ISO 10304-1: 2009) اندازه-گیری کرد.

پیوست الف

(الزامی)

روش‌های مطلق

الف-۱ اصول کلی

این پیوست الزامی بوده و روش‌های اجرایی عملی که برای مصالح میراث فرهنگی باید به کار گرفته شوند را تبیین کرده و راهنمایی مرتبط در هنگام مواجه با مسائل اصلی را همراه با مشاهدات و تفسیر خوانش‌ها ارائه می‌کند.

روش گنجانده شده در این پیوست، خوانش‌های مطلق را آماده کرده و بر اساس قابل استفاده بودن و مقایسه‌پذیری خوب نتایج آن‌ها، برگزیده شده‌اند.

روش‌های مطلق نیاز به استخراج نمونه دارند. این عمل مخرب بوده و فقط باید در شرایط استثنایی انجام شود و همواره مطابق با استاندارد 2012 EN 16085: 2012 مورد استفاده قرار گیرند. برای به دست آوردن نتیجه قابل اطمینان، تعداد و اندازه نمونه‌ها باید با در نظر گرفتن ارزش فرهنگی مصالح میراث، انجام شود. نمونه‌ها باید مطابق با توصیه‌های بند ۷ اخذ شده و حمل و نقل و جابه‌جا شوند. در صورتی که نیاز به خشک کردن نمونه‌ها باشد، نمودار در شکل الف-۱ در انتخاب روش خشک کردن کمک خواهد کرد.

جدول‌های الف-۱ و الف-۲، یک دید کلی را ارائه کرده و مقایسه‌ای بین روش‌های مطلق، مشخصه‌های روش‌های مختلف، عدم قطعیت‌های آزمایشی آن‌ها، اندازه نمونه و برخی نکات مربوط به کاربرد خاص آن‌ها، همراه با چوب یا مصالح بنایی، گزارش خواهد کرد.

بر اساس جدول‌های بالا، شکل‌های الف-۲ و الف-۳ دو درخت تصمیم‌گیری بنیادی را تشکیل می‌دهند. شکل الف-۲ نمودار گردشی مربوط به انتخاب مناسب‌ترین روش مطلق را، با توجه به امکان برداشت نمونه‌های کوچک، متوسط یا بزرگ، نشان می‌دهد. شکل الف-۳ نمودار مربوط به انتخاب مناسب‌ترین روش مطلق، با توجه به سطح درستی مورد نیاز را نشان می‌دهد.

جدول‌های الف-۱ و الف-۲، شکل‌های الف-۲ و الف-۳ برای کمک به کاربر در انتخاب مناسب‌ترین روش و تفسیر خوانش‌های MC (یا WC) در حوزه میراث فرهنگی، مفید هستند.

الف-۲ روش وزن‌سنجی

الف-۲-۱ کلیات

روش وزن‌سنجی، یک روش مستقیم و مطلق برای تخمین میزان رطوبت (شامل ترکیبات فرار آزادشده در دماهای متوسط) در مصالح است و این روش، مقدار رطوبت گرفته شده از نمونه را در زمان خشک کردن، ارائه می‌کند.

این روش بر مبنای تعیین کاهش جرم نمونه وزن شده قبل و بعد از خشک کردن است که توسط یک ترازوی تحلیلی (آزمایشگاهی) اندازه‌گیری می‌شود. کاهش جرم می‌تواند به جرم آب خارج شده از نمونه مربوط بوده و معمولاً به صورت درصدی از جرم نهایی (نمونه خشک شده) بیان می‌شود.

این روش، مستقل از نوع ماده است. روش‌های اجرایی کلی برای چوب در استاندارد 2002: EN 13183-1: 2002 برای مصالح بنایی در استاندارد 1999: EN 772-10: 1993، برای مواد معدنی در استاندارد 1993: ISO 11465 مشخص شده است. به هر حال ممکن است مصالح میراث فرهنگی، نیاز به روش‌های اجرایی خشک کنی خاصی داشته باشند که در بند الف-۳ مشخص شده است.

روش وزن‌سنجی به طور ویژه مناسب است زیرا قادر است نتایج کمی درستی را ارائه دهد. بهتر است این روش به عنوان مرجعی برای واسنجی دستگاه‌های سایر روش‌ها به کار رود، به شرطی که از موادی با نوع یکسان با مواد تحت بررسی یا بسیار شبیه به آن استفاده شود.

محدودیت عمدۀ این روش، مخرب بودن و به طور کلی مناسب نبودن آن برای میراث فرهنگی است. اصولاً، کل کاهش جرم پس از خشک کردن، تعیین می‌شود، نه صرفاً میزان رطوبت. علاوه بر رطوبت، سایر ترکیبات فرار موجود در نمونه و/یا محصولات تجزیه‌ای ممکن است، تعیین شوند. در نتیجه، مناسب‌ترین روش خشک کردن (همان‌طور که در بند الف-۳ تشریح شده است) باید مورد توجه قرار گرفته و اعمال شود.

الف-۲-۲ تجهیزات

الف- ترازوی تجزیه‌ای: باید دارای دست کم ۴ رقم (با تفکیک پذیری mg ، $0,1$) بوده و قادر به خوانش٪ ۰,۱ جرم نمونه آزمون باشد. ترازو باید به درستی واسنجی شده و در اتاقی با رطوبت نسبی و دمای پایدار مستقر و به طور صحیح، به کار اندخته شود؛

ب- کفه‌های توزین (یا سایر ظروف نمونه): باید خنثی، مهروموم شده، غیر خورنده بوده و ظرفیت آن مناسب برای جرم نمونه آزمون باشد؛

پ- خشک کن: گرمخانه تهویه‌دار یا سایر وسایل خشک کنی که در بند الف-۳ مشخص شده است؛

ت- در صورت امکان دستگاه‌های کنترل دما، فشار یا رطوبت (همان‌طور که در زیربندهای الف-۳، الف-۴، الف-۵ و الف-۶ مشخص شده است).

الف-۲-۳ روش اجرایی

روش وزن‌سنجی بر مبنای گام‌های زیر است:

الف- مانند بند ۷، باید یک نمونه آزمون مرطوب، از مصالح ساختمانی برداشته شود؛

ب- جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب m_H ، باید توسط ترازوی تجزیه‌ای تعیین شود؛

پ- نمونه آزمون مرتبط باید با یکی از روش‌های اجرایی بیان شده در بند الف-۳، رسیدن به وزن ثابت، کاملاً خشک شود؛

ت- جرم نمونه پس از خشک شدن m_o باید توسط ترازوی آزمایشگاهی تعیین شود؛

ث- جرم آب m_w خارج شده (استخراج شده) از نمونه، باید به صورت اختلاف $m_H - m_o$ تعیین شود؛

ج- نسبت m_w/m_o باید محاسبه شود و بر حسب درصد (%) جرم خشک، همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده است، بیان شود؛

چ- گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

الف-۳ روش‌های اجرایی خشک کردن در روش وزن‌سنجی

الف-۳-۱ کلیات

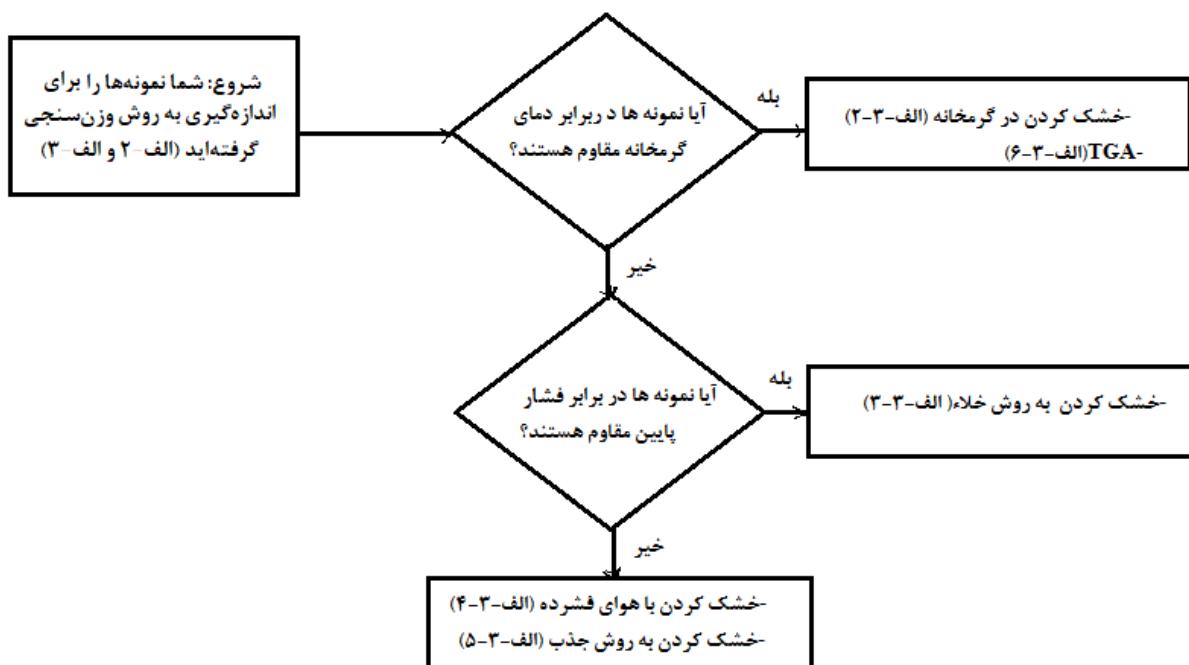
این روش خشک کردن که در استاندارد 2002 EN 13183-1: 1999 برای چوب، یا استاندارد 772-10: 2002 EN برای مصالح بنایی، بر مبنای خشک کردن در گرمخانه تهویه دار در دمای $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ مشخص شده است. به هر حال، مصالح میراث فرهنگی ممکن است حاوی موادی باشند که در برابر دمای خشک کردن با گرمخانه، مقاومت نداشته باشند؛ بنابراین کاهش وزن ممکن است ناشی از عواملی غیر از رطوبت باشد.

در برخی موارد ممکن است مصالح در برابر حرارت، مقاوم باشند ولی لاکزده شده یا آغشته به ترکیبات آلی باشند که به محض قرارگیری در دمای گرمخانه، تبخیر می‌شوند (برای مثال چوب پلی کروم یا چوب آغشته به موم). در این گونه موارد، تغییر جرم نمونه خشک شده در گرمخانه، شامل خروج ترکیبات آلی فرار (VOC) بوده و مربوط به خروج آب نیست.

به طور کلی، آب متبلور در دمای بین 170°C تا 200°C خارج می‌شود ولی برخی از مواد معدنی هیدراسیون شده موجود در مصالح بنایی، ممکن است آن را در دماهای پایین‌تر آزاد کنند.

به منظور پیشگیری از نتایج گمراه کننده و مبهم، با توجه به واکنش نمونه ماده به دما و/یا فشار، سه روش جایگزین برای خشک کردن (یعنی خشک کردن گرمخانه، خلاء و ماده رطوبت‌گیر) توصیه می‌شود. کاهش فشار این امکان را خواهد داد که دمای خشک کردن، کمتر شود (یعنی تا دمای 40°C).

در صورتی که نمونه در برابر دمای گرمخانه مقاوم باشد، خشک کردن نمونه باید مطابق با زیربندهای الف-۳ و الف-۳-۶ انجام شود؛ برای پیشگیری از تجزیه ماده، واکنش‌های کاهش و/یا سایر واکنش‌های شیمیایی یا تبدیلات ماده، که ممکن است وزن نمونه خشک را تحت تاثیر قرار دهد، خشک کردن نمونه باید مطابق با زیربندهای الف-۳-۵ تا الف-۳-۳ انجام شود. این موارد در نمودار شکل الف-۱ نمایش داده شده است.



شکل الف-۱- نمودار گردشی برای کمک به انتخاب روش خشک کردن. اعداد داخل پرانتزها اشاره به شماره زیربندها دارند

الف-۳-۲ خشک کردن در گرمخانه

الف-۳-۱-۲ کلیات

این روش خشک کردن برای مصالح مقاوم در برابر حرارت و پایدار تademai $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ (برای مثال چوب آماده سازی نشده، سنگ آهک، ملات، آجرها و بتون) به کار می‌رود.

الف-۳-۲-۲ تجهیزات

گرمخانه تهویه‌دار باید دارای مشخصه‌های زیر باشد:

الف- در فشار اتمسفر معمولی، دمای خشک کردن باید برابر با $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ باشد؛

ب- دمای همه نقاط داخل گرمخانه باید یکنواخت باشد؛

پ- در صورت امکان، تهویه گرمخانه باید شامل جریان آرام هوای خشک باشد که با نرخ $10000 \text{ cm}^3/\text{hr}$ تا $40000 \text{ cm}^3/\text{hr}$ وارد شود؛

ت- هوای وارد شده به درون دستگاه رطوبت‌گیر باید خشک باشد (برای مثال با استفاده از خشک‌کن یا هوای فشرده یا نیتروژن)؛

ث- تهویه هوای نایید موجب پراکنده شدن نمونه در داخل گرمخانه شود که ریسک کاهش وزن قابل توجهی را موجب می‌شود.

الف-۳-۲-۳ روش اجرایی خشک کردن

الف- نمونه باید در یک گرمخانه تهویه‌دار با دمای $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ تارسیدن به جرم ثابت، خشک شود. منظور از ثابت شدن جرم نمونه این است که اختلاف بین دو خوانش متوالی با فواصل چهار ساعت، کمتر از 0.5% باشد.

ب- سرد شدن نمونه تا دمای محیط، باید با استفاده از زمان‌سنج رومیزی، برای همه نمونه‌ها یکسان بوده و به صورت کنترل شده باشد.

یادآوری- حتی در دمای گرمخانه، کل آب خارج نمی‌شود زیرا بین نمونه‌ها و رطوبت نسبی هوای محیط یک تعادل برقرار می‌شود. به همین دلیل در روش خشک کردن در گرمخانه، می‌توان فرض کرد که هنوز 0.5% آب در نمونه باقی مانده است.

الف-۳-۳ خشک کردن در خلاء

الف-۳-۳-۱ کلیات

این روش برای مصالحی که در برابر دمای گرمخانه مقاومت نداشتند ولی در برابر فشار پایین مقاوم هستند، کاربرد دارد.

الف-۳-۳-۲ تجهیزات

الف- پمپ خلاء؛

ب- خشک کننده خلاء برای اهداف آزمایشگاهی عمومی مطابق با استاندارد EN ISO 13130: 2011؛

پ- سنجه خلاء مطابق با استاندارد ISO 3567: 2011.

الف-۳-۳-۳ روش اجرایی خشک کردن

الف- یک نمونه باید مطابق با بند ۷ اخذ شود؛

ب- فشار هوای داخل محفظه باید توسط پمپ خلاء تا $\text{hPa} (4 \pm 2)$ پایین آورده شود (یعنی پایین‌تر از فشار بخار اشباع آب در دمای محیطی)؛

پ- فشار محفظه باید توسط یک سنجه خلاء، پایش شود؛

ت- سامانه باید در دمای محیط، بالاتر از نقطه انجماد آب ($t > 0^\circ\text{C}$) نگه داشته شود؛

ث- به محض خشک شدن نمونه، عملیات و محاسبات باید مطابق با استاندارد EN 13183-1: 2002 انجام شود.

الف-۳-۴ خشک کردن با هوا فشرده

الف-۳-۴-۱ کلیات

این روش برای مصالحی کاربرد دارد که در برابر دمای گرمخانه و فشارهای پایین مقاومت ندارند. در این روش، نمونه با قرارگیری در داخل یک سلول خشک می‌شود که هوا تمیز و خشک حاصل از هوا فشرده به‌طور پیوسته در آن جریان یافته و رطوبت آزادشده از نمونه را با خود خارج می‌کند.

این روش در مقایسه با روش خشک کردن گرمخانه و خلاء به مدت زمان بیشتری نیاز دارد، ولی باعث ایجاد تنفس‌های حرارتی یا آسیب‌دیدگی ناشی از خلاء به ماده نمی‌شود.

به‌دلیل این‌که نرخ خشک‌شدن آهسته بوده و به نوع ماده و اندازه نمونه بستگی دارد، لازم است که جرم نمونه در سلول رطوبت‌گیر به صورت تابعی از زمان گزارش شود و هنگامی که تغییر جرم نمونه طی خوانش‌های متوالی به حدود یک درصد رسید، فرآیند متوقف شود.

الف-۴-۳ تجهیزات

الف- خشک‌کننده هوا فشرده، مطابق با استاندارد ISO 7183: 2007

ب- رطوبت‌سنج نقطه شبنم نوع سردکننده بازتابی، مطابق با EN 16240: 2012

الف-۳-۴-۲ روش اجرایی خشک کردن

الف- نمونه باید داخل سلول خشک کن قرار گرفته و تا رسیدن به جرم ثابت، خشک شود؛

ب- دمای نقطه شبنم هوا خشک دمیده شده از کمپرسور، باید کمتر از 30°C باشد؛

پ- در صورت امکان، هوا خشک باید با نرخ بین $10000\text{ cm}^3/\text{hr}$ و $40000\text{ cm}^3/\text{hr}$ جریان یابد؛

ت- تهویه تحت نیروی هوا خشک حاصل از کمپرسور نباید موجب پراکندگی نمونه در گرمخانه شود که ریسک کاهش وزن قابل توجهی را موجب می‌شود؛

ث- به محض خشک کردن نمونه، عملیات و محاسبات باید بر اساس استاندارد EN 13183-1: 2002 انجام شوند.

الف-۳-۵ خشک کردن جذبی

الف-۳-۵-۱ کلیات

این روش برای مصالحی کاربرد دارد که در برابر دماهای گرمخانه و فشارهای پایین مقاومت نداشته و جایگزینی برای خشک کردن با هوا فشرده است.

در این روش نمونه با قرارگیری داخل یک دستگاه رطوبت‌گیر دارای ماده رطوبت‌گیر موثر، خشک می‌شود.

به دلیل این که نرخ خشک کردن پایین بوده و به نوع ماده و اندازه نمونه بستگی دارد، لازم است که جرم نمونه موجود در سلول خشک کن، به صورت تابعی نسبت به زمان، گزارش شود و هرگاه تغییر جرم نمونه در خوانش های متوالی به حدود یک درصد رسید، فرآیند متوقف شود.

الف-۳-۵-۲ تجهیزات

الف- دستگاه رطوبت گیر برای اهداف آزمایشگاهی عمومی. دستگاه رطوبت گیر از یک محفظه شیشه‌ای قابل درزبندی تشکیل می‌شود، معمولاً طوری طراحی می‌شود که عامل خشک کننده در فضای پایینی و نمونه در قسمت بالای صفحه‌ای که حاوی منفذهایی برای پخش داخلی بخار آب است، قرار داده می‌شود. دستگاه رطوبت گیر شیشه‌ای باید با استاندارد ۲۰۱۱: EN ISO 13130 مطابق باشد؛

ب- ماده رطوبت گیر. ماده رطوبت گیر باید خواص آب‌دوستی و رطوبت گیری قوی داشته باشد، برای مثال سیلیکازل (SiO_2), فسفر پنتاکسید (P_4O_{10}), باریوم موناکسید (BaO), منیزیم پرکلرات ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$), کلسیم کلرید بدون آب (CaCl_2), آلومینین فعال شده (Al_2O_3), آلومینیوم سیلیکات ($\text{AlNa}_{12}\text{SiO}_5$) و لیتیوم کلرید (LiCl).

پ- حسگر رطوبت نوع خازنی یا رطوبت‌سنجد نقطه شبنم نوع سردکننده بازتابی^۱ (که در استاندارد ۲۰۱۲: EN 16240 تشریح شده است).

الف-۳-۵-۳ روش اجرایی خشک کردن

الف- نمونه باید در داخل سلول خشک کن قرار داده شده و تا زمان رسیدن به جرم ثابت، خشک شود؛

ب- پس از رطوبت گیری، نمونه باید با RH داخل دستگاه رطوبت گیر که باید کمتر $\pm 11/30$ % باشد، به تعادل برسد. رطوبت گیری نمونه در یک یا دو مرحله، به صورت زیر انجام می‌شود:

۱- گام اول، MC نمونه را تا آستانه مورد نیاز یا نزدیک آن، پایین می‌آورد. یک ماده رطوبت گیر موثر، باید در محفظه دستگاه رطوبت گیر شیشه‌ای استفاده شود. با توجه به رطوبت قابل برداشت، باید از مواد رطوبت گیر بیشتری استفاده شود. با توجه به نمک‌های مورد استفاده، وجود بلورهای نامحلول در حالت تعادل، بیانگر این است که سطح RH، پایین‌تر از سطح مرطوب شدن نمک به کار رفته، است، برای مثال CaCl_2 برای $\text{RH} \leq 32\%$ در صورتی که $\text{RH} \leq 11/30 \pm 3\%$ باشد، یک حسگر رطوبت نوع خازنی یا رطوبت‌سنجد نقطه شبنم سردکننده از نوع بازتابی، باید برای بررسی استفاده شود. در غیر این صورت، یا در صورتی که اندازه گیری امکان‌پذیر نباشد، مرحله بعدی اعمال می‌شود؛

۲- گام دوم، تعادل را تا فاصله مورد نیاز پایین می‌آورد، یعنی $\text{RH} = 11/30 \pm 3\%$. بهتر است از لیتیوم کلرید (LiCl) با مشخصات $\pm 3\%$ ، مقدار $\text{RH} = 11/30$ ٪ سطح آب‌دوستی در گستره

1- Chilled-mirror dew point hygrometer

دماهی $^{\circ}\text{C}$ (۰ تا 35°C) صفر تا 35°C به عنوان ماده رطوبت‌گیر استفاده شود. وجود بلورهای نامحلول کلرید لیتیوم (LiCl) نشان می‌دهد که RH داخلی دستگاه رطوبت‌گیر به $\pm 3\%$ $\pm 11\%$ رسیده است. به هر حال، علی‌رغم استفاده از قوی‌ترین مواد رطوبت‌گیر، ممکن است باز هم مقداری رطوبت در نمونه باقی بماند.

پ- به محض این‌که نمونه خشک شد، عملیات و محاسبات باید مطابق با استاندارد EN 13183-1: 2002 انجام شود.

الف-۳-۶ تجزیه و تحلیل وزن‌سنجدی حرارتی (TGA)

الف-۳-۶-۱ کلیات

این روش ممکن است یک حالت پیچیده از روش خشک‌کردن در گرمخانه باشد، مزیت ویژه آن به‌دلیل نیاز به نمونه‌های بسیار کوچک و انجام اندازه‌گیری‌ها سریع، است. توازن حرارتی، به‌طور خودکار، در حالی که نمونه با جریانی از اتمسفر کنترل شده حرارت داده می‌شود، تغییر وزن آن را ثبت می‌کند. رطوبت به‌طور پیوسته از نمونه خارج شده و کاهش وزن تا رسیدن نمونه به وزن ثابت، ثبت می‌شود. همچنین تغییر وزن نمونه به‌صورت تابعی از زمان و دما ثبت می‌شود.

برای تشخیص این‌که آب در چه دماهی آزاد می‌شود، TGA مفید است (برای مثال برای فهمیدن این‌که آیا آب متبلور وجود دارد یا برای فهمیدن این‌که چه زمانی آب در اثر تجزیه، مانند واکنش‌های چگالش تولید می‌شود)، بلکه برای پایش مستقیم تجزیه نیز مفید است (برای مثال انتشار CO_2 ، NH_3 و سایر گازها).

TGA می‌تواند با روش‌های تشخیص انتخابی نظیر طیفسنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)^۱، یا طیفسنج جرمی (MS)^۲ ترکیب شود که فقط اجازه اندازه‌گیری کمی انتشار آب را خواهد داد.

الف-۳-۶-۲ تجهیزات

الف- ترازو با دقیق میکروگرم؛

ب- کوره (معمولًا از گرمکننده‌های مقاومتی و حسگرهای دما ساخته شده‌است)؛

پ- منبع گاز نیتروژن خالص، کم فشار و خشک؛

ت- برنامه‌نویس / کنترل کننده؛

ث- رایانه یا سامانه دریافت داده‌ها.

1- Fourier transform infrared spectrometry

2- Mass spectrometry

الف-۳-۶-۳ روش اجرایی

- الف- نمونه باید مطابق با بند ۷ اخذ شود؛
- ب- جرم نمونه مرطوب باید توسط ترازوی آزمایشگاهی با دقت میکروگرم، که بیرون گرمخانه می‌ماند، اندازه‌گیری شود؛
- پ- TGA باید با افزایش تدریجی دمای نمونه داخل گرمخانه، به کار انداخته شود؛
- ت- دمای گرمخانه باید به کمک ترموکوپل، پایش شود؛
- ث- تغییر وزن نمونه باید با یک ترازوی با دقت میکروگرم، ردگیری شود؛
- ج- داده‌ها باید به صورت درصد وزنی (%)، نسبت به دما (°C) ثبت شوند تا انتقالات حرارتی نمونه را نشان-دهند، برای مثال کاهش آب در اثر تبخیر، تجزیه و آزاد شدن VOC، آب محلول در مصالح غیر آلی.
- چ- گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

الف-۴ تیتراسیون کارل فیشر

الف-۴-۱ کلیات

تیتراسیون کارل فیشر (KFT) یک روش تحلیلی درست برای تعیین مقدار آب نمونه‌های جامد و مایع است. برخلاف وزن‌سنجی، تقطیر آزوتروبیک و کلسیم‌کربید (CaC₂), که برای رطوبت (MC) متداول هستند، KFT یک روش خاص آب (WC) است. به دلیل این‌که در روش خشک‌کردن با گرمخانه و کاهش وزن، مواد فرار به جای آب خارج خواهند شد، که موجب افزایش مقدار MC در تفسیرها خواهد گردید، این روش می‌تواند درست‌تر از روش وزن‌سنجی باشد. این حالت به‌طور خاص برای مصالحی که با موم، روغن یا جladهنه‌ها اندود شده‌اند، مناسب است.

این روش بر مبنای تعیین مستقیم جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب m_H و جرم آب m_w توسط KFT از نمونه استخراج می‌شود، است.

نمونه ماده در یک حلال بدون آب، که نقش واسط را دارد، حل می‌شود. در صورتی که جامد از نوع غیر حل‌شونده باشد، حلال برای رقیق‌کردن رطوبت خارج از جامد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به محض این‌که آب به حلال منتقل شد و در سلول تیتراسیون قرار گرفت، با استفاده از یک عامل KF، آب به کمک تیتراسیون شیمیایی، اندازه‌گیری می‌شود.

تیتراسیون به دو روش عمدۀ قابل انجام است، یعنی حجم‌سنجی (V-KFT، به زیربند الف-۴-۴ مراجعه شود) که حساسیت کمتری داشته و نیاز به نمونه‌های بزرگ‌تری دارد، و کولون‌سنجی (C-KFT به زیربند الف-۴-۵ مراجعه شود) که حساسیت بیشتری داشته و به نمونه‌های کوچک‌تری نیاز دارد.

در موردی که برای استخراج آب از نمونه، نیاز به دمای بالاتری باشد، KFT مزیت تبخیر در گرمخانه گرمادهی شده را دارد (به زیربندها الف-۴-۶ مراجعه شود) و بخار توسط گاز حامل برای مثال هوای خشک یا نیتروژن، به سلول تیتراسیون منتقل می‌شود.

استخراج آب از نمونه باید مطابق با استانداردهای ISO 15512، EN ISO 760 و ISO Guide 34 و استاندارد EN ISO/IEC 17025: 2005 انجام شود.

جرم نمونه‌های برداشته شده معمولاً کم است. KFT برای گستره وسیعی از WC از یک قسمت در میلیون (ppm) تا ۵۰٪ کارایی دارد. تجزیه و تحلیل سریع (دها دقیقه) و درست (تا ۵ ppm) است.

نتایج اندازه‌گیری‌های KFT معمولاً بر حسب درصد (٪) نمونه مرطوب بیان می‌شود. برای این‌که این مقادیر با مقادیر حاصل از سایر روش‌ها قابل مقایسه باشد، همه اندازه‌گیری‌های WC باید با استفاده از معادله (۳) مشخص شده در زیربندها تبدیل شوند، با این تفاوت که در معادلات مذکور به جای MC از WC استفاده شود.

الف-۴-۲ تجهیزات

به‌طور کلی، تجهیزات KFT متشکل از تجهیزات آزمایشگاه شیمیایی متداول است. چندین دستگاه تیتراسیون KF وجود دارد که از نظر طراحی و اصول کار، راحتی استفاده از آن‌ها و حمل و نقل و جابه‌جایی باهم فرق دارند. دستگاه‌های ساده‌ای شامل یک بورت^۱ و یک سامانه نشان‌دهی هستند. تیترکننده‌ها به‌طور خودکار عمل تیتراسیون را انجام داده، وزن نمونه تعیین شده را ثبت، نرخ تیتراسیون را با مقدار آب موجود در نمونه تطبیق داده و نتایج را چاپ می‌کنند.

این بند عمومی‌ترین حالت‌ها را گزارش می‌دهد؛ بعضی موارد خاص مربوط به C-KFT، V-KFT و KFT است. تبخیر در گرمخانه به ترتیب در زیربندهای الف-۴-۴، الف-۴-۵-۴ و الف-۴-۶-۴ گزارش خواهد شد.

الف- سلول تیتراسیون. سلول تیتراسیون شامل یک محفظه کوچکتر است که دارای کاتد غوطه‌ور در محلول آند محفظه اصلی است. سلول باید از جنس شیشه باشد که توسط درزبندی‌های پلاستیکی مهره‌موم شود. بهتر است اندازه سلول بیش از حد لزوم بزرگ نباشد زیرا حجم بدون استفاده، خود منبعی از رطوبت غیرعادی خواهد بود.

ب- سازوکار همنز مغناطیسی. این سازوکار باید در داخل سلول موجود باشد تا از اختلاط سریع واکنش‌گرها اطمینان حاصل شود؛

پ- پیپت‌ها و سرنگ‌ها. پیپت‌ها باید از جنس شیشه باشند. برای افزایش حجم نمونه‌های کم حجم (کمتر از ۵ cm³) سرنگ‌های پلاستیکی با سیلندر واسنجی شده نیز می‌تواند استفاده شود؛

ت- حلال‌ها و عوامل KF، باید مطابق با دستورالعمل‌هایی که توسط تولیدکنندگان و دفترچه راهنمای عامل KF ارائه شده است، مورد استفاده قرار گیرد.

الف-۴-۳ روشهای اجرایی

روش KF بر مبنای تعیین مستقیم جرم اولیه نمونه آزمون مرتبط m_H و جرم آب m_w استخراج شده از نمونه است. جرم نمونه خشک، یا مقدار WC بر مبنای خشک، باید همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده، محاسبه شود.

روش اجرایی تعیین m_w باید همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده باشد. این بند معمول‌ترین حالات را گزارش می‌دهد؛ برخی از روش‌های خاص V-KFT و C-KFT و OV-KFT تبخیر در گرمخانه، به ترتیب در زیربندهای الف-۴-۴-۳-۵-۴، الف-۴-۳-۶-۴ و الف-۴-۳-۶-۴ گزارش خواهد شد.

هشدارهای تکمیلی:

الف- سلول تیتراسیون. نفوذ رطوبت اتمسفری باید در یک کمینه نگهداشته شود. سلول باید در زمان استفاده بدون هیچ منفذی پلمپ شود و فقط برای افزودن نمونه یا ریختن مجدد حلال به‌طور مختصر باز شود. قبل از استفاده، سلول باید با متنالول شستشو داده شده و خشک شود. در صورتی که سلول برای مدت طولانی بلا استفاده باشد، باید کاملاً باز شود.

ب- پیپتها و سرنگ‌ها. پیپ‌های شیشه‌ای باید برای افزودن واسط و عامل کاری به داخل سلول، مورد استفاده قرار گیرد. زیرا آن‌ها افزودن درست و محافظت بهتر در برابر نفوذ رطوبت را تضمین می‌کنند. قبل از استفاده، پیپ‌ها و سرنگ‌ها باید با متنالول شستشو داده شده و خشک شوند.

پ- حلال‌ها و عوامل (تیترکننده‌ها) KF. حلال‌ها و عوامل باید میزان رطوبت کمی داشته و حاوی هیچ ناخالصی نباشند. متنالول یک حلال تیتراسیون متداول است که قطبیت زیادی داشته و ظرفیت قابل ملاحظه‌ای برای استخراج آب دارد. برخی از معرف‌های KF تمایل به رسوب دارند که به‌طور قابل توجهی می‌تواند گستره تیتر را تغییر دهد. این حالت ممکن است بروز نماید، اگرچه با توجه به اطلاعات روی بطری معرف، بهترین تاریخ، قبل از تاریخ تعیین شده بوده و هنوز در این بازه قرار دارد. به همین دلیل، معرف‌های تازه باید مورد استفاده قرار گیرد؛

ت- واکنش‌های فرعی. KFT مخصوص WC است اگر هیچ واکنش فرعی با حلال یا معرف KF انجام ندهد. این بدان معنی است که بهتر است در واکنش‌های فرعی، هیچ آبی آزاد نشده و بهتر است نمونه یُد را مصرف یا آزاد نکند. واکنش‌های فرعی امکان وقوع دارند که آب یا ید را به مصرف خواهند رساند. بیشتر واکنش‌های فرعی (ناخواسته و تصادفی) را می‌توان با اقدامات مناسبی متوقف کرد. مهمترین مواد تداخلی عبارتند از: کربنات‌ها، هیدروکسیدها و اکسیدها؛ آلدئیدها و کتون‌ها؛ اسیدهای قوی؛ پروکسیدهای فلزی؛ معرف‌های کاهشی؛ معرف‌های اکسایشی قوی؛

ث- کاربر باید از دستورالعمل‌های تولیدکننده و دفترچه راهنمای معرف KF کمک بگیرد که واکنش‌های فرعی احتمالی و چگونگی غلبه بر آن‌ها را برای انتخاب مناسب حلال‌ها و معرف‌های تیتراسیون KF را تشریح می‌کند؛

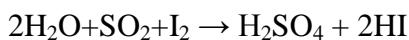
ج- گزارش آزمون. پس از تعیین مقدار آب نمونه مصالح، گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

الف-۴-۴-۴ تیتراسیون KF حجم‌سنجدی (V-KFT)

الف-۱-۴-۴-۴ کلیات

مقدار آب نمونه ماده توسط V-KFT آب همراه با یک محلول یُددار، اندازه‌گیری می‌شود. این روش مقدار آب استخراج‌شده از نمونه را با در نظر گرفتن جرم بیان‌شده آن بر حسب گرم معادل با حجم آن بر حسب m_w cm^3 ، تعیین می‌کند.

تجزیه و تحلیل حجم‌سنجدی این مزیت را دارد که ید موجود در معرف‌های KF به صورت کمی و انتخابی، با آب واکنش می‌دهد. کمیت‌گذاری بر این اصل استوار است که ۱ مول ید (۲۵۴ g) با ۱ مول آب (18 g) واکنش می‌دهد. نقطه پایان با ظهور رنگ قهوه‌ای ید آزاد، مشخص می‌شود. تا زمانی که آب در محلول وجود داشته باشد، ید مصرف خواهد شد.



پیریدین یا ایمیدازول اضافه پیوند خورده و از تلف شدن دی اکسید گوگرد جلوگیری می‌کند و مтанول به عنوان محیط حلal عمل می‌کند. اگر ماده‌ای با معرف‌های KF واکنش داده و آب آزاد کرده یا ید مصرف کند؛ این عمل ممکن است منجر به خطاهای بزرگ اندازه‌گیری شود. V-KFT نیاز به تعیین تیتر مناسب دارد.

مقدار آب بر مبنای WC_w ، باید مطابق با معادله زیر، از مقدار تیتر شده، تعیین شود:

$$WC_w (\%) = \frac{\text{حجم تیتراسیون} (cm^3) \times \text{جرم} (g_{H_2O} cm^{-3})}{\text{جرم نمونه} (g)} \times 100 \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن حجم تیتراسیون (cm^3) ضرب در تیترکننده ($g_{H_2O} cm^{-3}$)، جرم آب m_w خارج شده از نمونه (g) را به دست داده و جرم نمونه برابر جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب m_H است. برای این‌که این مقادیر با مقادیر حاصل از سایر روش‌ها قابل مقایسه باشند، همه اندازه‌گیری‌های WC باید با استفاده از معادله (۳) مشخص شده در زیربند ۱-۵ با تبدیل به مبنای خشک به WC تبدیل شوند، با این تفاوت که در معادلات مذکور به جای MC از WC استفاده شود.

V-KFT حساسیت کمتری دارد ولی قوی‌تر از C-KFT است. نمونه‌های که حاوی مقادیر زیادی آب هستند ترجیحاً به روش تیتراسیون حجم‌سنجدی تعیین می‌شوند. KF حجم‌سنجدی همچنین این مزیت‌ها را دارد که نمونه‌های جامد یا خمیری می‌توانند مستقیماً به مجرای تیتراسیون وارد شده و تجزیه و تحلیل‌ها با انواع

مختلفی از حللهای آلی که به طور ویژه برای استفاده با یک نمونه خاص سازگار شده‌اند، می‌تواند انجام شود.

الف-۴-۴-۲ تجهیزات

همان‌طور که در زیریند الف-۴-۲ مشخص شده است اما با ارجاع ویژه به وسائل مربوط به تیتراسیون حجم‌سنجی مدنظر است.

الف-۴-۴-۳ روش اجرایی

الف- بهتر است نمونه مورد نظر کم‌وبیش حل شود. در صورتی که حل شدن غیرممکن باشد، نمونه باید خرد شده و خوب همگن شود (بهتر است دست کم٪ ۹۰ از ذرات کوچک‌تر از $100\text{ }\mu\text{m}$ باشند)؛

ب- حللهای و مراجع تجاری مختلفی وجود دارند، اما انتخاب باید بر اساس دفترچه راهنمای محصول انجام شود؛

پ- تیتراسیون‌های حجم‌سنجی به‌طور معمول نیاز به 20 cm^3 تا 50 cm^3 معرف دارند؛

ت- اشکالاتی که باید کنترل شود شامل ابزار دقیق رانش دستگاهی، سفتی همه اتصالات لوله‌کشی و سلول تیتراسیون است؛

ث- بهتر است کاربر آزمایشگاه مصرف حللهای KF را در گستره $\text{mm}^3\text{ min}^{-1}$ (۵ تا ۱۰) حفظ کند. این عمل به مقدار نمونه و WC نمونه، بستگی دارد؛

ج- اگر فقط نمونه‌های کوچک با مقدار آب نسبتاً پایین (کمتر از٪ ۵) موجود باشند، رانش ممکن است در پراکندگی نتایج اندازه‌گیری، تاثیر داشته باشد (تکرار پذیری روش)؛

یادآوری- 1 cm^3 مایع، متناظر با 1 ml(mL) $1\text{ }\mu\text{l(}\mu\text{L)}$ است.

الف-۴-۵ تیتراسیون KF کولون‌سنجی (C-KFT)

الف-۴-۵-۱ کلیات

مقدار آب نمونه ماده توسط C-KFT آب با الکترولیز اندازه‌گیری می‌شود. این روش جرم آب m_w استخراج شده از نمونه را با کمک تعداد بارهای الکتریکی استفاده شده در الکترولیز، تعیین می‌کند. C-KFT بر مبنای تولید الکتروشیمیایی ید است که با همان مقدار آب واکنش می‌دهد. C-KFT نسبت به V-KFT حساسیت بیشتری دارد (معمولأً ضریبی از ۵). تیتراسیون‌های کولون‌سنجی معمولاً به 100 cm^3 معرف نیاز دارند.

در تیتراسیون کولون‌سنجی، اکسایش الکترولیتی با افزودن نمونه به محلول یونی یدید به جای ید موجود در معرف KF، حاصل می‌شود، و به عنوان معرف تیتراسیون برای تیتراسیون حجم‌سنجی استفاده می‌شود.

اکسایش الکترولیتی، در آند، ید تولید می‌کند. مقدار آب m_w از بار الکتریکی (برحسب کولون) مورد نیاز برای الکترولیز، همان‌طور که در فرمول (الف-۲) مشخص شده است، تعیین می‌گردد.

در طول تیتراسیون، مدار جریان، جریان ثابتی را بین دو الکترود شناساگر برقرار می‌کند.

جریان الکتریسیته از نظر استوکیومتری مقدار متناظری ید را در اثر الکترولیز از یدید موجود در معرف KF آزاد می‌کند. مطابق با قانون فارادی در الکترولیز، جرم ماده تبدیل شده که در این مورد آب موجود در نمونه است، برابر است با:

$$m_w(g) = \frac{\text{ثابت فارادی} \times \left(\frac{\text{بار الکتریکی}}{\text{جرم مولی}} \times (A \cdot s) \right)}{z \times 100} \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن:

جرم مولی آب برابر 18 g mol^{-1} ؛

بار الکتریکی به صورت حاصل ضرب شدت جریان (A) الکترولیز در مدت زمان عملیات(s) بیان می‌شود؛

z تعداد الکترون‌های مبادله شده ($z = 2 \text{ I}^- - 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{I}_2$) و

F ثابت فارادی است (معادل الکتروشیمیایی) یعنی $1 \text{ F} = 96485 \text{ coulomb mol}^{-1}$ برابر با $1 \text{ F} = 96485 \text{ coulomb mol}^{-1}$ است.

زمان و شدت جریانی که برای رسیدن به نقطه پایانی تیتراسیون لازم است توسط دستگاه، اندازه‌گیری می‌شود. حاصل ضرب (زمان × جریان) مستقیماً متناسب با مقدار ید تولید شده بوده و بنا بر این متناسب با مقدار آب تعیین شده، است.

برای این‌که این مقادیر، با مقادیر حاصل از سایر روش‌ها، قابل مقایسه باشد، همه اندازه‌گیری‌ها باید برحسب WC و با استفاده از معادله (۳)، همان‌طور که در زیربند ۵-۱-۲ مشخص شده، بر مبنای خشک، تبدیل شده ولی به جای MC از WC استفاده شود.

الف-۴-۵-۲ تجهیزات

تجهیزات مشخص شده در زیربند الف-۴-۲، به اضافه یک مدار شناساگر برای اندازه‌گیری زمان و شدت جریان در الکترودها مورد نیاز است.

الف-۴-۵-۳ روش اجرایی

الف- نمونه‌های حل شده یا پخش شده باید با استفاده از یک سرنگ، به سلول تیتراسیون وارد شوند. نمونه باید به سرعت وارد شود (برای مثال برای پیشگیری از نفوذ رطوبت هوای خارجی).

ب- C-KFT می‌تواند در دو حالت مختلف، با دیافراگم و بدون آن اجرا شود. سلول دارای دیافراگم از دو محلول استفاده می‌کند، یکی در محفظه کاتد و دیگری در محفظه آند استفاده می‌شود. سلول بدون دیافراگم از یک محلول استفاده می‌کند که حاوی همه معرفه‌های مورد نیاز برای KFT است. باید به دفترچه

دستورالعمل راهنمای مراجعه شود. اشکال عمدی این است که برخی از نمونه‌ها، روی الکترود رسوب می‌کنند که ممکن است منجر به طولانی شدن تیتراسیون‌ها شود (نقطه پایانی وجود نداشته باشد). استفاده از دیافراگم همیشه وضعیت را بهبود نداده و در چنین موارد، بهتر است استفاده C-KFT تبخیر در گرمخانه، ترجیح داده شود.

پ- تعیین آب کولون‌سنجد اصولاً باید برای تعیین مقادیر اندک آب استفاده شود (WC از یک قسمت در میلیون (ppm) تا ۲٪). مقادیر زیاد آب ممکن است به زمان زیادی نیاز داشته باشد و/یا ممکن است ظرفیت آب یک معرف KF را افزایش دهد که می‌تواند منجر به نتایج نادرست شود. واکنش‌های فرعی محتمل هستند و دفترچه راهنمای تولیدکننده باید به دقت مطالعه شود.

ت- دیواره سلول تیتراسیون باید به‌طور منظم از نظر سفت‌بودن و تمیزی، کنترل شود.

ث- سامانه C-KFT نیاز به جابه‌جایی و سفت بودن مناسب اتصالات لوله و سلول تیتراسیون دارد.

الف-۴-۶ تیتراسیون KF تبخیر در گرمخانه (OV-KFT)

الف-۴-۶-۱ کلیات

این روش از دماهای بالاتر برای تسهیل عمل KFT آب حاصل از نمونه، استفاده می‌کند. بسیاری از مصالح آب خود را به آرامی یا در دماهای بالاتر آزاد می‌کنند، بنابراین این مصالح برای KFT مستقیم در دماهای محیط، مناسب نیستند.

این مشکل در دماهای بالاتر، با استفاده از روش تبخیر رطوبت و سپس KFT، به‌طور کلی در ترکیب با کولون‌سنجد (C-KFT) که حساس‌تر است، ولی با KFT حجم‌سنجد (V-KFT) نیز می‌تواند ترکیب شود، جلوگیری می‌شود.

C-KFT تبخیر در گرمخانه نوعی تجزیه و تحلیل وزن‌سنجد حرارتی را مجاز می‌داند ولی مقدار آب به جای کاهش وزن، به‌طور مستقیم نسبت به دما، پایش می‌شود.

مزیت عمدی OV-KFT خودکار بودن آن است، یعنی قادر است چندین نمونه را در یک مرحله، اجرا کند. عیب عمدی آن، زیاد بودن رانش دستگاه (جریان گاز بین $50 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ و $100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$) است. در حالی که V-KFT ممکن است تقریباً به 5 min برای تیتراسیون نیاز داشته باشد، C-KFT تبخیر در گرمخانه، ممکن است به 30 min و حتی زمان طولانی‌تری نیاز داشته باشد. نشتی قابل دستیابی معمولاً دو برابر نشتی قابل دستیابی V-KFT است ($10 \text{ mm}^3 \text{ min}^{-1}$ تا $20 \text{ mm}^3 \text{ min}^{-1}$). برای نمونه‌های بسیار کوچکی که فقط حاوی مقادیر کمی آب هستند، این ممکن است مقدار کل آب را بالا برده و سبب پراکندگی نتایج شود. این امکان وجود دارد که با اندکی تخمین پایین تر از حد WC، کل آب به سلول تیتراسیون منتقل نشود.

یادآوری- 1 cm^3 مایع، متناظر با 1 mL است؛ 1 mm^3 متناظر با $1 \mu\text{L}$ است.

الف-۴-۶-۲ تجهیزات

یک گرمخانه (همان طور که در زیربند الف-۳-۲ مشخص شده است)، یک گاز حامل خشک، برای مثال سیلندر گاز نیتروژن (همان طور که در زیربند الف-۳-۵ مشخص شده است)، به اضافه دستگاهی که به صورت ترسیمی، مقدار آب آب را به وسیله تیتراسیون KF نسبت به دما پایش می‌کند (همان طور که در زیربند الف-۴-۲ مشخص شده است).

الف-۴-۶-۳ دما

الف- نمونه ماده مورد بررسی، باید در گرمخانه‌ای که در بالادست سلول تیتراسیون قرار گرفته حرارت داده شده و آب آزادشده توسط جریان گاز حامل خشک، به سلولی که باید با KFT تعیین شود، منتقل گردد. به دلیل این که فقط آب به سلول تیتراسیون وارد شده و نمونه با معرف KF تماس ندارد، واکنش‌های فرعی و اثرات ناخواسته کمینه می‌شود.

ب- گاز استفاده شده برای انتقال آب (و سایر ترکیبات فرار) به داخل سلول تیتراسیون، باید کاملاً خشک باشد. بهتر است نیتروژن خشک به دلیل این که نمونه را اکسید نمی‌کند، ترجیح داده شود.

پ- باید توجه شود که حرارت اعمال شده در گرمخانه، به خصوص در دماهای بالاتر (بیش از 130°C)، ممکن است موجب واکنش‌های تراکمی شود (برای مثال، بین آمینواسیدها و کربوهیداسیون‌ها).

ت- دستگاه‌هایی که به صورت ترسیمی مقدار آب را نسبت به دما پایش می‌کنند، مفید هستند ولی موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

ث- مصالح پایدار، پیک تکی را که مربوط به آزاد سازی آب است، ایجاد می‌کند؛

ج- مصالح دارای آب متبلور، با توجه به نوع هیدراسیون (برخی مصالح هیدراسیون آلی، هیچ آب آزادی که ممکن است منجر به یک پیک شود، روی سطح ندارند)، دو یا چند پیک را ایجاد می‌کنند. در صورتی که دمای گرمخانه به آستانه بلوری شدن آب نرسد، نتیجه آن، تخمین پایین‌تر از حد WC خواهد بود. به هر حال این موضوع وقتی که فقط رطوبت قابل تبادل با محیط مدنظر باشد، مشکل به حساب نمی‌آید بلکه یک مزیت است.

ج- مصالح ناپایدار، در دماهای بالاتر نسبت به دماهای پائین‌تر، یک پیک پهن را ایجاد می‌کنند.

ح- با توجه به دلایل بیان شده در بالا، برنامه دمایی باید با دقت برگزیده شود: به طوری که نه خیلی آرام (که نیاز به مدت زمان اندازه‌گیری طولانی‌تری دارد، یعنی رانش دستگاه افزایش می‌یابد) و نه خیلی سریع (که ریسک چشمپوشی از لحظه‌ای که تجزیه شدن نمونه ممکن است انجام شود، را در پی دارد).

الف-۴-۷ تیتراسیون KF مصالح انتخاب شده

الف- چوب. مقدار آب، تا حدود زیادی به شرایط انبارش بستگی دارد. یک روش عصاره‌گیری خارجی با متابول، در ترکیب با روش KF تبخیر در گرمخانه در دماهای نزدیک به 190°C باید مورد استفاده قرار

گیرد. تعیین آب با OV-KFT همیشه مقادیر رطوبت را بیش از روش خشک کردن در گرمخانه به دست خواهد داد که هرگز نمی‌تواند کل آب را تعیین کند.

ب- مصالح بنایی. تبخیر رطوبت، باید با روش‌های KFT، C-KFT یا V-KFT توام باشد و این روش‌ها معمولاً برای مواد دارای WC بالا کاربرد دارند. نمونه‌ها باید به صورت پودر ریز خرد شوند. در طول این فرآیند، باید مراقب بود که از تبادل رطوبت با محیط اطراف، پیشگیری شود. اندازه گیری جزئی باید با استفاده از روش تبخیر رطوبت به دست آید. با حرارت دادن در دماهای 100°C تا 200°C ، آب آزاد و پیوندی آزاد می‌شوند؛ از 500°C تا 1000°C ، آب متبلور آزاد می‌شود. دمای مربوط به تبخیر، باید مطابق با نوع نمونه و هدف از اندازه گیری، تنظیم شود. شاخص‌های ویژه مربوط به انواع اصلی (عمده) مواد تشکیل‌دهنده مصالح بنایی و نمک‌های محلول، به صورت زیر است:

۱- سنگ آهک و مرمر. کربنات کلسیم در حلal قابل حل شدن نیست. این ترکیب پخش شده و میزان رطوبت، باید توسط V-KFT تعیین شود. به طور کلی، برای کربنات‌هایی که در برابر حرارت پایدار هستند، میزان رطوبت باید با استفاده از OV-KFT اندازه گیری شود.

۲- آجرها و سرامیک‌ها. به دلیل این‌که سرامیک‌ها در حلاهای آلی قابل حل شدن نیستند، روش V-KFT یا C-KFT باید تبخیر در گرمخانه، مورد استفاده قرار گیرد. درجه حرارت و سایر شرایط مربوط به تبخیر رطوبت، باید با توجه به نوع نمونه، تعیین شود.

۳- گچ. نمونه باید همراه با متنالو، در محفظه تیتراسیون قرار داده شده و تا دمای 50°C حرارت دیده و با استفاده از یک محلول تیترکننده تا مرحله خشک شدن، تیتر شود.

۴- بتون. تیتراسیون مستقیم امکان‌پذیر نیست. آب به صورت شیمیایی پیوند می‌خورد، در حالی که اکسیدهای موجود در سیمان، در اثر واکنش با معرف KF برای تولید آب، باعث تداخل می‌شوند. آب متبلور باید از تبخیر در دمای 800°C تا 1000°C به دنبال KFT اندازه گیری شود.

۵- سنگ گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). این سنگ در دمای 128°C با تبدیل به $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ مقداری آب متبلور را آزاد می‌کند؛ در دمای 163°C آب خود را از دست می‌دهد (CaSO_4). اگر کل WC مورد نیاز باشد (یعنی شامل آب متبلور باشد)، بهتر است تجزیه و تحلیل با C-KFT تبخیر در گرمخانه، در دمای بالای 200°C انجام شود. اگر فقط MC به غیر از آب متبلور مورد نیاز باشد، روش وزن‌سنجی در دماهای متوسط یا پایین، باید مورد استفاده قرار گیرد.

۶- نمک‌های غیرآلی. نمک‌های داخل مصالح بنایی ممکن است حاوی رطوبت یا آب متبلور باشند. هالیدهای قلیایی، بدون هیچ آب متبلوری، از حالت بلوری خارج می‌شوند ولی معمولاً حاوی رطوبتی هستند که به آرامی آزاد می‌شود. مثال‌ها عبارتند از: NaCl , KCl , NH_4Cl , CsI , KI . KF. سیلیکات‌های قلیایی به طور مستقیم، قابل تیترشدن نیستند. آن‌ها مانند هیدروکسیدهای قلیایی واکنش داده و با خنثی شدن، آب، آزاد می‌کنند: بهتر است از روش OV-KF استفاده شود.

۷- هیدروکسیدها و کربنات‌های غیرآلی . مصالح بنایی، ممکن است حاوی این مواد معدنی باشند. در طول KFT، متیل‌سولفوریک‌اسید و هیدریودیک‌اسید تشکیل می‌شود که با این ترکیبات واکنش داده و نمک تولید کرده و آب آزاد می‌سازند. مقدار آب هیدروکسیدها و کربنات‌ها باید به روش OV-KF تعیین شوند.

الف-۵ تقطیر آزوتروپیک

الف-۵-۱ کلیات

این روش بر مبنای تعیین مستقیم جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب، m_H ، و جرم آب، m_w ، در نمونهای که از طریق تقطیر آزوتروپیک استخراج خواهدشد، است. جرم نمونه خشک، یا مقدار MC بر مبنای خشک، باید همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده‌است، محاسبه شود.

این روش مخصوص MC مصالح آلی بوده و بر پایه محصور کردن آب به‌شکل بخار توسط حلال فراری که با آب غیرقابل اختلاط است، چگالش و تفکیک آن در یک ظرف تهشیینی، بازیابی و اندازه‌گیری حجم آب چگالش یافته در یک لوله مدرج است.

این روش هنگامی باید استفاده شود که چوب حاوی روغن‌های فراری بوده که در آب محلول نیستند. اگر نمونه حاوی مقادیر زیادی ترکیبات آلی فرار محلول در آب باشد، MC مقدار Wc را بیش از حد تخمین زده و برای حذف سهم مواد فرار نیاز به اصلاحاتی است تا نتایج با مقادیر حاصل از سایر روش‌ها قابل قیاس باشد. مطابق با استاندارد EN 1428: 2012، میزان رطوبتی بر حسب درصدی از نمونه مرطوب MCw و با معادله زیر بیان می‌شود:

$$MC_w = \frac{m_w}{m_H} \times 100 \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن:

m_w جرم آب خارج شده از نمونه به‌وسیله تقطیر (بر حسب گرم بیان می‌شود و بنا براین برابر با حجم آب خوانده شده روی لوله جمع‌کننده مدرج، بر حسب mm است)؛

m_H جرم اولیه نمونه ماده است.

برای این‌که نتایج این روش با سایر روش‌های مطلق، قابل مقایسه باشد، مقادیر MC_w تعیین‌شده با تقطیر آزوتروپیک، باید با استفاده از فرمول (۳) مشخص شده در زیربند ۲-۱-۵، به MC بر مبنای خشک، تبدیل شود.

میزان رطوبت باید با تقریب ۰,۱٪، گزارش شود.

مزایای عمدۀ این روش عبارتند از:

- مدت زمان تقطیر نسبتاً کوتاه (تقریباً یک ساعت)؛

- عدم تاثیر رطوبت محیط؛

- هزینه پایین و راحتی حمل و نقل و جابه‌جایی.

معایب عمدۀ این روش عبارتند از:

- درستی خوانش بازه؛

- آلوده‌شدن سایر مواد (برای مثال گلیسروول و الكل) که ممکن است همراه با آب، تقطیر شوند.

الف-۵ تجهیزات

تجهیزات، شامل لوازم آزمایشگاهی متداول و به خصوص، موارد زیر است:

الف- ترازوی تحلیلی یا آزمایشگاهی (مطابق با زیربند الف-۲)؛

ب- دستگاه تقطیر متشكل از قطعات متعددی که باید بهوسیله اتصالات شیشه‌ای، به هم متصل شوند: فلاسک شیشه‌ای (دست‌کم به حجم 500 cm^3 ، رطوبت‌گیر، چگالنده تهنشینی، گیرنده (متشكل از ظرف جمع‌آوری و لوله مدرج با تقسیماتی برحسب 10 cm^3) که به فلاسک و چگالنده، متصل خواهد شد؛

پ- لوله‌های اتصال؛

ت- تجهیزات گرمکننده الکتریکی دارای یک سامانه کنترل دما یا یک حمام آب جوش؛

ث- همزن مغناطیسی؛

ج- پیپت‌های شیشه‌ای یا سرنگ‌های پلاستیکی؛

چ- حلال‌ها.

الف-۶ روش اجرایی

این روش بر مبنای تعیین مستقیم جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب، m_H ، و جرم آب، m_w ، خارج شده از نمونه، است. جرم نمونه خشک، یا مقدار MC بر مبنای خشک، باید همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده‌است، محاسبه شود. گام‌های ویژه آن، به صورت زیر است:

الف- جرم نمونه مرطوب، m_H ، باید به کمک ترازوی آزمایشگاهی، تعیین شود؛

ب- ظرف شیشه‌ای باید به درستی شستشو و خشک شود تا از آلوده شدن یا آب چسبیده به سطح شیشه‌ای، پیشگیری شود؛

پ- تقطیر آزوتropیک باید مطابق با روش‌های احرایی عملیاتی مشخص شده در استاندارد EN 1428: 2012 باشد. رطوبت موجود در یک نمونه چوب (تقریباً به جرم ۱۰۰ g) باید به صورت حرارتی و با استفاده از تقطیر

آزوتروپیک همراه با یک حلال آلی، استخراج شود. این حلال آلی معمولاً زایلن (مطابق با استاندارد ISO 5280: 1979) یا تولوئن (مطابق با استاندارد ISO 5272: 1979) است و می‌توانند به عنوان یک حامل عمل کنند. تقطیر آزوتروپیک باید در دماهای کمتر از 100°C روی دهد. حلال آلی و آب چگالش یافته، باید به طور پیوسته از هم تفکیک شوند. پس از این‌که حلال چگالش یافته به فلاسک بازگشت، آب چگالش یافته باید در یک ظرف که برای اندازه‌گیری آن مدرج شده است، جمع‌آوری خواهد شد تا مقدار آن تعیین شود؛

ت- جرم آب، m_w ، خارج شده از نمونه به وسیله تقطیر، باید از روی درجه‌بندی لوله شیشه‌ای مدرج، خوانده شود؛

ث- پس از تعیین مقدار آب نمونه، گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰، تهیه شود.

الف-۶ آزمون کلسیم کربید

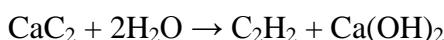
الف-۱ کلیات

«رطوبت‌سنج سریع» یا «بمب کلسیم کربید» نیز نامیده می‌شود.

این روش بر مبنای تعیین مستقیم جرم اولیه نمونه آزمون مرطوب، m_H ، و جرم آب، m_w ، در نمونه که با کلسیم کربید (CaC_2) واکنش داده و گاز استیلن (C_2H_2) می‌کند، است. جرم نمونه خشک یا مقدار MC بر مبنای خشک، باید همان‌طور که در بند ۵ مشخص شده‌است، محاسبه شود. این روش به‌طور کلی برای اندازه‌گیری در محل میزان رطوبت خاک، مصالح بنایی و مصالح سیمانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یک نمونه، داخل یک مخزن درزبندی‌شده حاوی کلسیم کربید (CaC_2)، قرار داده می‌شود. میزان رطوبت با واکنش شیمیایی و اندازه‌گیری فشار گاز تولید شده، تعیین می‌گردد. این روش، اندازه‌گیری‌های سریعی را تأمین کرده و در محل مورد نظر، استفاده می‌شود. این آزمون، معمولاً در محدوده ۲٪ از MC اندازه‌گیری‌شده با روش وزن‌سنجی، درست است. اگر خوانش‌های درست‌تری مورد نیاز باشد، توصیه می‌شود به جای آن از روش وزن‌سنجی، استفاده شود.

در روش کلسیم کربید (CaC_2 ، لازم است که مصالح نمونه برداری شده به پودر ریز تبدیل شده و با کلسیم کربید (CaC_2) در داخل یک ظرف درزبندی‌شده مخلوط شود. کلسیم کربید (CaC_2) با رطوبت موجود در پودر واکنش داده و گاز استیلن (C_2H_2) تولید می‌کنند. واکنش شیمیایی به صورت زیر است:



مقدار گاز آزاد شده، مستقیماً با مقدار رطوبت موجود در ماده متناسب بوده و به آلودگی نمک، حساسیت ندارد.

فشارسنج‌های کلسیم کربید (CaC_2), باید مطابق با دستورالعمل‌های تولیدکننده، و استنجی‌شوند. خوانش‌های فشار، مطلق بوده (بر حسب Pa) و می‌تواند با کمک جدول‌ها، به درصد جرمی تبدیل شود. به علاوه، برای صالح خاص، ضرایب تصحیح ویژه‌ای باید تعیین شود.

الف-۶ تجهیزات

دستگاه‌های اندازه‌گیری و گیج‌های فشار برای بعضی گستره‌های مشخص فشار و MC ، با مشخصه‌های متفاوتی ساخته می‌شوند. این تجهیزات قابل حمل و نقل بوده و شامل قسمت‌های زیر است:

- الف- ترازوی آزمایشگاهی با ظرفیت 2000 g و درستی $1/20$ ؛
- ب- ظرف فولادی زنگنزن، برای نمونه و معرف، همراه با فشارسنج متصل به آن. ظرف باید دارای گیره‌ای باشد که تحمل فشار تولیدشده را داشته باشد؛
- پ- گیج فشار برای اندازه‌گیری مطابق با استاندارد EN 837-1: 1996؛
- ت- تعداد سه تا شش عدد ساقمه فولاد زنگنزن با قطرهای مختلفی از 5 mm تا 15 mm ؛
- ث- معرف کلسیم کربید (CaC_2)، مطابق با برگه مشخصات ایمنی ماده آژانس مواد شیمیایی اروپا (ECHA). این معرف باید در بطری‌های شیشه‌ای کوچک درزبندی شده (با تاریخ انقضا درج شده) تولیدکننده، تا زمان استفاده، نگهداری شود. کلسیم کربید (CaC_2) یک ماده خطرناک بوده و باید مطابق با مقررات حمل و نقل بین‌المللی، بسته‌بندی و جابه‌جا شود؛
- ج- ملاقه فلزی برای اندازه‌گیری و قراردادن معرف کلسیم کربید (CaC_2) در داخل جام؛
- چ- نمودار تبدیل مربوط به میزان رطوبت بر اساس واسنجی انحصاری، در برابر وزن‌سنجی (درصد جرمی) تهیه شده برای صالح خاص مورد بررسی.

الف-۳-۶ روش اجرایی

الف- به دلیل این که این روش اجرایی به صورت بالقوه با واکنش‌های شیمیایی خطرناک سروکار دارد، اندازه‌گیری‌ها باید توسط افراد واجد شرایط و کارشناس در حمل و نقل و نگهداری مواد قابل اشتعال، انفجاری و سمی انجام گیرند؛ همه دستورات عملیاتی دفترچه راهنمای تولیدکننده، باید با دقت، دنبال شود. همه اجزاء مربوط به تجهیزات، باید تمیز و خشک شوند. آماده‌سازی نمونه و اندازه‌گیری‌ها، باید در محوطه بیرونی، یا اتاقکی انجام شود، که به خوبی تهویه شده باشد.

ب- نمونه‌برداری. مصالحی که برای رطوبت باقیمانده، آزمون می‌شوند، نباید با استفاده از روش‌هایی که حرارت اصطکاکی تولید می‌کنند، برای مثال سوراخ کردن و آسیاب کردن، نمونه‌برداری شوند. باید مراقبت شود که نمونه، ممکن است حاوی ترکیبات یا مواد شیمیایی خاصی باشد که به طور غیرقابل پیش‌بینی با معرف واکنش داده و نتایج اشتباہی را نشان دهد؛

پ- آماده‌سازی نمونه. نمونه‌ها باید با استفاده از دستکش‌های آزمایشگاهی یا پژوهشگاهی غیرقابل نفوذ، به ذرات کوچک، خرد شود (به استاندارد ۲۰۰۹+A1: ۲۰۰۳: EN 420: ۲۰۰۹، استاندارد EN ISO 374-1 یا استاندارد EN 455-1: ۲۰۰۰ مراجعه شود). لازم است که نمونه، طی مدت بسیار کوتاهی خرد شود تا از تبادل رطوبتی قطعات خردشده با هوای محیط، جلوگیری شود. استفاده از الک برای تفکیک دانه‌های درشت از پودر ریزی که باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، توصیه نمی‌شود، زیرا ممکن است میزان رطوبت دانه‌های خردشده را تحت تاثیر قرار دهد؛

ت- توزین نمونه. جرم درست که توسط تولیدکننده مشخص گردیده، باید تعیین شود. برای مصالحی که میزان رطوبت آن‌ها بالاتر از محدوده گیج است، فقط نصف وزن نمونه پیشنهادشده در جدول مرجع تولیدکننده، باید استفاده شود؛ سپس خوانش‌ها باید در عدد دو ضرب شوند؛

ث- افزودن نمونه به ظرف. باید مراقبت شود که طی این عملیات، نمونه مرطوب با معرف تماس نداشته باشد؛

ج- معرف. کلسیم‌کربید (CaC_2) باید کاملاً خرد و ریز شود تا به ازای هر کیلوگرم از آن دست کم $0,15 \text{ m}^3$ گاز استیلن (C_2H_2) تولید کند؛

چ- افزودن معرف از طریق سوراخ درپوش و درزبندی گیره ظرف. مقدار معرف باید متناسب با میزان رطوبت که واکنش خواهد داد، در نظر گرفته شود. اگر مقدار معرف خیلی کم باشد، مقدار MC کمتر از حد، تخمین زده خواهد شد. فشار داخلی که اعمال خواهد شد نباید از 150 kPa بیشتر شود. جدول‌های تبدیل تهیه شده توسط تولیدکننده، باید مطالعه شوند، تا فشار، به حجم ظرف و میزان رطوبت که واکنش خواهد داد، مرتبط شود؛

ح- اختلاط نمونه با معرف. دستگاه باید با استفاده از یک حرکت دورانی تکان داده شود، به‌طوری که ساقمه‌های فولادی، به خرد کردن نمونه توده شده و اختلاط خوب، ادامه داده و اجازه دهد کلسیم‌کربید (CaC_2) با همه رطوبت آزاد موجود، واکنش دهد، که این کار این امکان را می‌دهد، حرارت تولیدشده بدون ریسک برای مشاهده گر یا آسیب به دستگاه، پراکنده شود. همزدن باید دست کم به مدت ۲ min یا مطابق با نظر تولیدکننده، به صورت تابعی از اندازه ظرف، وزن نمونه و میزان رطوبت نمونه، ادامه پیدا کند (که بهتر است به‌طور تقریبی در آینده تخمین زده شود). خیلی مهم است که همزدن، برای مدت خاصی ادامه باید؛

خ- خواندن فشار. هنگامی که عقربه گیج فشار از حرکت ایستاد، عدد مورد نظر باید در سطح تراز با چشم (مقابل چشم)، خوانده شود؛

د- آزادسازی فشار. با برداشتن درپوش دستگاه توسط کارور و دور کردن آن از شعله باز یا منبع اشتعال، فشار گاز باید به آرامی آزاد شود؛

ذ- برای عملکرد بهینه، بهتر است دستگاه و نمونه در دمای 20°C باشند. اگر دستگاه در دماهای بسیار پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد، واکنش شیمیایی ممکن است ناقص بوده و خوانش‌های کمتری ارائه کند.

در چنین موردی، بهتر است تعداد خوانش‌های اولیه به‌طور توالی سریع انجام شود تا دمای عملیاتی دستگاه، افزایش یابد. زمانی که خوانش‌ها ثابت شد، نتیجه نهایی باید برای MC گزارش شود؛

ر- برداشت نمونه و معرف و تمیزکاری کل تجهیزات. اگر ماده‌ای در درپوش باقی مانده یا انباشته شده باشد، خوانش نادرست بوده و آزمون باید دوباره از اول، تکرار شود؛

ز- تبدیل خوانش‌ها. تبدیل خوانش‌های حاصل از فشار، برای میزان رطوبت، باید صورت گیرد. فشار رطوبت‌سنج کربیدکلسیم به‌صورت تجاری در دسترنس بوده و باید مطابق با دستورالعمل‌های تولیدکننده، واسنجی شود. میزان رطوبت بر مبنای جرم خشک، باید با استفاده از یک نمودار تبدیل یا یک واسنجی ویژه، به‌دست آید. اگر نمونه به غیر از آب حاوی ترکیبات فرار باشد، یا حاوی نمک‌های هیدراسون شده باشد، خوانش‌های MC ممکن است تحت تاثیر قرار گیرند. ضرایب تصحیح مربوط به مصالح انتخاب شده باید با رسم خوانش‌های فشار در برابر روش وزن‌سنجی، بیان شوند تا یک نمودار واسنجی به‌دست آید. MC به‌دست آمده از تبدیل، معمولاً بر حسب درصدی از جرم نمونه مربوط بر مبنای تر بیان شده و باید با استفاده از معادله (۳)، همان‌طور که در زیربند ۲-۱-۵ مشخص شده است، به رطوبت بر مبنای خشک، تبدیل شود؛

ژ- گزارش آزمون. پس از این‌که میزان رطوبت نمونه مواد تعیین شد، یک گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

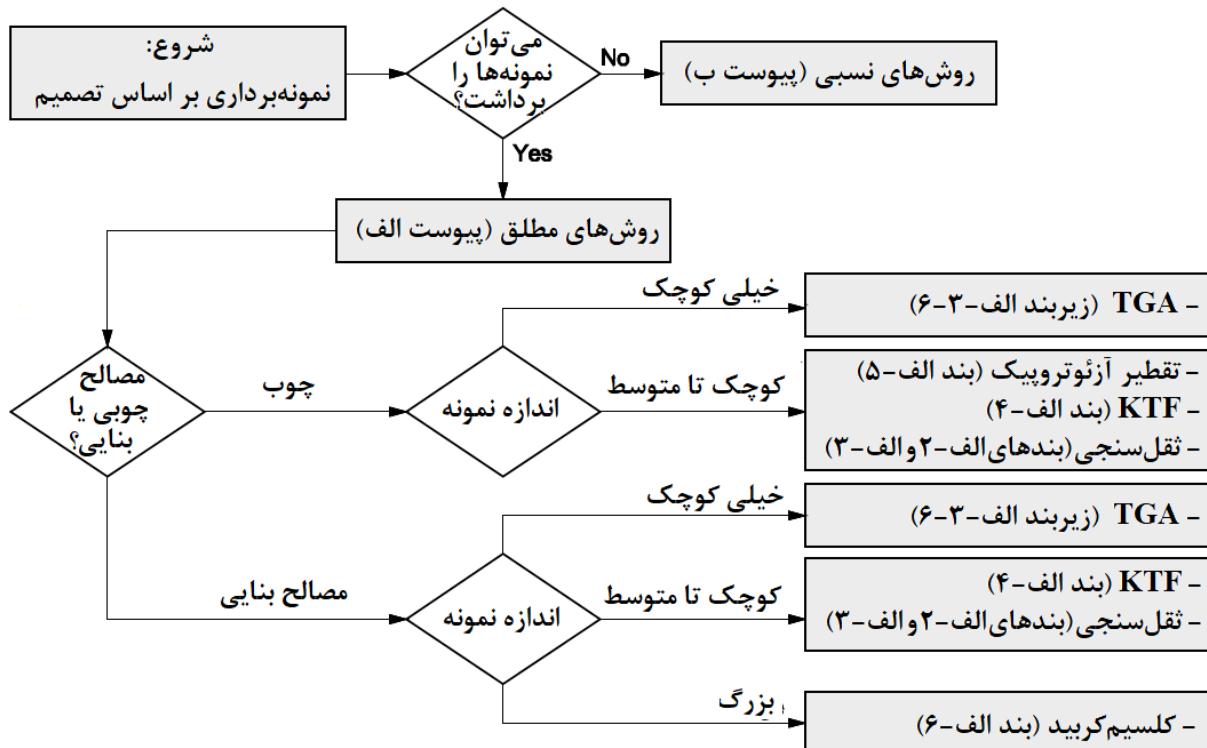
هشدار- برخی از روش‌های اجرایی بیان شده در این روش، مستلزم استفاده از مواد شیمیایی خطرناک است. تاکید می‌شود که همه هشدارهای ایمنی، باید مورد توجه قرار گیرد.

جدول الف-۱- مقایسه بین روش‌های مطلق: مشخصه‌ها

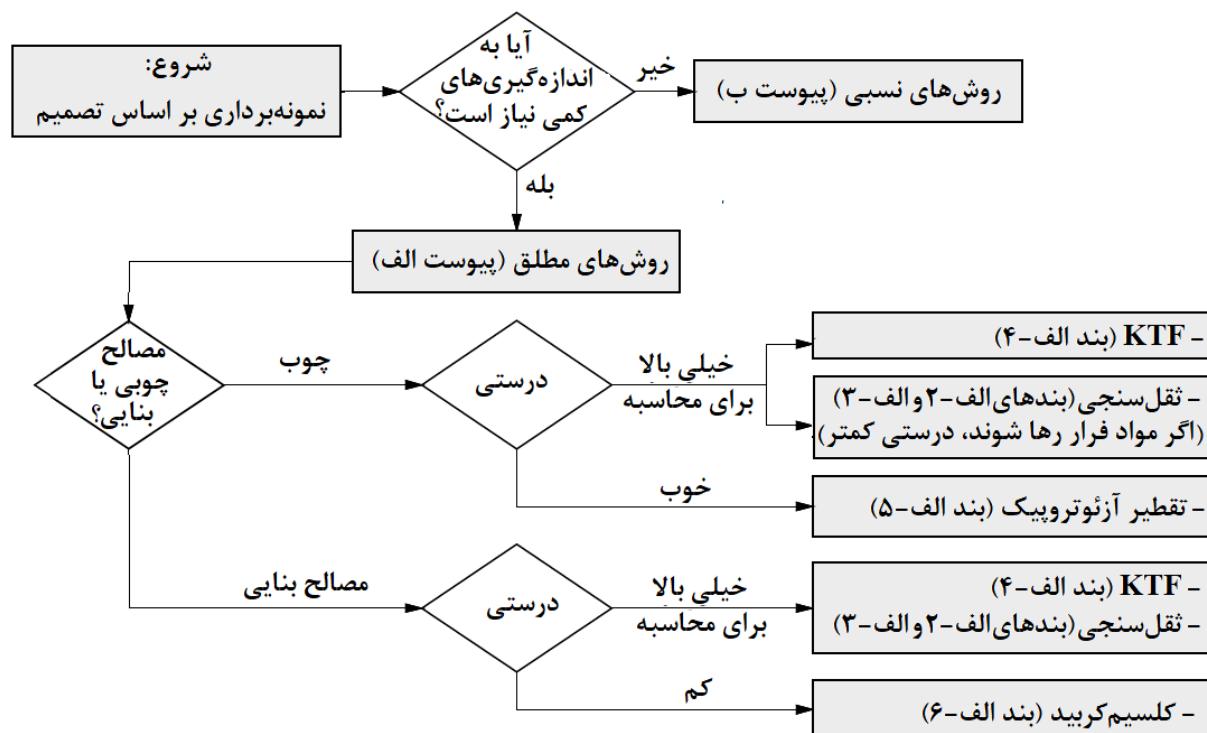
آزمون کلسیم-کربید (CaC ₂)	تقطیر آزوتروپیک	تیتراسیون کارل فیشر	روش‌های وزن‌سنگی	
استاندارد EN 1428: 2012	استاندارد ISO 760: 1978 استاندارد EN ISO 15512	استاندارد ISO 16979: 2003 استاندارد EN 13183-1: 2002	استاندارد ISO 16979: 2003 استاندارد EN 13183-1: 2002	استانداردهای مرجع
مصالح بنایی	چوب	چوب، مصالح بنایی	چوب، مصالح بنایی	مصالح
MC	MC	WC	MC	مخصوص برای تهاجمی/مخرب
بله	بله	بله	بله	
بزرگ	کوچک	C-KFT V-KFT: متوسط	کوچک برای TGA: خیلی کوچک	اندازه نمونه
برای اندازه‌گیری با درستی کمتر	اندازه‌گیری‌های درست	خیلی درست، برای واسنجی سایر روش‌ها مفید است	بسیار درست؛ برای واسنجی سایر روش‌ها مفید است	درستی
جرم آب	جرم آب	جرم آب	جرم آب	حساسیت روش به:
عمق دلخواه	عمق دلخواه	عمق دلخواه	عمق دلخواه	عمق نفوذ
کوتاه (ساعت)	کوتاه (ساعت)	کوتاه (ساعت)	متوسط (روز)	زمان واکنش
در محل	آزمایشگاهی	آزمایشگاهی	آزمایشگاهی	اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی / در محل
منقطع	منقطع	منقطع	منقطع	پایش زمان منقطع / پیوسته
این روش مختص مصالح بنایی است	این روش برای حالتی که چوب حاوی روغن‌های فرار باشد، توصیه می‌شود	نوع تیتراسیون، معرفه‌ای KF و دمای گرمخانه را انتخاب کنید. V-KFT: برای مقدار آب زیاد. C-KFT: برای مقدار آب کم. OV-KFT: در صورتی که برای تبخير، نیاز به دماهای بالا باشد	بسته به مشخصه‌های مواد، خشک کردن در گرمخانه، خشک کردن در خلاء یا خشک کردن با ماده رطوبت‌گیر را انتخاب کنید	یادآوری‌ها

جدول الف-۲- مقایسه بین روش‌های مطلق: عدم قطعیت‌های آزمایشی و یادآوری‌ها

روش‌های وزن‌سنجی	روش درست. این روش می‌تواند برای واسنجی سایر روش‌ها به کار رود. به مناسب‌ترین روش خشک‌کردن، باید توجه شود.
تیتراسیون کارل فیشر	روش درست. این روش می‌تواند برای واسنجی سایر روش‌ها به کار رود. به معرف KF و دما باید توجه شود تا از تداخلات احتمالی و واکنش‌های فرعی پیشگیری شود. برای اندازه‌گیری ترکیبات فرار یا آلاینده‌ها، امکان‌پذیر است.
تقطیر آزوتروپیک	این روش، برای هر نمونه اندازه‌گیری شده، نتایج کمی درست را ارائه می‌دهد. اگر تعداد محل‌های نمونه‌برداری محدود باشد، بدلیل تغییرپذیری میزان رطوبت در سراسر ناحیه نمونه-برداری، ممکن است نتایج برای کل مصالح قابل تعمیم نباشد. اگر چوب حاوی مواد محلول در آب باشد، می‌توانند همراه با آب خارج شده و وزن آب افزایش یابد.
آزمون کلسیم کربید (CaC ₂)	این روش با عدم قطعیت‌های بالایی همراه است. برای مرتبط کردن خوانش‌های فشار به میزان رطوبت، هر مصالح خاص نیاز به یک منحنی واسنجی ویژه دارد.
همه روش‌ها	بدلیل این که نمونه از بین رفته‌است، امکان اندازه‌گیری میزان رطوبت در طول زمان در همان نقطه، وجود ندارد. اگر تعداد محل‌های نمونه‌برداری محدود باشد، بدلیل تغییرپذیری میزان رطوبت در سراسر ناحیه نمونه‌برداری، ممکن است نتایج برای کل مصالح قابل تعمیم نباشد.



شکل الف-۲- درخت تصمیم‌گیری: انتخاب مناسب‌ترین روش مطلق در رابطه با امکان برداشتن نمونه‌های کوچک، متوسط یا بزرگ. اعداد داخل پرانتزها به شماره بندها اشاره دارند



شکل الف-۳- درخت تصمیم‌گیری: انتخاب مناسب‌ترین روش مطلق بر اساس سطح درستی مورد نیاز. اعداد داخل پرانتزها به شماره بندها اشاره دارند

پیوست ب

(الزامی)

روش‌های نسبی

ب-۱ کلیات

این پیوست الزامی بوده و اهداف آن بیان مشخصات مربوط به روش‌های نسبی است که به خاطر به کارگیری ساده آن‌ها انتخاب شده‌اند، هرچند که نتایج حاصل به‌طور مستقیم قابل مقایسه نیستند.

این پیوست روش‌های عملیاتی را تبیین نموده و راهنمایی‌های مربوط به مسائل اصلی که در طول مشاهدات محلی و تفسیر خوانش‌ها رخ می‌دهند، را ارائه می‌کند.

استفاده از این روش‌ها محدود به تشخیص رطوبت و مقایسه تغییرات نسبت به فضا یا زمان است.

روش‌های نسبی زیر نیاز به اتصال الکترودها یا سایر حسگرها به سطوح مصالح دارند:

الف- استفاده از حسگرها متصل به سطح مصالح، یعنی حسگرهای خازنی، مقاومت الکتریکی (فقط اتصال بدون ورود پین) و RH در تعادل با جعبه مهروموم شده خارجی مصالح، به‌طور کلی ایمن بوده ولی در هر صورت باید تحت نظارت ناظر حرفه‌ای و واجد شرایط انجام گیرند.

ب- روش مقاومت الکتریکی همراه با پین‌های ورود (اندکی) تهاجمی/مخرب بوده و استثنائاً باید تحت کنترل دقیق ناظر حرفه‌ای واجد شرایط مورد استفاده قرار گیرد.

پ- روش رسیدن به RH تعادلی با مصالح (حفره سوراخ شده) تهاجمی/مخرب بوده و باید استثنائی تحت کنترل دقیق نگهبان حرفه‌ای واجد شرایط مورد استفاده قرار گیرد. این روش در شکل ب-۱ به صورت نمودار گردشی نشان داده شده است.

به منظور به دست آوردن یک نتیجه قابل اعتماد، باید تعداد مشاهدات مورد توجه قرار گرفته و همزمان به ارزش فرهنگی مصالح میراث نیز بها داده شود. با حسگرهای غیرتهاجمی و واکنش سریع، می‌توان اندازه‌گیری را در نقاط مختلف یک ماده تکرار نمود تا مقادیر MC با قابلیت تعمیم بالا به دست آید.

به منظور بررسی کلی و مقایسه روش‌های نسبی، جداول ب-۱ و ب-۲ خصوصیات روش‌های مختلف، عدم قطعیت‌های آزمایشی آن‌ها و برخی ملاحظات مربوط به بهره‌برداری خاص آن‌ها با چوب و مصالح بنایی گزارش خواهد کرد. شکل‌های ب-۲ و ب-۳ امکان انجام یک واسنجی قابل اعتماد و کیفیت اندازه‌گیری‌های حاصل از روش‌های مقاومتی یا خازنی را در مصالح چوب و بنایی تشریح می‌کند. جداول ب-۱ و ب-۲ و شکل‌های ب-۱ و ب-۲ و ب-۳ برای کمک به کاربر در انتخاب راحت‌ترین روش و تفسیر خوانش‌های MC در حوزه میراث فرهنگی مفید هستند.

ب-۲ مقاومت الکتریکی (رسانایی)

اندازه مقاومت، نیرومحرکه الکتریکی اعمال شده (ولتاژ) و جریان بین الکترودها به کمک قانون اهم بهم مرتبط می‌شوند. در بسیاری از موارد، با افزایش رطوبت مصالح، مقاومت آن‌ها کاهش می‌یابد. در صورتی که یک نیرومحرکه الکتریکی ثابت اعمال شود، در حالت کلی شدت جریان بین دو الکترود با افزایش میزان رطوبتی، افزایش خواهد یافت.

استاندارد 2002 EN 13183-2: به مصالح چوب معمولی اشاره داشته و برای چوب میراث فرهنگی، که مورد هجوم آفات قرار گرفته باشد (برای مثال قارچ یا خالی شدن توسط حشراتی که چوب را سوراخ می‌نمایند)، یا چوبی که قبلًا با موادی که رسانایی سطح یا زیرسطح را تغییر می‌دهند، تیمار داده شده باشد، کاربرد ندارد.

این روش می‌تواند برای سنگ و مصالح بنایی به کار رود ولی باید توجه داشت که در اغلب کاربردها، آلوده شدن با الکتروولیت‌ها (معمولًاً نمک‌های موجود در اموال فرهنگی) متداول بوده و به طور کلی روش مقاومتی را به شدت مستعد تفسیرهای اشتباه می‌سازد. اگر RH محیط تا آستانه حل شدن نمک‌ها افزایش یابد، رسانایی به شدت بالا می‌رود.

ب-۲-۱ دستگاه. وسیله‌های اندازه‌گیری بر مبنای دو یا چند الکترود برای مثال پین‌ها، استوار هستند که در داخل مصالح مورد بررسی فرو رفته یا فرو برده شده‌اند. وسیله‌هایی با پین‌های عایق شده می‌توانند میزان رطوبتی را در عمق‌های نفوذ مختلف اندازه‌گیری کنند.

ب-۲-۲ روش اجرا. روش مقاومت الکتریکی از روش‌های اجرایی مشخص شده در استاندارد 2002 EN 13183-2: و دفترچه راهنمای تولیدکننده پیروی خواهد نمود.

ب-۲-۳ گزارش آزمون. خوانش‌ها نسبی و برحسب واحدهای دلخواه هستند؛ آن‌ها ممکن است به طور آزمایشی پس از واسنجی برای مصالح خاص نسبت به روش وزن‌سنجدی به درصد تبدیل شوند.

گرچه تبدیل خودکار یا جداول تبدیل ارائه شده توسط تولیدکننده مفید هستند، اما تغییراتی که مصالح قدیمی ممکن است در اثر فرسودگی، آلوده شدن با نمک، حملات شیمیایی یا زیست شناختی، دچار شوند، هر نوع واسنجی مشکلاتی در پی خواهد داشت.

گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

ب-۳ روش خازنی (دیالکتریک)^۱

خازن یک قطعه الکترونیکی است که بار الکتریکی را در خود ذخیره نموده و معمولاً از دو صفحه تشکیل می‌گردد که توسط یک ماده دیالکتریک از هم جدا می‌شوند. هنگام اتصال به منبع تغذیه الکتریکی، صفحات بار الکتریکی را در خود جمع می‌کنند. مقدار بار الکتریکی متناسب با خواص دیالکتریک ماده است.

1- Capacitance (dielectric)

عکس العمل دی الکتریکی ماده نسبت به مقدار رطوبت روند افزایشی دارد. مولکول آب در مقایسه با سایر مواد ثابت دی الکتریک ϵ بالایی (بین $8 < \epsilon < 2$) دارد (قریباً برابر ۸۰). میزان رطوبت ممکن است از تاثیر آن بر ثابت دی الکتریک تعیین شود.

روش خازنی می‌تواند برای سنگ و مصالح بنایی به کار رود ولی باید توجه شود که آلوده شدن با الکترولیت‌ها (معمولاً نمک‌های موجود در اموال فرهنگی) در اغلب کاربردها معمول بوده و به طور کلی روش خازنی را شدیداً مستعد تفسیرهای اشتباه می‌سازد. باد کردن^۱ یا ناهمگونی زیرسطحی ممکن است باعث بازتاب‌های و خطاهای چندگانه شود. اگر RH محیط آستانه مربوط به حل شدن نمک‌ها را افزایش دهد، ظرفیت به شدت افزایش یافته و به خصوص لایه نازک آب جذب شده که روی سطح تشکیل می‌شود به عنوان آینه عمل کرده و موجب اشباع سیگنال می‌گردد.

ب-۱-۳ دستگاه. ابزاری مبتنی بر خاصیت خازنی، برای اندازه‌گیری‌های خاص به چند روش ساخته شده‌اند. ابزار دارای دو صفحه که هر دو روی یک صفحه مشابه قرار گرفته و با سطح مورد بررسی تماس ایجاد می‌کنند. نوع دیگری از حسگرها با شکل‌های متنوع و پیچیده (برای مثال شانه‌ای، سیمی، کره‌ای) برای اهداف خاص ساخته شده‌اند و حتی بدون داشتن تماس با سطوح اجسام کار کنند.

هنگام استفاده از بسامد ولتاژ متناسب در رده GHz، میدان الکتریکی خاصیت شبیه به امواج مایکروویو دارد و وسیله اندازه‌گیری می‌تواند یک روش مرکب در نظر گرفته شود. به همین دلیل ماده مورد بررسی نباید حاوی فلزات یا آثار آبکاری فلزی باشد (برای مثال طلاکاری).

ب-۲-۳ روش اجرا. روش خازنی باید از روش‌های اجرایی استاندارد 2005:3-EN 13183 و دفترچه راهنمای تولیدکننده تبعیت نماید.

ب-۳-۳ گزارش آزمون. خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه هستند؛ آن‌ها ممکن است به طور آزمایشی پس از واسنجدی نسبت به روش وزن‌سنجی برای ماده خاص به درصد تبدیل شوند.

گرچه تبدیل خودکار یا جداول تبدیل ارائه شده توسط تولیدکننده مفید هستند، اما تغییراتی که مصالح قدیمی ممکن است در اثر کهنه‌گی، آلوده شدن با نمک، حملات شیمیایی یا زیست شناختی، دچارش شوند، برای هر نوع واسنجدی مشکلاتی در پی خواهد داشت.

گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

ب-۴ رطوبت نسبی در تعادل با ماده

ب-۴-۱ کلیات

این روش بر مبنای اندازه‌گیری RH یک جیب هوای کوچک در تعادل با میزان رطوبتی مصالح ساختمانی استوار است. برای اندازه‌گیری RH تعادلی از یک حسگر RH نوع فعال یا غیرفعال یا یک پروکسی استفاده می‌شود. این روش به‌طور خاص برای کنترل رطوبت در مصالح بنایی استفاده می‌شود.

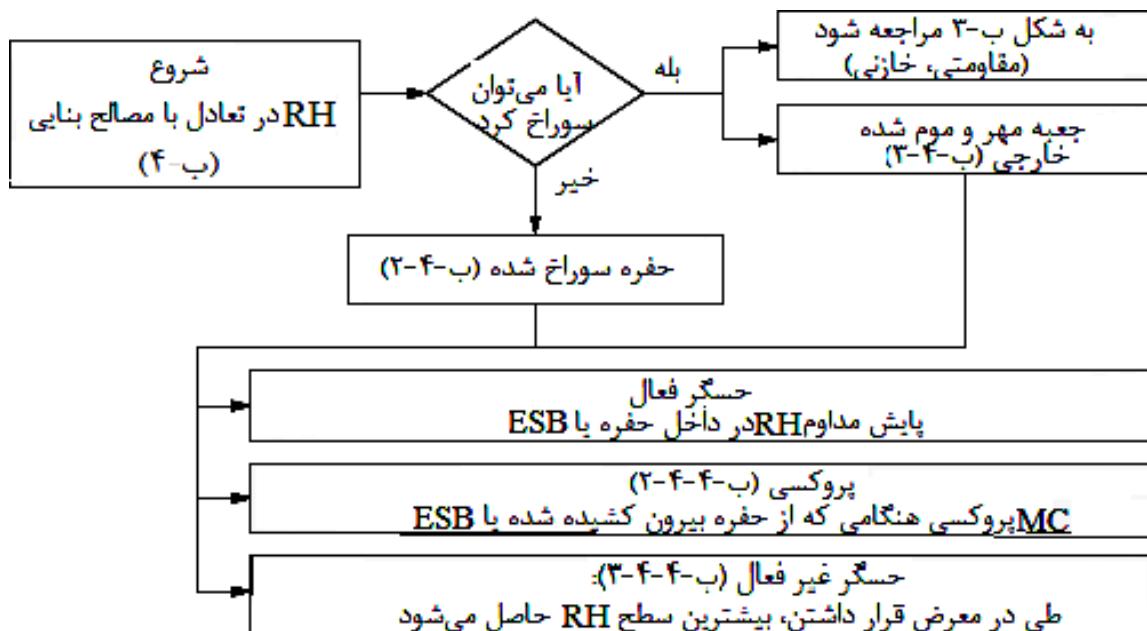
مقدار RH داخل حفره با MC ماده و همین‌طور با حضور نمک‌ها و ویژگی‌های جذبی ماده تنظیم می‌شود. ارتباط بین RH خلل و فرج و MC بستر به‌دلیل جذب انحرافات جذب/واجدب رطوبت غیرخطی است.

این روش احتمالاً برای شرایط خیلی مرطوب/ خیلی خشک مناسب است (برای مثال بتن در حال خشک شدن که به‌طور معمول استفاده می‌شود) اما برای تعیین تغییرات MC در میراث نامناسب بوده و معمولاً قابل کاربرد نیست.

در مصالح بنایی، وجود نمک‌های محلول اثری نداشته تا این‌که آستانه RH برای حل شدن نمک ایجاد شود. پس از عبور از این آستانه، نمک محلول شروع به تشکیل یک محلول کرده و RH تعادلی را ثابت نگه می‌دارد.

همان‌طور که در دو بند بعدی مشخص خواهد شد، جیب هوای ممکن است در بیرون یا داخل مصالح باشد.

این روش در شکل ب-۱ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ب-۱- نمودار گردشی نمایش دهنده روش رطوبت نسبی در تعادل با ماده. اعداد داخل پرانتزها به شماره‌های زیرین‌دها اشاره دارند

ب-۴-۲ حفره سوراخ شده^۱

جیب هوا حفره‌ای است که با سوراخ کردن ماده ایجاد شده و نشان‌دهنده رطوبت داخل ماده خواهد بود.

به محض این‌که حسگر فعال یا غیرفعال یا پروکسی به داخل حفره فرو برده شد، دهانه حفره باید با دقت با یک اتصال غیرقابل نفوذ درزبندي شود که از تبادلات رطوبتی بین حفره و هوای آزاد بدون تغییر تعادل خرد اقلیم داخلی پیشگیری خواهد نمود.

این روش تهاجمی بوده و باید تحت نظارت شدید افراد حرفه‌ای واجد شرایط اجرا شوند.

ب-۴-۳ جعبه درزبندي شده خارجی^۲ (ESB)

جیب هوا با به‌کارگیری سطح یک جعبه درزبندي شده خارجی که نمایش‌دهنده میزان رطوبتی سطح‌ازیرسطحی مصالح ساختمانی است، حاصل می‌شود. ESB روی سطح ماده مستقر شده تا با آن به تعادل برسد. حسگرها یا پروکسی‌های فعال یا غیرفعال RH باید در ESB قرار گیرند تا RH این جیب هوا را اندازه‌گیری کنند.

ESB دارای یک سمت خالی است که امکان تبادل رطوبتی بین سطح ماده و حسگر را مقدور می‌سازد؛ همه سایر جوانب جعبه که با هوای خارجی ارتباط دارند باید از نظر حرارتی عایق‌بندی شده و جعبه باید به سطح ماده مهره‌موم شود.

در مقایسه با سطح آزاد ماده، به‌خصوص در حضور تابش حرارتی، وجود یک ESB ممکن است تبادل آزاد حرارت و رطوبت بین هوا و ماده را تغییر دهد.

این روش تهاجمی است.

ب-۴-۴ دستگاه

مقدار RH تعادلی داخل حفره، هم در حفره سوراخ شده و هم در ESB، می‌تواند مستقیماً یا به‌طور غیرمستقیم با یکی از روش‌های زیر اندازه‌گیری شود:

الف- حسگرهای RH فعال. حسگرهای خازنی یا مقاومتی که در 2012: EN 16242 مشخص شده‌اند. حسگر دما باید با استاندارد 2010: EN 15758: مطابقت داشته باشد. حسگر RH فعال یک نمایش پیوسته از RH ایجاد شده در داخل جیب هوا محصور شده ارائه خواهد نمود که با میزان رطوبتی ماده در تعادل است. خروجی باید در ثبات داده یا سایر افراوهای ثبت، ذخیره شود.

ب- پروکسی‌ها: متشکل از یک ماده با خواص رطوبتی شبیه عنصر ساختمانی تحت بررسی است. پروکسی‌ها زمانی که از حفره بیرون کشیده می‌شوند، خوانش‌های نقطه‌ای نمایشگر وضعیت را ارائه خواهند نمود.

1- Drilled cavity

2- External sealed box

پ- حسگرهای غیرفعال: شامل ترکیبی از نمک‌های رطوبت‌گیر و رنگ‌ها که در نمک‌ها EMC نشان داده یا برخی آستانه‌های RH انتخاب شده حاصل شده است. حسگرهای غیرفعال خوانش‌هایی که نمایشگر بالاترین سطوح رطوبتی حاصل شده در حالی که آن‌ها در حفره نگهداشته‌اند، را ارائه خواهند نمود.

ب-۴-۵ روشنگری

الف- جیب هوا باید توسط یک حفره سوراخ شده که در زیربند ب-۴-۱ مشخص شد، یا با یک جعبه درزبندی شده بیرونی (مانند زیربند ب-۴-۲) ایجاد گردد. قطر حفره سوراخ شده باید به اندازه‌ای باشد که به ورود حسگر کمک نموده و عمق آن باید نمایگر لایه داخلی تحت بررسی باشد. ESB باید از مواد بسیار عایق ساخته شده و جعبه هرگز نباید در معرض نور آفتاب بوده یا با سایر منابع حرارتی در تماس باشد.

ب- حسگر فعال یا غیرفعال یا پروکسی باید به حفره یا جعبه درزبندی شده وارد شود. دهانه حفره باید با دقیقت درزبندی شود تا از تبادلات با محیط بیرون پیشگیری شود.

پ- حسگرهای RH نوع خازنی برای رطوبت‌هایی که به طور پیوسته از٪ ۸۰ بالاتر می‌روند، قابل استفاده نیستند زیرا جذب رطوبت توسط بستر پلیمری خوانش‌ها را با اشکال مواجه خواهد نمود. توصیه می‌شود که برای به دست آوردن اطلاعات کامل‌تر از یک حسگر دما استفاده شود. حسگرهای RH و دما باید به ثبات^۱ داده متصل شوند تا مجموعه‌ای پیوسته از خوانش‌ها به دست آید.

ت- پروکسی‌ها باید در فواصل زمانی معینی برای خوانش‌هایی که از طریق روش وزن‌سنجدی یا سایر روش‌های مشخص شده در پیوست الف انجام خواهند شد، استخراج شوند. یک روش جایگزین، تجهیز پروکسی به الکترودها و پایش تغییرات مقاومت الکتریکی یا ظرفیت الکتریکی آن است.

ث- حسگرهای غیرفعال باید مطابق با دفترچه راهنمای و دستورالعمل تولیدکننده مورد استفاده قرار گیرند.

ج- یک گزارش آزمون باید تهیه شود. خوانش‌ها نسبی هستند، ولی ممکن است پس از واسنجی نسبت به روش وزن‌سنجدی یا پتانسیل‌سنجدی ماده KF برای ماده خاص به طور آزمایشی به مقادیر کمی تبدیل شود.

جدول ب-۱- مقایسه بین روش‌های نسبی: خصوصیات

RH در تعادل با حفره سوراخ شده ماده / ESB	خازنی	مقاومت الکتریکی	
استاندارد EN 16242: 2012 استاندارد EN ISO 14911: 1999 استاندارد EN ISO 10304-1: 2009	EN 13183-3: 2005 استاندارد EN ISO 14911: 1999 استاندارد EN ISO 10304-1: 2009	EN 13183-2: 2002 استاندارد EN ISO 14911: 1999 استاندارد EN ISO 10304-1: 2009	استاندارد مرجع
مصالح بنایی	چوب، مصالح بنایی	چوب، مصالح بنایی	ماده
ESB خیر حفره سوراخ شده: بله	خیر	جزئی، یعنی بسیار کم تهاجمی/مخرب	تهاجمی / مخرب
ESB در صورتی که نصب غیرمخرب باشد ممکن است استفاده شود. حفره سوراخ شده: استفاده استثنایی تحت نظارت افراد حرفه‌ای واحد شرایط	برای پایش لایه نازک مفید است	بهره‌برداری احتمالی با الکترودهای سطح. استفاده استثنایی از پین‌ها تحت نظارت افراد حرفه‌ای واحد شرایط	کاربرد توصیه شده برای میراث فرهنگی
تعادل بین RH و MC	گرادیان‌های رطوبت و سایر عوامل (برای مثال مولکول‌های قطبی، جذب رطوبت)	گرادیان‌های رطوبت و سایر عوامل (برای مثال نمک‌های محلول)	حساسیت روش به:
سطح ESB حفره سوراخ شده: عمق دلخواه	زیر سطح	زیر سطح	عمق نفوذ
متوسط-طولانی (هفت‌هه)	عکس العمل سریع(ثانیه)	عکس العمل سریع(ثانیه)	مدت زمان عکس العمل
در محل	در محل	در محل	اندازه‌گیری‌ها در محل / آزمایشگاه
پایش پیوسته یا منقطع	پایش پیوسته یا منقطع	پایش پیوسته یا منقطع	پایش پیوسته یا منقطع
خوانش‌های نسبی که با گذشت زمان تغییر می‌کنند	چوب: غیرتهاجمی مصالح بنایی: غیرتهاجمی؛ ضعیف یا بدون وابستگی به مقدار نمک (به غیر از جذب رطوبت)	چوب و مصالح بنایی: پین‌های ویژه برای اندازه‌گیری گرادیان‌های زیر سطح مصالح بنایی، بالاتر از محدوده: اشباع خلل و فرج	جنبه‌های مثبت (مزیت‌ها)
به غیر از وضعیت‌های خاص و تحت نظارت افراد حرفه‌ای واحد شرایط، حفره سوراخ شده توصیه نمی‌شود.	چوب: از چگالی تاثیر می‌پذیرد (برای مثال آلودگی قارچی یا هجوم حشرات، گره‌ها)؛ پوشش -	چوب: از چگالی تاثیر می‌پذیرد (برای مثال آلودگی قارچی یا هجوم حشرات، گره‌ها)	جنبه‌های منفی (معایب)

جدول ب-۱- مقایسه بین روش‌های نسبی: خصوصیات

RH در تعادل با حفره سوراخ شده ماده / ESB	خازنی	مقاومت الکتریکی	
مصالح بنایی: بالاترین حد RH برای اندازه‌گیری‌ها: آستانه مرتبط شدن آلینده‌های نمک یا٪۸۰	های سطح و گرادیان‌های رطوبت. عامل بحرانی: فلزات داخل چوب (برای مثال میخ‌ها). مصالح بنایی: مرتبط شدن نمک‌ها، از گرادیان‌های رطوبتی تاثیر می‌پذیرد. عوامل بحرانی: لایه‌گذاری؛ فلزات داخل مصالح بنایی (برای مثال میخ‌ها).	پوشش‌های سطح و گرادیان-های رطوبت؛ جهت‌گیری ذرات؛ دما. دامنه محدود از EMC=٪۷ تا نقطه اشباع فیبر. مصالح بنایی: از نمک‌ها، گرادیان‌های رطوبت و دما تاثیر می‌پذیرد.	

جدول ب-۲- مقایسه بین روش‌های آزمایشی و ملاحظات

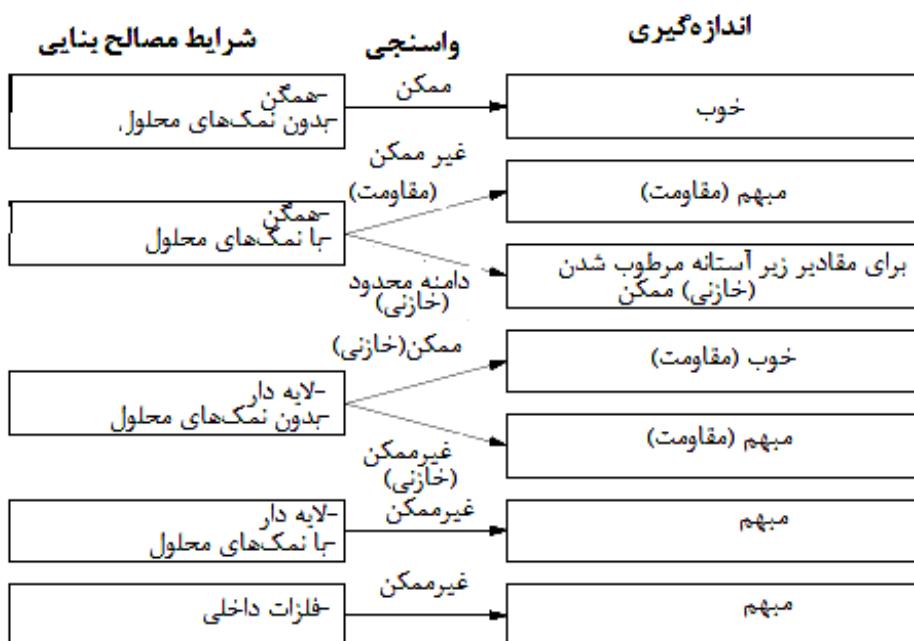
<p>برای هر شیء خاصی به منظور مرتبط کردن خوانش‌های دلخواه به میزان رطوبتی نیاز به یک منحنی واسنجی ویژه دارد. به هر حال، واسنجی ممکن است برای ماده مورد بررسی قابل تعیین نباشد. این روش برای ترکیباتی که در حالت جامد رسانایی بسیار بالایی دارند یا در صورت وجود نمک‌های مرطوب، نامعمول است.</p> <p>در صورت تغییرات چگالی یا گرادیان رطوبتی داخل لایه‌های زیر سطحی ممکن است مشکلات افزایش یابد.</p> <p>دقت اندازه‌گیری به چگونگی به کارگیری روش و میزان رطوبتی بستگی دارد.</p> <p>روش اندازه‌گیری به دما وابستگی زیادی از خود نشان می‌دهد، ولی با اندازه‌گیری دما و معادلات واسنجی قابل تصحیح است.</p> <p>در صورتی که سطح با مواد رسانا (فلزات) آلوده شود، خروجی شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرد.</p>	مقاومت الکتریکی
<p>برای هر شیء خاصی به منظور مرتبط کردن خوانش‌های دلخواه به میزان رطوبتی نیاز به یک منحنی واسنجی ویژه دارد. به هر حال، واسنجی ممکن است برای ماده مورد بررسی قابل تعیین نباشد. این روش برای ترکیباتی که در حالت جامد رسانایی بسیار بالایی دارند یا در حضور نمک‌های مرطوب نامعمول است.</p> <p>در صورت تغییرات چگالی یا گرادیان رطوبتی داخل لایه‌های زیر سطحی ممکن است مشکلات افزایش یابد.</p> <p>دقت اندازه‌گیری به چگونگی به کارگیری روش و میزان رطوبتی بستگی دارد.</p> <p>روش وابستگی زیادی به دما از خود نشان می‌دهد، ولی با اندازه‌گیری دما و معادلات واسنجی قابل تصحیح است.</p> <p>در صورتی که سطح با مواد رسانا (فلزات) آلوده شود، خروجی شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرد.</p>	خازنی
<p>برای هر شیء خاصی به منظور مرتبط کردن خوانش‌های دلخواه به میزان رطوبتی نیاز به یک منحنی واسنجی ویژه دارد.</p> <p>سایر عدم قطعیت‌ها از غیریکنواختی ماده ناشی می‌شوند. واسنجی‌های زیادی مورد نیاز است.</p> <p>هر پروکسی تا حدودی دارای خصوصیات متفاوتی بوده و باید منحصراً واسنجی شود. عکس العمل پروکسی نسبت به گذشت زمان (نشتی) تغییر کرده و نیاز به واسنجی‌های مکرر دارد.</p> <p>به ازای میزان رطوبتی بالاتر، دقต کاهش می‌یابد.</p> <p>وجود نمک‌های محلول، تعادل را تحت تاثیر قرار می‌دهد.</p> <p>ESB ممکن است دمای سطح را تحت تاثیر قرار دهد.</p>	RH در تعادل با حفره سوراخ شده ماده ESB

مصالح چوب: مقاومتی (شکل ب-۲)، خازنی (شکل ب-۳)



شکل ب-۲- امکان انجام یک واسنجی قابل اعتماد و کیفیت اندازه‌گیری‌های خاصل از روش‌های مقاومتی یا خازنی در چوب. اعداد داخل پرانتزها به شماره‌های بندها اشاره دارند.

مصالح بنایی: مقاومتی (شکل ب-۲)، خازنی (شکل ب-۳)



شکل ب-۳- امکان انجام یک واسنجی قابل اعتماد و کیفیت اندازه‌گیری‌های خاصل از روش‌های مقاومتی یا خازنی در مصالح بنایی. اعداد داخل پرانتزها به شماره‌های زیربندها اشاره دارند

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

سایر روش‌های نسبی

پ-۱ کلیات

این پیوست آگاهی‌دهنده بوده و مربوط به روش‌های نسبی است که تحت پوشش این استاندارد نیستند. به منظور مرور کلی و امکان مقایسه بین روش‌های نسبی، جداول پ-۱ و پ-۲ ویژگی‌های روش‌های مختلف، عدم قطعیت‌های آزمایشی و برخی ملاحظات برای استفاده خاص از آن‌ها در چوب یا مصالح بنایی را تشریح خواهند نمود. جداول پ-۱ و پ-۲ در کمک به کاربر برای گزینش مناسب‌ترین روش و تفسیر خوانش‌های MC میراث فرهنگی مفید است.

پ-۲ امواج مایکروویو

این روش بر مبنای خاصیت دی‌الکتریکی مولکول آب استوار است. یک مجموعه آتن، میدان الکترومغناطیس متناوب با رده GHz، یعنی در محدوده امواج مایکروویو، را به درون ماده می‌تاباند. در موادی با مولکول‌های قطبی (برای مثال چوب)، میدان الکتریکی امواج مایکروویو می‌تواند در حین عبور از داخل جسم موجب نوسان شود. در طول این فرآیند، پرتو مایکروویو عبوری با ماده و مولکول آب واکنش داده، انرژی را از دست داده، شدت توانش افت نموده و تغییر فاز می‌دهد.

در حین عبور از داخل جسم، شدت پرتو مایکروویو به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به هر حال به ازای تعدادی عوامل موجود در مصالح واقعی، عکس‌العمل ممکن است از نقطه‌ای به نقطه دیگر و بنا بر این نسبت به زمان متغیر باشد. علاوه بر انرژی جذب یا تغییر فاز، مولکول‌های قطبی کسری از انرژی ورودی پرتو را برگشت می‌دهند. از آنجا که عکس‌العمل متقابل با مولکول‌های آب قوی‌تر از عکس‌العمل متقابل با مولکول‌های سایر مواد است، انرژی منتقل شده کاهش یافته، فاز تغییر نموده و تابش برگشتی افزایش و در نتیجه MC بالا می‌رود.

این روش هم برای شدت پرتو منتقل شده و هم برای انتقال فاز یا بازتاب قابل استفاده است. راحت‌تر این است که با بازتاب کار شود، زیرا گسیل‌دهنده و شناساگر همراه هم بوده که یک عامل ویژه هنگام بحث برای سازه‌های بزرگ است، و عمل انتشار و دریافت از یک سمت انجام می‌گیرد.

اندازه ماده مورد بررسی باید بزرگ‌تر عمق نفوذ پرتو باشد زیرا پرتو مایکروویو باید به طور کامل به داخل ماده نفوذ کند تا از بازتاب و تداخل پیشگیری شود.

با افزایش رطوبت مقدار جذب نیز بالا می‌رود، ولی بسامد امواج مایکروویو از ماده‌ای به ماده دیگر و حتی در داخل همان ماده تغییر می‌کند. بخشی از پرتو که به آن طرف سازه می‌رسد، منعکس شده و خوانش را تحت

تاثیر قرار می‌دهد. این عمل استفاده از آن برای دیوارهای ضخیم (برای مثال ۴۰ cm تا ۱۰۰ cm) با توجه به عمق نفوذ پرتو و نوع ماده) را با محدودیت مواجه می‌سازد. به ندرت می‌توان از این روش به طور مطمئن در چوب استفاده نمود.

حسگر امواج مایکروویو باید با سطح ماده تماس داشته باشد. اگر هیچ تماسی وجود نداشته یا سطح ناهموار باشد، امواج تشدید شده پایدار بین سطح ماده و حسگر تشکیل می‌شوند و خوانش‌ها را با ابهام مواجه می‌سازند. هنگامی که حسگر در فاصله زیادی از سطح مورد بررسی قرار داده شود، سیگنال به سرعت افت می‌کند.

اگر حفره‌ای در داخل مصالح ساختمانی یافت شود (برای مثال یک نقش جدا شده از دیوار یا آجرهای توخالی) امواج پایدار تشدید در حفره شکل گرفته و خوانش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

در مورد سازه‌های چند لایه‌ای (برای مثال نقوش، گچ‌کشی روی آجرها)، پراش یا بازتاب مایکروویو در هر گستگی بین لایه‌های متواالی ممکن است خیلی شدید و قابل توجه باشد. در عمل، سازه ساختمان باید به طور کامل همگن باشد که این حالت در ساختمان‌های میراث فرهنگی نادر است.

به ازای بسامدهای بالاتر از ۱GHz تاثیرپذیری از نمک‌ها ناچیز و قابل اغماض است. به هر حال اگر نمک‌ها به حد مرطوب برسند، و جذب مولکول‌های آب شروع شود، آن‌ها برای پرتو ورودی اشباع‌کننده خروجی به عنوان آئینه عمل خواهند نمود.

ماده مورد بررسی نباید حاوی فلزات یا مقادیر بسیار اندکی آبکاری در گذشته باشد، برای مثال طلاکاری، زیرا فلزات امواج مایکروویو را منعکس نموده و خوانش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

استفاده فقط برای موارد محدودی که ضخامت چوب بیشتر از عمق نفوذ پرتو است (برای مثال بین ۵۰ cm تا ۱۲۰ cm) با توجه به عمق نفوذ مربوط به دلان کندن حشرات، میزان رطوبتی و گونه‌های چوب) امکان‌پذیر است.

پراکنش امواج مایکروویو در راستای محور، راستای شعاعی و مماس بر راستای چوب یکسان نیست. مولفه‌های شعاعی و مماسی کاملاً مشابه هستند، ولی مولفه شعاعی فرق دارد. در نتیجه اندازه‌گیری‌های انجام شده موازی و عمود بر دانه‌ها ممکن است باهم فرق داشته باشند.

اندازه الوار یا کنده بریده شده، عمق نفوذ سیگنال را برای پیشگیری از برگشت به عقب امواج، افزایش خواهد داد.

شدت پرتو با بالارفتن میزان رطوبتی کاهش می‌یابد، ولی با بسامدهای امواج، از ماده‌ای به ماده دیگر، و حتی در داخل یک ماده با توجه به بافت داخلی، چوب دانه، آلودگی فارچی، سوراخ‌کاری حشرات تغییر می‌کند. چگالی کاهش یافته موضعی چوب (برای مثال سوارخ‌کاری حشرات) ممکن است به عنوان موضع خشک تفسیر شود.

خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه هستند و عضی اوقات به درصد جرمی تبدیل می‌شوند. برای مصالح خاص، خروجی ممکن است پس از واسنجی نسبت به روش وزن‌سنجدی به طور آزمایشی به درصد وزنی تبدیل شود. گرچه تبدیل خودکار یا جداول تبدیل ارائه شده توسط تولیدکننده‌گان مفید هستند، ولی انجام هر نوع واسنجی به دلیل تغییراتی که مواد کهنه ممکن دچار شوند، در اثر کهنگی، حملات شیمیایی و بیولوژیکی مشکل است. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۳ دیالکتریک سنجدی میدان ناپایدار (محو شونده)

دیالکتریک سنجدی میدان ناپایدار (EFD) یک روش عیب‌یابی جدید بر مبنای طیف‌سنجدی دیالکتریک به ازای بسامد امواج مایکروویو 1GHz تا 1.5GHz است. برای ترسیم میزان رطوبتی و شوری به روش غیرمخرب، مشاهدات تا عمق 2cm تا 3cm به طور لحظه‌ای، وسیله اندازه‌گیری که یک افزاره امواج مایکروویو تشیدیدگر قابل حمل است، به کار می‌رود. این روش MC و غلظت نمک موجود در نقوش و دیوارها را با تخمین خواص دیالکتریک یک دیوار که یک مخلوط دیالکتریک «دوگانه» شامل ماده حجیم و آب است، برای تقابل بین ثابت دیالکتریک ϵ یک دیوار خشک (برای مثال $\epsilon < 4$ برای ملات، $\epsilon > 4$ برای آجر) و آب ($\epsilon = 80$) تقریباً برابر شناسایی می‌کند.

ماده مورد بررسی نباید حاوی فلزات یا مقادیر اندکی آبکاری فلزی برای مثال طلاکاری باشد.

خوانش‌ها نسبی هستند، ولی برای مصالح خاص برای مقایسه با روش وزن‌سنجدی یا پتانسیل‌سنجدی ماده KF، خروجی ممکن است پس از واسنجی به طور آزمایشی به مقادیر کمی تبدیل شود. این روش MC محدوده 0% تا 20% را اندازه‌گیری نموده و اطلاعات نیمه کمی در مورد وجود نمک‌های محلول بر حسب شاخص شوری از صفر تا 10 ارائه می‌کند. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۴ بازتاب‌سنجدی نسبت به زمان^۱

بازتاب‌سنجدی نسبت به زمان (TDR) بر مبنای اندازه‌گیری مدت زمان بین ارسال و دریافت یک سیگنال رادیویی استوار است. سامانه از یک فرستنده با بسامد امواج رادیویی (که پالس کوتاهی از انرژی الکترومغناطیس را ساطع می‌کند)، یک آنتن جهتی^۲ (آنتن پرتو) و گیرنده حساس به بسامد امواج رادیویی تشکیل شده است.

از حساسیت TDR نسبت به تغییرات ثابت دیالکتریک ماده بین دو رسانا، برای اندازه‌گیری میزان رطوبتی به کار می‌رود.

همان‌طور که در شکل ب-۱ دیده می‌شود، یک تغییر کوچک در میزان رطوبتی تاثیر معنی‌داری بر ثابت دیالکتریک توده هوا-ماده و آب خواهد داشت. سرعت تابش الکترومغناطیس در این محیط به ثابت

1- Time-domain reflectometry

2- Directional antenna

دی الکتریک بستگی دارد. بنابراین ثابت دی الکتریک با اندازه‌گیری مدت زمانی که پالس ولتاژ از کاوند عبور کرده و بر می‌گردد، به دست می‌آید.

ماده مورد بررسی نباید حاوی فلزات یا مقادیر بسیار اندکی از آبکاری فلزات باشد، برای مثال طلاکاری.

خوانش‌ها نسبی هستند، ولی برای مصالح خاص برای مقایسه با روش وزن‌سنجدی یا پتانسیل‌سنجدی ماده KF، خروجی ممکن است پس از واسنجی به طور آزمایشی به مقادیر کمی تبدیل شود. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۵ تشدید مغناطیسی هسته

تشدید مغناطیسی هسته (NMR) اطلاعات دقیقی از محتوا و توزیع رطوبت به دست می‌دهد. این روش بر مبنای گشتاور زاویه‌ای پروتون‌های دارای بار مثبت و برآیند گشتاور مغناطیسی آن‌ها استوار است. اتم‌های هیدروژن غوطه‌ور در میدان مغناطیسی با سطح انرژی که به جهت‌گیری شان در داخل ماده بستگی دارد، به عنوان دوقطبی رفتار می‌کنند. ماده مورد بررسی در معرض میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار داده می‌شود؛ اتم‌های هیدروژن داخل ماده توسط پالس امواج رادیویی برانگیخته شده و در ادامه به مرور زمان به حالت معمول خود بر می‌گردند و سیگنال مشخصی را گسیل می‌دارند (سیگنال آسایش^۱).

اندازه‌گیری سیگنال آسایش این امکان را می‌دهد که تعدادی از اتم‌های هیدروژن موجود ارزیابی شده و با واسنجی مناسب ماده، اندازه‌گیری مطلق مقدار آب را مقدور می‌سازد. با کمک NMR، مولکول‌های آب ماده در معرض میدان‌های مغناطیسی ثابت و متناوب عمود بر هم قرار می‌گیرد. NMR می‌تواند مولکول‌های داخل مواد را بر اساس جنبش مولکولی، یعنی فاصله‌ای که آن‌ها در یک مدت زمان مشخص می‌پیمایند شناسایی نماید. جنبش مولکولی آب آزاد خبلی بالاتر از آب پیوندی بوده و بنابراین NMR می‌تواند برای ایجاد شاخصی از غلظت‌های حالت‌های آب «آزاد» و آب «پیوندی» به کار رود.

NMR می‌تواند به روش‌های مختلف، هم به صورت مخرب و هم به صورت غیرمخرب اجرا شود:

الف- برای پیشگیری از نمونه‌برداری در بررسی اشیاء بزرگ، حسگر NMR قابل حمل باید در محوطه مورد استفاده قرار گیرد. نقشه توزیع کمی رطوبت، یا تشخیص جذب و پویایی رطوبت داخل اشیاء چوبی، نقوش، سنگ‌ها و مصالح بنایی می‌تواند به دست آید. این بررسی‌ها غیرمخرب هستند.

ب- NMR «کلاسیک» موجود در آزمایشگاه‌ها از نمونه‌هایی چند میلی‌گرمی اخذ شده از ماده (اندکی مخرب) استفاده می‌کند که در لوله‌های شیشه‌ای NMR قرار داده می‌شوند (به قطر ۵mm تا ۲۰mm).

پ- MRI (تصویربرداری با تشدید مغناطیسی) این امکان را می‌دهد که ذرات نسبتاً بزرگ به داخل حفره وسیله NMR وارد شوند؛ اندازه اشیاء یا نمونه‌ها با توجه به اندازه حفره محدود می‌گردد.

خوانش‌ها نسبی هستند ولی قابل تبدیل به مقادیر کمی هستند. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۶ طیف‌سنجی فروسرخ (NIRS)

طیف‌سنجی NIR برای اندازه‌گیری MC به کار گرفته می‌شود، زیرا پیوندهای فرعی مرکب گروه هیدروکسی O-H آب به خصوص از ۱۴۵۰ nm و ۱۹۴۰ nm در دامنه طیفی NIR ظاهر می‌شود. NIRS بر حسب بازتابش پخش‌شونده عمل می‌کند و فقط برای سطوح قابل استفاده است (غیرمخرب). به هر حال، NIRS ممکن است برای پودر خرد شده نمونه‌های صالح ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد (تهاجمی/مخرب).

NIRS بر مبنای بازتابش از سطح نمونه استوار بوده و فقط برای سطح قابل تعمیم است. بازتابش NIR از ناهمواری سطح و سایر اثرات غیرخطی ناشی از آب موجود در خلل و فرج‌های سطح یا زاویه تابش، تاثیر می‌پذیرد.

NIRS می‌تواند مقدار آب و فعالیت آبی بسیاری از صالح و همین‌طور محدوده وسیعی از مقدار آبی را شناسایی کند. این روش سریع، غیرمخرب و بدون تماس بوده (به‌غیر از نمونه‌های خرد و آسیاب شده) و می‌تواند برای اندازه‌گیری لحظه‌ای رطوبت در محل یا آزمایشگاه استفاده شود.

در حالت کلی، NIRS یک روش تکرارپذیر بوده، نسبت سیگنال به نویه بالایی داشته ولی نیاز به واسنجی دارد. واسنجی باید ترجیحاً با پتانسیل‌سنجی ماده کارل فیشر همرا با یک روش وزن‌سنجی انجام گیرد.

خوانش‌ها نسبی هستند، ولی برای صالح مقایسه با روش وزن‌سنجی یا پتانسیل‌سنجی ماده KF، خروجی ممکن است پس از واسنجی به‌طور آزمایشی به مقادیر کمی تبدیل شود. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۷ پالس‌های فراصوتی

این روش بر مبنای عبور یا بازتابش پالس‌های فراصوتی استوار است. در این روش از انتشار پالس‌های فراصوتی در داخل یک ماده برای تشخیص مدت زمان سیر و هر تغییری در شدت موج به ازای مسافت معین برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. سرعت انتشار با اندازه‌گیری طول و مدت زمان سیر (مدت زمان پرواز) موج فراصوتی تعیین می‌گردد.

پالس‌های فراصوتی از داخل ماده با گذردهی^۱ و سرعتی منتشر می‌شوند که تابعی از خواص فیزیکی ماده، برای مثال مدول کشسانی و چگالی و میزان رطوبتی است. سرعت پالس فراصوتی با زیاد شدن MC افزایش یافته ولی گذردهی (انتقال) آن کاهش می‌یابد. این وسیله می‌تواند هم برای حالت منتقل شده (عبور کرده) یا حالت بازتابش مورد استفاده قرار گیرد.

خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه هستند و بعضی اوقات ممکن است به٪ MC بر مبنای جرمی یا حجم تبدیل شوند. گرچه جداول تبدیل ارائه شده توسط تولیدکنندگان مفید هستند، ولی واسنجی آن مشکل است. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

پ-۸ گرمانگاری^۱

دوربین تصویربرداری حرارتی، تابش در محدوده فروسرخ (IR) طیف الکترومغناطیس را تشخیص داده (تقریباً در باند طیفی ۹ μm تا ۱۴ μm) و تصاویر این تابش را ظاهر می‌کند. دوربین به نور مرئی عکس العمل نشان نداده و فقط تابش IR گسیل شده از یک سطح (مطابق با قانون استفان بولتزمن و قانون پلانک مناسب با دمای مطلق سطح است) یا بازتابیده شده از سطح را دریافت می‌کند.

یک دوربین پیشرفته متشكل از سامانه نوری، شناساگری که با حرارت کنترل می‌شود، تقویت کننده، پردازشگر سیگنال، درگاههای ورود/خروج، شامل افزارهای ذخیره داده و نمایش است. خروجی دوربین به تصویر قابل دیدن با چشم که حرارت نگار نامیده می‌شود یا در صورتی که انتشارپذیری و دمای گسیلنگی^۲ محیط معلوم باشد ممکن است به نقشه دمای سطح مورد بررسی تبدیل شود.

این دوربین مستقیماً به مقدار آبی حساس نیست ولی به تابش حرارتی حساس بوده و ممکن است اختلاف دما نسبت به فضا و زمان را که ممکن است ناشی از رطوبت باشد را تشخیص دهد. به همین دلیل، این روش نمی‌تواند واسنجی شود.

از آنجا که اختلافات مربوط به رسانش حرارتی ممکن است دمای سطح را تغییر داده و سایر فرآیندهای فیزیکی مختلف با یکدیگر عکس العمل متقابل داشته باشند، بعضی اوقات درست نیست که تصور شود سردترین نواحی، رطوبت بالایی دارند. رطوبت موجب بهبود رسانایی حرارتی شده و یک پل حرارتی ایجاد می‌نماید: برای مثال رسانایی حرارتی ممکن است نسبت به سرمایش ناشی از تبخیر برجسته بوده و نسبت به به دمای جوانب دیگر همان دیوار یک ناحیه مرطوب، ممکن است سرددتر یا گرمتر به نظر برسد. این عمل ممکن است تفسیرها را با ابهام مواجه سازد.

گرمانگاری ممکن است تحت شرایط ثابت (دما نسبت به زمان تغییر نکند) یا پویا (کاهش یا افزایش دما) استفاده شود. این رویکرد ممکن است به صورت زیر غیرفعال (یعنی بدون گرم شدن تعمدی) یا فعال (یعنی گرم شدن تعمدی سطح مورد مشاهده به کمک گرمکن‌ها) باشد:

الف- در رویکرد غیرفعال تحت شرایط ثابت، فرض بر این است که در یک سطح در حال تبخیر، گرمای نهان جذب شده از سطح می‌تواند آن را سرددتر کند.

ب- در رویکرد غیرفعال تحت شرایط پویا، فرض بر این است که یک ماده با داشتن مقادیر MC بالا، لختی حرارتی بیشتری را از خود نشان خواهد داد.

1- Thermography

2- Radiant

پ- در رویکرد فعال تحت شرایط پویا، فرض بر این است که برای پایش اختلاف دمای سطحی، در حالی که انتقال حرارت از داخل لایه زیرسطحی بهدلیل توزیع غیر یکنواخت رطوبت یا خصوصیات ساختاری آن، ناهمگون است، سطح به صورت مصنوعی گرم یا سرد می‌شود.

از گرمانگاری نمی‌توان برای اندازه‌گیری مقادیر کمی MC استفاده نمود ولی این روش یک ابزار مفید برای شناسایی مناطق مرطوب است. همه رویکردهای بالا ممکن است برای مشخص کردن مناطق با MC بالا برای مثال برای شناسایی نفوذ و منبع نشتی، مفید باشند. به هر حال اطلاعات ممکن است گمراه کننده باشند. اگر یک MC کمی مورد نیاز باشد، بررسی باید با سایر روش‌ها ادامه پیدا کند.

گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

جدول پ-۱- مقایسه بین سایر روش‌های نسبی: خصوصیات

گرمانگاری	پالس‌های فراصوتی	طیف‌سننجی فروسرخ (NIRS)	تشدید معناتیسی هسته (NMR)	بازتاب سنجی نسبت به زمان (TDR)	دی‌الکتریک سنجی میدان جذب شونده (EFD)	امواج مایکروویو	
مصالح بنایی، چوب	مصالح بنایی، چوب	صالح بنایی، چوب	صالح بنایی، چوب	صالح بنایی	صالح بنایی	صالح بنایی (چوب)	ماده
خیر	خیر	خیر	خیر/بله	خیر	خیر	خیر	تهاجمی مخرب
فضای توزیع مولکول-های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	فضای توزیع مولکول-های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	باندهای جذبی شامل O-H آب	فضای توزیع مولکول-های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	فضای توزیع مولکول-های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	فضای توزیع مولکول-های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	فضای توزیع مولکول‌های آب، مرطوب شدن، گرادیان‌ها، خلل و فرج‌ها یا عوامل دیگر	حساسیت روش به:
سطح	هسته	سطح (حالت بازتاب)	هسته	زیرسطح	زیرسطح	هسته	عمق نفوذ
سریع (دقیقه)	خیلی سریع (ثانیه)	خیلی سریع (ثانیه)	خیلی سریع (ثانیه)	خیلی سریع (ثانیه)	خیلی سریع (ثانیه)	خیلی سریع (ثانیه)	زمان عکس العمل
در محل / آزمایشگاه	در محل / آزمایشگاه	در محل / آزمایشگاه	در محل / آزمایشگاه	در محل / آزمایشگاه	در محل / آزمایشگاه	در محل	اندازه‌گیری آزمایشگاه / در محل
منقطع	منقطع	منقطع	منقطع	پایش منقطع/پیوسته	منقطع	منقطع	پایش پیوسته / منقطع

جدول پ-۱- مقایسه بین سایر روش‌های نسبی: خصوصیات

گرمانگاری	پالس‌های فراصوتی	طیف‌سننجی فروسرخ (NIRS)	تشدید معناتیسی هسته (NMR)	بازتاب سنجی نسبت به زمان (TDR)	دی‌الکتریک سنجی میدان جذب شونده (EFD)	امواج مایکروویو	
مصالح بنایی: وابستگی ضعیف به مقدار نمک	ارتباطی به روش اندازه‌گیری ندارد	سریع، غیرمخترب. تعیین دقیق رطوبت با مقادیر کم یا زیاد	اندازه‌گیری دقیق مقدار مولکول‌های آب، تصویربرداری از توزیع مولکول‌های آب	وابستگی ضعیف به مقدار نمک	سازه‌های بزرگ؛ امکان تصویربرداری از اعماق مختلف با استفاده از کاوندهای گوناگون	مصالح بنایی: وابستگی ضعیف یا بدون وابستگی به مقدار نمک (به غیر از مرطوب شدن)	مزایا
چوب: نیازمند رویکرد فعال، به MC حساسیت کمتری دارد. مصالح بنایی: شرایط محیطی بر اندازه‌گیری تاثیر می‌گذارد.	از گسستگی‌های سازه‌ای، تغییرات چگالی و گرادیان‌های رطوبتی تاثیر می‌پذیرد.	فقط برای سطح قابل تعمیم است، از عوامل غیرخطی تاثیر می‌پذیرد.	از سایر اتم‌های هیدروژن تاثیر می‌پذیرد	به خواص فیزیکی مصالح بستگی دارد. مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از حد واقعی هستند.	به خواص فیزیکی مصالح بستگی دارد. نیاز به تماس کامل دارد	چوب و مصالح بنایی: فقط سطوح صاف و اجسام همگن. عوامل بحرانی: ضخامت؛ فلزات، لایه‌بندی، حفرات داخلی چوب: روش اندازه‌گیری از جهت‌گیری دانه تاثیر می‌پذیرد؛ عوامل بحرانی: ضخامت‌های خیلی زیاد؛ مصالح بنایی: عامل بحرانی؛ نمک، مرطوب شدن	معایب

جدول پ-۲- مقایسه بین سایر روش‌های نسبی: عدم قطعیت‌های آزمایشی و ملاحظات

<p>هر ماده خاصی نیاز به واسنجی ویژه دارد تا خوانش‌های دلخواه به میزان رطوبتی مربوط شوند. به هر حال، واسنجی ممکن است برای مصالح میراث فرهنگی قابل تعیین نباشد.</p> <p>نفوذ پرتو مایکروویو، به وسیله، شیء و میزان رطوبتی بستگی دارد.</p> <p>حسگر باید با جسم در تماس باشد. هنگامی که حسگر با سطح مورد بررسی مقداری فاصله داشته باشد، سیگنال به سرعت افت می‌کند.</p> <p>گرچه مولکول‌های آب خیلی سریعتر از سایر مولکول‌ها (قطبی) مواد خشک عکس العمل نشان می‌دهند، ولی ساختار ماده ممکن است با پرتو وارد عکس العمل متقابل شود.</p> <p>ضریب محoshدگی (میرایی) با افزایش میزان رطوبتی زیاد شده، ولی با بسامد امواج مایکروویو تغییر نموده، از ماده‌ای به ماده دیگر و حتی درون یک ماده متغیر است. شدت پرتو مایکروویو با فاصله‌گیری از سطح تا لایه‌های عمقی کاهش یافته و در مورد گردایان‌های رطوبتی تفسیر خوانش‌ها ممکن است مشکل باشد.</p> <p>اندازه ماده مورد بررسی (برای مثال سنگ‌ها) باید بزرگ‌تر از عمق محoshدگی پرتو باشد.</p> <p>خلل و فرج‌ها یا ناهمگونی‌های داخلی (برای مثال ترک‌ها) ممکن است موجب بازتاب‌های رو به عقب یا متعدد شده و خوانش‌ها گمراه کننده شوند.</p> <p>نتیجه ممکن است با توجه به مهارت اپراتور متغیر باشد.</p>	امواج مایکروویو
<p>به امواج مایکروویو مراجعه شود.</p>	دیالکتریک سننجی میدان جذب شونده (EFD)
<p>هر ماده خاصی نیاز به واسنجی ویژه دارد تا خوانش‌های دلخواه به میزان رطوبتی مربوط شوند. به هر حال، واسنجی ممکن است برای مصالح میراث فرهنگی قابل تعیین نباشد.</p> <p>حسگر باید با جسم در تماس باشد. هنگامی که حسگر با سطح مورد بررسی مقداری فاصله داشته باشد، سیگنال به سرعت افت می‌کند.</p> <p>گرچه مولکول‌های آب خیلی سریعتر از سایر مولکول‌ها (قطبی) مواد خشک عکس العمل نشان می‌دهند، ولی ساختار ماده ممکن است با پرتو وارد عکس العمل متقابل شود.</p> <p>خلل و فرج‌ها یا ناهمگونی‌های داخلی (برای مثال ترک‌ها) ممکن است موجب بازتاب‌های رو به عقب یا متعدد شده و خوانش‌ها گمراه کننده شوند.</p>	بازتاب سننجی نسبت به زمان (TDR)
<p>می‌تواند به مقدار ماده آلی حساسیت داشته باشد.</p> <p>خروجی نسبی است، ولی پس از واسنجی انجام شده برای ماده خاص نسبت به روش وزن‌سننجی یا KFT می‌تواند به مقادیر کمی تبدیل شود. واسنجی فقط برای نمونه‌هایی که اخذ شده‌اند اعتبار داشته و برای سایر اقلام میراث فرهنگی مشابه قابل استفاده نیست.</p> <p>باید مراقبت شود که ریسک‌های بهداشتی به حداقل برسد.</p>	تشدید مغناطیسی هسته (NMR)
<p>به طور کلی این روش حساس بوده و تکرارپذیر است.</p> <p>این روش از ناهمواری سطح، فضاهای خالی پر شده از آب و زاویه تابش (پرتو دهی) تاثیر می‌پذیرد.</p> <p>خروجی پس از واسنجی انجام شده برای ماده خاص نسبت به KFT، می‌تواند به مقادیر کمی تبدیل شود.</p> <p>واسنجی فقط برای نمونه‌هایی که اخذ شده‌اند اعتبار داشته و برای سایر اقلام میراث فرهنگی مشابه قابل استفاده نیست.</p>	طیفسننجی فروسرخ (NIRS)

<p>سرعت امواج صوتی نسبت به میزان رطوبتی متغیر بوده و با توجه به بافت درونی، برای مثال آلودگی قارچی، سوراخ شدگی توسط حشرات، زاویه دانه چوب، از ماده‌ای به ماده دیگر و حتی داخل یک ماده نیز تغییر می‌کند. در مورد گردایان‌های رطوبتی، تفسیر خوانش‌ها ممکن است مشکل باشد.</p> <p>هر ماده خاصی نیاز به یک منحنی واسنجی ویژه دارد به هر حال، واسنجی ممکن است برای مصالح میراث فرهنگی قابل تعمیم نباشد.</p> <p>خلل و فرج‌ها یا ناهمگونی‌های داخلی (برای مثال ترک‌ها) ممکن است موجب بازتاب‌های رو به عقب یا متعدد شده و خوانش‌ها گمراه کننده شوند.</p> <p>نتیجه ممکن است با توجه به مهارت اپراتور متغیر باشد.</p>	پالس‌های فرآصوتی
<p>روشی برای یافتن مناطق مرطوب و اطلاعات نیمه کمی است.</p> <p>به کارگیری این روش مشکل بوده و گرماسنج‌های فعال/غیرفعال تفسیرشان سخت است.</p> <p>نتیجه می‌تواند به شرایط فیزیکی سطح ماده و تعدادی از عوامل محیطی (برای مثال تابش فعلی و اخیر، پوشش ابر، باد، بارندگی، دما و رطوبت هوا، بازتابش یا سایه مربوط به اجسام دور و بر) بستگی داشته باشد.</p> <p>وسیله‌های اندازه‌گیری در محل باید کیفیت خوبی داشته باشند.</p> <p>اندازه‌گیری‌های صرفاً نسبی: نتایج قابل واسنجی نیستند.</p>	گرمانگاری

پیوست ت

(آگاهی دهنده)

روش‌های دارای الزامات ایمنی خاص

ت-۱ کلیات

این پیوست مربوط به روش‌هایی است که دارای الزامات ایمنی خاص بوده و باید با قوانین ایمنی و مقررات IAEA برای محافظت در برابر تابش یون‌ساز^۱ و ایمنی منابع تابش انطباق داشته باشد.

اندازه‌گیری‌ها باید توسط اشخاص واجد شرایط و آموزش دیده مطابق با استانداردهای ISO 20807: 2004 و ISO/IEC 17024: 2012 و ISO 9712: 2012 اجرا شوند.

به منظور انجام بررسی کلی و مقایسه بین روش‌های فهرست شده در این پیوست، جداول ت-۱ و ت-۲ خصوصیات روش‌های مختلف، عدم قطعیت‌های آزمایشی و تعدادی ملاحظات مربوط به بهره‌برداری خاص از آن‌ها همراه مصالح چوبی یا مصالح بنایی را گزارش خواهد نمود. برای کمک به کاربر در انتخاب راحت‌ترین روش و تفسیر خوانش‌های MC در حوزه میراث فرهنگی، جداول ت-۱ و ت-۲ مفید خواهند بود.

ت-۲ اشعه X

پرتو سنجی با امواج رادیویی یک روش تصویربرداری غیرمخرب است که در آن از اشعه‌های X برای مشاهده ساختار داخلی یک شیء استفاده می‌شود. هنگامی که شیء در معرض یک پرتو X واقع شود، بخارط اثر متقابل با ماده و جذب آن توسط آب، تضعیف پرتو روی می‌دهد. فرض می‌شود که چگالی ماده خشک نسبتاً ثابت بوده و تنها میزان رطوبتی متغیر است. تعیین کمی میزان رطوبتی بر مبنای تفریق لگاریتمی تصویر مرجع (برای مثال نمونه خشک) از تصویرهای نمونه مرطوب استوار است. توزیع رطوبت و مقدار آن را می‌توان با یک مقیاس خاکستری یا توسط شدت نور عبوری از موج‌سنج یا با تغییر روش‌نایی اندازه‌گیری و شناسایی نمود.

در حالت کلی لازم است که نمونه همراه با حسگری که در پشت ماده برای اندازه‌گیری تضعیف ناشی از جذب توسط ماده و رطوبت داخلی آن مستقر شده است، در معرض یک پرتو تابشی واقع شود. این تضعیف می‌تواند به میزان رطوبتی داخل ماده مرتبط شود؛ برای این کار لازم است که واسنجی مربوط به میزان رطوبتی مطلق انجام گیرد. این روش می‌تواند برای تجزیه جریانها در مصالح متخلخل به کار رود.

این روش آزمون، غیرمخرب است.

پرتوسنجی مقطعی با اشعه X بر مبنای آشکارسازی تضعیف یا تغییر فاز پرتو گذرنده از یک نمونه استوار است. در حالی که پرتو سنجی با امواج رادیویی تصاویر مربوط به یک جهت‌گیری خاص نمونه را ثبت می‌کند، پرتوسنجی مقطعی^۱ تصاویری از زوایای مختلف تهیه می‌کند. امروزه میکروسکوپ پرتوسنجی مقطعی با اشعه X مبتنی بر سیکلوترون^۲ (SRXTM) یک روش قدرتمند برای بررسی‌های غیرمخرب و بسیار واضح از انواع مختلف مواد است. نسل سوم دستگاه‌های تابش سیکلوتورن با انسجام و وضوح عالی، امکان تصویربرداری در مقیاس میکرومتر، کمتر از میکرومتر، تصویربرداری کمی و سه بعدی را مقدور می‌سازند.

خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه است. ممکن است پس از واسنجی برای یک ماده خاص، به درصد جرمی تبدیل شوند. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

ت-۳ اشعه‌های گاما

اشعه‌های گاما مشابه اشعه X بوده ولی بسیار پر انرژی‌تر از آن هستند. تضعیف یک پرتو از اشعه‌های گاما که به داخل ماده نفوذ می‌کند، به خصوصیات ماده و میزان رطوبتی آن بستگی دارد. تعداد فوتون‌های گاما به صورت یک تابع نمایی نزولی کاهش می‌یابد. با ازدیاد WC ضریب محوشدگی^۳ افزایش می‌یابد و شدت پرتو افت می‌کند. اندازه‌گیری محوشدگی شاخصی از WC به دست می‌دهد.

چگالی توده ماده متخلخل (برای مثال سنگ متخلخل، آجر رسی، سیمان) را می‌توان با شمارش تعداد فوتون‌های گاما که پس از برخورد به اتم‌های ماده به شناساگر برگشت داده شده‌اند، اندازه‌گیری نمود. شدت پرتوی گامای تک فام پر انرژی منتشر شده از یک منبع پرتوزا (برای مثال سزیوم ۱۳۷، کبالغ ۶۰ و آمریکوم ۲۴۱) با توجه به ماده و چگالی آن تضعیف می‌شود. فرض بر این است که چگالی ماده خشک ثابت مانده و فقط رطوبت متغیر باشد. تغییرات چگالی ماده مرطوب با روش عبور دهی گاما اندازه‌گیری شده و WC از همین تغییر چگالی تعیین می‌شود. درصد تغییر در ضریب تضعیف خطی پرتو گاما ناشی از وجود آب تقریباً برابر با WC نمونه بوده و امکان انجام واسنجی یا تهیه جداول تبدیلی را فراهم می‌سازد.

اگر اندازه‌گیری‌ها با اشعه گاما با دو سطح انرژی صورت می‌گیرد، معادلات محوشدگی باید به طور همزمان حل شوند تا هم مقدار آب و هم چگالی توده مواد به دست آید. با استفاده از روش گامای دوگانه^۴، دقت اندازه‌گیری‌های مقدار آب نسبت به زمانی فرض می‌شود چگالی توده ثابت می‌ماند، بهبود می‌یابد.

خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه است. ممکن است پس از واسنجی برای یک ماده خاص، به درصد جرمی تبدیل شوند. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

1- Tomography

2- Synchrotron-based Xray tomographic microscopy

3- Attenuation coefficient

4- Dual gamma

ت-۴ پخش نوترون

نوترون‌های پرسرعتی که از یک منبع پرتوزا منتشر می‌گردند به داخل یک ماده شلیک می‌شوند. نوترون‌های سریع به تدریج در اثر برخورد با سایر اتم‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند. هیدروژن موثرترین اتم برای کاهش سرعت نوترون‌ها است زیرا جرم نوترون و اتم هیدروژن تقریباً یکسان است. مولکول‌های آب فراوان‌ترین ترکیب شیمیایی است که حاوی اتم‌های هیدروژن بوده و عامل اصلی کاهش سرعت است. تعداد نوترون‌های کند و مقدار WC رابطه خطی با هم دارند. یک شناساگر تعداد نوترون‌های کند شده را به ازای هر ثانیه شمارش نموده و به میزان رطوبتی تبدیل می‌نماید. پرتوسنج مقطعی سیکلوترون وضوح فضایی دقیقی را به دست می‌دهد. خوانش‌ها بر حسب واحدهای دلخواه است. ممکن است پس از واسنجی برای یک ماده خاص، به درصد جرمی تبدیل شوند. گزارش آزمون باید مطابق با بند ۱۰ تهیه شود.

جدول پ-۱- مقایسه بین سایر روش‌های دارای الزامات ایمنی ویژه: خصوصیات

نوtron‌ها	اشعه‌های گاما	اشعه X	
صالح بتنی	صالح بتنی	صالح بتنی، چوب	ماده
خیر	خیر	خیر	تهاجمی مخرب
توزیع حجمی مولکول‌های آب، سایر عوامل	توزیع حجمی مولکول‌های آب، سایر عوامل	توزیع حجمی مولکول‌های آب، سایر عوامل	حساسیت روش به:
کل جسم	کل جسم	کل جسم	عمق نفوذ
نسبی	نسبی	نسبی	خوانش‌های مطلق/نسبی
سریع (ثانیه)	سریع (ثانیه)	سریع (ثانیه)	زمان عکس العمل
در محل/در آزمایشگاه	در محل/در آزمایشگاه	در محل/در آزمایشگاه	اندازه‌گیری در آزمایشگاه/در محل
منقطع	منقطع	منقطع	پایش پیوسته/منقطع
اشیاء بزرگ/سازه‌ها	اشیاء بزرگ/سازه‌ها	اشیاء بزرگ/سازه‌ها	کاربرد توصیه شده برای میراث فرهنگی
خوانش‌ها می‌تواند مستقیماً به رطوبت صالح ساختمانی مرتبط شود. سازه‌های خیلی بزرگ	تصویربرداری از سازه‌های خیلی بزرگ؛ امکان تصویربرداری از اعماق مختلف	تصویربرداری از سازه‌های کوچک تا بزرگ؛ امکان تصویربرداری از اعماق مختلف	مزایا
الزامات بسیار سخت گیرانه برای محافظت در برابر تابش. وابستگی به خواص فیزیکی ماده	الزامات بسیار سخت گیرانه برای محافظت در برابر تابش. وابستگی به خواص فیزیکی ماده	الزامات بسیار سخت گیرانه برای محافظت در برابر تابش. وابستگی به خواص فیزیکی ماده	معایب

جدول ت-۲- مقایسه بین روش‌های دارای الزامات اینمنی ویژه: عدم قطعیت‌های آزمایشی و ملاحظات

<p>تغییرات زیاد چگالی ماده می‌تواند باعث افت یا محدود شدن وضوح فضایی شود. استفاده از وسیله‌های اندازه‌گیری در محل (برجا) مشکل است. برای هر ماده خاص نیاز به واسنجی است</p>	أشعة X
<p>تغییرات زیاد چگالی ماده می‌تواند و باعث افت یا محدود شدن وضوح فضایی شود. استفاده از وسیله‌های اندازه‌گیری در محل مشکل است. برای هر ماده خاص نیاز به واسنجی است</p>	أشعه‌های گاما
<p>واسنجی ممکن است مشکل باشد. وضوح عمقی کم، اندازه‌گیری میزان رطوبتی مطلق را با مشکل مواجه می‌سازد. بهدلیل بالابودن، غیرقابل پیش‌بینی بودن تعداد نوترون‌های سریعی که به اتمسفر می‌جهند، اندازه‌گیری رطوبت مطلق مشکل است. بهدلیل این که حجم واقعی اندازه‌گیری شده توسط شناساگر هرگز به طور دقیق مشخص نیست، تفسیر نتایج می‌تواند مشکل باشد.</p>	نوترون‌ها

کتاب نامه

- [1] Aguilar-Castro K.M., Flores-Prieto J.J., Macias-Melo E.V. Near infrared reflectance spectroscopy: Moisture content measurement for ceramic plaster. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2014, 28 (1) pp. 293–300
- [2] Arsoy S., Ozgur M., Keskin E., Yilmaz C. Usability of calcium carbide gas pressure method in hydrological sciences. *J. Hydrol. (Amst.)*. 2013, 503 pp. 67–76
- [3] ASTM D4944-04: 2011, standard Test Method for Field Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Calcium Carbide Gas Pressure Tester
- [4] ASTM D4442-07: 2007, standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials
- [5] ASTM D2216-10: 2010, Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock
- [6] Avdelidis N.P., Moropoulou A. Emissivity Considerations in Building Thermography. *Energy Build.* 2003, 35 (7) pp. 663–667
- [7] Ballard L.F. Instrumentation for Measurement of Moisture: Literature Review and Recommended Research. *Highway Research Board, National Research Council*, 1973, 60 p.
- [8] Beall F.C. Industrial applications and opportunities for non-destructive evaluation of structural wood members. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 2007, 9 (2) pp. 127–134
- [9] Lipták B.G. *Instrument Engineers' Handbook: Process measurement and analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida, Vol. 1, 2003, 1920 p.
- [10] Brischke C., Rapp A.O., Bayerbach R. Measurement system for long-term recording of wood moisture content with internal conductively glued electrodes. *Build. Environ.* 2008, 43 pp. 1566–
- [11] BS 812-109: 1990, Testing aggregates. Methods for determination of moisture content
- [12] Camuffo D. 2010: “The role of Temperature and Moisture”, pp. 9-30 in: Camuffo D., Fassina V., Havermans J. (Edts), 2010: *Basic Environmental Mechanisms Affecting Cultural Heritage Understanding deterioration mechanisms for conservation purposes*. COST Action D42 “Enviart”, Nardini, Florence. ISBN 978-88-404-433-8
- [13] Camuffo D. 2013: *Microclimate for Cultural Heritage: Conservation, restoration and maintenance of indoor and outdoor monuments* (2nd Ed.). Elsevier, New York. ISBN 978-0-444-23296-8
- [14] Camuffo D., Bertolin C. Towards standardisation of moisture content measurement in cultural heritage materials. *E-Preservation Science*. 2012, 9 pp. 23–35
- [15] Carr-Brion K. *Moisture Sensors in Process Control*. Elsevier Applied Science, Amsterdam, 1986, 122 p.
- [16] Capitani D., Proietti N., Gobbino M., Soroldoni L., Casellato U., Valentini M. et al. An integrated study for mapping the moisture distribution in an ancient damaged wall painting. *Anal. Bioanal. Chem.* 2009, 395 pp. 2245–2253

- [17] Dai G., Ahmet K. Long-term monitoring of timber moisture content below the fiber saturation point using wood resistance sensors. *Forest Products Journal*. 2001, 51 (5) pp. 52–58
- [18] de Oliveira F.G.R., Candian M., Lucchette F.F., Salgon J.L., Sales A. Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Gouphia glabra*. *Mater. Res.* 2005, 8 (1) pp. 11–14
- [19] Dill M.J. 2000: A review of testing for moisture in building elements. CIRIA Report No. CIRIAC538. London., 167 pp, ISBN-13: 978-0860175384
- [20] Eklund J., Zhan H., Viles H., Curteis T. Using hand-held moisture meters on limestone: some factors affecting their performance and guidelines for best practice. *Int. J. Archit. Herit.* 2013, 7pp. 1–18
- [21] EN 322: 1993, Wood-based panels-Determination of moisture content
- [22] EN 13040: 2007, Soil improvers and growing media-Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density
- [23] EN 15757: 2010, Conservation of Cultural Property -Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۹۵: سال ۲۰۰۲۷، حفاظت از اموال فرهنگی- دما و رطوبت نسبی برای محدود کردن آسیب مکانیکی به مواد آلی نم‌گیر- ویژگی‌ها، با استفاده از استاندارد BS EN 15757:2010 تدوین شده است.

- [24] Francesca V., Osvaldo F., Stefano P., Paolo R.P. Soil moisture measurements: comparison of instrumentation performance. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2010, 136 (2) pp. 81–89
- [25] Goodhew S., Griffiths R., Woolley T. An investigation of moisture content in the walls of a straw-bale building. *Building and Environment Journal*. 2004, 39 pp. 1443–1451
- [26] Grinzato E., Ludwig N., Cadelano G., Bertucci M., Garfano M., Bison P. Infrared Thermography for Moisture Detection: A Laboratory Study and In-situ Test. *Mater. Eval.* 2011, 69 (1) pp. 97–110
- [27] Kestens V., Conneely P., Bernreuther A. Vaporisation coulometric Karl Fischer titration: A perfect tool for water content determination of difficult matrix reference materials. *Food Chem.* 2008, 106 pp. 1454–1459
- [28] Kumaran M.K., Mukhopadhyaya P., Normandin N. Determination of equilibrium moisture content of building materials: some practical difficulties. *J. ASTM Int.* 2006, 3 (10) pp. 1–9
- [29] ISO 1026: 1982, Fruit and vegetable products — Determination of dry matter content by drying under reduced pressure and of water content by azeotropic distillation

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۷۶: سال ۱۳۹۸۲، اندازه‌گیری ماده خشک در میوه و سبزی و فرآورده آن‌ها به روش خشک کردن در فشار کاسته شده، با استفاده از استاندارد ISO 1026: 1982 تدوین شده است.

- [30] ISO 2596:2006, Iron ores- Determination of hygroscopic moisture in analytical samples- Gravimetric, Karl Fischer and mass-loss methods
- [31] ISO 3529-3:2014, Vacuum technology — Vocabulary — Part 3: Total and partial pressure vacuum gauges

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۰۱۰-۳ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۵، فناوری خلا-واژه‌نامه- قسمت ۳: خلاسنچ‌های فشار جزئی و فشار کل، با استفاده از استاندارد ISO 3529-3: 2014 تدوین شده است.

- [32] ISO 9712: 2012, Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel

یادآوری- استاندارد ملی ایران-ایزو شماره ۹۷۱۲ (تجدیدنظر دوم): سال ۱۳۹۶، آزمون غیرمخرب- احرار شرایط و گواهی کردن کارکنان آزمون‌های غیرمخرب، با استفاده از استاندارد ISO 9712: 2012 تدوین شده است.

- [33] ISO 20807: 2004, Non-destructive testing- Qualification of personnel for limited application of non-destructive testing

- [34] ISO/IEC 17024: 2012, Conformity assessment — General requirements for bodies operating certification of persons

یادآوری- استاندارد ملی ایران-ایزو-آی‌اسی شماره ۱۷۰۲۴: سال ۱۳۹۳، ارزیابی انطباق- الزامات عمومی برای نهادهای گواهی کننده اشخاص، با استفاده از استاندارد ISO/IEC 17024: 2012 تدوین شده است.

- [35] JCGM 200, 2012: International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd edition. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM 2008)

- [36] Larsen P.K. Moisture measurement in Tirsted Church. Journal of Architectural Conservation. 2004, 10 (1) pp. 22–35

- [37] Lipták B.G. The Instrumentation System and Analysis (ISA). Instrument Engineers' Handbook:Process measurement and analysis. CRC Press, Boca Raton, Florida, Vol. 1, 2003

- [38] Lencis U., Udris A., Korjakins A. Moisture Effect on the Ultrasonic Pulse Velocity in ConcreteCured under Normal Conditions and at Elevated Temperature. Construction Science. 2011,10 (2478) pp. 71–78

- [39] Mollo L. and Greco R., 2011: Moisture Measurements in Masonry Materials by Time DomainReflectometry. Journal of Materials in Civil Engineering, 4, 442-444, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000188

- [40] Moore O.P. 2001: NDT Handbook, Infrared and Thermal method, Volume 3 (cap.18), ASNT,Columbus OH, 732 pp, ISBN: 1-57117-044-8

- [41] Mortl A., Muñoz-Carpena R., Kaplan D., Li Y. Calibration of a combined dielectric probe for soilmoisture and porewater salinity measurement in organic and mineral coastal wetland soils. Geoderma. 2011, 161 pp. 50–62

- [42] sociation. 2008: Appendix C – Moisture Guidelines & Moisture Testing.at onal Wood loor n ssociation. www.nwfa.org/member/

- [43] Norwegian Institute for Air Research—(NILU). WETCORR in buildings. NILU Information No. 2, N2007. Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway, 1994

- [44] Palaia L., Sánchez R., López V., Gil L., Monfort J., Tormo S. et al. 2008: “Procedure for NDT andTraditional Methods of Ancient Building Diagnosis by Using Thermograph, Digital Images andOther Instrument Data Analysis.” 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai,China

- [45] Phillipson M.C., Baker P.H., Davies M., Ye Z., McNaughtan A., Galbraith G.H. et al. Moisturemeasurement in building materials: an overview of current methods and new approaches. *Build. Serv. Eng. Res. Tech.* 2007, 28 (4) pp. 303–316
- [46] Pinchin S. Techniques for monitoring moisture in walls. *IIC Reviews in Conservation*. 2008, 9pp. 33–45
- [47] Proietti N., Capitani D., Di Tullio V. 2014: Applications of Nuclear Magnetic Resonance Sensors to Cultural Heritage. *Sensors* (Basel Switzerland). 2014, 14 pp. 6977–6997
- [48] Regulation (EC) No 1272: 2008-Classification, labelling and packaging of substances andmixtures
- [49] Roels S., Carmeliet J. Analysis of moisture flow in porous materials using microfocus X-rayradiography. *Int. J. Heat Mass Transfer.* 2006, 49 (25–26) pp. 4762–4772
- [50] Rosina E., Robison E.C. Applying infrared thermography to historic wood-framed buildings inNorth America. *APT Bulletin.* 2002, XXXIII (4) pp. 37–44
- [51] Rosina E., Spodek J. Using infrared thermography to detect moisture in historic masonry: a casestudy in Indiana. *APT Bulletin.* 2003, XXXIV (1) pp. 11–16
- [52] Saïd M.N.A. 2004: Moisture measurement guide for building envelope applications. Institute forResearch in Construction, National Research Council Canada, Research Report 190, 34 pp
- [53] Saïd M.N.A., Brown W.C., Shirtliffe C.J., Maurenbrecher A.H.P. Monitoring of the building envelopeof a heritage house-a case study. *Energy and Buildings Journal.* 1999, 30 (3) pp. 211–219
- [54] Said M.N. Measurement methods of moisture in building envelopes – a literature review. *Int. J. Archit. Herit.* 2007, 1 (3) pp. 293–310
- [55] Schajer G.S., Bahar Orhan F. Microwave Non-Destructive Testing of Wood and SimilarOrthotropic Materials. *Sensing and Imaging: An International Journal.* 2005, 6 (4) pp. 293–313
- [56] cholz E. Karl Fischer Titration-Determination of Water. Series: *Chemical Laboratory Practice*.pringer Verlag, Berlin, 1984, 138 p.
- [57] Siesler H.W., Ozaki Y., Kawata S., Heise H.M., eds. *Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications*. Wiley-VCH, New York, 2002
- [58] Scholz E. 2012: Reagents for Karl Fischer Titration-Hydranal Manual. Sigma-AldrichLaborchemikalien GmbH, D-30926 Seelze, Germany, ISBN: 0-941633-00-4
- [59] Shimamura Y., Urabe T., Todoroki A., Kobayashi H. Electrical impedance change method formoisture absorption monitoring of CFRP. *Adv. Compos. Mater.* 2004, 13 pp. 3–4, 297–310
- [60] Sundara-Rajan K., Byrd L., Mamishev A.V. Moisture Content Estimation in Paper Pulp UsingFringing Field Impedance Spectroscopy. *IEEE Sens. J.* 2004, 4 (3) pp. 378–383
- [61] Udagani C. Gamma ray attenuation Study with Varying Moisture Content of Clay Brick. *International Journal of Engineering Science Invention.* 2013, 2 (7) pp. 35–38
- [62] UNI 9091-3: 1989, Wood – Determination of moisture content – Azeotropic distillation (in Italian)

- [63] UNI 11085: 2003, Cultural heritage-Natural and artificial stones-Moisture content determination: Gravimetric method (in Italian)
- [64] UNI 11086: 2003, Cultural heritage-Natural and artificial stones-Determination of equilibrium moisture content (in Italian)
- [65] UNI 11121: 2004, Cultural heritage-Natural and artificial stones – In field water content determination by calcium-carbide method (in Italian)
- [66] Vun R.Y., Bhardwaj M.C., Hoover K., Janowiak J., Kimmel J., Worley S. 2006: Development of Non-contact Ultrasound as a Sensor for Wood Moisture Content. Proceedings of the European Conference on Non Destructive Techniques, ECNDT 2006-Tu.4.2.3, pp. 1-7
- [67] Zazueta F.S., Xin J. Soil Moisture Sensors. Bulletin 292, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Bulletin. 1994, 292 pp. 1–11