



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۰۳۸

چاپ اول

۱۳۹۵



دارای محتوای رنگی

**INSO**  
**20038**  
**1st.Edition**  
**2016**

حفاظت از میراث فرهنگی -  
تعیین ویژگی‌های خشک‌شوندگی -  
روش‌های آزمون

**Conservation of cultural heritage-**  
**Determination of drying properties-**  
**Test methods**

**ICS: 97.195**

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزهای مختلف در کمیسیونهای فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و موسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمانهای دولتی و غیردولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیونهای فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که موسسات و سازمانهای علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول تضمین کیفیت فرآورده ها و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده های تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای فرآورده های کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاهها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمانها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی نامه تایید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گران بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

### «حفاظت از میراث فرهنگی - تعیین ویژگی‌های خشک‌شوندگی - روش‌های آزمون»

#### رییس:

رحمانی، غلامرضا  
(دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)

#### سمت و/یا نمایندگی

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی -  
فرهنگی

#### دبیر:

کاویانی، فرید  
(کارشناسی شیمی)

اداره کل استاندارد استان کرمان

#### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابراهیم زاده، رضا  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

دانشگاه شهید باهنر کرمان

ابراهیمی، افشین  
(دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی -  
فرهنگی

ارباب‌سیر، حسین  
(کارشناسی ارشد مهندسی معدن)

دانشگاه شهید باهنر کرمان

امین شیرازی، شهرزاد  
(دکترای مرمت آثار تاریخی و فرهنگی)

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی -  
فرهنگی

جعفرزاده، صدیقه  
(کارشناسی مرمت آثار تاریخی)

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

جوادی، مه‌ری  
(کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)

اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و  
گردشگری استان کرمان

دادالهی، مهرانگیز  
(کارشناسی شیمی کاربردی)

اداره استاندارد شهرستان سیرجان

زاهدی، محمد رضا  
(دکترای باستان‌شناسی)

اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی  
کشور

زندى، عصمت  
(کارشناسی ارشد باستان‌شناسی)

اداره کل موزه‌ها و اموال منقول تاریخی  
کشور

بازنشسته سازمان میراث فرهنگی، صنایع  
دستی و گردشگری

عامری، سعید  
(کارشناسی مرمت آثار تاریخی)

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-  
فرهنگی

علی میرزایی، فاطمه  
(کارشناسی مرمت آثار تاریخی)

دانشگاه لرستان

کولیوند، فرشاد  
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ)

اداره کل استاندارد استان کرمان

کیانفر، مریم  
(کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)

دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمدی، پوریا  
(کارشناسی ارشد شیمی)

اداره کل استاندارد استان بوشهر

مواجی، فریده  
(کارشناسی مهندسی کشاورزی)

رئیس اداره استاندارد شهرستان سیرجان

یزدی میرمخلصونی، سید محمد  
(کارشناسی فیزیک)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ اصول آزمون
۳	۵ وسایل
۳	۶ آماده‌سازی آزمون‌ها
۴	۷ روش انجام آزمون
۶	۸ بیان نتایج
۷	۹ گزارش
۸	پیوست الف (الزامی) مثال عددی
۱۱	پیوست ب (آگاهی دهنده) تأثیر تهویه بر منحنی خشک‌شوندگی

## پیش‌گفتار

استاندارد «حفاظت از میراث فرهنگی - تعیین ویژگی‌های خشک‌شوندگی - روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در دویست و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد خدمات مورخ ۱۳۹۵/۰۱/۲۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

BS EN 16322: 2013, Conservation of Cultural Heritage- Test methods- Determination of drying properties

## مقدمه

در صورتی می‌توان از این روش آزمون استفاده کرد که ارزش اموال فرهنگی را تغییر نداده و قوانین اخلاقی مربوط به عملیات حفاظتی را رعایت کند.

ویژگی‌های خشک‌شوندگی مواد می‌تواند از طریق یک منحنی، که افت وزن و حجم آب از دست رفته درون نمونه را به صورت تابعی از زمان، در طی یک آزمون خشک‌شوندگی نشان می‌دهد، محاسبه گردد. معمولاً عملیات خشک‌شوندگی آزمون‌های اشباع با آب، از دو مرحله تشکیل می‌شود.

فاز اول خشک‌شوندگی، با انتقال آب مایع به سطح و به دنبال آن تبخیر آب، مشخص شده است. به دلیل سرعت کافی حرکت آب به سطح برای جبران افت آب ناشی از تبخیر، سطح مرطوب باقی مانده امکان تبخیر با یک نرخ ثابت را فراهم می‌کند. تبخیر سطحی تا حد زیادی توسط شرایط مرزی آزمون تعیین می‌شود. این شرایط مرزی شامل دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوای محیط هستند. در نتیجه شیب منحنی خشک‌شوندگی در طی مرحله اول، بازتاب این شرایط است.

فاز دوم خشک‌شوندگی هنگامی آغاز می‌شود که میزان آب آورده شده به سطح، به قدری کم شود که از رطوبت سطح کاسته شده و در نتیجه نرخ تبخیر سطحی نیز کاهش یابد. انتقال آب مایع به سطح، دیگر ممکن نبوده و تنها مکانیسم انتشار بخار کم کارآمدی باقی می‌ماند.

برخی مواد مانند خشت یا ماسه‌سنگ حاوی رس، در طی این منحنی خشک‌شوندگی دو فازی، خشک نمی‌شوند. برای مثال، در مورد مواد عمل‌آوری شده با مواد دافع آب، مرحله اول خشک‌شوندگی وجود ندارد.

## حفاظت از میراث فرهنگی - تعیین ویژگی های خشک شوندگی - روش های آزمون

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای مطالعه رفتار خشک شوندگی مصالح متخلخل غیرآلی استفاده شده در یا تشکیل دهنده اموال فرهنگی است. این روش آزمون، برای مصالح متخلخل غیرآلی، که یا درمان نشده اند و یا در معرض هرگونه درمان یا فرسودگی تسریعی هستند، کاربرد دارد.

### ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۳۲: سال ۱۳۹۵، حفاظت از اموال فرهنگی - اصطلاحات و تعاریف عمومی اصلی

### ۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها و کوتاه واژگان

#### ۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۳۲، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می رود:

۱-۱-۳

#### مصالح متخلخل غیرآلی

##### **Porous inorganic material**

این مصالح شامل سنگ های طبیعی مانند ماسه سنگ ها<sup>۱</sup>، سنگ آهک<sup>۲</sup>، مرمر<sup>۳</sup> و هم چنین مصالح مصنوعی مانند ملات<sup>۴</sup>، آندود، آجر و سایر مواد هستند.

۲-۱-۳

#### نرخ خشک شوندگی

##### **Drying rate**

- 1 - Sandstone
- 2 - Limestone
- 3 - Marble
- 4 - Mortar



به حجم آب انتقال یافته از آزمون در مساحت و زمان، گفته می‌شود.

۳-۱-۳

منحنی خشک شدن

#### Drying curve

به نمایش ترسیمی از افت آب در طی زمان گفته می‌شود، که در اکثر مصالح متخلخل غیرآلی، دو مرحله مجزای خشک‌شوندگی را نشان می‌دهد.

۴-۱-۳

فاز اول خشک شدن

#### First drying phase

به وسیله انتقال آب مایع به سطح که تبخیر را به دنبال دارد مشخص می‌گردد.

۵-۱-۳

فاز دوم خشک شدن

#### Second drying phase

با کاهش انتقال آب مایع و افزایش توزیع بخار آب مشخص می‌شود و توسط ویژگی‌های رطوبتی مواد محدود می‌شود.

۶-۱-۳

شکست ناگهانی منحنی خشک شدن

#### Knick-point of the drying curve

زمان انتقال بین اولین و دومین مرحله خشک شدن، که در منحنی خشک‌شوندگی نشان داده شده است.

۷-۱-۳

شاخص خشک شدن

#### Drying index

به مساحت سطح زیر منحنی به دست آمده توسط روش ترسیمی یا ریاضی، گفته می‌شود.

#### ۲-۳ نمادها و کوتاه‌واژگان

در این استاندارد نمادها و کوتاه‌واژگان زیر به کار می‌رود:

$m_{max}$  جرم آزمون اشباع شده درزبندی شده، برحسب کیلوگرم (kg)؛

$m_i$  جرم آزمون درزبندی شده در زمان  $t_i$ ، برحسب کیلوگرم (kg)؛

$m_f$  جرم نهایی آزمون درزبندی شده در زمان  $t_f$ ، برحسب کیلوگرم (kg)؛

$t_i$  زمان سپری شده از آغاز آزمون، برحسب ساعت (h)؛

$t_k$  زمانی که به نقطه شکست می‌رسیم، برحسب ساعت (h)؛

- $t_f$  زمان نهایی آزمون، برحسب ساعت (h)؛
- $A$  مساحت وجه خشک شده، برحسب مترمربع ( $m^2$ )؛
- $D_1$  نرخ خشک شدن در مرحله اول، برحسب کیلوگرم بر مترمربع ساعت ( $kg/m^2 h$ )؛
- $D_2$  نرخ خشک شدن در مرحله دوم، برحسب کیلوگرم بر مترمربع ساعت ( $kg/m^2 h$ )؛
- $M_i$  مقدار آب باقی مانده در آزمون در زمان  $t_i$  در واحد سطح، برحسب کیلوگرم بر مترمربع ( $kg/m^2$ )؛
- $\beta$  ضریب انتقال بخار.

#### ۴ اصول آزمون

اصول این روش آزمون بر مبنای تعیین رفتار خشک‌شوندگی مصالح متخلخل غیرآلی اشباع از آب است که در یک محیط کنترل شده خشک می‌شوند.

#### ۵ وسایل

- ۱-۵ زمان سنج با دقت حداقل ۱s.
- ۲-۵ گرم‌خانه تهویه‌دار<sup>۱</sup> با توانایی نگه داشتن دمای  $(60 \pm 2)^\circ C$ .
- ۳-۵ ترازوی آنالیزی با دقت حداقل ۰٫۰۱ gr.
- ۴-۵ وسیله اندازه‌گیری خطی (کولیس<sup>۲</sup>)، با دقت ۰٫۱ mm.
- ۵-۵ محفظه اقلیمی<sup>۳</sup> با دمای  $(23 \pm 1)^\circ C$  و رطوبت نسبی  $(50 \pm 3)\%$ .
- ۶-۵ کاغذ سنباده<sup>۴</sup> با زبری  $82 \mu m$  (متناظر با شماره زبری P180 مطابق با طبقه‌بندی فدراسیون مواد ساینده اروپا<sup>۵</sup> FEPA).
- ۷-۵ خشک‌خانه<sup>۶</sup>، که با مواد شیمیایی خشک‌کننده مانند سیلیکاژل<sup>۷</sup> یا سایر عوامل خشک‌کننده پر شده است.

#### ۶ آماده‌سازی آزمون‌ها

##### ۱-۶ تعداد و ابعاد آزمون‌ها

آزمون‌ها باید شکل منظمی مانند مکعب یا استوانه داشته باشند. ابعاد آنها باید در هر بعد حداقل ۱۰ mm باشد. نمونه‌های بزرگ دقت بسیار بیش‌تری دارند.

- 
- 1 - Ventilated oven  
 2 - Calliper  
 3 - Climatic chamber  
 4 - Sand paper  
 5 - Federation of European Producers of Abrasives (FEPA)  
 6 - Desiccator  
 7 - Silica gel

تعداد و ابعاد آزمون‌ها، به ناهمگنی مصالح بستگی دارد. هر سری آزمون، باید حداقل شامل سه آزمون باشد. در صورت وجود ناهمسانگردی، هر سری باید، مطابق با جهت‌یابی یکسانی تحت آزمون قرار گیرد. بهتر است ابعاد نمونه‌ها بیش از  $\pm 5\text{mm}$  اختلاف نداشته باشند.

در مورد مواد غیرهمگن مانند ملات‌های حاوی سنگدانه‌های درشت، ابعاد آزمون باید حداقل سه برابر (و ترجیحاً پنج برابر) بزرگ‌ترین اندازه دانه‌ها باشد.

در مواردی که محدودیت‌های نمونه‌برداری وجود دارد، تعداد و ابعاد نمونه ممکن است با الزامات ارائه شده در بالا متفاوت باشد، با این حال باید اطمینان حاصل شود که حداقل الزامات، برای قابلیت اعتماد به نمونه-برداری، رعایت شده باشد.

## ۶-۲ پیش‌آماده‌سازی نمونه‌ها

سطح مورد آزمون باید مسطح و مرطوب بوده یا به صورت خشک و با کاغذ سنباده صیقل داده شده باشد (زیربند ۵-۶). پس از صیقل دادن، آزمون‌ها باید با آب شسته شوند، به آرامی با یک برس نرم تمیز شوند و سپس به مدت  $30\text{min}$  در آب یون‌زدایی شده غوطه‌ور شوند.

در مورد مواد حساس به آب مانند سنگ‌گچ، باید فقط از صیقل‌زنی خشک و هوای فشرده استفاده شود. ضرورت ندارد که فرآیند بالا برای آزمون‌های درمان شده یا آزمون‌های گرفته شده از سطوح در معرض دید، انجام شود.

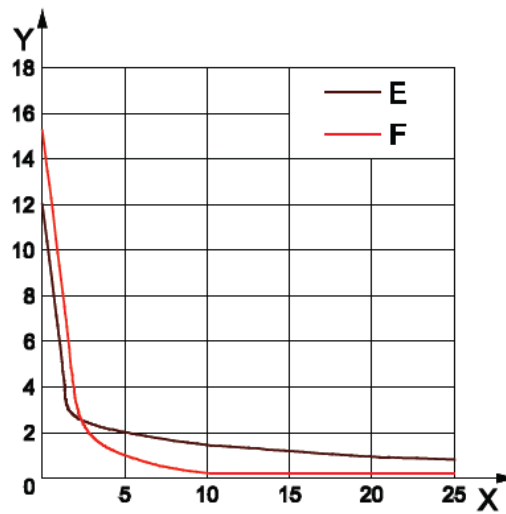
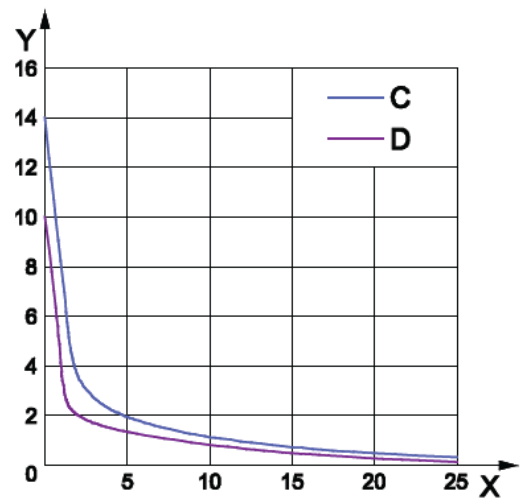
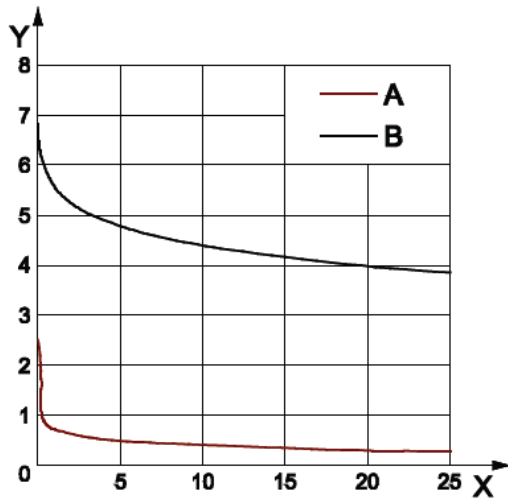
آزمون‌ها به وسیله جذب آب توسط خاصیت موئینگی به مدت  $24\text{h}$  اشباع شده و سپس تا زمان رسیدن به یک جرم ثابت، به طور کامل در آب غوطه‌ور می‌شوند. رسیدن به جرم ثابت زمانی حاصل می‌شود که تفاوت میان دو توزین متوالی با فواصل زمانی  $24\text{h}$  بیش‌تر از  $0.1\%$  جرم آزمون نباشد. بعد از غوطه‌وری، سطح آزمون خشک می‌گردد. سپس تمامی وجوه، به جز سطح مورد آزمون، به وسیله یک ماده نفوذناپذیر در برابر آب (در هر دو حالت مایع و گاز) مانند لاتکس، فویل آلومینیومی و غیره، درزبندی می‌گردد.

## ۷ روش انجام آزمون

آزمون‌های آماده شده مطابق با بند ۶، در یک محفظه اقلیمی با دمای  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  و رطوبت نسبی  $(50 \pm 3)\%$  به گونه‌ای مستقر می‌شود که خشک شدن از سمت وجه بالایی صورت گیرد. رفتار خشک‌شوندگی، با توزین دوره‌ای منظم آزمون، ثبت می‌گردد.

به دلیل این که شرایط جریان هوا تأثیر قابل توجهی بر نرخ خشک شدن در طی مرحله اول دارد، بهتر است این شرایط ثابت نگه داشته شده و قابلیت تکرار داشته باشد. این تأثیر در پیوست ب نشان داده شده است.

اولین قرائت توزین در  $t = 0$  صورت می‌گیرد ( $m_{\text{max}}$ ). به منظور به دست آوردن اطلاعات کافی در طی مرحله اول خشک شدن، فاصله زمانی اندازه‌گیری در آغاز خشک شدن، باید مطابق با ارتفاع نمونه و مواد تحت بررسی انتخاب گردد. شکل ۱ با نشان دادن منحنی‌های خشک‌شوندگی تحت شرایط استاندارد برای مصالح مختلف، این تأثیر را نشان می‌دهد.



راهنما:

X زمان [d]

Y مقدار آب (کیلوگرم بر متر مربع)

A گرانیت هوازده

B بتن

C گچ و آهک قدیمی

D ماسه سنگ

E آجر رسی کلینکر

F آجر رسی

شکل ۱ - منحنی‌های خشک‌شوندگی برای مواد مختلف با طول‌های مختلف از مرحله اول خشک شدن؛ نتایج محاسبات برای آزمون‌های دارای ارتفاع ۵cm خشک شده تحت شرایط استاندارد

نمودار بالا موارد زیر را نشان می‌دهد.

- مصالح با رسانایی مایع کم (مصالح متراکم مانند بتن)، عموماً مرحله اول خشک شدن آن‌ها کوتاه است.

- مصالح با رسانایی مایع بالا (مواد متخلخل مانند آجر رسی)، معمولاً مرحله اول خشک شدن آن‌ها مجزا و طولانی است.

علاوه بر این، ارتفاع کم‌تر آزمونه، باعث کوتاه شدن مرحله اول خشک شدن آن‌ها شده است. در اولین ساعت از فرآیند آزمون، باید حداقل پنج اندازه‌گیری با فواصل زمانی معین انجام شود. بعد از ساعت اول، تا هفت ساعت بعد، باید اندازه‌گیری‌ها هر یک ساعت یک مرتبه انجام شود. بهتر است اندازه‌گیری‌های بعدی دو مرتبه در روز با حداقل شش ساعت فاصله زمانی بین دو توزین متوالی انجام شود. آزمون تا زمانی ادامه پیدا می‌کند، که آزمونه درزبندی شده به جرم نهایی برسد.

## ۸ بیان نتایج

### ۸-۱ تعیین منحنی خشک‌شوندگی

مقدار آب باقی مانده در آزمونه در واحد سطح (برحسب کیلوگرم بر متر مربع) در زمان  $t_i$ ، با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌گردد:

$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A} \quad (1)$$

مقادیر محاسبه شده  $M_i$ ، به عنوان تابعی از زمان برحسب ساعت، گزارش می‌شود.

### ۸-۲ محاسبه نرخ خشک‌شوندگی

#### ۸-۲-۱ محاسبه نرخ خشک‌شوندگی مرحله اول $D_1$

نرخ خشک‌شوندگی متناظر با مرحله اول خشک شدن (به شکل الف ۱ مراجعه شود)، شیب منفی قسمت خطی اولیه منحنی خشک‌شوندگی است و باید توسط رگرسیون خطی، با استفاده از حداقل پنج نقطه تراز پی‌درپی محاسبه گردد.

#### ۸-۲-۲ محاسبه نرخ خشک‌شوندگی مرحله دوم $D_2$

برای تعیین نرخ خشک‌شوندگی متناظر با مرحله دوم خشک شدن، مقادیر محاسبه شده  $M_i$ ، در یک نمودار به صورت تابعی از ریشه دوم زمان ( $t_i^{1/2}$ )، گزارش می‌شوند. نرخ خشک‌شوندگی متناظر با مرحله دوم (به شکل الف ۲ مراجعه شود)، شیب منفی قسمت خطی منحنی خشک‌شوندگی به ازای  $t_i^{1/2}$  است و می‌تواند به وسیله رگرسیون خطی، با استفاده از حداقل پنج نقطه تراز پی‌درپی محاسبه گردد.

#### ۸-۲-۳ تعیین نقطه شکست

در حالی که از نظر ریاضی دو نقطه تقاطع بین منحنی‌ها وجود دارد، نقطه شکست ( $t_k$ )، متناظر با بزرگ‌ترین مقادیر زمانی ممکن این دو نقطه است. یک مثال از تعیین نقطه شکست در پیوست الف ارائه شده است.

### ۸-۳ محاسبه شاخص خشک‌شوندگی

شاخص خشک‌شوندگی، با توجه به مکانیزم مرحله اول و دوم خشک‌شوندگی، کمک ارزشمندی به مشخص ساختن ویژگی‌های خشک‌شوندگی موادی که منحنی خشک‌شوندگی روشنی ندارند، می‌نماید. شاخص خشک‌شوندگی را می‌توان با استفاده از معادله ۲ به دست آورد:

$$ID = \int_0^{t_f} \frac{M_i dt}{M_{\max} t_f} \quad (2)$$

شاخص خشک‌شوندگی محاسبه شده، تا حد زیادی به طول مدت آزمون بستگی دارد. از این رو می‌توان تاکید کرد که شاخص خشک‌شوندگی به خودی خود کمیت مفیدی برای مشخص کردن ویژگی‌های خشک‌شوندگی نیست. بهتر است از شاخص خشک‌شوندگی تنها در زمان مقایسه رفتارها، مثلاً برای مقایسه رفتار خشک‌شوندگی یک نمونه درمان شده با یک عامل دافع آب (اندازه‌گیری در طی یک زمان مشخص انجام می‌گیرد)، در مقایسه با رفتار خشک‌شوندگی یک نمونه درمان نشده (در زمان دقیقاً یکسان اندازه‌گیری شود)، مورد استفاده قرار گیرد.

## ۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- شکل و ابعاد آزمون، برحسب متر (m)؛

ب- تعداد نمونه؛

پ- ابعاد وجه در حال خشک شدن، برحسب متر (m)؛

ت- داده‌های تجربی کاهش وزن آزمون (کیلوگرم)، در سراسر زمان خشک شدن، برحسب ساعت (h)؛

ث- داده‌های تجربی کاهش وزن آزمون (کیلوگرم)، در سراسر زمان خشک شدن، برحسب ریشه دوم ساعت ( $h^{1/2}$ )؛

ج- زمان نهایی آزمون‌ها ( $t_f$ )؛

چ- ترسیم نمودار افت وزن ( $kg/m^2$ ) یا مقدار آب به صورت تابعی از زمان (ساعت)؛

ح- ترسیم نمودار افت وزن ( $kg/m^2$ ) به صورت تابعی از ریشه دوم زمان ( $h^{1/2}$ )؛

خ- زمانی که در آن، مقدار آب به نقطه شکست رسیده است ( $t_k$ )، برحسب ساعت (h).

د- نرخ خشک‌شوندگی مرحله اول،  $D_1$ ، برحسب کیلوگرم بر مترمربع ساعت ( $kg/m^2 h$ )؛

ذ- نرخ نفوذ بخار آب متناظر با مرحله دوم خشک‌شوندگی،  $D_2$ ، برحسب کیلوگرم بر مترمربع مجذور ساعت ( $kg/m^2 h^{1/2}$ )؛

ر- شاخص خشک‌شوندگی (ID) (در صورت محاسبه).

## پیوست الف

### (الزامی)

### مثال عددی

این آزمون بر روی نمونه مکعبی سنگ آهک ماسه‌ای بلژیکی با ابعاد وجه ۵cm انجام شده است. کلیه وجوه آزمونه، به استثنای سطح مورد آزمون درزبندی شده، همان‌طور که در زیربند ۶-۲ این استاندارد توصیف شد، از آب اشباع شده است. سپس آزمونه را در یک محفظه اقلیمی با دمای ۲۳°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ قرار داده‌اند.

به دلایل واضح، تمام اندازه‌گیری‌ها در جدول الف ۱ ارائه نشده است. وزن نمونه در فواصل زمانی یک ساعته، برای هشت ساعت اول و سپس دو مرتبه در روز، داده شده است. با این حال، تمامی اندازه‌گیری‌ها در طی محاسبات منحنی‌های رگرسیون در نظر گرفته شده‌اند.

برای محاسبات جدول، از معادله ۱ استفاده شده است (یعنی معادله زیر):

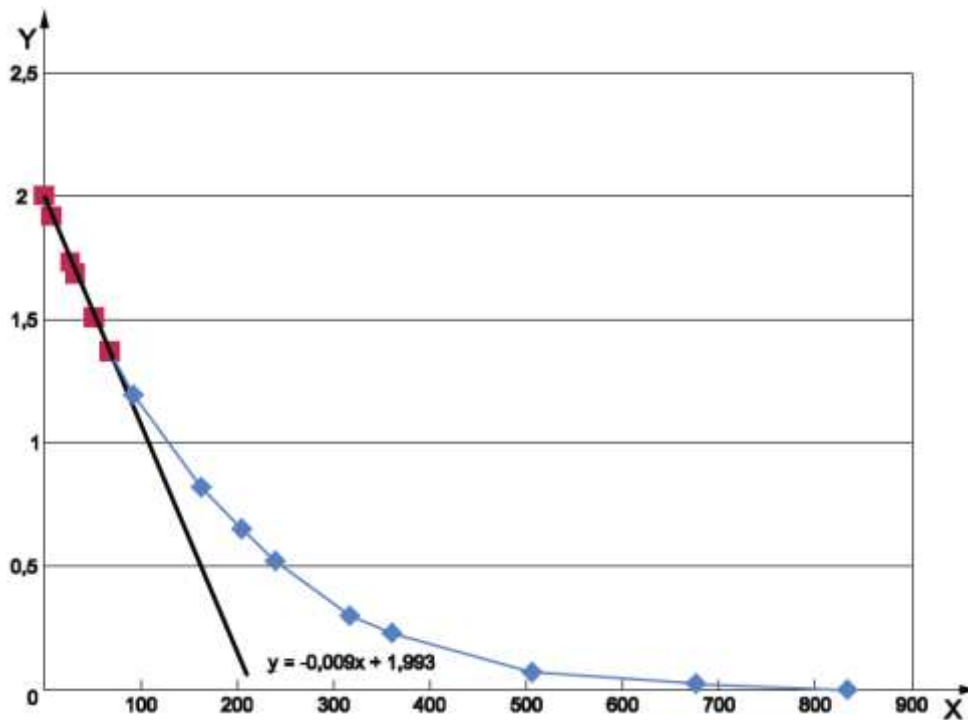
$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A}$$

در این مثال  $M_i$  برابر  $0.324984 \text{ kg}$  و  $A$  برابر با  $0.025 \text{ m}^2$  است.

### جدول الف-۱- نتایج آزمون

Mi (kg/m <sup>2</sup> )	mi (kg)	زمان (h)
۲,۰۰۶۴	۰,۳۳۰۰۰۰	۰
۱,۹۱۹۲	۰,۳۲۹۷۸۲	۸
۱,۷۳۳۶	۰,۳۲۹۳۱۸	۲۷,۵
۱,۶۸۷۲	۰,۳۲۹۲۰۲	۳۲
۱,۵۱۲۴	۰,۳۲۸۷۶۵	۵۲
۱,۳۶۹۶	۰,۳۲۸۴۰۸	۶۹
۱,۱۹۴۰	۰,۳۲۷۹۶۹	۹۳
۰,۸۲۰۰	۰,۳۲۷۰۳۴	۱۶۳
۰,۶۵۰۸	۰,۳۲۶۶۱۱	۲۰۵
۰,۵۲۰۰	۰,۳۲۶۲۸۴	۲۴۰
۰,۲۹۸۸	۰,۳۲۵۷۳۱	۳۱۷
۰,۲۲۷۲	۰,۳۲۵۵۵۲	۳۶۱
۰,۰۶۹۶	۰,۳۲۵۱۵۸	۵۰۶
۰,۰۲۳۲	۰,۳۲۵۰۴۲	۶۷۶
۰	۰,۳۲۴۹۸۴	۸۳۳

شکل الف ۱ نشان می‌دهد که شش نقطه اول (بین صفر ساعت و ۶۹ ساعت) بر روی یک خط مستقیم هستند. این متناظر با مرحله اول خشک‌شوندگی است. خط رگرسیون، از طریق این شش نقطه، همراه با معادله آن، در اینجا آمده است.



راهنما:

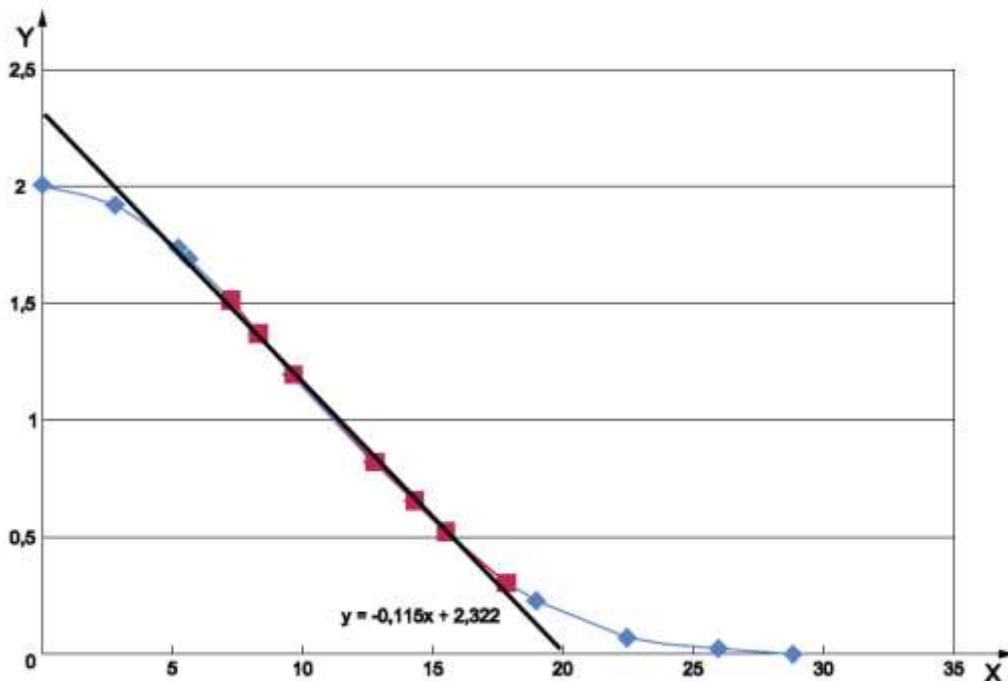
X t بر حسب ساعت (h)

Y M بر حسب کیلوگرم بر متر مربع ( $\text{kg/m}^2$ )

شکل الف ۱- نرخ خشک‌شوندگی، متناظر با مرحله اول خشک شدن، معادل با  $D_1 = 0,009 \text{ kg/m}^2\text{h}$

هنگامی که M به صورت تابعی از  $t^{1/2}$  ترسیم شود، یک قسمت خطی دیگر متناظر با مرحله دوم خشک شدن رخ می‌دهد. شکل الف ۲ این ترسیم را همراه با خط رگرسیون قسمت خطی، نشان می‌دهد.





شکل الف ۲- نرخ خشک شوندگی، مرتبط با مرحله دوم خشک شوندگی برابر است با  $0,115 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$

$$M = -0,009 t + 1,993$$

معادله مرحله اول خشک شوندگی:

$$M = -0,115 t^{1/2} + 2,322$$

معادله مرحله دوم خشک شوندگی:

نقطه شکست، متناظر با نقطه تقاطع این دو منحنی است. دو راه حل برای  $t$  وجود دارد:  $18,8 \text{ h}$  و  $67,8 \text{ h}$ .

نقطه شکست واقعی متناظر با بالاترین مقدار است، که در این مثال مربوط به  $67,8 \text{ h}$  است.

باید تاکید گردد که نقطه شکست تقاطع بین دو منحنی است که با یک زاویه بسیار تند یکدیگر را قطع می کنند. این بدین معناست که خطاهای نقطه شکست، نسبتاً بالا است. بنابراین بهتر است نقطه شکست به جای نشان دادن زمان دقیق، صرفاً به عنوان شاخص زمان انتقال بین مرحله اول و دوم خشک شدن در نظر گرفته شود.

شاخص خشک شوندگی با محاسبه انتگرال زیر منحنی  $M$  در تابع  $t$  محاسبه می شود (به زیربند ۸-۳ مراجعه شود).

این انتگرال برابر  $343 \text{ kg h/m}^2$  است.

$$M_{\text{max}} \cdot t_f = 210,64 \text{ kg/m}^2 \quad 833 \text{ h} = 1671 \text{ kg h/m}^2$$

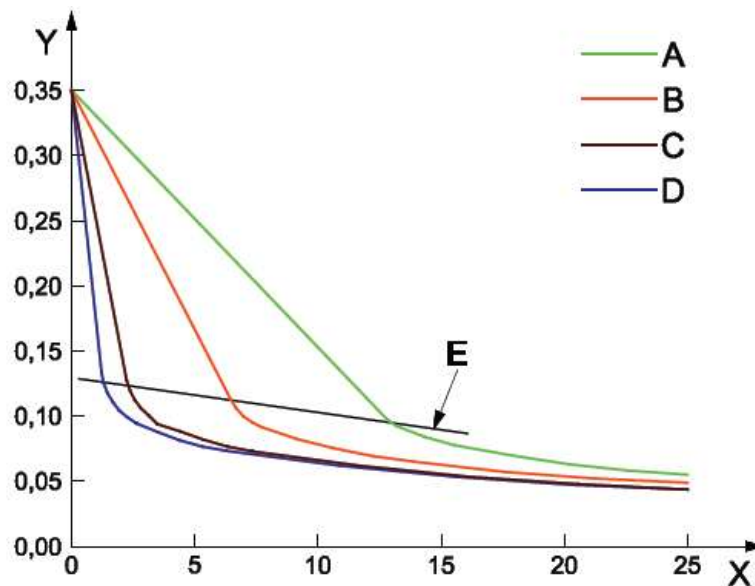
بنابراین شاخص خشک شوندگی برابر با  $1671/343 = 0,21$  است.

## پیوست ب

### (آگاهی دهنده)

### تأثیر تهویه بر منحنی خشک‌شوندگی

نمودار شکل ب ۱، منحنی‌های خشک‌شوندگی یک آجر رسی را نشان می‌دهد. داده‌ها تحت شرایط یکسان خشک‌شوندگی به دست آمده‌اند و فقط سرعت جریان هوا در سطح خشک‌شونده تغییر داده شده است که با  $\beta$  ضریب انتقال بخار، نشان داده شده است.



راهنما:

X زمان خشک شدن [d]

Y مقدار آب (کیلوگرم بر متر مربع)

A  $\beta$  کوچک

B  $\beta$  متوسط

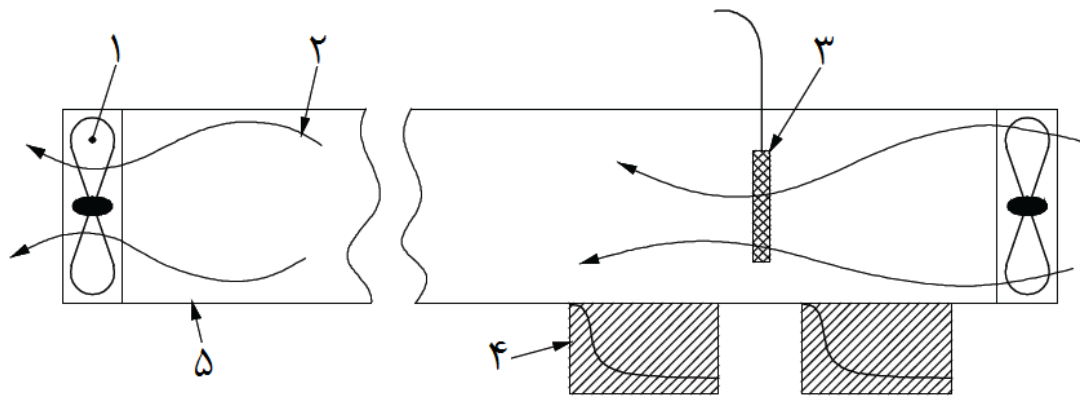
C  $\beta$  بزرگ

D  $\beta$  خیلی بزرگ

E انتهای مرحله اول خشک شدن

شکل ب ۱- تأثیر شرایط انتقال بخار بر سطح خشک‌شوندگی در رفتار خشک‌شوندگی اندازه‌گیری شده؛  $\beta$  ضریب انتقال بخار سطح است

تنظیم یک اندازه‌گیری مناسب که این تأثیر را نشان می‌دهد، در شکل ب ۲ به نشان داده شده است.



راهنما:

- ۱ دستگاه تهویه
- ۲ سرعت جریان هوا کنترل شده
- ۳ حسگر اندازه گیری دما و رطوبت نسبی
- ۴ آزمون مصالح، قابل برداشت
- ۵ کانال جریان

شکل ب ۲- ترسیم شماتیک یک دستگاه خشک شونده مناسب