



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۱۰۶۰

چاپ اول

ISIRI

11060

1st. edition

مصالح ساختمانی - فراورده‌های عایق کاری
حرارتی - تنظیم شرایط تا تعادل رطوبتی در
شرایط رطوبت و دمای معین - روش آزمون

Construction materials -

**Thermal insulating products for building
applications-conditioning to moisture
equilibrium under specified temperature
and humidity conditions -Test method**

ICS: 91.100.60

به نام خدا

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود. پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح 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 شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱ کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

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

* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International Organization for Standardization

2- International Electro Technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4- Contact Point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
« مصالح ساختمانی - فراورده‌های عایق کاری حرارتی - تنظیم شرایط تا تعادل
رطوبتی در شرایط رطوبت و دمای معین - روش آزمون »

رئیس:

کوثری، فرشاد
(دکترای مهندسی مکانیک)

دبیران:

ویسه، سهراب
(دکترای مهندسی معدن)

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

خدابنده، ناهید
(کارشناس شیمی)

اعضاء:

امینی، علی
(کارشناس مهندسی شیمی)

شرکت آریانا پارس

تقی اکبری، لیلا
(کارشناس ارشد شیمی)

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

حکاکی فرد، حمید رضا
(کارشناس مهندسی عمران)

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

حکاکی فرد، علی
(کارشناس ارشد مکانیک)

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

حمیدی، عباس
(کارشناس ارشد مهندسی مواد ساختمانی)

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

شرکت پشم شیشه ایران

صیادی، رضا

(کارشناس شیمی کاربردی)

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور

لنکرانی، مهرناز

(کارشناس ارشد مهندسی معماری)

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مالمیر، شهاب

(کارشناس مهندسی معدن)

وزارت صنایع و معادن

یگانی، فرشته

(کارشناس مهندسی عمران)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	آشنایی با مؤسسه استاندارد
د	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف
۱	۲ دامنه کاربرد
۲	۳ مراجع الزامی
۲	۴ اصطلاحات و تعاریف، اختصارات
۳	۵ اصول
۴	۶ وسایل آزمون
۵	۷ آزمون‌ها
۵	۱-۷ ابعاد آزمون‌ها
۵	۲-۷ تعداد آزمون‌ها
۵	۳-۷ آماده سازی آزمون‌ها
۵	۴-۷ تثبیت شرایط ابتدایی آزمون‌ها
۵	۸ روش کار
۵	۱-۸ کلیات
۶	۲-۸ مرحله ۱ تثبیت شرایط
۷	۳-۸ مرحله ۲ تثبیت شرایط
۷	۹ محاسبه و بیان نتایج
۷	۱۰ گزارش آزمون
۷	۱۱ دقت اندازه‌گیری
۸	پیوست الف (اطلاعاتی) تعیین میزان حدی تغییر مقدار رطوبت و ضریب زمان تثبیت شرایط با آزمون
۱۰	پیوست ب (اطلاعاتی) محاسبات رایانه‌ای برای تعیین میزان حدی تغییر مقدار رطوبت
۱۲	پیوست پ (اطلاعاتی) محاسبات زمان تثبیت شرایط برای رسیدن به تعادل با استفاده از عدد فوریه

پیش گفتار

استاندارد "مصالح ساختمانی- فراورده‌های عایق‌کاری حرارتی- تنظیم شرایط تا تعادل رطوبتی در شرایط رطوبت و دمای معین- روش آزمون"، که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه و تدوین شده و در دویست و دوازدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۸۷/۱۱/۲ 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.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

EN 12429:1998, Thermal insulating products for building applications –conditioning to moisture equilibrium under specified temperature and humidity conditions.

مصالح ساختمانی - فراورده‌های عایق‌کاری حرارتی - تنظیم شرایط تا تعادل رطوبتی در شرایط رطوبت و دمای معین - روش آزمون

۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین تجهیزات و روش کار برای تثبیت شرایط یک فراورده عایق حرارتی تا تعادل رطوبتی در دمای $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $50 \pm 5\%$ است.

۲ دامنه کاربرد

۱-۲ این استاندارد برای فراورده‌های عایق حرارتی با رویه‌های قالب‌گیری شده نیز قابل استفاده است، اما معمولاً برای فراورده‌های روکش شده یا فراورده‌های با رویه عمل‌آوری شده، مناسب نیست.

یادآوری ۱- مقدار رطوبت معمولاً مشخص شده، نتیجه تعادل میان اتمسفر و فراورده در دمای $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $50 \pm 5\%$ است. اگر فراورده‌ای باید در رطوبت‌های نسبی دیگری نیز تثبیت شرایط شود، این استاندارد را می‌توان به کار برد.

یادآوری ۲- تعادل رطوبتی (به دلیل اثرات پس‌ماند^۱) بسته به اینکه در اثر جذب رطوبت یا دفع رطوبت، تعادل حاصل شده است می‌تواند متفاوت باشد. علاوه براین، رسیدن به تعادل رطوبتی کامل ممکن است به زمان بسیار زیادی نیاز داشته باشد. بنابراین پذیرفتن تعادل رطوبتی در یک دقت معین لازم است.

یادآوری ۳- برای فراورده‌هایی که رطوبت جذب نمی‌کنند، تثبیت شرایط مورد نیاز نیست. با این وجود باید مطمئن شد که قبل از آزمون هیچ آبی روی سطح آزمون وجود ندارد.

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی یا ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است :

- ۱-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۹۸ : سال ۱۳۸۳، مصالح ساختمانی- فراورده‌های عایق کاری حرارتی- تعیین ابعاد خطی نمونه‌ها- روش آزمون.
- ۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۹۹ : سال ۱۳۸۳، مصالح ساختمانی- فراورده‌های عایق کاری حرارتی- تعیین خواص انتقال بخار آب- روش آزمون.
- ۳-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۷۳۰۱: سال ۱۳۸۳، مصالح ساختمانی- فراورده‌های عایق کاری حرارتی- تعیین جذب آب دراز مدت از طریق نفوذ - روش آزمون

3-4 BS EN ISO 12571 :2000, Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of hygroscopic properties.

۴ اصطلاحات و تعاریف، اختصارات

۱-۴

اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۱-۴

شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳

یک اتمسفر کنترل شده در دمای $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $(50 \pm 5)\%$.

۲-۱-۴

بازه هیگروسکپی

مقدار رطوبت در حالت تعادل با رطوبت نسبی ۹۸٪ یا کمتر.

۳-۱-۴

زمان معادل، Δt_e

d^2 ساعت، به طوری که d مقدار عددی ضخامت آزمون به cm است.

۴-۱-۴

مقدار حدی تغییر مقدار رطوبت، Δw_1

تغییر مقدار رطوبت در طی یک مدت مشخص شده زمان معادل، Δt_e ، در حد بالایی بازه هیگروسکپی.

۵-۱-۴

ضریب زمان تثبیت شرایط، γ

ضریبی که زمان معادل، Δt_e ، باید در آن ضرب شود تا مدت مورد نیاز برای تثبیت شرایط در بازه هیگروسکپی تعیین شود.

۲-۴

اختصارات

اختصاراتی که در این استاندارد استفاده می‌شود به شرح زیر است.

پلی استایرن منبسط	EPS
عایق چوب پنبه تخته‌ای	ICB
پشم معدنی	MW
فوم پلی‌یورتان	PU
فوم پلی استایرن اکسترود شده	XPS

۵ اصول

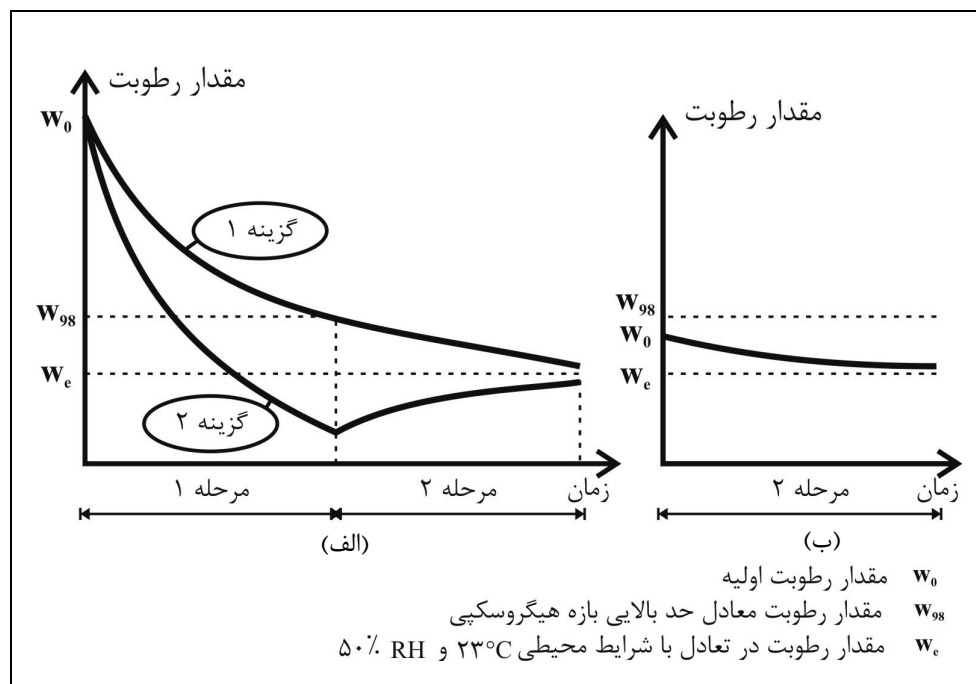
تثبیت شرایط در یک یا دو مرحله انجام می‌شود (مطابق شکل ۱).

مرحله ۱، تثبیت شرایط آزمون به مقدار رطوبتی در بازه هیگروسکپی است. این تثبیت شرایط ممکن است در شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳ یا در آون تهویه‌دار صورت گیرد. انتخاب روش بستگی به نوع ماده دارد:

گزینه ۱- خشک کردن در شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳

گزینه ۲ - خشک کردن در آون حرارتی

مرحله ۲، تثبیت شرایط آزمون تا رسیدن به تعادل با اتمسفر ۵۰/۲۳، بعد از رسیدن مقدار رطوبت به بازه هیگروسکپی است.



شکل ۱- مقدار رطوبت بر حسب زمان در مراحل یک و دو

۶ وسایل آزمون

۶-۱ محفظه دما و رطوبت کنترل شده

که قابلیت ثابت نگه داشتن شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳ را داشته باشد.

۶-۲ آون تهویه دار با دمای کنترل شده

که هوا را از محیطی با شرایط ۵۰/۲۳ می گیرد. آون باید قابلیت ثابت نگه داشتن دمای $(40 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ یا $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ یا $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ را مطابق استاندارد ویژگی فراورده مربوط یا هرگونه مشخصات فنی دیگر، داشته باشد.

۶-۳ ابزار اندازه گیری

که قابلیت اندازه گیری ابعاد خطی آزمون را مطابق استاندارد بند ۳-۱ با دقت ۱٪ داشته باشد.

۷ آزمون‌ها

۱-۷ ابعاد آزمون‌ها

ضخامت آزمون‌ها باید ضخامت فراورده اصلی باشد. آزمون‌ها باید به شکل مربع بریده شده، گونیا بوده و اضلاع آن‌ها (200 ± 1) mm باشد.

۲-۷ تعداد آزمون‌ها

آزمون‌ها باید به تعداد مشخص شده در استاندارد ویژگی فراورده مربوط باشند. اگر تعداد مشخص نشده باشد، باید حداقل سه آزمون تثبیت شرایط شوند.

یادآوری- در نبود استاندارد ویژگی فراورده مربوط یا هر گونه مشخصات فنی دیگر، تعداد آزمون‌ها را می‌توان با توافق طرفین تعیین کرد.

۳-۷ آماده سازی آزمون‌ها

آزمون‌ها باید به صورتی بریده شوند که نماینده فراورده با ابعاد کامل باشند. هر نوع روکش، رویه و/یا پوشش باید باقی بماند.

۴-۷ تثبیت شرایط ابتدایی آزمون‌ها

اگر از روش کار نشان داده شده در شکل ۱-الف استفاده می‌شود، مطمئن شوید که آزمون‌ها دارای مقدار رطوبتی کاملاً بیشتر از بازه هیگروسکپی هستند. اگر در این مورد منحنی جذب هیگروسکپی فراورده معلوم نباشد، باید مطابق استاندارد بند ۳-۴ تعیین شود.

یادآوری- برای افزایش مقدار رطوبت به بالاتر از بازه هیگروسکپی، ممکن است نیاز باشد که آزمون‌ها در آب غرقاب شوند، آنها را در معرض آب و هوای خارجی یا در معرض بخار آب مطابق استاندارد بند ۳-۳ قرار دهید.

۸ روش کار

۱-۸ کلیات

ابعاد خطی را مطابق استاندارد بند ۳-۱ با دقت ۱٪ تعیین کنید. حجم V ، هر آزمون را محاسبه کنید.

تثیب شرایط با یکی از روش‌های کار نشان داده شده در شکل ۱-الف (مرحله ۱ و مرحله ۲) یا روش کار نشان داده شده در شکل ۱-ب (تنها مرحله ۲) انجام شود.

آزمونه‌ها را باید به صورتی در محفظه یا آون تهویه‌دار قرار داد که هوا به طور آزادانه در اطراف آن‌ها جریان داشته باشد.

در برخی موارد، مقدار رطوبت پیش از شروع تثبیت شرایط در محدوده بازه هیگروسکپی خواهد بود. در این مورد مرحله ۱ باید حذف شده و فقط مرحله ۲ باید مطابق شکل ۱-ب دنبال شود.

۲-۸ مرحله ۱ تثبیت شرایط

آزمونه‌ها را در شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳ یا در یک آون تهویه‌دار در یک دمای بالا قرار دهید. دما باید مطابق استاندارد ویژگی فراورده مربوط باشد.

یادآوری ۱- در نبود استاندارد ویژگی فراورده مربوط یا هر گونه مشخصات فنی دیگر، دما را می‌توان با توافق طرفین تعیین کرد.

در فواصل زمانی از پیش انتخاب شده، که بستگی به فراورده مورد آزمون و اتمسفر مورد استفاده دارد، آزمونه‌ها را خارج کرده و وزن کنید تا هر تغییر وزنی مشخص شود. این کار را آنقدر ادامه دهید که تغییر در مقدار رطوبت از مقدار حدی آن کمتر باشد، یعنی:

$$\Delta w < \Delta w_1$$

که در آن:

Δw ، تغییر مقدار رطوبت در بازه زمانی d^2 ساعت (d مقدار عددی ضخامت آزمونه به cm می‌باشد)، بر حسب kg/m^3 ؛
 Δw_1 ، مقدار حدی مناسب تغییر مقدار رطوبت، که مطابق پیوست الف تعیین می‌شود، بر حسب kg/m^3 .

یادآوری ۲- مقدار حدی تغییر مقدار رطوبت را می‌توان با استفاده از روش کار ارائه شده در پیوست ب تعیین کرد.

مدت زمان مناسب معمولاً ۲۴h است. وزن ثابت هنگامی به دست می‌آید که تغییر وزن آزمونه در یک بازه زمانی ۲۴h کمتر از ۰٫۰۵٪ وزن کل باشد.

یادآوری ۳- برای فراورده‌هایی با ضخامت‌های بیشتر از ۱۰ cm، ممکن است زمان بیشتری برای خشک کردن مورد نیاز باشد. نرخ قابل قبول خشک کردن با معکوس مجذور ضخامت آزمونه متناسب است، برای مثال برای فراورده‌ای با ضخامت ۲۰ cm تغییر جرمی کمتر از ۰٫۱۳٪ در ۲۴h مورد نیاز است.

یادآوری ۴- دمای تا حد ممکن زیاد مطلوب است، زیرا موجب کاهش زمان تثبیت شرایط می‌شود، اما دما نباید در حدی زیاد باشد که موجب تغییر خواص ماده شود.

یادآوری ۵- تاثیر پوسته‌های قالب‌گیری شده باید با افزایش ضخامت d ، به صورت عبارت " d^2 ساعت" در نظر گرفته شوند. افزایش ضخامت باید معادل ضخامت ورقه‌ای از ماده همگنی با همان مقاومت انتقال بخار آب پوسته‌های قالب‌گیری شده باشد، برای مثال برای XPS باید به ازای هر روبه سطحی فراورده یک سانتی‌متر به ضخامت فراورده افزوده شود.

۳-۸ مرحله ۲ تثبیت شرایط

آزمونه‌ها را در اتمسفر ۵۰/۲۳ تا رسیدن به تعادل قرار دهید. هنگامی تعادل حاصل می‌شود که در مرحله خشک کردن، تغییر در وزن آزمونه در دو وزن کردن متوالی با فاصله زمانی ۲۴h کمتر از ۰٫۰۵٪ وزن کل آزمونه باشد.

یادآوری ۱- زمان تقریبی برای تثبیت شرایط را می‌توان با استفاده از رابطه $\gamma \times d^2$ ساعت، تخمین زد که γ ضریب زمان تثبیت شرایط و d ضخامت آزمونه به cm می‌باشد. برای مقادیر γ به پیوست‌های الف و پ مراجعه کنید.

یادآوری ۲- تاثیر پوسته‌های قالب‌گیری شده باید با افزایش ضخامت d ، با عبارت " d^2 ساعت" در نظر گرفته شوند. افزایش ضخامت باید معادل ضخامت قطعه ماده همگنی با همان خواص انتقال بخار آب روبه‌های قالب‌گیری شده باشد، برای مثال برای XPS باید به ازای هر پوسته سطحی فراورده، یک cm به ضخامت فراورده افزوده شود.

یادآوری ۳- برای فراورده‌هایی با ضخامت‌های بیشتر از ۱۰cm، و فراورده‌های تقریباً نفوذ ناپذیر، زمان بیشتری برای تثبیت شرایط نسبت به ملاک مشخص شده مورد نیاز است و باید توسط آزمایشگاه مورد نظر تعیین شود.

۹ محاسبه و بیان نتایج

میزان حدی تغییر مقدار رطوبت و ضریب زمان تثبیت شرایط به وسیله آزمون را باید با توجه به پیوست الف محاسبه کرد.

۱۰ گزارش آزمون

اطلاعات مربوط به روش کار تثبیت شرایط باید در گزارش آزمون مربوط آورده شوند.

۱۱ دقت اندازه‌گیری

یادآوری- ارائه مطلبی در مورد دقت اندازه‌گیری‌ها در این ویرایش استاندارد میسر نبوده است، اما در نظر است چنین مطلبی به نسخه بازنگری شده این استاندارد اضافه شود.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

تعیین میزان حدی تغییر مقدار رطوبت و ضریب زمان تثبیت شرایط با آزمون

الف-۱ محاسبه بر اساس تثبیت شرایط در اتمسفر ۵۰/۲۳

مقدار رطوبت در حالت تعادل، w_{50} ، را با استفاده از منحنی جذب هیگروسکپی پیدا کنید.
مقدار رطوبت، w_t ، در زمان t را بر حسب kg/m^3 با استفاده از معادله (الف-۱) محاسبه کنید:

$$w_t = \frac{m_t - m_e + w_{50} \times V}{V} \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

m_t ، جرم آزمون مرطوب در زمان t ، بر حسب kg است؛

m_e ، جرم آزمون در تعادل با شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳، بر حسب kg است؛

w_{50} ، مقدار رطوبت در تعادل با شرایط اتمسفری ۵۰/۲۳، بر حسب kg/m^3 است؛

V ، حجم آزمون، بر حسب m^3 است.

نمودار رابطه بین مقدار رطوبت و زمان برای هر آزمون را رسم کنید.

برای هر آزمون شیب منحنی خشک شدن، dw/dt ، را بر حسب $\text{kg/m}^3 \cdot \text{h}$ در مقدار رطوبتی متناظر با حد

بالایی بازه هیگروسکپی، یعنی رطوبت نسبی ۹۸٪ (w_{98})، پیدا کنید.

میزان حدی تغییر مقدار رطوبت، Δw_1 ، را بر حسب kg/m^3 با استفاده از معادله (الف-۲) محاسبه کنید:

$$\Delta w_1 = \left(dw/dt \right) \times d^2 \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن:

d ، ضخامت آزمون، بر حسب cm ؛

d^2 ، زمان معادل، Δt_e ، بر حسب ساعت.

میزان حدی تغییر مقدار رطوبت برابر مقدار متوسط نتایج جداگانه است و باید با دو رقم معنی دار بیان شود.

مدت زمان، t_{step2} ، را با استفاده از منحنی مقدار رطوبت w_{98} به w_{50} ، بر حسب ساعت تخمین بزنید.

ضریب زمان تثبیت شرایط، γ ، را با استفاده از معادله (الف-۳) محاسبه کنید:

$$\gamma = \frac{t_{\text{step } 2}}{d^2} \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن:

d ، ضخامت آزمون، بر حسب cm؛
 d^2 ، زمان معادل، Δt_e ، بر حسب ساعت.

الف-۲ محاسبه بر اساس تثبیت شرایط در آون تهویه دار

مقدار رطوبت در زمان t ، w_t را بر حسب kg/m^3 با استفاده از معادله (الف-۴) محاسبه کنید:

$$w_t = \frac{m_t - m_{\text{dry}}}{V} \quad (\text{الف-۴})$$

که در آن:

m_t جرم آزمون مرطوب در زمان t ، بر حسب kg؛
 m_{dry} جرم آزمون خشک شده در آون، بر حسب kg؛
 V حجم آزمون، بر حسب m^3 .

نمودار رابطه بین مقدار رطوبت در برابر زمان برای هر آزمون را رسم کنید.
 برای هر آزمون شیب منحنی خشک شدن، $\frac{dw}{dt}$ ، را بر حسب $\text{kg/m}^3 \cdot \text{h}$ ، در مقدار رطوبتی متناظر حد بالایی بازه هیگروسکپی، یعنی رطوبت نسبی ۹۸٪ (w_{98})، پیدا کنید.
 میزان حدی تغییر مقدار رطوبت، Δw_1 ، را بر حسب kg/m^3 با استفاده از معادله (الف-۵) محاسبه کنید.

$$\Delta w_1 = \left(\frac{dw}{dt} \right) \times d^2 \quad (\text{الف-۵})$$

که در آن:

d ، ضخامت آزمون، بر حسب cm؛
 d^2 ، زمان معادل، Δt_e ، بر حسب ساعت.

میزان حدی تغییر مقدار رطوبت، میانگین نتایج جداگانه آزمون است و باید با دو رقم معنی‌دار بیان شود.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

محاسبات رایانه‌ای برای تعیین میزان حدی تغییر مقدار رطوبت

محاسبات رایانه‌ای برای مدل کردن فرایند خشک کردن برای پنج فراورده مختلف انجام شده است. این فراورده‌ها عبارتند از: MW با چگالی زیاد، EPS، XPS با رویه قالب‌گیری شده، ICB و PU. فرض شده است که اتمسفر تثبیت شرایط، اتمسفر کنترل شده ۵۰/۲۳ یا آون تهویه‌دار است که هوا را از محیطی در ۵۰/۲۳ یا یکی از دماهای ۴۰°C یا ۷۰°C یا ۱۰۵°C می‌گیرد. فرض شده است که ضخامت آزمونه ۱۰cm است.

همچنین شرایط، یک بعدی و هم‌دما فرض شده‌اند.

جریان رطوبت با استفاده از معادله نفوذ (ب-۱) یا (ب-۲) توصیف می‌شوند:

$$g = \delta_v \times dv / dx \quad (\text{ب-۱})$$

یا

$$g = \delta_p \times dp_v / dx \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن:

g ، چگالی نرخ جریان رطوبت، بر حسب $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}$

δ_v ، نفوذپذیری با توجه به رطوبت حجمی، بر حسب m^2/s

δ_p ، نفوذپذیری با توجه به فشار جزئی بخار، بر حسب $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{pa}$

V ، رطوبت حجمی، بر حسب kg/m^3

p_v ، فشار جزئی بخار آب، بر حسب pa

X ، مختصات در جهت ضخامت، بر حسب m

δ_v و δ_p ثابت فرض شده و با استفاده از روش فنجان تر^۱ مطابق استاندارد بند ۳-۲، تعیین می‌شود.

یادآوری- فرض شرایط یک بعدی در صورتی منجر به نتایج مطمئن می‌شود که امکان داده شود تا آزمونه در تمام جهات خشک شود (هیچ یک از سطوح آزمونه نباید توسط مانعی از خروج رطوبت از آن جلوگیری شود).

زمان (بر حسب روز) مورد نیاز برای رسیدن به بازه هیگروسکپی از مقدار رطوبت اولیه 10 kg/m^3

(ICB: 50 kg/m^3) در جدول ب-۱ داده شده است. اگر مقدار اولیه رطوبت کمتر از 10 kg/m^3 است، زمان مورد نیاز را می‌توان از تقسیم به نسبت مقادیر داده شده در جدول ب-۱ تخمین زد.

جدول ب-۱- زمان مورد نیاز برای رسیدن به بازه هیگروسکپی برای فراورده‌های مختلف در دماهای متفاوت

زمان برحسب روز برای دماهای مختلف				نوع فراورده
10.5°C	7.0°C	4.0°C	23.0°C	
-	<۱	<۱	۲	پشم معدنی با چگالی زیاد
-	۱	۵	۱۸	پلی استایرن منبسط
-	۴	۱۷	>۶۰	پلی استایرن اکستروود شده
۲	۲	۷	۳۱	تخته چوب پنبه
-	۱	۴	۱۸	پلی یورتان

ملاک بررسی رسیدن به بازه هیگروسکپی عبارت است از:

تغییر در مقدار رطوبت، Δw ، در یک دوره زمانی مشخص شده زمان معادل، Δt_e ، از مقدار حدی Δw_1 کمتر باشد.

این ملاک بر اساس این فرض استوار است که نرخ خشک شدن برای یک ماده مشخص در یک ضخامت مشخص در یک دمای معین همواره معادل حد بالایی بازه هیگروسکپی است، بدون توجه به مقدار رطوبت اولیه.

با استفاده از شیب نمودارهای خشک شدن، نرخ خشک شدن در حد بالایی بازه هیگروسکپی تعیین می‌شود. مقادیر حدی Δw_1 با استفاده از حاصلضرب نرخ خشک شدن در فواصل d^2 ساعت تعیین می‌شود. جدول ب-۲ خلاصه نتایج را نشان می‌دهد. در صورت نبود نتایج تجربی می‌توان از این جدول مطابق پیوست الف استفاده کرد.

جدول ب-۲- میزان حدی تغییر مقدار رطوبت، Δw_1

تغییر مقدار رطوبت به kg/m^3 در دمای معین				نوع فراورده
10.5°C	7.0°C	4.0°C	23.0°C	
-	-	-	۱۰	مواد الیافی و دانه‌ای
-	۴	۱/۵	۰/۴	پلاستیک سلولی
۵۰	۲۵	۵	۱/۲	چوب پنبه

یادآوری- مقادیر جدول ب-۲ با این فرض محاسبه شده‌اند که فراورده‌ها همگن بوده و دارای پوسته‌های قالب‌گیری شده، روکش یا سایر عملیات سطحی نیستند.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

محاسبات زمان تثبیت شرایط برای رسیدن به تعادل با استفاده از عدد فوریه

رابطه میان مقدار رطوبت و زمان در نمودار پ-۱ نشان داده شده است (w_0 و w_e به ترتیب مقدار اولیه و مقدار رطوبت در حالت تعادل می‌باشند). فرض شده است که مقدار اولیه رطوبت به صورت یکنواخت در آزمون توزیع شده است.

برای مثال فرض کنید که ۹۰٪ وضعیت تعادل رخ داده است، یعنی مقدار رطوبت در بازه $\pm 10\%$ از حالت تعادل اتمسفری ۵۰/۲۳ می‌باشد، بنابراین:

$$\frac{w - w_e}{w_0 - w_e} = 0.10$$

و با توجه به شکل پ-۱، $F_0 = 0.84$ است. حال می‌توان با استفاده از تعریف عدد فوریه زمان تعادل را تخمین زد:

$$F_0 = 4 \times \frac{D_w}{d^2} \times t \quad (\text{پ-۱})$$

یا

$$t = \frac{F_0 \times d^2}{4 \times D_w} \quad (\text{پ-۲})$$

که در آن:

D_w ، نفوذپذیری رطوبت، بر حسب m^2/s

t ، زمان تعادل، بر حسب ثانیه؛

d ، ضخامت آزمون برای خشک شدن دو طرفه، بر حسب m.

نفوذپذیری رطوبت، D_w ، در بازه هیگروسکپی تابعی از نفوذپذیری بخار آب، دما و شیب منحنی جذب است:

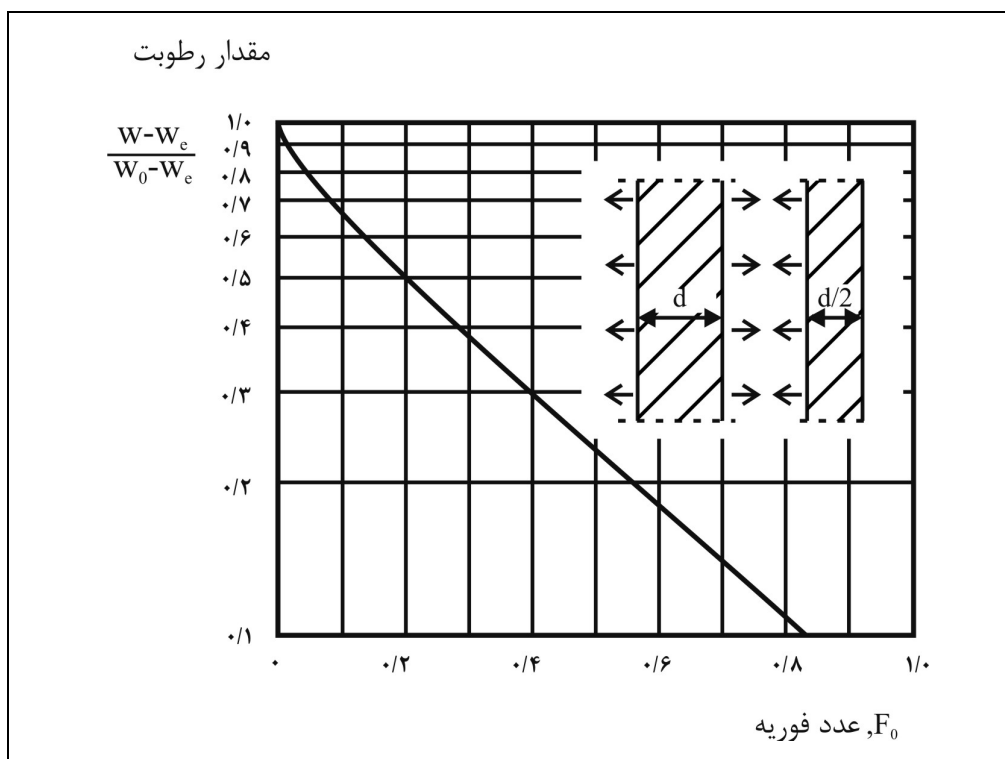
$$D_w = \frac{\delta_v \times v_{sat}}{\zeta} \quad (\text{پ-۳})$$

که در آن:

δ_v نفوذپذیری با توجه به رطوبت حجمی، بر حسب m^2/s

v_{sat} رطوبت اشباع حجمی، بر حسب kg/m^3 (در 23°C ، $v_{sat} = 0.021 \text{ kg}/\text{m}^3$)

ζ ظرفیت تفاضلی رطوبت، بر حسب kg/m^3



شکل ۲- میانگین مقدار رطوبت، که به صورت عدد بدون بعد بین صفر و یک داده شده است، بر حسب تابعی از عدد فوریه، F_0 ، برای یک تخته با مقدار رطوبت اولیه، W_0 ، و مقدار رطوبت حالت تعادل W_e نشان داده شده است

ظرفیت تفاضلی رطوبت، ζ ، شیب منحنی هیگروسکپی می باشد که مطابق استاندارد بند ۳-۴ تعیین شده و در محاسبات، مقداری در محدوده ۵۰٪ تا ۹۸٪ رطوبت نسبی به کار رفته است:

$$\zeta = \frac{dw}{d\phi} \quad (\text{پ-۴})$$

که در آن:

w مقدار جرمی رطوبت بر حجم، بر حسب kg/m^3

ϕ رطوبت نسبی، بر حسب درصد.

خواص معمول مواد برای برخی از فراورده ها در جدول پ-۱ داده شده است.

جدول پ-۱-خواص مواد

نوع فراورده	δ_v m^2/s	ζ kg/m^3
پشم معدنی با چگالی کم	20×10^{-6}	۰/۵
پشم معدنی با چگالی زیاد	8×10^{-6}	۲
پلی استایرن منبسط، $20 kg/m^3$	0.6×10^{-6}	۲
پلی استایرن اکستروود شده، $30 kg/m^3$	0.3×10^{-6}	۱/۵
تخته چوب پنبه	0.6×10^{-6}	۳۰
پلی یورتان	0.5×10^{-6}	۳

حال با ترکیب معادله (پ-۲) و معادله (پ-۳) زمان تعادل را می‌توان به صورت معادله (پ-۵) محاسبه کرد:

$$t = \frac{Fo \times d^2}{4 \times D_w} = \frac{0.184 \times d^2 \times \zeta}{4 \times \delta_v \times 0.21} = \frac{10 \times d^2 \times \zeta}{\delta_v} \quad (\text{پ-۵})$$

اگر t بر حسب ساعت و d بر حسب cm بیان شود:

$$t = \frac{2/8 \times 10^{-4} \times d^2 \times \zeta}{\delta_v} \quad (\text{پ-۶})$$

فرض تعادل ۹۰٪ تقریباً به این معنی است که مقدار رطوبت در بازه $\pm 10\%$ وضعیت تعادل اتمسفری ۵۰/۲۳ می‌باشد.

این فرضیه در صورتی درست است که مقدار رطوبت به صورت یکنواخت در نمونه توزیع شده باشد. این موضوع در مورد روش کار ارائه شده در اینجا کاملاً صحیح نیست، اما توزیع غیر یکنواخت رطوبت در شروع مرحله ۲ در شکل ۱ این استاندارد عموماً اثر مهمی بر نتایج نخواهد داشت. در جدول پ-۲ خلاصه‌ای از نتایج آورده شده است. از این جدول می‌توان در صورت نبود نتایج آزمایشگاهی مطابق پیوست الف استفاده کرد.

جدول پ-۲- مدت لازم تثبیت شرایط به صورت $\gamma \times d^2$ بیان می‌شود که در آن γ ضریب زمان تثبیت شرایط و d ضخامت فراورده به سانتیمتر است.

زمان تثبیت شرایط h	گروه فراورده
$0.2 \times d^2$	فراورده‌های الیافی و دانه‌ای
$2 \times d^2$	پلاستیک‌های سلولی
$20 \times d^2$	چوب پنبه

یادآوری- همین نتایج را می‌توان با استفاده از محاسبات فشار بخار (p_v) به عنوان یک نیروی محرک برای نفوذ و/یا مقدار جرمی رطوبت (u) به دست آورد.