INSO

8117-11

1st.Edition

2016

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

استاندارد ملی ایران

۸۱۱۷-۱۱

چاپ اول

۱۳۹۴

افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب - قسمت ۱۱: تعیین مشخصات حفرات هوا در بتن سخت شده- روش آزمون

Admixtures for Concrete, Mortar and Grout- Part 11: Determination of Air Void Characteristics in Hardened Concrete- Test Method

ICS: 91.100.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ 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 حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

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

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب – قسمت ۱۱: تعیین مشخصات حفرات هوا در بتن سخت شده– روش آزمون»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
بهرویان، منوچهر (دکترای مهندسی عمران)	دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران مرکزی
دبیر:	
محمودی، سعید (کارشناس مهندسی معدن)	کارشناس استاندارد
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسماعیلی طاهری، محسن (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
بهزادپور، مریم (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران
بیرامی، مهدی (کارشناس مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان البرز
پوریکتا، پولاد (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران
تشکری، امیرحسین (کارشناس ارشد مهندسی پلیمر)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران
دهقان‌نژاد، علیرضا (کارشناس شیمی)	اداره کل استاندارد استان قزوین
رحمتی، علیرضا (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات پاکدشت بتن
رشیدنسب، علی (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران

رئیس‌قاسمی، امیرمازیار (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
زمانی‌فر، الهام (دکترای شیمی)	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
زینالی، میرعلی اصغر (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی ایران
سعیدی رضوی، بهزاد (دکترای زمین‌شناسی)	پژوهشگاه استاندارد
سلیمانی، رضا (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	پژوهشگاه استاندارد
سلیمی، یاسر (کارشناس مهندسی معدن)	آزمایشگاه همکار استاندارد
عباسی رزگله، محمدحسین (کارشناس مهندسی مواد - سرامیک)	سازمان ملی استاندارد ایران
علیپور، نوشین (کارشناس ارشد شیمی)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران
کیانیان، محسن (کارشناس مهندسی معدن)	شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران
مجتبوی، سیدعلیرضا (کارشناس مهندسی مواد – سرامیک)	سازمان ملی استاندارد ایران
نژادکاظم، امید (دکترای مهندسی عمران)	پژوهشگاه استاندارد

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش‌گفتار		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۲
۴	اصول	۴
۵	تجهیزات	۴
۵-۱	کلیات	۴
۵-۲	آماده‌سازی آزمونه	۴
۵-۳	تحلیل میکروسکوپی	۴
۶	تهیه و آماده‌سازی آزمونه	۵
۶-۱	تهیه آزمونه	۵
۶-۲	آماده‌سازی سطح	۶
۷	روش میکروسکوپی	۷
۷-۱	روش مقدماتی	۷
۷-۲	مقادیر ثبت شده	۸
۸	روش محاسبه	۱۰
۹	گزارش آزمون	۱۳
پیوست الف (اطلاعاتی) اصول و مبانی نظری محاسبات جدول ۱		۱۷
پیوست ب (اطلاعاتی) مثال کاربردی (عملی) از نحوه محاسبه توزیع حفرات هوا		۲۱

پیش‌گفتار

استاندارد «افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب - قسمت ۱۱: تعیین مشخصات حفرات هوا در بتن سخت شده- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران تهیه و تدوین شده است و در ششصد و سی و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۰۲ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

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

BS EN 480-11: 2005, Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 11: Determination of air void - characteristics in hardened concrete

مقدمه

این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۸۱۱۷ است. این مجموعه شامل استانداردهای زیر است:

استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۱۷، بتن – مواد افزودنی شیمیایی – روش آزمون قسمت اول- بتن و ملات شاهد

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت دوم- تعیین زمان گیرش -روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۴-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت چهارم- اندازه‌گیری آب‌انداختگی بتن-روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۵-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت پنجم– اندازه‌گیری جذب مویینه-روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۶-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت ششم- طیف‌سنجی مادون قرمز - روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۸-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت هشتم- تعیین مقدار مواد خشک-روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب-قسمت دهم- تعیین مقدار کلرید محلول در آب -روش آزمون

استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۸۱۱۷، افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب - قسمت یازدهم- تعیین مشخصات حفرات هوا در بتن سخت شده- روش آزمون

افزودنی‌های بتن، ملات و دوغاب - قسمت ۱۱: تعیین مشخصات حفرات هوا در بتن سخت شده- روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش آزمونی برای مشخص کردن ساختار حفرات هوا در نمونه‌های سخت شده از بتن هوازایی شده است. ساختار حفرات هوا توسط موارد زیر توصیف می‌شوند که به تفصیل در بند ۳ تعریف شده‌اند:

- مقدار هوای کل؛
- سطح ویژه‌ی مجموعه‌ی حفرات هوا؛
- ضریب فاصله؛
- توزیع اندازه‌ی حفرات هوا؛
- مقدار هوا در حفرات میکرونی.

روش تشریح شده فقط برای استفاده بر روی آزمونه‌های بتن سخت شده‌ای مناسب است که نسبت‌های اصلی اختلاط بتن در آن‌ها به طور دقیق مشخص باشد و آزمونه نماینده‌ی این نسبت‌های اختلاط باشد. این استاندارد فقط در مورد بتن‌های ساخته شده در آزمایشگاه کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزیی از این استاندارد محسوب می‌شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، آخرین چاپ و یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده موردنظر است.
استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۱۷، بتن- مواد افزودنی شیمیایی- روش آزمون- قسمت اول: بتن و ملات شاهد

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۹۳۰، افزودنی های بتن، ملات و دوغاب- قسمت ۲: افزودنی‌های بتن- ویژگی‌ها

2-3 ISO 1920-3, Testing of concrete - Part 3: Making and curing test specimens

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۳-۱
حفره هوا

air void

فضای محصور شده توسط خمیر سیمان که پیش از گیرش خمیر با هوا یا گاز دیگری پر شده است. حفرات با ابعاد بسیار ریز نظیر تخلخل ذاتی خمیر سیمان هیدراته شده که با میکروسکوپ نیز قابل رویت نیستند، مشمول این موضوع نمی‌شوند. در این روش آزمون، تمام حفرات موجود در خمیر سیمان با طول وتر قطع شده تا ۴میلی‌متر که در بزرگ‌نمایی آزمون قابل رویت باشند، به جز ترک‌های مشهود، در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۲
مقدار هوای کل (A)

total air content (A)

نسبت حجم حفرات هوا به حجم کل بتن که به صورت درصدی از حجم بیان می‌شود.

۳-۳
مقدار خمیر (P)

paste content (P)

نسبت حجم خمیر سیمان سخت شده به حجم کل بتن که به صورت درصدی از حجم بیان می‌شود. این مقدار برابر مجموع نسبت‌های حجمی سیمان، آب اختلاط و هرگونه افزودنی مورد استفاده به حجم کل بتن می‌باشد. برای این روش آزمون، این مقدار، از وزن‌های اختلاط بتن آزمایشی محاسبه می‌شود.

۳-۴
سطح ویژه‌ی مجموعه حفرات هوا (α)

specific surface of air void system (α)

این مقدار از تقسیم سطح کل حفرات بر حجم آن‌ها به‌دست می‌آید. واحد آن ($\frac{۱}{\text{میلی‌متر}}$) می‌باشد. روش محاسبه بر اساس میانگین طول وتر می‌باشد و برای هر مجموعه از حفرات کروی معتبر است.

۳-۵
ضریب فاصله

spacing factor

این مقدار با اندازه‌گیری حداکثر فاصله‌ی هر نقطه در خمیر سیمان از محیط یک حفره‌ی هوا تعیین می‌شود و واحد آن میلی‌متر است. در محاسبه‌ی این ضریب فرض می‌شود که اندازه‌ی حفرات هوای موجود یکسان است و

به‌طور یکنواخت در تمام خمیر سیمان توزیع شده‌اند، به گونه‌ای که حجم کل و مساحت سامانه الگو، مشابه سامانه واقعی باشد.

یادآوری- این مدل تقریبی است و مقادیر به‌دست آمده احتمالاً بزرگ‌تر از مقادیر واقعی هستند.

۶-۳

توزیع حفرات هوا

air-void distribution

مجموعه مقادیر محاسباتی از تعداد و/یا حجم حفرات هوا با قطرهای مختلف در داخل خمیر سیمان سخت شده می‌باشد.

یادآوری- در مدلی که برای این عملیات محاسباتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، فرض می‌شود که فقط حفرات با ابعاد مشخص و مجزا وجود دارند. بنابراین این الگو بین حالت واقعی و الگوی تک‌قطری که برای محاسبه‌ی ضریب فاصله به کار برده می‌شود، قرار می‌گیرد. می‌توان با ترسیم حجم هوای قابل انتساب به هر اندازه از حفرات، چه به‌صورت درصد حجمی از خمیر سیمان و چه به‌صورت نسبتی از مقدار هوای کل، تصویری از توزیع را نمایش داد.

۷-۳

مقدار هوا در حفرات میکرونی (A_{300})

micro air content (A_{300})

این شاخص محاسباتی معرف مقدار هوای متناسب با حفرات با قطر برابر یا کوچک‌تر از ۰٫۳میلی‌متر (۳۰۰میکرومتر) می‌باشد. مقدار این شاخص در حین محاسبه‌ی توزیع حفرات هوا به‌دست می‌آید.

۸-۳

خط پیمایش

traverse line

یکی از مجموعه‌های خطوط در وجه صیقل یافته آزمونه که با حرکت نسبی میکروسکوپ و آزمونه در حین آزمایش پیموده می‌شوند.

۹-۳

طول پیمایش (T_{tot})

length of traverse (T_{tot})

کل فاصله پیموده شده در سطح مقطع آزمونه‌ها در حین اندازه‌گیری آزمون می‌باشد. این فاصله از دو بخش تشکیل شده است: کل طول پیموده شده در بخش جامد T_s، و در حفرات هوا T_a که واحد هر دو، میلی‌متر است.

۱۰-۳

طول وتر (l)

chord length (l)

طولی از خطوط پیمایش که به‌وسیله حفره هوا قطع شده است که واحد آن میکرومتر می‌باشد.

۳-۱۱

رده‌بندی طول وتر

chord length classification

وترها در امتداد حفرات هوای منفرد، بر اساس طول به رده‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند. تعداد کل وترها در هر دستهٔ خاص، i، که در بند ۸-۹ و جدول۱ با C_i نمایش داده شده است، جزییات مقادیر مرزی برای رده‌ها را مشخص می‌کند.

۴ اصول

نمونه‌های سخت شده از بتن هوادار به صورت عمود بر سطح آزاد برش داده می‌شوند تا آزمونه‌ها آماده شوند. سطح این آزمونه‌ها پرداخت می‌شود تا سطحی صاف و صیقلی، مناسب برای بررسی میکروسکوپی حاصل شود.
ساختار حفرات هوا با بررسی مجموعه‌ای از خطوط پیمایش موازی با سطح آزاد رویی آزمونه تعیین می‌شود. تعداد حفرات هوایی که توسط خطوط پیمایش قطع شده‌اند، ثبت می‌شود. این مقدار به عنوان تعداد طول وتر در امتداد هر خط پیمایش می‌باشد.
با تحلیل‌های ریاضی داده‌های ثبت شده، می‌توان تفسیری از مجموعه حفرات هوا در ارتباط با شاخص‌های مورد نیاز ارایه کرد.
سایر روش‌ها در تحلیل حفرات هوا همچون روش شمارش نقاط می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند مشروط بر اینکه قطعا منجر به نتایج مشابهی برای شاخص‌های مورد نیاز حفرات هوا نظیر این روش گردند. در مواردی که اختلاف وجود دارد، روش تشریح شده در این استاندارد باید مورد استفاده قرار گیرد.

۵ تجهیزات

۵-۱ کلیات

تجهیزات مورد اشاره در زیر برای انجام این آزمون، مناسب تشخیص داده شده‌اند. در صورت اطمینان از حصول نتایج مطلوب، از تجهیزات مشابه نیز می‌توان استفاده نمود. همه‌ی این تجهیزات ممکن است برای اندازه‌گیری‌های مجزا مورد نیاز نباشند.

۵-۲ آماده‌سازی آزمونه

۵-۲-۱ اره‌ی الماسه؛

۵-۲-۲ دستگاه ساب؛

یک یا چند ابزار که قابلیت آماده‌سازی سطح نهایی با کیفیت مورد نیاز را دارد. شامل تجهیزاتی با یک صفحه‌ی چدنی با حداقل قطر ۴۰۰میلی‌متر، که به همراه پودر سیلیکون کاربید با اندازه‌های مختلف (معمولاً ۱۲۰ میکرومتر، ۶۰ میکرومتر، ۳۰ میکرومتر، ۱۶ میکرومتر و ۱۲میکرومتر) یا ابزارهای دارای صفحات مخصوص ساب در اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود.

۵-۲-۳ سردخانه و گرم‌خانه؛

۵-۲-۴ مواد شیمیایی مختلف برای عمل‌آوری سطح پرداخت شده؛ شامل: گلیسرول، جوهر مهر (مشکی و مات، غیر قابل حل در آب)، خمیر روی و پودر گچ (دانه‌بندی حداکثر ۳میکرومتر).

۵-۳ تحلیل میکروسکوپی

۵-۳-۱ از یک میز پیمایش دستی یا موتوردار استفاده می‌شود. این میز شامل صفحه‌ای است، که آزمونه بر روی آن قرار می‌گیرد. این صفحه به گونه‌ای بر روی پیچ‌های تنظیم نصب شده که بتواند به‌آرامی در دو جهت عمود بر هم حرکت کند. یکی از پیچ‌های تنظیم برای حرکت در جهت عمود بر سطح بالای آزمونه و دو پیچ دیگر برای حرکت موازی با صفحه به‌کار می‌روند. پیچ‌های تنظیم باید به گونه‌ای باشند که امکان سنجش کل فاصله‌ی پیموده شده را با دقت ۱درصد فراهم کنند.

۵-۳-۲ تجهیز نوردهی

۵-۳-۳ ابزار ثبت فواصل پیمایش و تعداد کل حفرات هوای پیمایش شده، که براساس طول وترهای مجزا به رده‌هایی تقسیم شده‌اند.

۵-۳-۴ استریو میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی x(۱۰±۱۰۰). ابزار مورد استفاده باید قادر به تامین ریزنگری لازم برای رده‌بندی کردن وترهای اندازه‌گیری شده به رده‌های مشروح در بند ۷-۲ باشد. شیوه‌های دیگری از تصویربرداری نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مانند دوربینی که بر روی یک میکروسکوپ نصب شده و به یک نمایشگر متصل است. در این موارد، تصویری که برای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد باید به گونه‌ای انتخاب شود که نتایج شمارش حفرات با نتایج ارایه شده از بررسی چشمی با میکروسکوپ مطابقت داشته باشد.

یادآوری- استفاده از سامانه‌های تصویربرداری با سایر بزرگ‌نمایی‌ها، ممکن است منجر به تفاوت در قطر کوچک‌ترین حفرات قابل رویت شود. این مورد می‌تواند باعث شمارش مقادیر مختلف و متغیر برای پارامترهای محاسباتی شود.

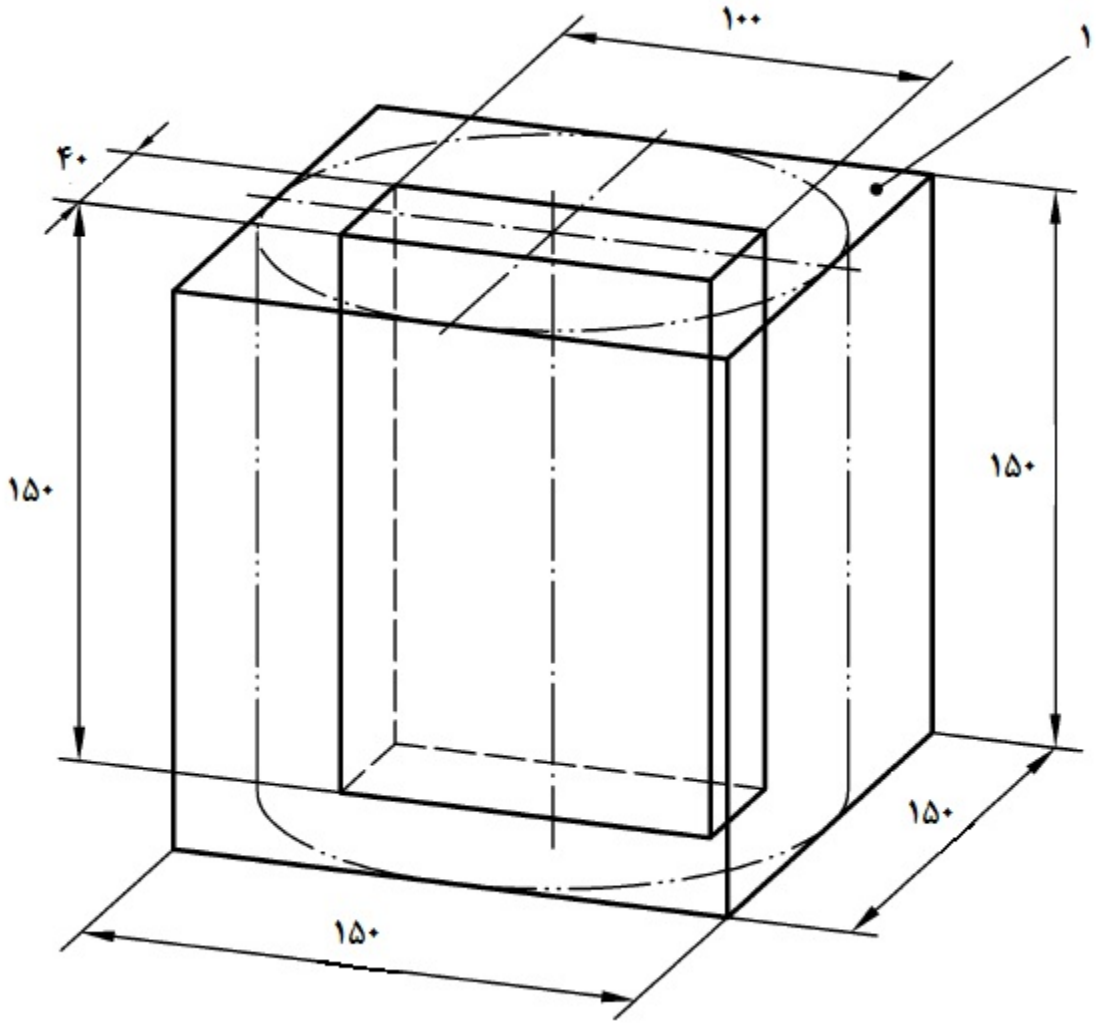
۶ تهیه و آماده‌سازی آزمونه

۶-۱ تهیه آزمونه

دو نمونه با حداقل بعد ۱۵۰میلی‌متر، باید از بتن تحت بررسی قالب‌گیری شود. برای آزمون افزودنی‌ها بر طبق استاندارد بند۲-۲، بتن باید با استاندارد بند۲-۱مطابقت داشته باشد. شکل هندسی مناسب برای نمونه‌ها شامل

مکعب با ابعاد ۱۵۰میلی‌متر یا استوانه با قطر ۱۵۰میلی‌متر می‌باشد. ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها باید برطبق استاندارد بند ۲-۳ باشد.

بعد از عمل‌آوری بتن به مدت حداقل ۷روز، باید آزمونه‌ای با عرض تقریبی ۱۰۰میلی‌متر، ارتفاع ۱۵۰میلی‌متر و ضخامت ۲۰میلی‌متر تقریباً از مرکز هر نمونه بریده شود به‌طوری‌که مطابق شکل۱، چهار سطح برش خورده عمود بر بالاترین سطح نمونه باشند. برای مطالعه میکروسکوپی، یکی از بزرگ‌ترین سطوح هر آزمونه بعد از آماده‌سازی استفاده می‌شود.



راهنما:

۱- سطح بالایی در حین قالب‌گیری (سطح آزاد اصلی بالایی)

شکل۱- تهیه آزمونه با ابعاد (۴۰×۱۰۰×۱۵۰) میلی‌متر از نمونه ۱۵۰میلی‌متری (ابعاد تقریبی)

۶-۲ آماده‌سازی سطح

حداقل یک سطح آزمونه از سطوح مورد نظر برای آزمون، باید به روش تر ساب زده تا صاف شوند. بعد از ساب زدن تر باید یک سطح نهایی صیقلی جهت سطح آزمون ایجاد شود. سپس سطح نمونه باید از مواد باقی‌مانده روی آن پاک شود.

یادآوری- زمان مورد نیاز برای ساب‌زدن تر به تجهیز مورد استفاده بستگی داشته و حدود ۵ دقیقه طول می‌کشد. در حین انجام، بهتر است دقت شود که سطح آزمون و سطح مقابل آزمونه تا حد ممکن موازی باشند.

اجرای درست روش مورد استفاده به تجهیزات موجود بستگی خواهد داشت. هدف از صیقلی کردن، ایجاد یک سطح مناسب برای بررسی میکروسکوپی ساختار حفره هوا در بتن است. توصیه می‌شود سطح مناسب در حالت خشک به صورت مات و صیقلی باشد و هیچ برجستگی قابل توجهی بین سطح سنگدانه و خمیر سیمان نباشد. لبه‌های حفرات بهتر است تیز باشند تا اینکه شکسته یا گرد باشند. در تمام مراحل ساب‌زدن و صیقل‌کاری بهتر است دقت شود تا حفره‌ها با باقی‌مانده ساب‌زدن پر نشده باشند.

پس از تکمیل مرحله صیقل‌کاری، توصیه می‌شود سطوح آزمون از هرگونه ذرات باقیمانده پاک شوند. روش‌های مناسب، استفاده از آب و هوای فشرده یا برسی نازک هستند. بهتر است دقت لازم برای جلوگیری از آسیب لبه-های حفره‌ها در حین تمیزکردن صورت گیرد. در صورت تمیزکاری با التراسونیک، مورد مذکور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شود. نتایج تکرارپذیر فقط با تمیزکردن و صیقل‌کاری مناسب و دقیق سطوح آزمون قابل انتظار است.

سطح آزمونه می‌تواند با استفاده از روشی آماده‌سازی شود که بین حفرات هوا و خمیر سیمان تفکیک‌پذیری ایجاد شود، این آماده‌سازی برای استفاده از روش اندازه‌گیری بیان شده لازم است. این مورد احتمالاً در صورت استفاده از روش‌های خودکار، ضروری خواهد بود. این روش تفکیک‌پذیری در ابتدا از طریق مالیدن جوهر بر روی سطح نمونه با استفاده از غلتک یا استامپ انجام‌پذیر است. باید دقت شود که از نفوذ جوهر به داخل حفرات هوا جلوگیری به‌عمل آید. سپس نمونه در گرم‌خانه‌ای با دمای ۵۰درجه سلسیوس به مدت ۴ساعت قرار گیرد. سپس با خمیر روی پوشش داده می‌شود و پیش از پاک کردن خمیر روی اضافی، با قرارگیری در سردخانه خنک می‌گردد. در پایان سطح با پودرگچ نرم برروی خمیر روی که در حفرات هوا پر شده است، با فشار پوشش داده می‌شود. سپس پودر گچ اضافی با یک ملات تراش پاک شود.

۷ روش میکروسکوپی

۷-۱ روش مقدماتی

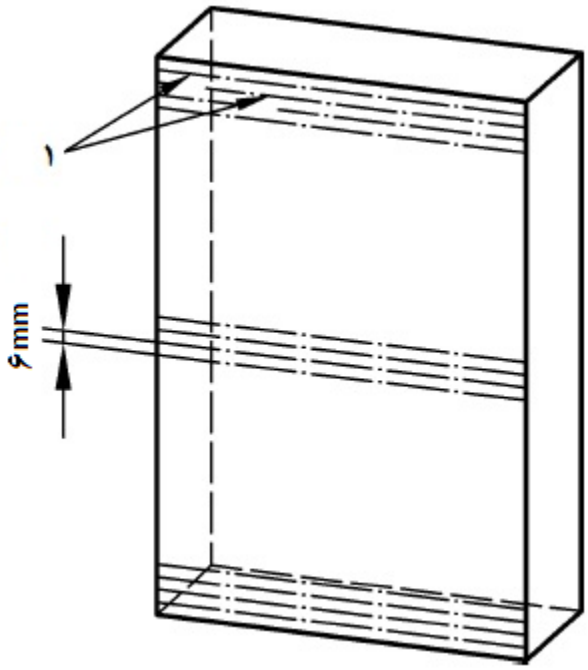
آزمونه‌ها را روی میز پیمایش قرار داده به‌طوری‌که خطوط پیمایش با سطح آزاد بالایی آزمونه موازی باشند.

حداقل طول خط پیمایش ۱۲۰۰میلی‌متر برای هر آزمونه می‌باشد که نیاز است به ازای هر آزمون حداقل ۲۴۰۰میلی‌متر خط پیمایش در مجموع طی شود. تعدادی پیمایش در عرض سطح آزمونه به منظور تامین خط پیمایش کلی (مجموع کل خطوط پیمایش) موردنیاز است. نظر به اینکه اطمینان از پرداخت سطحی بی‌نقص در لبه واقعی آزمونه مشکل می‌باشد، باید دقت شود که هیچ سطح آسیب دیده‌ای در طول پیمایش نباشد. خطوط پیمایش باید مطابق شکل ۲ در سطح توزیع شود.

الف- چهار خط پیمایش در ناحیه بالای سطح، در امتداد عرض آن، ایجاد می شود. توصیه می‌شود بالاترین خط از لبه بالایی نمونه تقریباً ۶میلی‌متر فاصله داشته و خطوط بعدی توصیه می‌شود تقریباً ۶میلی‌متر از یکدیگر فاصله داشته باشند.

ب- چهار خط پیمایش بعدی در ناحیه پایین‌تر سطح ایجاد می‌شود. توصیه می‌شود پایین‌ترین خط تقریباً ۶میلی‌متر از لبه پایینی نمونه و همچنین توصیه می‌شود خطوط بعدی تقریباً ۶میلی‌متر از یکدیگر فاصله داشته باشند.

ج- خطوط پیمایش بعدی در ناحیه مرکزی سطح با فاصله تقریبی ۶میلی‌متر از یکدیگر توزیع می‌شوند به‌طوری‌که مقدار طول کلی خطوط پیمایش تامین شود. حداقل چهار خط پیمایش در این ناحیه مورد نیاز است، در صورت وجود نواحی آسیب‌دیده در سطح، ممکن است تعداد بیشتری خط پیمایش مورد نیاز باشد تا حداقل طول پیمایش لازم تامین شود.



راهنما:

۱- خطوط پیمایش در فواصل ۶میلی‌متری

شکل۲- توزیع خطوط پیمایش روی سطح آزمون

۲-۷ مقادیر ثبت شده

سطح آزمونه باید با میکروسکوپی با بزرگ‌نمایی x(۱۰±۱۰۰) مشاهده شود. بزرگ‌نمایی نباید در دوره زمانی اندازه‌گیری تغییر کند. آزمونه در امتداد خطوط پیمایشی که در ۷-۱ شرح داده شد بررسی می‌شود. در خلال پیمایش، باید از دو پیچ هدایت‌کننده برای حرکت موازی به طرف سطح آزاد بالایی اصلی به‌منظور تامین اندازه‌های جداگانه فواصل کلی مقطع پیمایش استفاده شود.

الف- بخش جامد سطح آزمونه، T_S؛

ب- حفره‌های قطع‌شده، T_a.

مجموع این دو مقدار، طول پیمایش کلی را می‌دهد، T_{tot} .

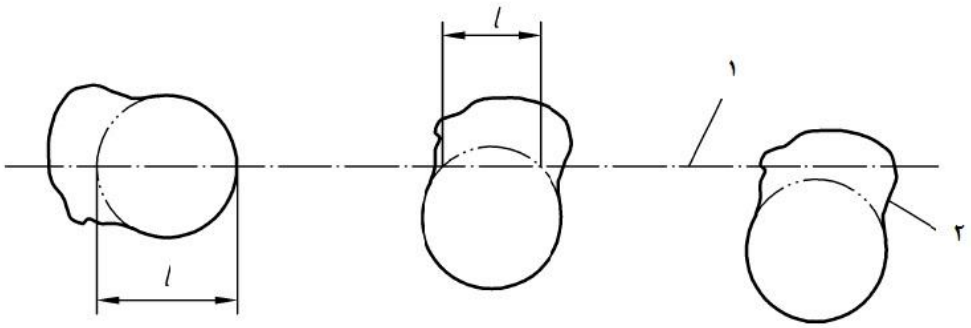
در صورتی‌که تعیین توزیع اندازه حفره و یا مقدار حفره‌های میکرونی الزامی باشد علاوه بر این، یک شمارش جداگانه از تعداد قوس‌هایی که به‌طور مجزا از تقاطع خطوط پیمایش با فضاهای خالی ایجاد شده باید مطابق زیر در نظر گرفته شود:

پ- طول تخمینی هر وتر با تقریب ۵میکرومتر

ت- تعداد کل وترها در هر طبقه‌بندی، با استفاده از محدوده‌های طبقه‌بندی که در جدول ۱ بیان شده و متعاقباً در بند ۸-۹ توضیح داده می‌شود.

این روش یک تقسیم‌بندی فرعی از تمام وترهای ایجاد شده در ۲۸ رده با طول‌های مختلف را تامین می‌کند. این طبقه‌بندی را می‌توان متعاقبا برای محاسبه توزیع حفرات هوای مرتبط استفاده کرد. در حین شمارش، تمامی وترهایی که حفره‌های قابل رویت در مقطع خمیر سیمان سخت شده با طول وتر روی خط پیمایش بین ۰ تا ۴۰۰۰میکرومتر دارند در نظر گرفته شود.

تنها استثنای آن، ترک‌های واضح می‌باشند. در صورتی‌که، به‌رغم ساب‌زنی دقیق، لبه‌های حفره‌ها شکسته شده باشند و چنین وضعیت شکستگی روی یک پیمایش قرار گیرد، باید مقطع دایره‌ای کامل شده به‌عنوان اساس تعیین طول وتر استفاده شود. روش تعیین طول وتر مرتبط در شکل ۳ نشان داده شده است.



راهنما:

۱- خط پیمایش

۲- طول قوس صفر(l)

شکل۳- تخمین طول قوس، l برای لبه‌های حفره شکسته شده در حین بررسی میکروسکوپی

۸ روش محاسبه

۸-۱ داده‌های به‌دست آمده

داده‌های زیر از مقادیر به‌دست آمده درحین انجام آزمون به‌دست می‌آید. در محاسبات، مقادیر کل هر دو آزمونه، در آزمون بتن یکسان باید با یکدیگر جمع شوند.

الف- مقدار حجمی خمیر محاسبه شده از نسبت‌های اختلاط P؛

ب- کل طول پیمایش شده در امتداد بخش جامد، T_s؛

پ- کل طول پیمایش شده در امتداد حفرات هوا، T_a؛

ت- تعداد وترهای مجزا در امتداد حفرات هوا با رده اندازه‌های مختلف C_i.

۸-۲ کل طول پیمایش شده

محاسبات به صورت مجموع طول پیمایش شده در امتداد بخش جامد و حفرات انجام می‌شود.

$$T_{tot} = T_S + T_a \qquad \text{بر حسب میلی‌متر} \qquad (۱)$$

کل طول پیمایش شده باید حداقل ۲۴۰۰ میلی‌متر باشد.

۸-۳ مقدار کل هوا

به صورت نسبت کل طول پیمایش شده از میان حفرات ایجاد شده محاسبه می‌شود.

$$A = \frac{T_a \times ۱۰۰}{T_{tot}} \qquad \text{برحسب درصدی از حجم} \qquad (۲)$$

۸-۴ تعداد کل وترهای اندازه‌گیری شده

به صورت مجموع N از تعداد وترها در هر یک از رده‌های اندازه محاسبه می‌شود.

$$N = \sum C_i \qquad (۳)$$

۸-۵ سطح مخصوص هوا

$$\alpha = \frac{۴\times N}{T_a} \qquad \text{برحسب } \frac{۱}{\text{میلی‌متر}} \qquad (۴)$$

۸-۶ نسبت خمیر به هوا

به صورت نسبت R محاسبه می‌شود که در آن مقدار حجم خمیر P، به‌دست آمده از نسبت اختلاط، و مقدار هوای کل A که از رابطه ۲ به‌دست می‌آید.

$$R = \frac{P}{A} \qquad (۵)$$

۸-۷ ضریب فاصله

معادله استفاده شده در این رابطه به مقدار R محاسبه شده در رابطه ۵ بستگی دارد.

اگر $R > ۴/۳۴۲$ باید از رابطه ۶ استفاده شود، اگر $R \leq ۴/۳۴۲$ باید از رابطه ۷ استفاده شود.

$$\bar{L} = \frac{۳[۱/۴(۱+R)^{\frac{۱}{۳}}-۱]}{\alpha} \qquad \text{برحسب میلی‌متر} \qquad (۶)$$

یا

$$\bar{L} = \frac{P\times T_{tot}}{۴۰۰\times N} \qquad \text{بر حسب میلی‌متر} \qquad (۷)$$

۸-۸ مقدار حفرات میکرونی هوا

مقدار حفرات میکرونی هوا $A_{۳۰}$ به طور مستقیم از جدول ۱ به‌دست می‌آید که این مقدار در ستون ۱۰ برای رده ۱۸ به صورت درصدی از حجم محاسبه شده است.

۸-۹ توزیع حفره هوا

۸-۹-۱ مبنای محاسبات

توزیع حفرات هوا از توزیع طول وترهای اندازه‌گیری شده در حین پیمایش محاسبه می‌شود. توزیع محاسبه شده بر پایه مدلی است که با فرض تنها مجموعه قطر اسمی حفره‌های هوا در حال حاضر هستند. قطرهای اسمی مربوط به بیشترین طول وتر در هر رده هستند.

اطلاعات مورد نیاز برای این محاسبات، طول کل پیمایش شده، T_{tot} و توزیع طول وتر می‌باشد. مثال کاربردی الف در پیوست ب آورده شده است.

۸-۹-۲ محاسبه فراوانی وتر

وترهای اندازه‌گیری شده بین تعدادی از رده‌ها در جدول ۱، بر اساس طول، ثبت شده با تقریب ۵میکرون، تقسیم می‌شوند. عدد اختصاص یافته به هر رده و طول رده در ستون‌های ۱ و ۲ داده شده است. در مقایسه با طول رده، هر وتر در یک رده قرار می‌گیرد، برای مثال طول وتر ۱۵۰میکرومتر در رده ۱۱ قرار می‌گیرد. تعداد کل وترها در هر رده در ستون ۳ ذکر شده است. سپس تعداد وترها در هر میلی‌متر از خط پیمایش با تقسیم مقادیر در ستون ۳ بر T_{tot} و قرارگیری نتایج در ستون ۴ محاسبه می‌شود.

۸-۹-۳ محاسبات فراوانی (تعداد کل) حفره

همه حفرات درون خمیر سیمان در طول پیمایش قطع نخواهند شد، به‌طوری‌که خطوط پیمایش کل حجم نمونه بتنی را پوشش نمی‌دهند. بنابراین محاسبه تعداد حفرات هوا در هر میلی‌مترمکعب از بتن برای تعیین توزیع حفرات هوا ضروری می‌باشد. بخشی از تعداد کل حفرات که حاوی وتری با طول مشخص بوده و قطع شده باشد قابل محاسبه است.

مقدار این بخش برای هر رده از طول‌های وتر در ستون ۵ نشان داده شده است. از تقسیم ستون ۴ بر ستون ۵ تعداد کل حفره‌ها در یک میلی‌متر مکعب بتن که می‌تواند شامل وترهای رده مشخصی باشد حاصل می‌شود. این مقدار در ستون ۶ وارد شده است.

یادآوری- مقادیر ستون ۵ برای همه موارد ثابت هستند و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آیند:

$$\text{بخشی از تعداد کل حفرات مواجه شده} = \frac{\pi \times (5 + l_{max} - l_{min}) \times (l_{max} + l_{min})}{4 \times 10^{6}} \quad \text{برحسب میلی‌متر مربع} \qquad (۸)$$

که در آن:

l_{max} و l_{min} بیشترین و کمترین طول‌های وتر در رده هستند.

عدد ثابت ۵ در صورت کسر(رابطه ۸)، بر اثر گرد کردن تمام وترها تا نزدیکی ۵میکرومتر پدید آمده است. این رابطه به خودی خود بر پایه یک ارزیابی آماری از تعداد حفره می‌باشد.

۸-۹-۴ محاسبه توزیع حفره

می‌توان یک وتر با طول مشخص را در هر حفره با قطر بزرگ‌تر از طول آن وتر یافت. بنابراین مقدار ستون ۶ برای هر رده در برگیرنده تمام حفرات با قطر بزرگ‌تر از حد بالایی از آن رده به اضافه حفرات قرار گرفته در همان رده می‌باشد. به منظور تعیین تعداد حفرات با قطر برابر با حد بالایی از یک رده، مقدار متناظر با آن رده در ستون ۶ از مقدار رده بالاتر بعدی کم شده و در ستون ۷ قرار داده می‌شود. به عنوان مثال، مقدار ستون ۷ برای رده ۱۰ حاصل تفریق مقدار ستون ۶ برای رده ۱۱ از مقدار ستون ۶ برای رده ۱۰ می‌باشد.

یادآوری- این امکان وجود دارد، که در برخی موارد، مقادیر ستون ۷، و در نتیجه در ستون‌هایی که متعاقبا از آن محاسبه می‌شوند، منفی باشند. این به دلیل تقسیم‌بندی وترها در رده‌ها و مرزهای آن‌ها می‌باشد. اگر مرزهای رده‌بندی به طور مناسب تنظیم شده باشند می‌توان از آن صرف نظر کرد. به طور اساسی این موضوع تأثیری بر توزیع حجم هوای نهایی حاصل شده نخواهد گذاشت. برای انجام محاسبه توصیه می‌شود مقدار منفی منظور شده و نادیده گرفته نشود.

۸-۹-۵ محاسبه مقدار هوا

حجم کل هوای متناسب با هر رده از حفرات از طریق ضرب مقادیر ستون ۷ در ستون ۸ محاسبه می‌شود، که شامل حجم یک حفره از قطر رده است، بدین ترتیب مقدار هوا به‌صورت نسبت کسری به‌دست می‌آید که با ضرب این نسبت در ۱۰۰٪، حاصل به‌صورت درصد نشان داده می‌شود. نتیجه در ستون ۹ قرار داده می‌شود. مقدار هوای تجمعی، مجموع ستون ۹ می‌باشد، که در ستون ۱۰ قرار می‌گیرد.

یادآوری- مجموع کل در رده ۲۸ و ستون ۱۰ برابر با مقدار هوای تجمعی اسمی است. این مقدار باید برابر با مقدار محاسبه شده در بند ۸-۳ باشد، اما ممکن است به دلیل استفاده از روش‌های محاسباتی ، اندکی متفاوت باشد.

۸-۹-۶ بیان نتایج

نمودار توزیع حفره هوا نسبت به قطر اسمی حفره را می‌توان با استفاده از مقادیر قطر بالایی هر رده از ستون ۲ و مقدار ستون ۱۰ متناظر با همان رده ترسیم کرد. این نمودار را می‌توان یا به صورت یک درصد تجمعی بیان شده در ستون۱۰ یا به صورت نسبت تجمعی هوای کل با تقسیم هر مقدار ستون ۱۰ بر مقدار هوای کل محاسبه شده مندرج در رده ۲۸ از ستون ۱۰ ترسیم نمود.

۸-۹-۷ محتویات ستون‌ها

ستون‌های مختلف در جدول ۱ به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشند:

ستون۱: ردیف؛

ستون۲: حدود بالایی و پایینی طول وتر برای هریک از رده‌ها، بر حسب میکرومتر؛

ستون۳: تعداد وترهای مشاهده شده در هر رده؛

ستون۴: تعداد وترها به ازای هر ۱ میلی‌متر از خط پیمایش؛

ستون۵: کسری از حفرات احتمالی که به طور واقعی شمارش شده‌اند. این مشخصه بر حسب میلی‌متر مربع می‌باشد؛
ستون۶: تعداد کل حفرات در هر میلی‌متر مکعب از بتن که دارای یک وتر از رده با اندازه مشخص هستند؛
ستون۷: تعداد کل حفرات با قطر برابر با حد بالایی رده در هر میلی‌متر مکعب از بتن؛
ستون۸: حجم متناسب با هر حفره از یک رده بر حسب میلی‌متر مکعب؛
ستون۹: حجم کل متناسب با همه حفرات یک رده که به عنوان درصدی از حجم بتن بیان می‌شود؛
ستون۱۰: مقدار هوای کل محاسباتی برای حفرات هوا تا رده مورد نظر، که به عنوان درصدی از حجم بتن بیان می‌شود.

۹ گزارش آزمون

۹-۱ داده‌های الزامی

گزارش آزمون، حداقل باید شامل موارد زیر باشد:

۹-۱-۱ ارجاع به این استاندارد ملی ایران؛

۹-۱-۲ جزییات کامل طرح اختلاط بتن مورد آزمایش به همراه جزییات وزن مخصوص و مقدار هوای اندازه‌گیری شده از بتن تازه؛

۹-۱-۳ جزییات محاسبات مقدار خمیر بتن؛

۹-۱-۴ مقادیر محاسبه شده برای مقدار هوای کل، سطح ویژه سامانه حفرات هوا و ضریب فاصله.

۹-۲ داده‌های اختیاری

در صورت نیاز، داده‌های زیر نیز گزارش می‌شوند:

۹-۲-۱ مقدار حفرات میکرونی هوا؛

۹-۲-۲ ترسیم توزیع حفرات هوا.

جدول۱- تعیین توزیع حفرات هوا

کل طول پیمایش، T_{tot}

ستون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
موضوع	رده	پهنای رده	تعداد وتر ثبت شده در هر رده	تناوب وتر	بخش از حفرات مواجه شده	کل حفرات ممکن	حفرات در رده	حجم حفره	درصد هوا	درصد هوا تجمعی
منبع	[1]	[1]	اندازه‌گیری شده C_i	ستون۳ تقسیم بر T_{tot}	[1]	ستون۴ تقسیم بر ستون۵	ستون۶ منهای مقدار بعدی در ستون۶	[1]	ستون۷ ضرب در ستون۸ ضرب در ۱۰۰	مقادیر تجمعی ستون۹
یکا		μm		mm^{-1}	mm^2	mm^{-3}	mm^{-3}	mm^3	٪	٪
	۱	۰-۱۰			۰٫۰۰۰۱۱۷۸			$۵٫۲۴\times۱۰^{-۷}$		
	۲	۱۵-۲۰			۰٫۰۰۰۲۷۴۹			$۴٫۱۹\times۱۰^{-۶}$		
	۳	۲۵-۳۰			۰٫۰۰۰۴۳۲۰			$۱٫۴۱\times۱۰^{-۵}$		
	۴	۳۵-۴۰			۰٫۰۰۰۵۸۹۰			$۳٫۳۵\times۱۰^{-۵}$		
	۵	۴۵-۵۰			۰٫۰۰۰۷۴۶۱			$۶٫۵۴\times۱۰^{-۵}$		
	۶	۵۵-۶۰			۰٫۰۰۰۹۰۳۲			$۱٫۱۳\times۱۰^{-۴}$		
	۷	۶۵-۸۰			۰٫۰۰۲۲۷۸۰			$۲٫۶۸\times۱۰^{-۴}$		
	۸	۸۵-۱۰۰			۰٫۰۰۲۹۰۶۰			$۵٫۲۴\times۱۰^{-۴}$		
	۹	۱۰۵-۱۲۰			۰٫۰۰۳۵۳۴۰			$۹٫۰۵\times۱۰^{-۴}$		
	۱۰	۱۲۵-۱۴۰			۰٫۰۰۴۱۶۳۰			$۱٫۴۴\times۱۰^{-۳}$		
	۱۱	۱۴۵-۱۶۰			۰٫۰۰۴۷۹۱۰			$۲٫۱۴\times۱۰^{-۳}$		
	۱۲	۱۶۵-۱۸۰			۰٫۰۰۵۴۱۹۰			$۳٫۰۵\times۱۰^{-۳}$		

جدول۱- ادامه

کل طول پیمایش، T_{tot}

ستون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۱۳	۱۸۵-۲۰۰			۰٫۰۰۶۰۴۷۶			$۴٫۱۹\times۱۰^{-۳}$		
	۱۴	۲۰۵-۲۲۰			۰٫۰۰۶۶۷۶۰			$۵٫۵۸\times۱۰^{-۳}$		
	۱۵	۲۲۵-۲۴۰			۰٫۰۰۲۳۰۴۰			$۷٫۲۴\times۱۰^{-۳}$		
	۱۶	۲۴۵-۲۶۰			۰٫۰۰۷۹۳۳۰			$۹٫۲۰\times۱۰^{-۳}$		
	۱۷	۲۶۵-۲۸۰			۰٫۰۰۸۵۶۱۰			$۱٫۱۵\times۱۰^{-۲}$		
	۱۸	۲۸۵-۳۰۰			۰٫۰۰۹۱۸۹۰			$۱٫۴۱\times۱۰^{-۲}$		
	۱۹	۳۰۵-۳۵۰			۰٫۰۲۵۷۲۰۰			$۲٫۲۴\times۱۰^{-۲}$		
	۲۰	۳۵۵-۴۰۰			۰٫۰۲۹۶۵۰۰			$۳٫۳۵\times۱۰^{-۲}$		
	۲۱	۴۰۵-۴۵۰			۰٫۰۳۳۵۸۰۰			$۴٫۷۷\times۱۰^{-۲}$		
	۲۲	۴۸۵-۵۰۰			۰٫۰۳۷۵۰۰۰			$۶٫۵۴\times۱۰^{-۲}$		
	۲۳	۵۰۵-۱۰۰۰			۰٫۵۹۱۰۰۰۰			$۵٫۲۴\times۱۰^{-۱}$		
	۲۴	۱۰۰۵-۱۵۰۰			۰٫۹۸۳۷۰۰۰			۱٫۷۷		
	۲۵	۱۵۰۵-۲۰۰۰			۱٫۳۷۶۰۰۰۰			۴٫۱۹		
	۲۶	۲۰۰۵-۲۵۰۰			۱٫۷۶۹۰۰۰۰			۸٫۱۸		
	۲۷	۲۵۰۵-۳۰۰۰			۲٫۱۶۲۰۰۰۰			$۱٫۴۱\times۱۰^{+۱}$		
	۲۸	۳۰۰۵-۴۰۰۰			۵٫۵۰۲۰۰۰۰			$۳٫۳۵\times۱۰^{+۱}$		

[۱]) مقادیر ستون‌های ۱، ۲، ۵ و ۸ در همه آزمون‌ها ثابت هستند.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

اصول و مبانی نظری محاسبات جدول ۱

الف-۱ مقدمه

هدف از محاسبات جدول ۱ استنتاج توزیع قطر حفرات هوا از طریق اندازه‌گیری نحوه توزیع وترها می‌باشد. زمانی که نحوه انتشار قطر حفره هوا مشخص می‌شود، حجم هوای محبوس شده را می‌توان محاسبه کرد.
در طول پیمایش خطی، فقط آن حفراتی از هوا که توسط خط پیمایش قطع می‌شوند، در توزیع وترها شمارش می‌شوند. مقدار زیادی از حفرات توسط خط پیمایش قطع نخواهند شد، بنابراین در محاسبات توزیع وتر وارد نخواهند شد.
محاسبات جدول ۱ نمونه‌ای از برآورد تعداد کل حفرات با استفاده از حفراتی که قطع شده‌اند، ارایه می‌نماید. این کار از طریق یک تحلیل آماری انجام می‌گیرد.

الف-۲ فرضیات

فرضیه اصلی این است که در حین پیمایش خطی، هیچ حفره‌ای از هوا بیش از یک بار قطع نشود. این بدین معنی است که هر وتر ثبت شده نماینده یک حفره هوای مجزا است.
فرضیه دوم که با هدف حصول اطمینان از یک رویه محاسباتی آسان‌تر انجام می‌شود، آن است که، توزیع واقعی حفرات هوا را می‌توان با استفاده از توزیع محاسبه شده آن رده از حفرات هوایی بیان نمود که قطر آن‌ها معادل مقدار حداکثر در هر رده است (ستون ۲ از جدول۱). پیوستگی که در توزیع قطر حفرات هوا در اینجا ارائه شده است، به عنوان یک الگوی واقعی، قابل بسط و تعمیم نیست.

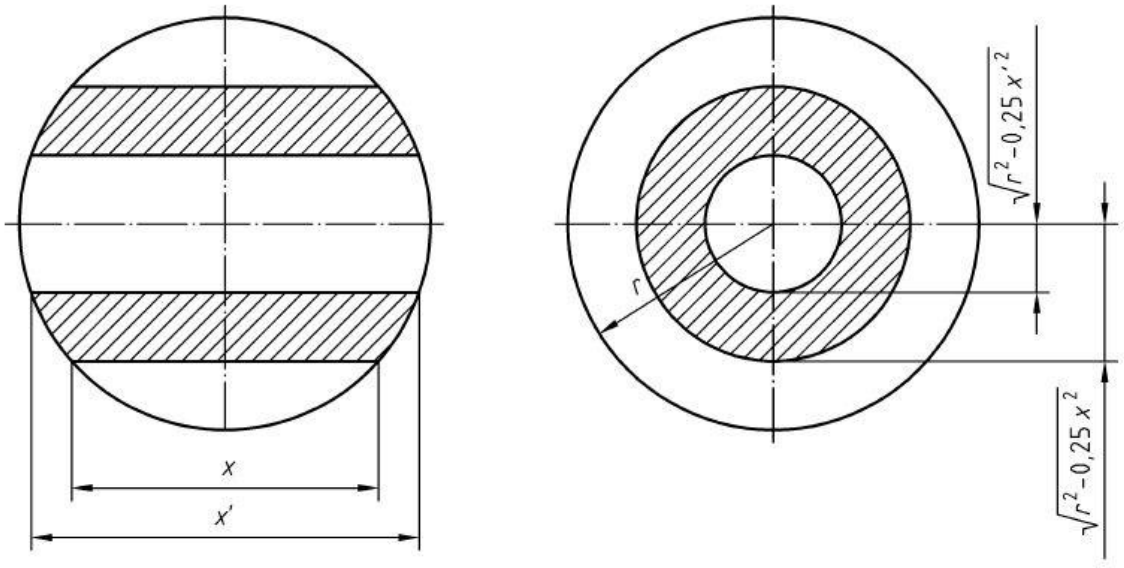
الف-۲-۱ گام اول: رده‌بندی طول وترها و محاسبه فراوانی وترها

پس از این‌که پیمایش خطی انجام شد و همچنین کل مقدار طول پیمایش از درون حفرات هوا مشخص شد، یکایک وترها با تقریب ۵ میکرومتر گرد شده و در رده‌های مختلف رده‌بندی می‌شوند. این رده‌ها در ستون ۲ جدول مشخص شده‌اند و تعداد وترها در هر رده در ستون ۳ ثبت شده است. این رویه رده‌بندی آخرین مرحله از اندازه‌گیری است. بقیه قسمت‌های جدول از طریق محاسبات تکمیل می‌شود.
اولین گام در محاسبات، محاسبه تعداد وترهای شناسایی شده در هر رده، به ازای هر میلی‌متر از کل طول پیمایش می‌باشد (T_{tot}). نتیجه این بخش در ستون ۴ قرار داده شده است. هدف از این کار تعیین اندازه‌ها بر حسب واحد طول می‌باشد که از آن بتوان در محاسبات مقدار درصد هوا استفاده نمود.

الف-۲-۲ گام دوم: محاسبه مجموع تعداد وترهای قطع شده

همان‌طور که در بالا به آن اشاره شد، تمامی حفرات در طی پیمایش خطی قطع نمی‌شوند. برای محاسبه مقدار هوای کل، بخشی از مقدار کل که به‌طور واقعی ثبت شده‌اند باید وجود داشته باشد. این کار با روش زیر امکان‌پذیر است:

حفره هوایی را در نظر بگیرید، به اندازه کافی بزرگ باشد که وترهایی به طول x و x’ را در خود جای دهد. این حفره در شکل الف-۱ نشان داده شده است.



نمای جانبی
(در راستای خط پیمایش)

برش مقطع
(در عرض خط پیمایش)

راهنما:

r: شعاع حفره؛

x **و** x': طول وترها.

شکل الف۱- هندسه حفره

اگر این حفره تنها حفره در یک میلی‌متر مکعب از بتن باشد که به‌طور متقارن در اطراف خط پیمایش قرار گرفته است، آن‌گاه احتمال ایجاد یک وتر در حدود ارائه شده (قسمت هاشور خورده) بر اثر عبور خط پیمایش از آن‌جا را می‌توان با استفاده از سطح مقطع حفره محاسبه کرد. بدین ترتیب که چنین وتری در تمام سطح مقطع حفره، از حجم بتن در نظر گرفته شده توزیع شده باشد. سطح مقطع بتن یک میلی‌متر مربع می‌باشد($۱۰^{۶}$میکرومتر مربع). سطح مقطع قسمت هاشور خورده از حفره به آسانی با استفاده از هندسه کلاسیک به شرح زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\frac{\pi}{۴} \times \left(۴r^{۲}-x^{۲}\right) - \frac{\pi}{۴} \times \left(۴r^{۲}-x'^{۲}\right) \qquad \textbf{(الف۱)}$$

ساده شده عبارت فوق به صورت زیر است:

$$\frac{\pi}{۴}\times\left(x'^{۲}-x^{۲}\right) \qquad \textbf{(الف۲)}$$

سپس به صورت زیر بسط داده می‌شود:

$$\frac{\pi}{۴}\times(x'+x)\times(x'-x) \qquad \textbf{(الف۳)}$$

اگر طول وترهای مورد استفاده در رده‌بندی دقیق باشند، این رابطه دقیقاً درست خواهد بود. هرچند که طول وترها با دقت ۵میکرومتر ثبت شده‌اند. اگر x و x' حدود واقعی وترها باشند، آن‌گاه حدود مرزی رده‌ها که در ستون ۲ جدول ۱ آمده‌اند، y و y' از رابطه زیر به‌دست می‌آیند:

$$y=x+۲٫۵ \quad و \quad y'=x'-۲٫۵ \qquad \textbf{(الف۴)}$$

با جایگزینی در رابطه قبلی خواهیم داشت:

$$\frac{\pi}{۴}\times\left[\left(y'+۲٫۵\right)+\left(y-۲٫۵\right)\right]\times\left[\left(y'+۲٫۵\right)+\left(y-۲٫۵\right)\right] \qquad \textbf{(الف۵)}$$

پس از ساده‌سازی:

$$\frac{\pi}{۴}\times(y'+y)\times\left(y'-y+۵\right) \qquad \textbf{(الف۶)}$$

احتمال قطع شدن این حفره در یک سطح مقطع کلی $۱۰^{۶}$میکرومتر مربعی به شرح زیر است:

$$\frac{\pi\times(y'+y)\times\left(y'-y+۵\right)}{۴\times۱۰^{۶}} \qquad \textbf{(الف۷)}$$

این مقدار برای هر رده از وترها ثابت و قابل محاسبه است. مقادیر محاسبه شده در ستون ۵ از جدول ۱ داده شده است. در صورتی که این احتمال قطع شدن یک حفره باشد، می‌توان از آن برای محاسبه تعداد کل حفرات موجود به عنوان تعداد واقعی قطع شده در هر میلی‌متر از خط پیمایش استفاده نمود (که شامل طول خطی می‌شود که در یک میلی‌متر مکعب مورد بررسی فوق، قرار گرفته است) که از ستون ۴ جدول ۱ شناسایی می‌شود.

تعداد کل حفرات موجود، که دارای وترهای بالقوه در گروه در نظر گرفته شده، برابر است با تعداد واقعی ثبت شده تقسیم بر احتمال قطع شدن هر یک از حفرات منفرد، به عنوان مثال ستون ۴ بر ستون ۵ از جدول ۱ تقسیم می‌شود. مقدار حاصله در ستون ۶ ثبت می‌شود. به دلیل مرزهای مشخص شده در بررسی بالا، این مقادیر همان تعداد وترها در هر رده به ازای هر میلی‌متر مکعب از بتن هستند.

الف-۲-۳ گام سوم: محاسبه تعداد کل حفرات

ستون ۶ حاوی تعداد کل حفرات قطع شده احتمالی، به تفکیک رده می‌باشد. شامل آن‌هایی که به‌طور واقعی در حین پیمایش خطی قطع شده و یا نشده‌اند. این مقادیر، معادل کل حفرات نمی‌باشد. هر حفره می‌تواند شامل

چندین وتر باشد که در رده‌های مختلف قرار گرفته‌اند و بنابراین بر اساس محاسبات بالا به تعداد دفعاتی که در رده‌های مورد نظر آمده شمرده خواهند شد. به بیان دیگر وتری که در رده n قرار دارد را می‌توان در حفراتی با قطر n و بیشتر یافت.

تمام وترهای رده ۱۲ را در نظر بگیریدکه از وترهای حفراتی با قطری از حداکثر رده ۱۲ به بالا تا رده ۲۸ تشکیل شده است. اگر V_n بیانگر تعداد حفرات به قطر n، و C_n بیانگر تعداد وترها در رده n باشد، آن‌گاه:

$$C_{۱۲}= V_{۱۲}+V_{۱۳}+V_{۱۴}+...+V_{۲۸}$$

به همین ترتیب:

$$C_{۱۳}= V_{۱۳}+V_{۱۴}+...+V_{۲۸}$$

بنابراین:

$$V_{۱۲}= C_{۱۲}-C_{۱۳}$$

این روابط این امکان را می‌دهد که تعداد کل حفرات از یک قطر مشخص از روی تعداد کل وترها محاسبه شوند که در ستون ۷ از جدول۱ آورده شده است.

الف-۲-۴ گام۴: محاسبه مقدار هوا

در گام آخر کل مقدار هوا محاسبه می‌شود. ستون ۸ حجمی از یک حفره به قطر برابر با حداکثر محدوده هر کلاس ارایه می‌دهد. از ضرب مقدار این ستون در تعداد حفرات آن قطر، کل حجم هوا در ازای یک میلی‌متر مکعب از بتن به صورت کسری به‌دست می‌آید که پس از ضرب در عدد ۱۰۰ مقدار بر حسب درصد به‌دست می‌آید که در ستون ۹ ثبت می‌شود. مقدار هوای تجمعی نیز در ستون۱۰ محاسبه می‌شود.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

مثال کاربردی (عملی) از نحوه محاسبه توزیع حفرات هوا

محاسبات توزیع حفرات هوا در بند ۸-۹ ارایه شده است و جدول ب-۱ جزییات روند محاسبات مورد استفاده را نشان می‌دهد. این مثال، فقط تعیین توزیع حفرات و مقدار هوای میکرونی را پوشش می‌دهد و شامل محاسبه کل هوای موجود، سطح ویژه یا ضریب فاصله نمی‌شود.

داده‌های محاسبات در مثال:

۱- کل طول پیمایش=۲۴۰۰میلی‌متر؛

۲- توزیع طول وتر همان‌طور که در ستون ۳ از جدول ب-۱ ثبت شده است.

جدول ب۱- تعیین توزیع حفرات هوا

کل طول پیمایش، T_{tot} ۲۴۰۰mm

ستون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
موضوع	رده	پهنای رده	تعداد وتر ثبت شده در هر رده	تناوب وتر	بخش از حفرات مواجه شده	کل حفرات ممکن	حفرات در رده	حجم حفره	درصد هوا	درصد هوا تجمعی
منبع	()[1]	()[1]	اندازه‌گیری شده C_i	ستون۳ تقسیم بر T_{tot}	()[1]	ستون۴ تقسیم بر ستون۵	ستون۶ منهای مقدار بعدی در ستون۶	()[1]	ستون۷ ضرب در ستون۸ ضرب در ۱۰۰	مقادیر تجمعی ستون۹
یکا		μm		mm^{-1}	mm^2	mm^{-3}	mm^{-3}	mm^3	٪	٪
	۱	۰-۱۰	۶۵	۰/۰۲۷۰۸	۰/۰۰۰۱۱۷۸	۲۲۹/۹۰۹۴۵	۱۴۰/۴۸۳	$۵/۲۴\times۱۰^{-۷}$	۰/۰۰۷	۰/۰۱
	۲	۱۵-۲۰	۵۰	۰/۰۲۴۵۸	۰/۰۰۰۲۷۴۹	۸۹/۴۲۶۴۶	۹/۳۷۲	$۴/۱۹\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۴	۰/۰۱
	۳	۲۵-۳۰	۸۳	۰/۰۳۴۵۸	۰/۰۰۰۴۳۲۰	۸۰/۰۵۴۰۱	۶/۴۸۳	$۱/۴۱\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۹	۰/۰۲
	۴	۳۵-۴۰	۱۰۴	۰/۰۴۳۳۳	۰/۰۰۰۵۸۹۰	۷۳/۵۷۱۰۲	۲۴/۴۲۷	$۳/۳۵\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۸۲	۰/۱۰
	۵	۴۵-۵۰	۸۸	۰/۰۳۶۶۷	۰/۰۰۰۷۴۶۱	۴۹/۱۴۴۴۴	۱۳/۱۶۱	$۶/۵۴\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۸۶	۰/۱۹
	۶	۵۵-۶۰	۷۸	۰/۰۳۲۵۰	۰/۰۰۰۹۰۳۲	۳۵/۹۸۳۱۷	۱۱/۱۰۸	$۱/۱۳\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۲۶	۰/۳۱
	۷	۶۵-۸۰	۱۳۶	۰/۰۵۶۶۷	۰/۰۰۲۲۷۸۰	۲۴/۸۷۵۶۲	۱۳/۴۰۵	$۲/۶۸\times۱۰^{-۴}$	۰/۳۵۹	۰/۶۷
	۸	۸۵-۱۰۰	۸۰	۰/۰۳۳۳۳	۰/۰۰۲۹۰۶۰	۱۱/۴۷۰۵۲	۳/۹۲۵	$۵/۲۴\times۱۰^{-۴}$	۰/۲۰۶	۰/۸۸
	۹	۱۰۵-۱۲۰	۶۴	۰/۰۲۶۶۷	۰/۰۰۳۵۳۴۰	۷/۵۴۵۷۵	۲/۳۴۱	$۹/۰۵\times۱۰^{-۴}$	۰/۲۱۲	۱/۰۹
	۱۰	۱۲۵-۱۴۰	۵۲	۰/۰۲۱۶۷	۰/۰۰۴۱۶۳۰	۵/۲۰۴۵۸	۲/۶۸۲	$۱/۴۴\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۸۶	۱/۴۸
	۱۱	۱۴۵-۱۶۰	۲۹	۰/۰۱۲۰۸	۰/۰۰۴۷۹۱۰	۲/۵۲۲۰۹	۰/۶۰۰	$۲/۱۴\times۱۰^{-۳}$	۰/۱۲۸	۱/۶۱
	۱۲	۱۶۵-۱۸۰	۲۵	۰/۰۱۰۴۲	۰/۰۰۵۴۱۹۰	۱/۹۲۲۲۵	۰/۶۱۳	$۳/۰۵\times۱۰^{-۳}$	۰/۱۸۷	۱/۷۹
	۱۳	۱۸۵-۲۰۰	۱۹	۰/۰۰۷۹۲	۰/۰۰۶۰۴۷۶	۱/۳۰۹۰۶	۰/۶۲۳	$۴/۱۹\times۱۰^{-۳}$	۰/۲۶۱	۲/۰۵
	۱۴	۲۰۵-۲۲۰	۱۱	۰/۰۰۴۵۸	۰/۰۰۶۶۷۶۰	۰/۶۸۶۵۴	۰/۲۳۰	$۵/۵۸\times۱۰^{-۳}$	۰/۱۲۸	۲/۱۸

جدول ب۱- ادامه

کل طول پیمایش، T_{tot} ۲۴۰۰mm

ستون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	۱۵	۲۲۵-۲۴۰	۸	۰٫۰۰۳۳۳	۰٫۰۰۲۳۰۴۰	۰٫۴۵۶۳۷	۰٫۰۳۶	$۷٫۲۴\times۱۰^{-۳}$	۰٫۰۲۶	۲٫۲۱
	۱۶	۲۴۵-۲۶۰	۸	۰٫۰۰۳۳۳	۰٫۰۰۷۹۳۳۰	۰٫۴۲۰۱۹	۰٫۰۷۹	$۹٫۲۰\times۱۰^{-۳}$	۰٫۰۷۳	۲٫۲۸
	۱۷	۲۶۵-۲۸۰	۷	۰٫۰۰۲۹۲	۰٫۰۰۸۵۶۱۰	۰٫۳۴۰۶۹	۰٫۱۱۴	$۱٫۱۵\times۱۰^{-۲}$	۰٫۱۳۱	۲٫۴۱
	۱۸	۲۸۵-۳۰۰	۵	۰٫۰۰۲۰۸	۰٫۰۰۹۱۸۹۰	۰٫۲۲۶۷۲	۰٫۰۳۲	$۱٫۴۱\times۱۰^{-۲}$	۰٫۰۴۶	۲٫۴۶ [۲]
	۱۹	۳۰۵-۳۵۰	۱۲	۰٫۰۰۵۰۰	۰٫۰۲۵۷۲۰۰	۰٫۱۹۴۴۰	۰٫۰۵۴	$۲٫۲۴\times۱۰^{-۲}$	۰٫۱۲۱	۲٫۵۸
	۲۰	۳۵۵-۴۰۰	۱۰	۰٫۰۰۴۱۷	۰٫۰۲۹۶۵۰۰	۰٫۱۴۰۵۳	۰٫۰۱۶	$۳٫۳۵\times۱۰^{-۲}$	۰٫۰۵۵	۲٫۶۳
	۲۱	۴۰۵-۴۵۰	۱۰	۰٫۰۰۴۱۷	۰٫۰۳۳۵۸۰۰	۰٫۱۲۴۰۸	۰٫۰۳۵	$۴٫۷۷\times۱۰^{-۲}$	۰٫۱۶۸	۲/۸۰
	۲۲	۴۸۵-۵۰۰	۸	۰٫۰۰۳۳۳	۰٫۰۳۷۵۰۰۰	۰٫۰۸۸۸۹	۰٫۰۷۲	$۶٫۵۴\times۱۰^{-۲}$	۰٫۴۷۱	۳/۲۷
	۲۳	۵۰۵-۱۰۰۰	۲۴	۰٫۰۱۰۰۰	۰٫۵۹۱۰۰۰۰	۰٫۰۱۶۹۲	۰٫۰۱۴	$۵٫۲۴\times۱۰^{-۱}$	۰٫۷۵۳	۴/۰۳
	۲۴	۱۰۰۵-۱۵۰۰	۶	۰٫۰۰۲۵۰	۰٫۹۸۳۷۰۰۰	۰٫۰۰۲۵۴	۰٫۰۰۱۰	۱٫۷۷	۰٫۱۸۲	۴/۲۱
	۲۵	۱۵۰۵-۲۰۰۰	۵	۰٫۰۰۲۰۸	۱٫۳۷۶۰۰۰۰	۰٫۰۰۱۵۱	۰٫۰۰۰۸	۴٫۱۹	۰٫۳۳۸	۴/۵۵
	۲۶	۲۰۰۵-۲۵۰۰	۳	۰٫۰۰۱۲۵	۱٫۷۶۹۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۷۱	۰٫۰۰۰۵	۸٫۱۸	۰٫۴۲۰	۴/۹۷
	۲۷	۲۵۰۵-۳۰۰۰	۱	۰٫۰۰۰۴۲	۲٫۱۶۲۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۱۹	۰٫۰۰۰۲	$۱٫۴۱\times۱۰^{+۱}$	۰٫۲۷۲	۵/۲۴
	۲۸	۳۰۰۵-۴۰۰۰	۰	۰٫۰۰۰۰۰	۵٫۵۰۲۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۰	۰٫۰۰۰	$۳٫۳۵\times۱۰^{+۱}$	۰٫۰۰۰	۵/۲۴

[۱] مقادیر ستون‌های ۱، ۲، ۵ و ۸ در همه آزمون‌ها ثابت هستند.

[۲] مقدار مشخص شده در ستون ۱۰ مقدار به‌دست آمده از A_{300} می‌باشد.