



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۱۵۶۴۳
چاپ اول
۱۳۹۷



دارای محتوای رنگی

INSO
15643
1st Edition
2019

Identical with
ASTM C457: 2016

تعیین میکروسکوپی پارامترهای سامانه
هوا-حفره در بتن سخت شده -
روش آزمون

**Microscopical determination of parameters
of the air-void system in hardened concrete-
Test method**

ICS: 91.100.30

استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۴۳ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: 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 پیشنهادهای 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 براساس 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 الکتروتکنیک (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 پیشرفت‌های 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 استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
- 4-Contact point
- 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«تعیین میکروسکوپی پارامترهای سامانه هوا-حفره در بتن سخت شده- روش آزمون»

رئیس:

کولیوند، فرشاد

(دکتری مهندسی مکانیک سنگ)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیأت علمی- دانشگاه لرستان

دبیر:

مینایی، رضا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

کارشناس- شرکت پایش کیفیت ماهان پیشگام

اعضا:(اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آزادپور، فاطمه

(دکتری مهندسی عمران)

مدیر- آزمایشگاه همکار پویا سنجش کیفیت

برخورداری، سامان

(کارشناسی مهندسی عمران)

کارشناس اجرا- شرکت فنی و مهندسی مهر

درکی، افشین

(دکتری مهندسی معماری و برنامه‌ریزی شهری)

عضو هیأت علمی- دانشگاه ولیعصر رفسنجان

رحمتی، رضا

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

کارشناس- شرکت زمین حفاران کاسیت

رشیدوندی، وحید

(کارشناسی ارشد مهندسی نانوفناوری)

کارشناس دفتر تدوین- سازمان ملی استاندارد

رضایی، رقیه

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

طراح و مدیر- شرکت مهندسان مشاور پایا فن‌آوران

سعیدی، حسام

(کارشناسی ارشد شیمی)

کارشناس آزمایشگاه- دانشگاه شهید باهنر کرمان

شیخ‌پور، مهدیه

(کارشناسی مهندسی معدن)

کارشناس- شرکت پایش کیفیت ماهان پیشگام

صادق‌زاده، علی

(دکتری مهندسی عمران)

مدرس- دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

سمت و/یا محل اشتغال:
عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان تهران

علی آبادی، مهدی

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

کارشناس امور دهیاری‌ها- فرمانداری کرمان

عسکری، مهدی

(کارشناسی مهندسی عمران)

کارشناس - بنیاد مسکن استان کرمان

غلامحسین پور، محسن

(کارشناسی ارشد مهندسی معماری)

کارشناس - شرکت زمین حفاران کاسیت

فرهادی، علیرضا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

کارشناس اجرا - شرکت نیمرخ

کاووسی، بهزاد

(کارشناسی مهندسی عمران)

دبیر - انجمن علمی بتن ایران

کلهری، موسی

(دکتری مهندسی عمران)

معاون عمرانی - شهرداری خمین

مهید، علی

(دکتری مهندسی عمران)

ویراستار:

عضو هیأت علمی - دانشگاه لرستان

کولیوند، فرشاد

(دکتری مهندسی مکانیک سنگ)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
	پیش‌گفتار
ح	
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ خلاصه روش آزمون
۶	۱-۴ روش اجرایی A
۶	۲-۴ روش اجرایی B
۶	۳-۴ روش اجرایی C
۷	۴-۴ اصلاح نسبت خمیر-هوا
۷	۵ اهمیت و کاربرد
۸	۶ دستگاه و مصالح برای آماده‌سازی آزمون
۸	۱-۶ دستگاه و مصالح برای کلیه روش‌ها
۸	۲-۶ مصالح برای روش اجرایی C
۹	۷ نمونه‌برداری (برای کلیه روش‌های اجرایی)
۹	۸ آماده‌سازی مقاطع
۹	۱-۸ آماده‌سازی مقاطع برای تمام روش‌های اجرایی
۱۴	۲-۸ سایر پارامترهای مورد نیاز برای روش اجرایی C
۱۴	۹ دستگاه اندازه‌گیری آزمون‌ها
۱۸	۱۰ روش اجرای آزمون
۱۹	۱۱ محاسبه
۲۴	۱۲ دستگاه اندازه‌گیری آزمون‌ها
۲۶	۱۳ روش اجرایی
۲۸	۱۴ محاسبه
۳۱	۱۵ دستگاه اندازه‌گیری آزمون‌ها
۳۳	۱۶ روش اجرای آزمون
۳۴	۱۷ محاسبه
۳۵	۱۹ دقت و اریبی
۳۵	۱-۱۹ دقت
۳۷	۲-۱۹ اریبی
۴۱	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) تفسیر نتایج

پیش‌گفتار

استاندارد «تعیین میکروسکوپی پارامترهای سامانه هوا-حفره در بتن سخت شده- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در هشتصد و بیست و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۷/۱۲/۰۵ 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 پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند 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.

منع و مابذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM C 457/C457 M: 2016, Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete

تعیین میکروسکوپی پارامترهای سامانه هوا-حفره در بتن سخت شده- روش آزمون

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشت و ایمنی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است. برای مخاطرات به یادآوری ۹ و یادآوری ۱۲ مراجعه شود.

۱ هدف و دامنه کاربرد^۱

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین میکروسکوپی (ریزینی)^۲ مقدار هوا در بتن سخت شده و نیز سطوح خاص، فراوانی حفره هوا، ضریب فاصله‌داری و نسبت خمیر سیمان-حفره هوا در سامانه حفره‌های هوا در بتن سخت شده است.

در این استاندارد، سه روش اجرایی تشریح شده است که عبارتند از:

۱-۱-۱ روش اجرایی A: روش پیمایش خطی

۲-۱-۱ روش اجرایی B: روش شمارش نقاط اصلاح شده

۳-۱-۱ روش اجرایی C: روش سایه روشن توسعه یافته^۳

۲-۱ این روش آزمون براساس روش‌های اجرایی توصیه شده‌ای است که برای مقاطع بریده شده و روی هم آزمونه‌های بتن برجا یا آزمایشگاهی کاربرد دارد.

۳-۱ بیان خلاصه‌ای از اصول این روش آزمون و تدوین استانداردهای متناظر با عملکرد مناسب آن مدنظر است، ولی جزئیات تمام متغیرهایی که ممکن است برای تکمیل و اجرای اهداف این روش آزمون مورد استفاده قرار گیرد، توصیف نمی‌شود.

۴-۱ مقادیر بیان شده برحسب SI مد نظر این استاندارد هستند. مقادیر بیان شده برحسب هر سامانه دیگر، ممکن است دقیقاً برابر با هم نباشند؛ بنابراین هر سامانه باید به صورت مستقل از دیگری مورد استفاده قرار گیرد. ترکیب کردن مقادیر از دو سامانه، ممکن است منجر به نتایج غیرمنطبق با استاندارد شود.

۱- توضیحات تکمیلی در خصوص دامنه کاربرد این استاندارد، در بند اهمیت و کاربرد (به بند ۵ مراجعه شود) ارائه شده است.

2- Microscopic

3- Contrast enhanced method

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 ASTM C42/C42M, Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۰۶: سال ۱۳۸۸، بتن - تهیه و آزمون نمونه‌های مغزه‌گیری شده و تیرهای آره شده بتنی - روش آزمون، با استغاف از استاندارد ASTM C42/C42M: 2004 تدوین شده است.

2-2 ASTM C125, Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

2-3 ASTM C138/C138M, Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۲۱ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۳، بتن - تعیین وزن مخصوص، بازدهی و مقدار هوای بتن (روش وزنی) - روش آزمون، با استغاف از استاندارد ASTM C138/C138M: 2013 تدوین شده است.

2-4 ASTM C173/C173M, Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۲۳ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۵، بتن آماده - اندازه‌گیری هوای بتن به روش حجمی - روش آزمون، با استغاف از استاندارد ASTM C173: 2014 تدوین شده است.

2-5 ASTM C231/C231M, Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

2-6 ASTM C666/C666M, Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۲۲۷: سال ۱۳۹۳، بتن - تعیین مقاومت در برابر یخ زدن و ذوب شدن سریع - روش آزمون، با استغاف از استاندارد ASTM C 666: 2008 تدوین شده است.

2-7 ASTM C670, Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

2-8 ASTM C672/C672M, Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۴۱: سال ۱۳۹۲، بتن - مقاومت در برابر پوسته پوسته شدن سطحی بتن در مقابل مواد شیمیایی یخ‌زدا - روش آزمون، با استغاف از استاندارد ASTM C 672: 2012 تدوین شده است.

2-9 ASTM C823/C823M, Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions

2-10 ASTM C856, Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۷۲۴: سال ۱۳۹۳، سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده - روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM C 856: 2013 تدوین شده است.

2-11 ASTM D92, Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۸ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۴، فرآورده‌های نفتی - اندازه‌گیری نقطه اشتعال و نقطه آتش‌گیری با دستگاه روباز کلیولند - روش آزمون، با استفاده از استاندارد ASTM D92, 2012 تدوین شده است.

2-12 ACI 201.2R, Guide to Durable Concrete

2-13 ACI 211.1, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete

۳ اصطلاحات و تعاریف

۱-۳ در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ASTM C125، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۲-۳ تعاریف و اصطلاحات ویژه این استاندارد

۱-۲-۳

میانگین طول وتر

(\bar{l})

average chord length

میانگین طول وتر تشکیل شده با عبور از حفره‌ها در امتداد خط پیمایش است، یکای آن برحسب طول است.

۲-۲-۳

تصویر دودویی

binary image

از تقسیم‌بندی یک تصویر فقط با استفاده از یک مقدار آستانه^۱ به دست می‌آید که تصویر حاصل تنها شامل نواحی سیاه یا سفید خواهد بود.

1- Threshold

۳-۲-۳

تصویر رقمی

digital image

تصویری که با استفاده از یک روش ذخیره‌سازی رایانه‌ای به دست می‌آید و اطلاعات نشان داده شده در تصویر مانند یک تصویر عکاسی مرسوم، به صورت چشمی قابل مشاهده است، ولی برای آنالیزهای تکمیلی می‌توان آن را به شکل عددی تبدیل نمود.

۴-۲-۳

نسبت خمیر سیمان-هوا

p/A

paste-air ratio

نسبت حجم خمیر سخت‌شده سیمان به حجم حفره‌های هوا در بتن است.

۵-۲-۳

مقدار خمیر

p

paste content

قسمتی از حجم کل بتن یعنی خمیر سیمان سخت‌شده است که به صورت درصدی از حجم بیان می‌شود.

۱-۵-۲-۳ مقدار این پارامتر برابر با مجموع نسبت حجمی سیمان، آب اختلاط خالص (شامل قسمت‌های مایع هرگونه مواد افزودنی شیمیایی) و هرگونه مواد سیمانی افزوده شده است.

۶-۲-۳

تصویردانه

pixel

کوچک‌ترین نقطه قابل تعریف عکس رقمی است که دارای یک مقدار اختصاص داده شده است و نشان‌دهنده وضوح المان‌های یک تصویر است.

۱-۶-۲-۳ به‌طور معمول یک تصویردانه دارای نسبت ابعاد مشابه تصویر کلی بوده و مقدار صحیح اختصاص یافته آن در بازه ۰-۲۵۵ است. برای تشکیل تصویر رقمی تصویردانه‌های چندتایی به صورت پیوسته در ردیف‌هایی در دو بعد قرار می‌گیرند.

۷-۲-۳

تقسیم کردن

segment

فرایند قراردادن تصویردانه‌های تصویر در دسته‌ها یا گروه‌بندی‌های مشابه، با استفاده از هر تعداد آستانه است.

۸-۲-۳

ضریب فاصله‌داری

(\bar{L})

spacing factor

پارامتر مربوط به بیشینه فاصله از محیط اطراف حفره هوا در خمیر سیمان است، که یکای آن طول است.

۹-۲-۳

سطح ویژه

α

specific surface

مساحت سطح حفره‌های هوا تقسیم بر حجم آن‌ها، که برحسب یکاهای متناسب بیان می‌شود، به‌گونه‌ای که یکای سطح ویژه عکس یکای طول است.

۱۰-۲-۳

آستانه

threshold

مقداری که برای متمایز کردن تصویردانه‌ها در بیش از یک دسته یا گروه مشابه استفاده می‌شود.

۱۱-۲-۳

فراوانی حفره‌های هوا

n

void frequency

تعداد حفره‌ها به‌ازای واحد طول پیمایش شده است. تعداد حفره‌های هوا با خط پیمایش شده تلاقی داشته و در امتداد طول خط مذکور تقسیم شده‌اند، یکای آن عکس یکای طول است.

۱-۱۱-۲-۳ مقدار مربوط به تعداد حفره‌ها را نمی‌توان به‌طور مستقیم با استفاده از روش نسبت خمیر-هوا

تعیین کرد، زیرا این مقدار مربوط به تعداد حفره‌های هوا به‌ازای واحد طول پیمایش شده در کل بتن (شامل سنگدانه‌ها) است.

۱۲-۲-۳

حفره آب

water void

فضای محصور شده توسط خمیر سیمان که در زمان سفت شدن بتن با آب پر شده است و اغلب در زیر سنگدانه‌ها یا میلگردهای تقویتی مشاهده می‌گردد. حفره آب معمولاً با شکل نامنظم آن شناسایی می‌شود یا با این نشانه که هنگام سخت شدن بتن یک مجرا یا فضای خالی در اثر جاری شدن آب گیرافتاده در حفره‌ها در آن ایجاد می‌شود.

۴ خلاصه روش آزمون

۱-۴ روش اجرایی A، روش پیمایش خطی: این روش اجرایی شامل تعیین ترکیب حجمی بتن با استفاده از جمع فواصل پیمایش شده متقاطع با حفره‌ها در امتداد مجموعه‌ای از خطوط با فواصل منظم در یک یا چند صفحه متقاطع با آزمون است. داده‌های جمع‌آوری شده شامل طول کل طی شده (T_r) ، طول طی شده از میان حفره‌های هوا (T_a) ، طول طی شده درون خمیر (T_p) و تعداد حفره‌های هوای متقاطع با خط پیمایش (N) است. از این داده‌ها برای محاسبه مقدار هوا و پارامترهای مختلف سامانه حفره‌های هوا استفاده می‌شود. چنانچه فقط مقدار هوا مدنظر باشد، فقط (T_a) و (T_r) تعیین می‌شود.

۲-۴ روش اجرایی B، روش شمارش نقاط اصلاح شده: این روش اجرایی از ترکیب حجمی بتن را با مشاهده فراوانی تلاقی سطوح جزء مورد نظر با سامانه شبکه منظم نقاطی تعیین می‌کند که برای تعیین امکان تشکیل آن جزء، ترک‌هایی در این نقاط ایجاد می‌شود. این نقاط در یک یا چند صفحه متقاطع با آزمون قرار دارند. داده‌های جمع‌آوری شده شامل فاصله خطی بین ترک‌ها در امتداد عرضی (l) ، تعداد کل ترک‌ها (S_r) ، تعداد ترک‌های ایجاد شده در حفره‌های هوا (S_p) و تعداد حفره‌های هوای متقاطع با خط پیمایش است که داده‌های جزء مورد نظر در امتداد آن جمع‌آوری شده است (N) . با استفاده از این داده‌ها مقدار هوا و پارامترهای مختلف سامانه حفره هوا محاسبه می‌شود. اگر فقط محاسبه مقدار هوا مدنظر باشد، فقط (S_r) و (S_p) تعیین می‌شود.

۳-۴ روش اجرایی C، روش سایه روشن توسعه یافته: این روش اجرایی شامل تعیین ترکیب حجمی بتن با تعیین مجموع فواصل اندازه‌گیری شده بر روی تصویر رقمی از سطح بتنی آماده شده، با استفاده از مجموعه‌ای از خطوط با فواصل منظم در یک یا چند تصویر رقمی حاصل از یک یا چند صفحه متقاطع با آزمون است. روند آماده‌سازی آزمون در این روش، کاملاً مشابه روش‌های اجرایی A و B با گام‌های تکمیلی شامل تیره کردن سطح آزمون و پرکردن حفره‌های هوا با ذرات ریز پودر سفید است. داده‌های جمع‌آوری شده شامل طول کل اندازه‌گیری شده (T_r) ، طول اندازه‌گیری شده از میان حفره‌ها (T_a) و تعداد حفره‌های هوای متقاطع با خطوط اندازه‌گیری (N) است. از این داده‌ها برای محاسبه مقدار هوا و پارامترهای مختلف سامانه حفره هوا، به جز نسبت هوا-خمیر و ضریب فاصله‌داری، که مستلزم تعیین مقدار خمیر (T_p) است (همان‌طور

که در زیربند ۱۶-۱ تشریح شده است)، استفاده می‌شود. چنانچه فقط مقدار هوا مورد نظر باشد، فقط تعیین (T_e) و (T_i) مورد نیاز خواهد بود.

۴-۴ اصلاح نسبت خمیر-هوا: در برخی آزمون‌ها، آزمون نماینده کل بتن نیست، بنابراین (T_i) و (S_i) مفهوم خود را از دست می‌دهند و نمی‌توان از آن‌ها به‌عنوان مبنای محاسبات استفاده کرد. از مثال‌های متداول می‌توان به بتن‌های با سنگدانه‌های درشت و آزمون‌های به‌دست آمده از ناحیه سطح پرداخت شده اشاره کرد که برای هر دو مورد، آزمون بررسی شده شامل مقدار غیرمتناسب زیادی از نسبت خمیر سیمان است. در این آزمون‌ها روش اجرایی معمول باید تغییر یابد و از نسبت هوا-خمیر اصلاح‌شده استفاده شود (به زیربند ۵-۵ مراجعه شود).

۵ اهمیت و کاربرد

۱-۵ پارامترهای سامانه هوا-حفره بتن سخت‌شده که با استفاده از روش‌های تشریح شده در این استاندارد تعیین شده‌اند، به حساسیت بخش خمیر سیمان بتن در برابر آسیب ناشی از یخ‌زدگی و یخ‌گشایی وابسته هستند. بنابراین از این روش آزمون می‌توان برای تهیه داده‌هایی برای تخمین احتمال آسیب ناشی از یخ‌زدگی/یخ‌گشایی‌های دوره‌ای یا برای توصیف دلیل وقوع آن استفاده کرد. از این روش آزمون می‌توان به‌عنوان یک پیوست برای توسعه محصولات یا روش‌های مربوط به افزایش مقاومت بتن در برابر یخ‌زدگی و یخ‌گشایی دوره‌ای استفاده کرد.

۲-۵ مقادیر مربوط به پارامترهای سامانه حفره هوا را می‌توان با استفاده از هر یک از روش‌های اجرایی تشریح شده در این روش آزمون به‌دست آورد. انتخاب هر یک از این روش‌ها به توافق کاربر و تأمین‌کننده این تصمیمات بستگی دارد.

یادآوری ۱- با توجه به این‌که روش اجرایی C مستلزم تیره‌کردن خمیر و سنگدانه‌ها است، در صورتی‌که آنالیزگر علاوه بر اندازه‌گیری‌های مندرج در این روش آزمون، داده‌ها و اطلاعات سنگ‌نگاری نیز گردآوری می‌کند، استفاده از آن باید پس از آزمون‌های دیگر صورت گیرد.

۳-۵ هیچ‌گونه تمهیداتی برای ایجاد تمایز بین حفره‌های هوای محبوس‌شده، حفره‌های هوای محصورشده و حفره‌های آب ایجاد نشده است. این‌گونه ایجاد تمایزها اختیاری است، چرا که انواع حفره‌های مختلف با توجه به اندازه، شکل و سایر مشخصات دارای طبقه‌بندی داخلی هستند. گزارشاتی که چنین تمایزهایی را تعیین می‌کنند معمولاً حفره‌های هوای محبوس‌شده را کمینه در بُعد بزرگ‌تر از ۱ mm و دارای شکل نامنظم، و یا هر دو تعریف می‌کند. کرم‌شدن^۱ که در نتیجه عدم تراکم مناسب بتن صورت می‌گیرد یکی از انواع حفره‌های هوای محبوس‌شده است.

۴-۵ حفره‌های آب حفره‌هایی هستند که در زمان سخت‌شدن بتن با آب پر می‌شوند. این حفره‌ها به‌ویژه در مخلوط‌هایی که شامل آب اختلاط زیاد هستند و یا فرایند آب انداختن و ته‌نشینی قابل توجه در آن اتفاق می‌افتد، حائز اهمیت است. این حفره‌ها به‌ویژه در زیر میلگردهای تقویتی افقی، قسمت‌هایی از سنگدانه‌های بزرگ و به‌صورت حفره‌ای در امتداد وجوه آن‌ها بسیار متداول است. این حفره‌ها به‌ویژه در زیر سطوحی که با عملیات پرداخت و قبل از تکمیل فرایند آب‌انداختن متراکم‌سازی شده‌اند، ایجاد می‌شوند.

۵-۵ برای بتن‌هایی که شامل سنگدانه‌های با بیشینه ابعاد نامی بزرگ مثلاً ۵۰ mm یا بیشتر هستند، استفاده از روش نسبت هوا-خمیر ضروری است. مقاطع آماده‌سازی شده از این بتن شامل بیشینه قسمت خمیر جهت افزایش تعداد شمارش بر روی حفره‌های هوا یا در امتداد متقاطع با آن‌ها می‌شود. نسبت حجم سنگدانه‌ها به حجم خمیر سیمان در مخلوط اصلی باید به درستی در دسترس بوده یا تعیین شود تا محاسبه پارامترهای سامانه حفره هوا با استفاده از نسبت هوا-خمیرسیمان، که به‌صورت میکروسکوپی تعیین شده است، انجام شود.

یادآوری ۲- محتوای حفره‌های هوا که مطابق این روش آزمون تعیین شده است، در اغلب موارد با مقدار تعیین شده برای بتن تازه با استفاده از روش‌های آزمون استاندارد ASTM C138/C138M، ASTM C173/C173M و ASTM C231/C231M مطابقت دارد. با این وجود چنانچه میزان متراکم‌سازی نمونه بتن تازه با بتنی که بعداً به‌صورت میکروسکوپی مورد آزمون قرار می‌گیرد، متفاوت باشد، تفاوت‌های قابل توجهی مشاهده می‌شود. برای بتن‌های با مقدار هوای نسبتاً زیاد (اغلب بیشتر از ۷/۵٪) مقداری که به‌صورت میکروسکوپی تعیین شده است، به میزان یک درصد یا بیشتر از مقدار به‌دست آمده بر اساس روش آزمون استاندارد ASTM C231/C231M، بزرگ‌تر خواهد بود.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی مقطع

۶ دستگاه و مصالح برای آماده‌سازی آزمون

۱-۶ دستگاه و مصالح برای کلیه روش‌ها

۱-۱-۶ دستگاه و مصالح برای آماده‌سازی سطوح آزمون‌های بتنی برای مشاهدات میکروسکوپی در استاندارد ASTM C 856 توصیف شده است، استفاده از دستگاه معادل دیگر نیز می‌تواند مناسب باشد.

۲-۶ مصالح برای روش اجرایی C

۱-۲-۶ جوهر سیاه و سفید دائمی، نشانه‌گذار با نوک فشرده پهن، مرکب زن با جوهر سیاه، مهر غلتان با جوهر سیاه یا مشابه آن.

۲-۲-۶ پودر سفید، سولفات باریم، ولاستونیت یا دی‌اکسید تیتانیوم با میانگین اندازه ذرات $2\ \mu\text{m}$ تا $3\ \mu\text{m}$ یا مشابه آن.

۳-۲-۶ روغن سبک، روغن معدنی سبک و یا مشابه آن.

یادآوری ۳- دستگاه مربوط به اندازه‌گیری آزمون‌های آماده شده در سه روش اجرایی زیر تشریح شده‌اند.

۷ نمونه‌برداری (برای کلیه روش‌های اجرایی)

۷-۱ برای تهیه آزمون‌های بتنی می‌توان از بتن ساخته‌شده در محل یا آزمایشگاه و یا از طریق مغزه‌گیری، اره کردن، یا جداکردن بتن از سازه یا محصول استفاده کرد. روش به‌کار رفته و محلی که آزمون‌ها از آنجا به‌دست می‌آید، به اهداف برنامه بستگی دارد. به‌طور کلی، از نمونه‌های به‌دست آمده از بتن سخت‌شده مطابق روش آزمون استاندارد ASTM C42/C42M یا استاندارد ASTM C823/C823M یا هر دو محافظت کنید. برای هر آزمون کمینه سطح پرداخت را مطابق جدول ۱ ایجاد کنید. هر نمونه می‌تواند متشکل از چندین آزمون باشد.

۷-۲ به‌منظور ارجاع یا تعیین انطباق بتن سخت‌شده با الزامات ویژگی‌های سامانه حفره هوا برای آنالیز و بررسی به‌وسیله این روش آزمون، با توجه به اهداف تحقیق و بررسی، نمونه‌هایی را دست‌کم از سه محل، که به‌طور تصادفی از سطح یا حجم کلی بتن مورد آزمون انتخاب شده‌اند، تهیه کنید.

۸ آماده‌سازی مقاطع

۸-۱ آماده‌سازی مقاطع برای تمام روش‌های اجرایی

۸-۱-۱ علاوه بر اهدافی که برنامه تعیین می‌کند، برای مشاهدات عمود بر لایه‌هایی که بتن‌ریزی انجام شده است یا عمود بر سطح پرداخت‌شده نهایی بتن، نیز سطح مقطع را مورد بررسی قرار دهید. بزرگی ابعاد هر یک از مقاطع با توجه به مقداری که با تجهیزات موجود قابل جادادن و آزمون است، تعیین می‌شود. مساحت مورد نیاز متشکل از بیش از یک مقطع آماده شده است. طول‌های پیمایشی انتخاب‌شده را به‌صورت یکنواخت بر روی سطح موجود به‌گونه‌ای که پخش کنید با ناهمگنی بتن متناسب باشد.

جدول ۱- کمیته مساحت سطح پرداخت زده شده برای اندازه گیری های میکروسکوپی^{A, B}

کل سطح طی شده ^C برای تعیین ρ ، A^D ، α یا \bar{L} ، \min بر مبنای اندازه گیری مستقیم: cm^2		بیشینه اندازه نامی یا مشاهده شده سنگدانه های بتن mm
نسبت خمیرسیمان-هوا، ρ/A	مقدار حفره هوا کل	
۶۴۵	۱۶۱۳	۱۵۰
۱۹۴	۴۱۹	۷۵
۹۷	۱۵۵	۳۷٫۵
۷۷	۷۷	۲۵٫۰
۷۱	۷۱	۱۹٫۰
۶۵	۶۵	۱۲٫۵
۵۸	۵۸	۹٫۵
۴۵	۴۵	۴٫۷۵ (No.4)

^A مقادیر مشخص شده مربوط به بتنی است که تا حد قابل قبولی همگن و متراکم شده باشد. برای مساحت مقاطع بزرگ در بتنی که توزیع سنگدانه ها یا حفره های بزرگ هوا در آن ناهمگن است، اندازه گیری میکروسکوپی باید انجام شود در صورت برداشت بیش از یک سطح پرداخت شده از یک قسمت از بتن، این سطوح پرداخت شده باید در فاصله ای بزرگ تر از نصف اندازه نامی یا مشاهده شده سنگدانه از هم جدا شوند.

^B برای تفسیر نمادهای به کار رفته به بخش ۳ مراجعه شود

^C در صورت شمارش نقاط برای تعیین ρ ، A ، α یا \bar{L} ، نقاط مورد بررسی باید به صورت یکنواخت در سطح پیموده شده توزیع شوند.

^D به منظور تعیین ρ باید سطح مشابه به کار رفته برای تعیین A ، α یا \bar{L} ، پیموده شود.

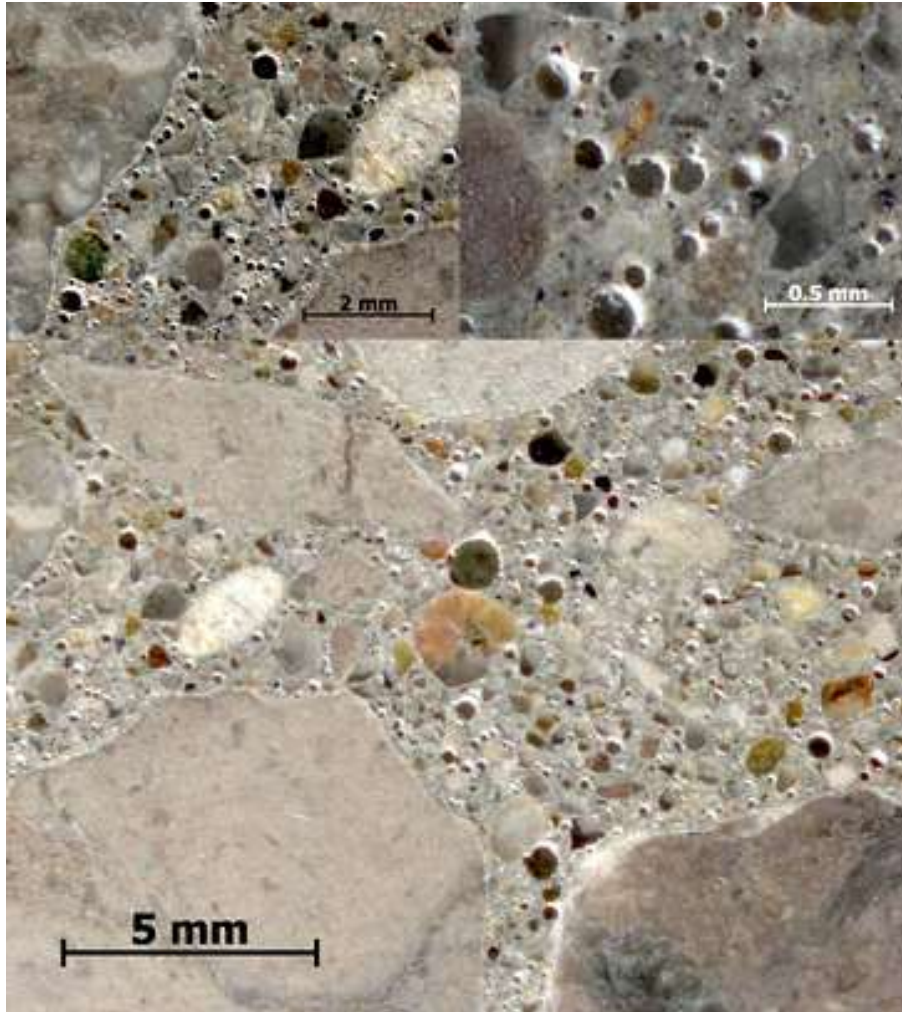
۸-۱-۲ در صورت وجود نامنظمی های بزرگ برای شروع آماده سازی، از پرداخت (ساییدن سطح صاف و هموار) با سمباده سیلیکون کاربرد با ابعاد نامی $150 \mu\text{m}$ (شماره ۱۰۰) استفاده کنید. عملیات پرداخت سطح را به طور پیوسته با سمباده های ریزتر تا مناسب شدن آن برای مشاهدات میکروسکوپی ادامه دهید. مجموعه سمباده های مناسب شامل سمباده ها با ابعاد نامی ماده سایا اکسید آلومینیوم برابر با $75 \mu\text{m}$ ، $35 \mu\text{m}$ و $17.5 \mu\text{m}$ و $12.5 \mu\text{m}$ (به ترتیب شماره ۲۲۰، ۳۲۰، ۶۰۰ و ۸۰۰) و احتمالاً $5 \mu\text{m}$ (سمباده شماره ۲۵۰۰) است.

یادآوری ۴- شماره ماده ساینده در سمباده ها، با توجه به تولیدکننده آن، می تواند تفاوت اندکی در اندازه ذرات داشته باشد. اندازه های پیشنهادی اغلب مناسب هستند، ولی با توجه به تجربه کاربر می توان از اندازه های دیگر نیز استفاده شود.

در حین پرداخت و هنگام تغییر به سمباده ریزتر و پس از تکمیل پرداخت، برای زدودن اجزاء خرد شده تمام سطوح آزمون ها را به آرامی و به طور کامل تمیز کنید. استفاده از تمیزکننده های فراصوتی^۱ می تواند برای سطح مضر باشد. استفاده از این عمل آوری بدون دقت و انجام آزمون توصیه نمی شود. تمیز کردن با استفاده از فرچه آرایشی نرم به همراه آب جاری یا با استفاده از اسپری دندان پزشکی فشاری موفقیت آمیز بوده است. سطوح مناسب برای بررسی میکروسکوپی دارای انعکاس عالی منبع نور در فاصله دور با زاویه تابش کم

هستند و نباید هیچ‌گونه برجستگی و ناهمگونی بین سطوح خمیر سیمان و سنگدانه‌ها وجود داشته باشد. سطوح دارای خراشیدگی یا ناکامل نشان‌دهنده نیاز به آماده‌سازی بیشتر، در صورت لزوم، استفاده از روش‌های خاص (به یادآوری ۹ و یادآوری ۱۲ مراجعه شود) است. لبه‌های مقاطع حفره‌های هوا تیز بوده و نباید ساییده‌شده یا فرو ریخته باشد و مقاطع حفره‌های هوا شامل حفره‌هایی که قطر آن‌ها بسیار کوچک و به اندازه $10\ \mu\text{m}$ است نیز به‌وضوح قابل تشخیص خواهند بود (به شکل ۱ مراجعه شود). قسمت‌های خراشیده‌شده یا شکسته سطوح را جزء مساحت مورد بررسی در نظر نگیرید. در صورت نیاز به تأمین الزامات جدول ۱، سطوح بیشتری را آماده‌سازی کنید.

۳-۱-۸ در برخی موارد مشکلاتی در آماده‌سازی سطوح پرداخت شده به‌وجود می‌آید. دلیل رایج این مشکل، ضعف در خمیر سیمان است. این مشکل به‌صورت سست‌شدگی دانه‌های ماسه از سطح در حین پرداخت و لیس‌کاری و در نتیجه خراشیدگی سطح و بریدگی و فرو ریختن خمیر سیمان اطراف ذرات سنگدانه سخت‌تر ظاهر می‌شود. ذرات شکننده سنگدانه‌ها نیز موجب ایجاد مشکلاتی می‌شوند. در این شرایط روش اجرایی زیر می‌تواند مفید واقع شود. نمونه بتنی نیمه‌آماده را تا دمای حدود $150\ ^\circ\text{C}$ داخل گرم‌خانه حرارت دهید. (هشدار- چنان‌چه نمونه با روان‌کننده دیگری غیر از آب برش داده‌شده باشد، حرارت‌دهی باید به‌گونه‌ای انجام شود که از استنشاق دود و آتش‌سوزی یا انفجار ممانعت شود. نقطه اشتعال برخی از روان‌کننده‌ها بسیار پائین و حدود $140\ ^\circ\text{C}$ است. (برای دستیابی به نقطه اشتعال برخی از روان‌کننده‌ها می‌توان از استاندارد ASTM D 92 استفاده نمود). برخلاف سایر احتیاط‌های در نظر گرفته شده، دما نباید به نقطه اشتعال برسد. اگر این مورد اجتناب‌ناپذیر باشد، گرمادهی باید در هوای آزاد و بر روی صفحه داغ یا در یک هود غیر قابل انفجار انجام شود).



شکل ۱- تصاویری از یک سطح مناسب

آزمونه را از داخل گرم‌خانه خارج نموده و بلافاصله موم کارنوبا^۱ مذاب را که تا دمای مشابه حرارت داده شده است، بر روی سطح آن مالیده شود. این عملیات را تا جذب موم توسط بتن تکرار کنید به طوری که وقتی دمای بتن به پائین‌تر از نقطه ذوب موم می‌رسد، لایه نازک محسوسی بر روی سطح باقی بماند. پس از سرد شدن آزمونه، موم اضافی را پاک نموده و عملیات پرداخت را تکرار کنید. پس از اتمام پرداخت، برای تامین امکان جذب موم مذاب در داخل آزمونه، باقی‌مانده‌های موم را با گرم کردن دوباره بتن تا دمای حدود 150°C از حفره‌های هوای سطح بردارید. دوباره از رسیدن دما به نقطه اشتعال موم یا هر روغن به کار رفته برای برشکاری (به‌عنوان روان‌کننده) جلوگیری کنید. در حین مدت حرارت‌دهی سطح را در برابر گرد و غبار محافظت کنید. با توجه به مشخصات و ضخامت آزمونه، زمان برداشتن موم از سطح حفره‌های هوا متفاوت خواهد بود، ولی معمولاً حرارت‌دهی به مدت یک ساعت کفایت می‌کند. بتن شکننده فقط به تکرار این فرایند

1- Carnauba wax

نیاز دارد. استفاده از سایر مواد علاوه بر موم کارنوبا برای آغشتن و افزایش مقاومت سطح آزمون بتنی قبل از سنگ‌زنی موفقیت‌آمیز بوده است.

یادآوری ۵- در صورت انجام آزمون میکروسکوپی بر روی خمیر سیمان، با استفاده از استاندارد ASTM C 856، بر روی آزمون‌های که پوششی از موم یا سایر مواد تقویت‌کننده خمیر سیمان بر روی آن ایجاد خواهد شد، قبل از انجام عملیات گرمادهی آزمون و اجرای مواد و مصالح تقویتی، بررسی میکروسکوپی را انجام دهید. استفاده از این مواد و قرارگیری در معرض دمای 150°C ، ویژگی‌های فیزیکی و ظاهر خمیر سیمان را تغییر خواهد داد.

۸-۱-۴ در صورتی که برخی پارامترهای سامانه حفره هوا در مجاورت سطح پرداخت‌شده یا شکل‌داده شده مدنظر باشد، مقطع مورد آزمون باید به‌گونه‌ای آماده‌سازی شود که حقیقت تغییر زیاد پارامترهای سامانه حفره‌های هوا با فاصله‌گیری از این سطح نشان داده شود. بنابراین فاصله بین مقطع مورد آزمون و سطح اصلی را با تقریب تا ۱mm اندازه‌گیری کنید. از روش زیر استفاده کنید:

۱- آزمون‌های که شامل بخشی از سطح پرداخت‌شده یا شکل‌داده‌شده مورد بررسی است را با ضخامت متداول که نباید کمتر از ۱۲mm یا نصف بیشینه اندازه نامی سنگدانه (هر کدام بزرگ‌تر است) باشد، آماده کنید.

۲- سطح را با استفاده از ساینده زبر تا برداشته شدن آخرین بخش از سطح اصلی پرداخت بزنید، سپس عملیات پرداخت را به شرح توضیحات بالا تکمیل کنید. از این سطح به‌عنوان صفحه مرجع که سنجش‌های آتی به آن ارجاع داده خواهد شد، استفاده کنید.

۳- سطح پشتی آزمون را به‌گونه‌ای که مقطع یکنواخت و مسطح حاصل شود، پرداخت کنید.

۴- ضخامت آزمون را با تقریب ۱ mm و در چهار نقطه یا بیشتر با فواصل یکنواخت در اطراف محیط، اندازه‌گیری کنید. از نتایج به‌دست آمده میانگین‌گیری نموده و مقادیر به‌دست آمده را با تقریب ۱ mm ثبت کنید.

۵- پارامترهای سامانه حباب هوا در هر صفحه دلخواه یا صفحه مشخص‌شده را تعیین کنید. اگر مقادیر نزدیک به سطح پارامترهای مورد نظر باشد، محاسبات و سنجش‌ها را در صفحه مرجع انجام دهید، در صورت نیاز به مقادیر پارامترها در بتن حجیم، اندازه‌گیری‌ها را بر روی صفحه پشتی انجام دهید. در صورت نیاز به مقادیر پارامترها در سایر صفحه‌ها، فرایند سنگ‌زنی تا عمق دلخواه تکرار شود. ضخامت آزمون را مطابق روش توصیف شده در قسمت قبل، دوباره به‌گونه‌ای تعیین کنید که پارامترهای سامانه حفره‌های هوا با فاصله سطح مورد بررسی از صفحه مرجع همبستگی داشته باشد.

۸-۱-۵ ترکیب ناحیه مجاور سطح با ترکیب کل بتن متفاوت است. بنابراین، در صورت دسترسی به طرح ترکیب بتن، از روش نسبت خمیر سیمان-هوا برای تعیین پارامترهای سامانه حفره‌های هوا در این ناحیه استفاده کنید.

۸-۲ سایر پارامترهای مورد نیاز برای روش اجرایی C

۸-۲-۱ آزمون را مطابق زیربند ۸-۱ آماده‌سازی کنید.

یادآوری ۶- در صورت نیاز به تعیین نسبت هوا-خمیر سیمان و ضریب فاصله‌داری، تعیین محتوای خمیر سیمان آزمون ضروری است. اگر تعیین این پارامترها نیازمند استفاده از شمارش نقاط یا روش دیگری باشد که مستلزم تمایز چشمی سنگدانه‌ها و خمیر سیمان است، این اندازه‌گیری‌ها باید قبل از سیاه کردن سطح آزمون انجام شود.

۸-۲-۲ از تعداد لایه‌های زوج جوهر سیاه مات ماندگار بر روی سطح آزمون آماده شده به گونه‌ای استفاده کنید که یک سطح سیاه کاملاً یکنواخت حاصل شود.

یادآوری ۷- کاربرد نشانه‌گذارها سیاه که دارای غلطک‌هایی با جوهر سیاه مشابه غلطک‌های به کار رفته در دستگاه‌های پرینت هستند موفقیت‌آمیز بوده است.

۸-۲-۳ پس از جذب جوهر، لایه‌ای از پودر سفید را بر روی سطح سیاه شده پخش کرده و به آرامی آن را با استفاده از ابزار مناسب مانند درپوش لاستیکی میله شیشه‌ای یا اسلاید سنگ‌نگاری به داخل حفره‌ها فشار دهید. با کاهش مالش و ساییده شدن پودر بر روی سطح از سایش سطح ممانعت کنید.

۸-۲-۴ پودر اضافی از روی سطح را با ابزار مناسب (برای مثال تیغ نو تیز تک لبه) زدوده و بردارید. از سایش جوهر و در نتیجه بیرون آمدن سیمان یا سنگدانه‌ها ممانعت کنید.

۸-۲-۵ سطح سیاه شده و پر شده را مورد بررسی قرار دهید. نواحی که جوهر آن ساییده شده باشد باید با استفاده موضعی از جوهر تازه، دوباره پرداخت زده شوند. دانه‌های متخلخل نیز به‌طور مشابه باید با استفاده موضعی و جدید از جوهر به‌گونه‌ای دوباره پرداخت زده شوند که تخلخل‌های داخلی در سنگدانه‌ها سیاه شوند. نواحی سیاه شده که با پودر سفید پر شده‌اند به‌عنوان بیرون‌کشیدگی اتفاق افتاده در حین آماده‌سازی آزمون مشخص می‌شوند. به‌طور مشابه، نواحی سیاه شده که با پودر سفید پر شده‌اند، به‌عنوان ترک‌های درشت یا عیوب دیگر در آزمون مشخص می‌شوند و جزء سامانه حفره‌های هوا طبقه‌بندی نمی‌شوند.

۸-۲-۶ با استفاده از انگشت یا شستی آغشته شده با اندکی روغن، آخرین پس‌ماندهای پودر سفید را از سطح پاک کنید تا سطح براق سیاه رنگ بدون هرگونه سوراخ پر نشده به‌دست آید.

روش اجرایی A- روش پیمایش خطی

۹ دستگاه اندازه‌گیری آزمون‌ها

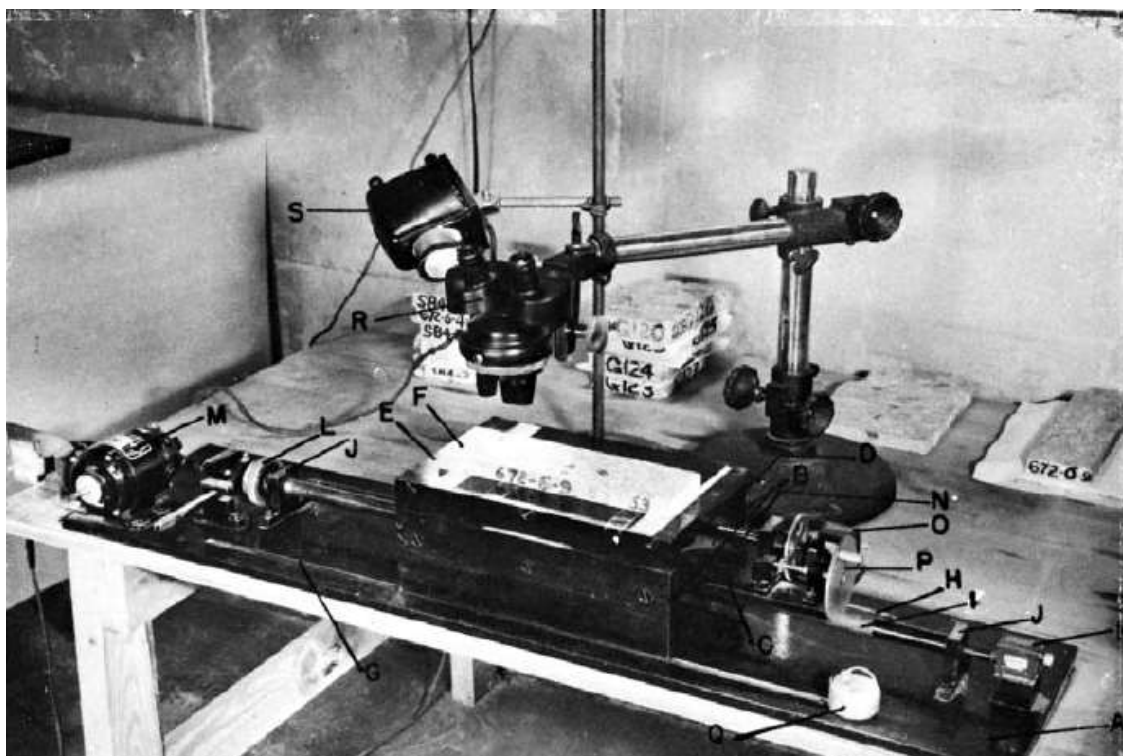
۹-۱ دستگاه‌های فهرست شده در زیربندهای ۹-۱ تا ۹-۵، کمینه انتخاب‌های پیشنهادی را تشکیل می‌دهند. باید دستگاه‌های غیر از موارد تشریح شده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای کارایی یکسان

هستند. دستگاه‌هایی ساخته شده‌اند که از کلیدها^۱ و تجمیع‌کننده‌های^۲ الکترونیکی استفاده می‌کنند. دستگاه‌های رایانه‌ای به صورت تجاری موجود هستند. از پردازشگر تصویر به فراوانی استفاده می‌شود.

۹-۱-۱ ابزار پیمایش خطی، یک سکو آماده کنید که نمونه نصب‌شده بر روی حلزونی‌ها حمل شده و از این طریق به آرامی در دو جهت عمود بر هم جابجا شود. یک حلزونی برای حرکت در جهت شمالی-جنوبی (N-S) و کمینه دو عدد حلزونی برای حرکت در جهت شرقی-غربی (E-W) فراهم کنید.

یادآوری ۸- در توضیح دستگاه‌های پیمایش خطی و شمارش نقاط عبارت جهت E-W بیانگر امتداد از سمت راست به چپ کارور و N-S به معنی جهت عمود بر E-W است، به عبارت دیگر جهات مشابه جهات نقشه هستند.

یکی از این حلزونی‌ها، حلزونی «اصلی» نامیده شده و سایر حلزونی‌ها، حلزونی فوقانی نامیده می‌شوند. مطمئن شوید که کمینه ظرفیت حلزونی اصلی E-W ۱۰۰ mm و کمینه ظرفیت هر یک از حلزونی‌های E-W ۶۵ mm و کمینه ظرفیت حلزونی N-S ۷۵ mm باشد. اطمینان حاصل کنید که گام حلزونی فوقانی به‌ازای هر دور کامل از ۰٫۲۶۵ mm فراتر نرود. گام تمام حلزونی‌های E-W را با تقریب ۰٫۰۲۵ mm تعیین کنید. شمارنده چرخش دارای قابلیت خوانش با تقریب ۰٫۱ دور را به تمام حلزونی‌های E-W متصل کنید. یک شمارنده با عملکرد دستی تامین کنید. برای تعیین محتوای خمیر سیمان، حلزونی سوم E-W که نصب آن با شمارنده تعداد دور، تکمیل شده است فراهم کنید، در غیر این صورت پیمایش باید تکرار شود، یعنی یک مرتبه برای مقدار هوا و مرتبه دیگر برای محتوای خمیر سیمان باید پیمایش صورت گیرد. تصاویر مربوط به ابزار و دستگاه‌های پیمایش خطی در شکل ۳ نشان داده شده است.



راهنما:

- A صفحه مبنا
- B ریل های جلویی و عقبی نگهدارنده صفحه میانی C
- C صفحه میانی
- D ریل های جلویی و عقبی فوقانی حمل کننده صفحه E
- E صفحه
- F آزمون بتنی
- G شیار عقبی مستطیلی در صفحه مبنا
- H شیار V شکل عقبی در صفحه مبنا
- I حلزونی اصلی
- J دو بلوک باربر برای حلزونی اصلی
- K شمارنده چرخش بر روی حلزونی اصلی
- L چرخ دنده با عملکرد دستی
- M موتور الکتریکی برای نصب حلزونی اصلی
- N حلزونی فوقانی
- O شمارنده دور برای حلزونی فوقانی
- P چرخ دستی برای جابجایی صفحه
- Q شمارنده چرخ دنده برای شمارش تعداد حفره های مشاهده شده
- R میکروسکوپ استریوسکوپیک^۱
- S لامپ میکروسکوپ

یادآوری - قسمت های نشان داده نشده حلزونی سوم و چنگک رهاکننده هستند که اولی برای تعیین نسبت هوا-خمیر سیمان مورد نیاز بوده و امکان نیاز به دومی نیز وجود دارد (به زیربند ۹-۱-۱ مراجعه شود).

1- Stereoscopic microscope

شکل ۲- تصویری از دستگاه پیمایش خطی که الزامات این روش آزمون را تامین می نماید



شکل ۳- عکسی از دستگاه پیمایش خطی / شمارش نقاط رایانه‌ای که الزامات این روش آزمون را تامین می‌کند

۹-۱-۲ میکروسکوپ استریوسکوپیک و تکیه‌گاه آن، با ابزار و لنزهای تماسی برای دستیابی به بزرگنمایی نهایی در حدود ۵۰ برابر تا حدود ۱۲۵ برابر. در صورت امکان استفاده از میکروسکوپ با یک بزرگنمایی ثابت، امکان تغییر بزرگنمایی در محدوده بالا با جایگزینی ابزار یا لنزهای تماسی یا بهتر از آن با استفاده از نصب عدسی زوم بسیار مرسوم است. میکروسکوپ را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که امکان مشاهده پیوسته سطح آزمون نصب‌شده بر روی سکوی دستگاه پیمایش خطی فراهم گردد. برای ایجاد نقطه شاخص در یک عدسی چشمی، کانون یا سایر ابزار رتیکال را نیز نصب کنید. با توجه به این‌که نقطه شاخص بدون بعد است، این نقطه باید به‌گونه‌ای باشد که محل تلاقی یک جفت از لبه‌های نقاط کانون یا گوشه انتهای خط اشل باشد. در کل مدت آزمون از یک نقطه شاخص استفاده کنید.

۹-۱-۳ لامپ میکروسکوپ، نوع نورافکن، به‌گونه‌ای تنظیم شود که روشنایی کافی در زوایه تابش کم و متغیر بر روی سطح ایجاد کند. محل تابش یکنواخت بر سطح آزمون بهتر است کمی بزرگ‌تر از میدان دید میکروسکوپ باشد.

۹-۱-۴ تراز حبابی، استفاده از نوع دایره‌ای کوچک متداول است.

۹-۱-۵ وسیله تراز، ابزاری برای تراز نمودن سطح مورد آزمون فراهم می‌کند. برای این منظور از قراردادن قطعات کوچکی از رس مدلسازی استفاده می‌شود. روش بهتر استفاده از سکو است که بر روی سه حلزونی تراز قابل تنظیم نصب شده است و آزمون را بر روی سکوی دستگاه پیمایش نگه می‌دارد.

۱۰ روش اجرای آزمون

۱۰-۱ آزمون بتنی آماده شده را بر روی سکوی دستگاه پیمایش خطی قرار دهید. با استفاده از دستگاه تراز و تراز حبایی، سطح آماده شده را به گونه‌ای تراز کنید که بتوان با کمینه تنظیم و تمرکز دوباره، سطح مورد نظر را مورد پیمایش و بررسی میکروسکوپی قرار داد. لامپ را به گونه‌ای تنظیم کنید که پرتوهای نور به صورت یکنواخت میدان دید میکروسکوپ را روشن نموده و تابش پرتوها بر روی سطح با زاویه کم به گونه‌ای باشد که حفره‌های هوا با سایه روشن مشخص و قابل نشانه‌گذاری باشند.

نقاط شاخص واقع بر روی سطح مورد آزمون را بر هم منطبق کنید. از بزرگنمایی کمتر از $50\times$ استفاده نکنید و در طول انجام آنالیز این بزرگنمایی را تغییر ندهید. برای مقطع مستطیلی، شاخص را در مجاورت یکی از گوشه‌های فوقانی، برای مقطع دایره‌ای این نقطه را نزدیک قسمت فوقانی و در یک انتهای پیمایش اولیه قرار دهید. برای حذف لقی سامانه دنده، تمامی چرخ‌دنده‌های گرداننده را حرکت داده و تنظیم کنید. همه شمارنده‌ها روی صفر تنظیم شود. با استفاده از حلزونی هدایت‌کننده اصلی دستگاه و آزمون را در راستای E-W حرکت داده و در همین حین سطح آماده شده را که در زیر میکروسکوپ جابجا می‌شود، به دقت مورد بررسی قرار دهید.

یادآوری ۹- سطوح تحت آزمون ممکن است ویژگی‌هایی مشابه حفره‌های هوا نشان دهند، در صورتی که نیستند، این موارد عبارتند از:

الف- در برخی مواقع مقطع شفاف سنگدانه ماسه کوارتز شبیه حفره هوا خواهد بود.

ب- وقتی یک مقطع تقریباً کروی و صاف دانه ماسه در حین پرداخت جدا شده باشد حفره باقی مانده بسیار مشابه یک حفره هوا خواهد بود ولی با توجه به تفاوت بین درخشش و براقی نوار آستر حفره این دو قابل تشخیص از هم هستند.

پ- ذرات توخالی سنوسفر خاکستر بادی یا ذرات کروی توخالی پلاستیکی نیز درخشندگی متفاوتی خواهند داشت و در صورت کنده‌کاری خمیر سیمان اطراف آن‌ها با محلول رقیق شده اسید هیدروکلریک (۱۰٪)، این ذرات متاثر نخواهند شد.

هشدار- در زیر میکروسکوپ کنده‌کاری با اسید را انجام ندهید چون که پاشش جوشان می‌تواند به عدسی‌ها آسیب رساند.

یادآوری ۱۰- در برخی مواقع، در حین استفاده از بتن حفره‌های هوا با مواد و محصولات فرعی پر می‌شوند. شمارش این حفره‌ها برای احتساب به‌عنوان سامانه حفره‌های هوا یا عدم شمارش آن‌ها به اهداف تحقیق بررسی دارد.

در صورت انطباق دقیق نقطه شاخص بر محیط مقطع حفره هوای روی سطح آماده شده، حرکت پایه را متوقف کرده و شمارنده را به کار انداخته و با استفاده از حلزونی فوقانی، بتن زیر میکروسکوپ را تا زمانی که نقطه شاخص دقیقاً منطبق بر حاشیه مقابل همان مقطع حفره هوا شود، جابجا کنید. چرخاندن حلزونی فوقانی را متوقف کرده و با استفاده از حلزونی اصلی جابجایی را از سر بگیرید. بسیار دقت کنید در مواردی که خط پیمایش تقریباً مماس بر مقطع حفره است، مقطع حفره هوا با نقطه شاخص تلاقی داشته باشد. خطای ناشی از این مورد تاثیر قابل توجهی بر نتایج خواهد داشت. چنان‌چه حاشیه حفره هوا گرد شده و یا فرو ریخته باشد، محل دقیق حاشیه پیرامونی درست را در صفحه سطح مورد بررسی را با برون‌یابی حد

سطحی حفره هوا تعیین نمایید. در صورت بررسی توده خمیر سیمان، که اغلب مواقع محاسبه می‌شود، روش بالا را برای پیمایش در سرتاسر خمیر سیمان تکرار کنید، با این تفاوت که از حلزونی فوقانی دوم استفاده نمایید و از شمارنده استفاده نکنید. همین روش را برای خط پیمایش در امتداد E-W ادامه دهید و تمام وترهای سرتاسر حفره‌های هوا را با حلزونی فوقانی و تمام مقاطع خمیر سیمان را با حلزونی ثانویه فوقانی (در صورت بررسی توده خمیر سیمان) و سایر مقاطع را با حلزونی اصلی پیمایش کنید. در انتهای خط، که بهتر است داخل محدوده مورد آزمون قرار داشته باشد نه در لبه آن، پیمایش را متوقف نمایید. با استفاده از حلزونی N-S آزمون را در فاصله مناسب تا خط پیمایش بعدی جابجا کنید. فاصله بین قسمت‌های پیمایش را به‌گونه‌ای تعیین کنید که تمام سطح آماده شده را با کمینه طول پیمایش مورد نیاز پوشش دهد. اگر شمارنده‌های چرخش در دو راستا عمل می‌کنند، خط پیمایش بعدی درست از انتهای پیمایش قبلی آغاز می‌گردد، در غیر این‌صورت سکو را به‌گونه‌ای برگردانید که خط جدید درست از زیر محل شروع خط قبلی شروع شود. هر تکه از پیمایش را در محدوده سطح آماده شده و صفحه سطحی مناسب آزمون، و نه از لبه خود سطح، آغاز کنید. طول قسمت‌های پیمایش شده متفاوت خواهد بود. نقطه شاخص را در تلاقی با نقطه آغازین خط جدید قرار داده و پیمایش را مطابق قبل انجام دهید. این روند را برای تمام قسمت‌های کل پیمایش تکرار کنید. چرخش کل در هر شمارنده را با هم جمع کنید و یا هر چرخش را در انتهای خط پیمایش خوانش و ثبت کنید که در این‌صورت چرخش کل حاصل جمع هر یک از مقادیر ثبت‌شده خواهد بود. اگر بیش از یک آزمون از یک آزمون بتنی آماده شده باشد، این روش برای هر یک از آزمون‌ها در انطباق با الزامات جدول ۱ تکرار کنید. استفاده از تجهیزات الکترونیکی یا رایانه‌ای مستلزم تبعیت از روش‌های مشخص شده توسط سازندگان است ولی اصول اولیه مطابق مطالب بالا به قوت خود باقی خواهد بود. کمینه طول پیمایش مطابق جدول ۲ خواهد بود.

۱۱ محاسبه

۱-۱۱ وقتی بر مبنای مقدار هوای کل بتن باشد:

۱-۱-۱۱ داده شامل موارد زیر است:

N تعداد کل حفره‌های هوای متقاطع؛

R_i تعداد چرخش‌های حلزونی‌های مربوط؛

P_i گام حلزونی مربوط؛

۲-۱-۱۱ موارد زیر را محاسبه کنید:

$$T_i = \text{طول کل پیمایش} = \text{مجموع } P_i \times R_i \quad (۱)$$

$$P_a \times R_a = \text{طول پیمایش از میان هوا} = T_a \quad (۲)$$

$$P_p \times R_p = \text{طول پیمایش از میان خمیر سیمان} = T_p \quad (۳)$$

۳-۱-۱۱ مقدار هوا (A)، بر حسب %:

$$A = \frac{T_a \cdot 100}{T_t} \quad (۴)$$

۴-۱-۱۱ فراوانی سوراخ (n):

$$n = \frac{N}{T_t} \quad (۵)$$

میانگین طول وتر (\bar{l}):

$$\bar{l} = \frac{T_a}{N} \quad (۶)$$

یا

$$\bar{l} = \frac{A}{100n} \quad (۷)$$

۶-۱-۱۱ سطح ویژه (α):

$$\alpha = \frac{4}{\bar{l}} \quad (۸)$$

یا

$$\alpha = \frac{4N}{T_a} \quad (۹)$$

۷-۱-۱۱ محتوای خمیر سیمان (p)، بر حسب %:

$$p = \frac{T_p \cdot 100}{T_t} \quad (۱۰)$$

۸-۱-۱۱ نسبت خمیر سیمان به هوا (p/A):

$$\frac{p}{A} = \frac{T_p}{T_a} \quad (۱۱)$$

۹-۱-۱۱ ضریب فاصله‌داری (\bar{L})

۱-۹-۱-۱۱ هنگامی که p/A کوچک تر یا مساوی:

$$4.342 \bar{L} = \frac{T_p}{4N} \quad (12)$$

۲-۹-۱-۱۱ هنگامی که p/A بزرگ تر از:

$$4.342 \bar{L} = \frac{3}{\alpha} \left[1.4 \left(1 + \frac{P}{A} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (13)$$

۲-۱۱ اگر محاسبات بر مبنای روش نسبت خمیر سیمان به هوا باشد، طرح اختلاط باید موجود باشد. داده-ها و اطلاعاتی که به صورت میکروسکوپی تعیین می‌شوند شامل T_p ، T_a و N خواهد بود. مطابق روش زیر ادامه دهید:

۱-۲-۱۱ نسبت خمیر سیمان به هوا (r) را با استفاده از معادله (۱۴) محاسبه کنید:

$$r = \frac{T_p}{T_a} \quad (14)$$

۲-۲-۱۱ با توجه به طرح اختلاط نسبت حجم سنگدانه‌ها به حجم خمیر سیمان (M) را با استفاده از معادله (۱۵) محاسبه کنید:

$$M = \frac{G_c}{P_c} \quad (15)$$

که در آن:

G_c مجموع جرم سنگدانه‌ها، هر یک تقسیم بر وزن مخصوص؛ و

P_c مجموع جرم سیمان تقسیم بر وزن مخصوص سیمان به اضافه جرم مواد افزودنی معدنی تقسیم بر وزن مخصوص مواد افزودنی معدنی به اضافه جرم آب (شامل بخش مایع هر نوع افزودنی) تقسیم بر وزن مخصوص مایع‌ها.

یادآوری ۱۱- مقادیر به کار رفته برای G_c و P_c محاسبه شده باید تفاوت چگالی‌های مواد تشکیل‌دهنده و قسمت‌های جرمی هر یک را به دقت انعکاس دهد.

۳-۲-۱۱ درصد هوا (A):

$$A = \frac{100}{r(1+M)+1} \quad (16)$$

۴-۲-۱۱ درصد خمیر سیمان (p):

$$p = A.r \quad (17)$$

۵-۲-۱۱ طول میانگین وتر (\bar{l}):

$$\bar{l} = \frac{T_a}{N} \quad (18)$$

۶-۲-۱۱ سطح ویژه (α): از معادله‌های (۸) و (۹) استفاده شود.

جدول ۱- حداقل طول پیمایش در روش پیمایش خطی^A

طول پیمایش برای تعیین A، α یا \bar{l} mm .min	بیشینه اندازه نامی یا مشاهده شده سنگدانه‌های بتن mm
۴۰۶۴	۱۵۰
۳۰۴۸	۷۵
۲۵۴۰	۳۷٫۵
۲۴۱۳	۲۵٫۰
۲۲۸۶	۱۹٫۰
۲۰۳۲	۱۲٫۵
۱۹۰۵	۹٫۵
۱۳۹۷	۴٫۷۵ (No.4)

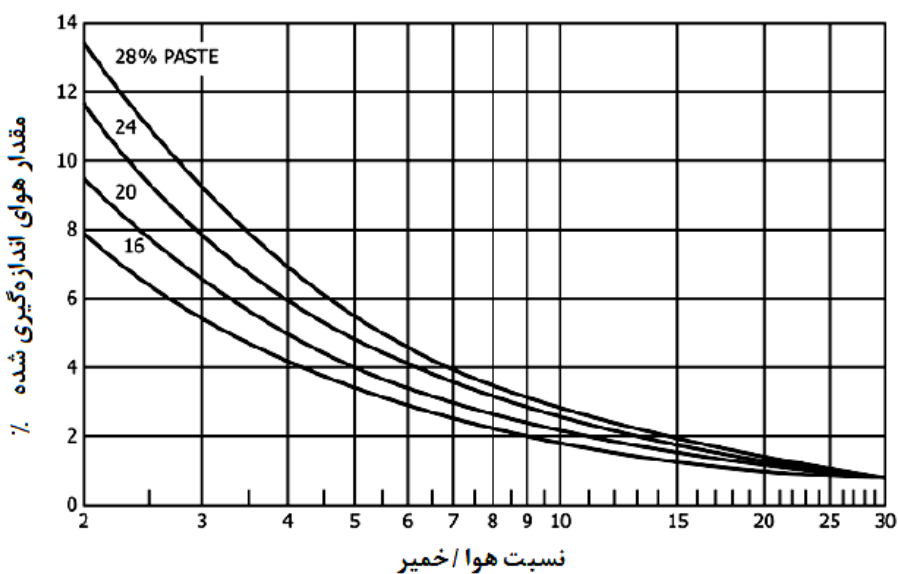
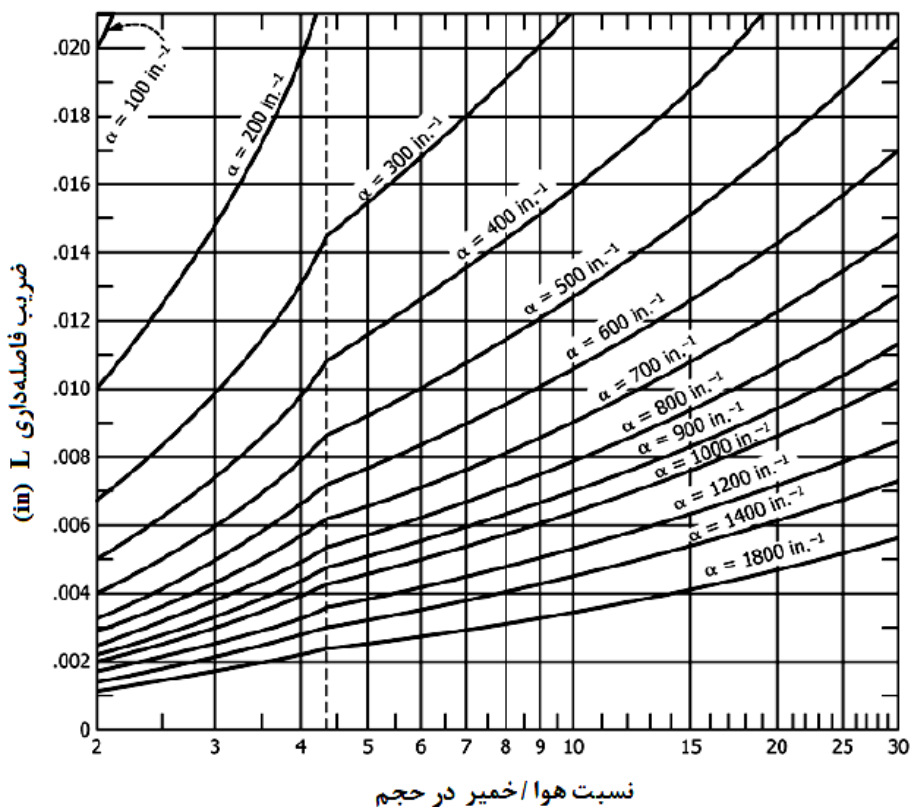
^A حدود عدم قطعیت نتایج به دست آمده برای مقدار حفره‌های هوا به طول پیمایش و مقدار حفره‌های هوای بتن بستگی دارد. براساس تجربه، کمینه طول پیشنهادی برای پیمایش نشان داده شده در این جدول باید منجر به حدود عدم قطعیتی شود که برای حفره‌های هوا تا مقدار ۳٪، انحراف معیار بزرگ‌تر از ۰٫۵٪ نگردد، مقدار حفره هوا برابر با ۳٪ متناظر با ضریب تغییرات ۱۷٪ است. به‌ازای طول پیمایش بزرگ‌تر از ۱۳۷۵mm و مقدار حفره‌های هوا بیشتر از ۳٪ مقدار ضریب تغییرات به‌طور متناسب کاهش می‌یابد. برای آنالیز داده‌های به دست آمده به منظور دستیابی به حدود عدم قطعیت به کار رفته، می‌توان از روش‌های آماری استفاده کرد.

۷-۲-۱۱ ضریب فاصله‌داری (\bar{L}):

۱-۷-۲-۱۱ اگر r کوچک‌تر یا مساوی ۴٫۳۴۲ باشد از معادله (۱۲) استفاده شود.

۲-۷-۲-۱۱ اگر r بزرگ‌تر از ۴٫۳۴۲ باشد از معادله (۱۳) با جایگزینی r با نسبت p/A استفاده شود.

۳-۱۱ در صورت تمایل، برای تعیین ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) می‌توان از نمودار شکل ۴ به جای محاسبات مستقیم استفاده کرد.



یادآوری ۱- ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) را به روش زیر تعیین کنید:

۱- در صورت اندازه‌گیری مقدار هوا، مقدار مناسب را در نمودار پائین انتخاب نموده و به صورت افقی تا مقدار خمیر سیمان محاسبه یا تعیین شده امتداد دهید. حال تا نمودار بالایی تا سطح ویژه محاسبه‌شده، α ، به صورت قائم حرکت کنید سپس به صورت افقی تا ضریب فاصله‌داری متناظر (\bar{L}) حرکت کنید.

۲- اگر نسبت خمیرسیمان به هوا اندازه‌گیر نشده باشد، مقدار متناسب را در نمودار فوقانی انتخاب کنید، سپس به صورت قائم تا مقدار سطح ویژه محاسبه شده α ، حرکت کرده و پس از آن تا مقدار متناظر ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) حرکت کنید.

شکل ۴- نمودارهای مربوط به تعیین ضریب فاصله‌داری (\bar{L})

روش اجرایی B- روش شمارش نقاط اصلاح شده

۱۲ دستگاه اندازه گیری آزمونه‌ها

۱-۱۲ دستگاه‌های فهرست شده در زیربندهای ۱-۱-۱۲ تا ۵-۱-۱۲ ارائه شده است، تشکیل دهنده کمینه انتخاب‌های پیشنهادی است. می‌توان علاوه بر موارد تشریح شده، از سایر تجهیزات دارای کیفیت یکسان نیز استفاده کرد.

دستگاه‌هایی ساخته شده‌اند که در آن‌ها از سوئیچ‌ها و توتالایزرهای الکترونیکی استفاده شده است. تجهیزات رایانه‌ای به صورت تجاری در دسترس هستند. از پردازشگر تصویر به وفور استفاده شده است.

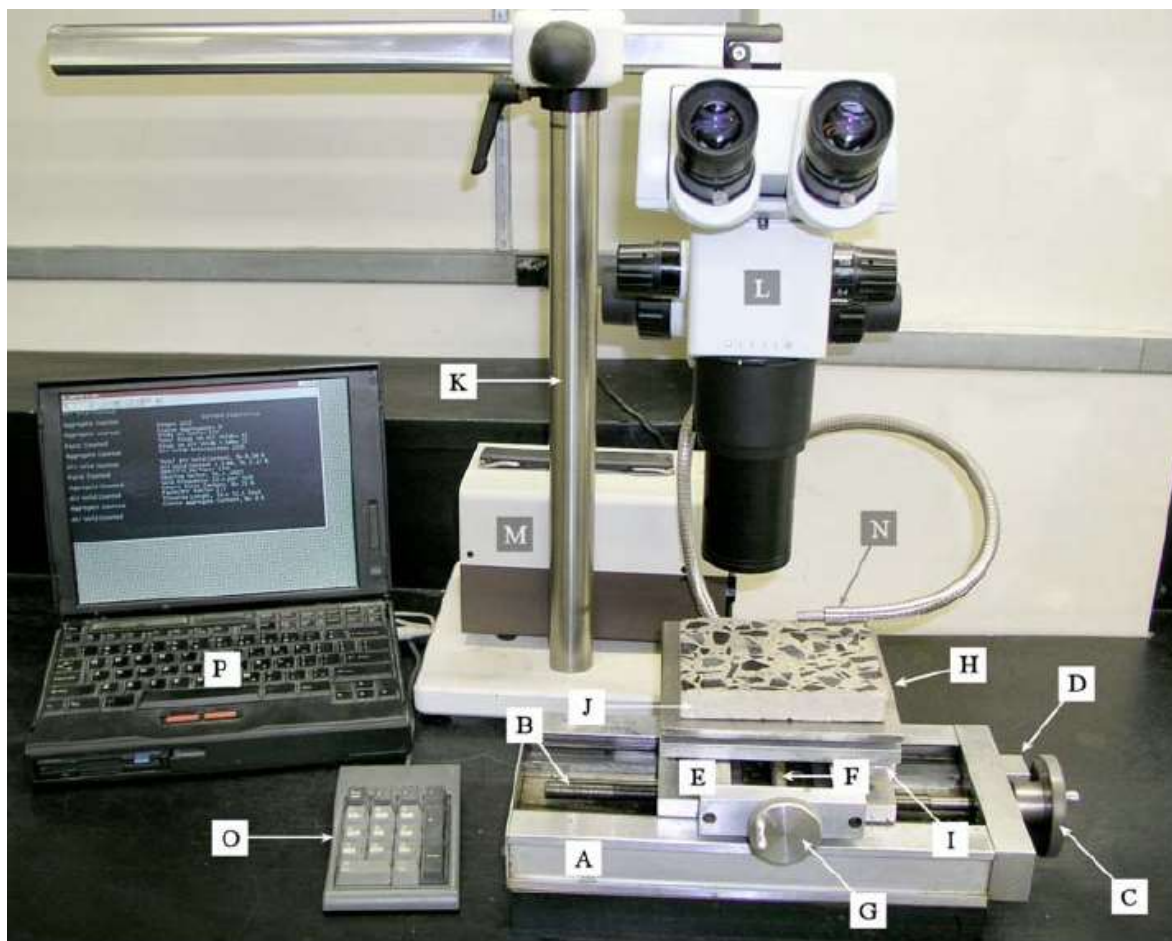
۱-۱-۱۲ وسیله شمارش نقطه، این وسیله از یک سکو یا صفحه متصل به حلزونی‌های هدایت کننده در راستاهای E-W و N-S (به زیربند ۱-۱-۹ مراجعه شود) تشکیل شده و به گونه‌ای طراحی شده است که آزمونه بتنی قرار گرفته بر روی صفحه می‌تواند با چرخاندن حلزونی‌ها به راحتی و به صورت یکنواخت در فواصل یکسان جابجا شود. تغییرمکان کل ممکن برای صفحه در هر امتداد کمینه ۱۰۰ mm است. چرخ‌های شیاردار و وسیله‌های توقف را به گونه‌ای بر روی حلزونی‌ها تعبیه کنید که با هر چرخش حلزونی هنگام رسیدن به موقعیت توقف، کارور یک کلیک را تشخیص دهد. بازه‌های بین توقف‌گاه‌ها متناسب با انتقال صفحه به فاصله ۰٫۶ mm تا ۵٫۰ mm باشد. مقدار میانگین انتقال صفحه بین توقف‌گاه‌ها را با تقریب ۰٫۲۵ mm تعیین نمایید. کمینه چهار شمارنده رقمی فراهم نمایید. هر چه تعداد آن بیشتر باشد بهتر خواهد بود.

برای ثبت خودکار تعداد کل توقف‌ها در هر جهت، اتصال یک شمارنده به ابزار متوقف کننده حلزونی در راستای E-W مرسوم است. تصویری از وسیله مناسب برای روش اجرایی شمارش نقطه اصلاح شده در شکل ۵ ارائه شده است.

۱۲-۱-۲ میکروسکوپ استریوسکوپ و نگهدارنده، مشابه توضیحات زیربند ۱-۹-۲ است.

۱۲-۱-۳ لامپ میکروسکوپ، مشابه توضیحات زیربند ۱-۹-۳ است.

۱۲-۱-۴ تراز، مشابه توضیحات زیربند ۱-۹-۴ است.



راهنما:

- A مجموعه سکوی زیرین
- B حلزونی هدایت‌کننده زیرین
- C پیچ دستی برای چرخاندن حلزونی زیرین
- D ابزار متوقف‌کننده برای مشخص نمودن محل‌های شمارش نقطه بر روی خط پیمایش
- E مجموعه سکوی فوقانی
- F حلزونی خورد متقابل برای حرکت جانبی سکوی فوقانی (N-S)
- G پیچ دندان‌دار دستی برای چرخاندن حلزونی خورد متقابل
- H صفحه نگهدارنده آزمون بتنی
- I حلزون‌های به‌کار رفته برای تراز کردن آزمون بتنی
- J آزمون بتنی
- K تکیه‌گاه میکروسکوپ
- L میکروسکوپ استریوسکوپی
- M منبع نور فیبر نوری
- N هدایت‌کننده نور فیبر نوری
- O صفحه کلید برای وارد کردن نقاط شمارش شده، نقاط دارای تلاقی با مقاطع حفره‌های هوا، خمیر سیمان و تعداد مقاطع حفره هوای متقاطع با خط پیمایش.
- P کامپیوتر برای محاسبات و ذخیره‌سازی نتایج.

شکل ۵- تصویری از دستگاه شمارش نقطه که الزامات این روش آزمون را برآورده می‌کند

۱۲-۱-۵ وسیله تراز، مشابه توضیحات زیربند ۹-۱-۵ است.

۱۳ روش اجرایی

۱-۱۳ سطح آماده شده بتن را بر روی صفحه دستگاه شمارش نقاط قرار دهید. با استفاده از تراز حبایی، سطح آماده شده را با دستگاه تراز به گونه‌ای تراز کنید که پیمایش و بررسی میکروسکوپی سطح با کمینه تمرکز و دقت شدن مجدد انجام شود. لامپ را به گونه‌ای تنظیم کنید که پرتوهای نور به صورت یکنواخت محدوده دید میکروسکوپ را روشن کرده و با زاویه تابش کم بر سطح بتابد و حدود حفره‌های هوا با سایه تعیین شود.

نقاط شاخص کانون‌ها را (یا سایر وسایل با شبکه‌بندی شطرنجی) بر روی سطح مورد بررسی منطبق کنید. مقدار بزرگنمایی نباید کمتر از $50\times$ در نظر گرفته شود و در حین مدت آنالیز مقدار بزرگنمایی را تغییر ندهید. برای مقطع مستطیلی شاخص را در مجاورت گوشه فوقانی قرار دهید، برای مقطع دایره‌ای شاخص را در مجاورت قسمت فوقانی و در یک انتهای پیمایش اولیه قرار دهید. ابزار متوقف‌کننده را در محل توقف یا تلنگر و ضربه در ابتدای پیمایش قرار دهید. توقف‌های آغازین در هر خط پیمایش را در تعداد کل توقف‌ها یا در تعداد توقف‌های هر جزء و المان در نظر نگیرید. تمام شمارنده‌ها را صفر کنید. با استفاده از حلزونی هدایت‌کننده راستای E-W، هم‌زمان با واریسی و تدقیق سطح، سکو و آزمون را حرکت دهید. در هر محل توقف، به غیر از ابتدای خط پیمایش، مکث کرده و میدان دید را بررسی کنید و بر روی شمارنده مناسب، مواد و یا مرحله‌ای که نقطه شاخص منطبق شده است، را ثبت کنید.

یادآوری ۱۲- سطح مورد بررسی می‌تواند شامل مشخصه‌هایی باشد که مشابه حفره هوا است، حال آنکه این مشخصه‌ها حفره‌های هوا نیست:

الف- گاه‌ها مقطع شفاف سنگدانه‌های کوارتز مشابه حفره هوا خواهد بود.

ب- شیار به جا مانده ناشی از جدا شدن مقطع تقریباً کروی و صاف سنگدانه ماسه از سطح موردنظر در طول پرداخت، بسیار شبیه حفره هوا خواهد بود ولی با توجه به تفاوت درخشندگی و براقی لایه نازک آستر حفره قابل تشخیص است.

پ- سنوسفرها^۱، ذرات توخالی خاکستر کوره یا کره‌های پلاستیکی توخالی دارای درخشندگی متفاوتی خواهند بود و در صورتی که خمیر سیمان اطراف آن‌ها با اسید هیدروکلرید رقیق (۱۰٪) حکاکی شود، بدون تغییر باقی می‌مانند.

هشدار- آزمون را در زیر میکروسکوپ با اسید حکاکی نکنید چون پاشش جوشان آن موجب آسیب به عدسی‌ها می‌شود.

یادآوری ۱۳- گاه‌ها حفره‌های هوا به دلیل در معرض قرار گرفتن بتن در حین استفاده، با مواد و فرآورده‌های ثانویه پر می‌شوند. در نظر گرفتن این حفره‌ها برای شمارش حفره‌های سامانه حفره هوا به هدف بررسی و مطالعه بستگی دارد.

1- Cenospheres

سنوسفر، کره‌های کاملاً توخالی هستند که برخی اوقات در بتن تشکیل می‌شوند.

معمولاً از یک شمارنده برای حفره‌های هوا، یک شمارنده دیگر برای خمیر سیمان و یک شمارنده برای سایر فازها (بخش‌های تشکیل‌دهنده بتن) (یک شمارنده کلی) استفاده می‌شود. برای بررسی و برآورد سایر اجزاء بتن (برای مثال، سنگدانه‌های ریز و درشت، چنان‌چه این سنگدانه‌ها از نظر سنگ‌نگاری قابل تمایز باشند) می‌توان از شمارنده‌های بیشتری استفاده کرد. این مسیر را در امتداد خط تا رسیدن به آخرین محل توقف بر روی سطح آماده شده و در مجاورت لبه آن ادامه دهید. پس از رسیدن به انتهای خط، شمارنده کل را خاموش کنید. حلزونی هدایت‌کننده راستای E-W را برعکس کنید و بر روی همان خط برگردید و هر حفره هوایی که با آن تلاقی می‌کنید، بدون توجه به ایجاد توقف در محل حفره هوا، را بر روی شمارنده دیگر ثبت کنید. قبل از رسیدن به محل توقف اول، فرایند شمارش حفره‌ها را متوقف کنید. شمارش حفره‌های هوایی که در حین پیمایش مشابه برای شمارش فازهای موجود در هر توقف، با آن‌ها تلاقی می‌شود، ممنوع نیست. وقتی خط پیمایش مماس بر مقطع حفره است با دقت فراوان تلاقی مقطع هوا با شاخص حرکت را بررسی کنید. خط‌های ثابت ناشی از این امر تاثیرات قابل توجهی بر نتایج به‌دست آمده خواهند داشت. اگر محیط حاشیه حفره هوا فروریخته و یا گرد شده باشد، موقعیت صحیح محیط حاشیه در صفحه سطح را با استفاده از برون‌یابی کانتور سطحی حفره هوا به‌دست آورید. اگر انجام آزمون تنها برای تعیین مقدار هوای بتن باشد، نیازی به محاسبه حفره‌های هوای در تلاقی با خط پیمایش نیست. با استفاده از حلزونی هدایت‌کننده N-S آزمون بتنی را با زاویه عمود نسبت به امتداد پیمایش با فاصله مناسب جابجا کنید. فواصل پیمایش را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که کل سطح آماده شده را پوشش دهد و کمینه طول پیمایش و کمینه تعداد نقاط مندرج در جدول ۳ تامین گردد. مشابه مرحله قبل در امتداد خط جدید، پیمایش و همچنین برای تمام قسمت‌های پیمایش کل و برای تمام مقاطع تهیه شده از آزمون بتنی را ادامه دهید تا الزامات این روش آزمون تامین گردد. برای تجهیزات الکترونیکی یا رایانه‌ای روش‌هایی که توسط سازنده ارائه شده است باید دنبال شود ولی اصول پایه مطابق موارد است که در قسمت بالا ارائه گردید. اگر محاسبات بر مبنای نسبت خمیرسیمان به هوا باشد، کمینه طول پیمایش باید مطابق مقدار مندرج در جدول ۳ باشد و کمینه تعداد نقاط نیز باید با استفاده از معادله (۱۹) محاسبه شود:

$$S_a = \frac{10000}{V^2} \quad (19)$$

که در آن:

S_a تعداد توقف‌هایی که نقطه شاخص منطبق بر مقطع یک حفره هوا است؛

V ضریب تغییرات مورد نظر برای مقدار هوا که به‌صورت درصد مقدار میانگین هوا بیان شده است.

جدول ۳- کمینه طول پیمایش و کمینه تعداد نقاط در روش شمارش نقاط اصلاح شده^A

تعداد نقاط برای تعیین α یا \bar{L} ، min	طول پیمایش برای تعیین α یا \bar{L} ، min mm	بیشینه اندازه نامی یا مشاهده شده سنگدانه‌های بتن mm
۲۴۰۰	۴۰۶۴	۱۵۰
۱۸۰۰	۳۰۴۸	۷۵
۱۵۰۰	۲۵۴۰	۳۷٫۵
۱۴۲۵	۲۴۱۳	۲۵٫۰
۱۳۵۰	۲۲۸۶	۱۹٫۰
۱۲۰۰	۲۰۳۲	۱۲٫۵
۱۱۲۵	۱۹۰۵	۹٫۵
۱۰۰۰	۱۳۹۷	(No.4) ۴٫۷۵

^A حدود عدم قطعیت نتایج به دست آمده برای مقدار حفره‌های هوا به تعداد نقاط و مقدار حفره‌های هوای بتن بستگی دارد. کمینه تعداد نقاط پیشنهادی نشان داده شده در این جدول باید منجر به حدود عدم قطعیتی شود که برای حفره‌های هوا تا مقدار ۳٪، انحراف معیار بزرگ‌تر از ۰٫۵٪ نگردد، مقدار حفره هوا برابر با ۳٪ متناظر با ضریب تغییرات ۱۷٪ است. به‌ازای تعداد نقاط بیشتر از ۱۰۰۰ و مقدار حفره‌های هوا بیشتر از ۳٪ مقدار ضریب تغییرات به‌طور متناسب کاهش می‌یابد. به‌منظور دستیابی به حدود عدم قطعیت به‌کار رفته، می‌توان از آنالیز داده‌های به‌دست آمده با روش‌های آماری استفاده کرد.

۱۴ محاسبه

۱-۱۴ اگر محاسبات بر مبنای داده‌های حاصل از آزمون تهیه شده از کل بتن باشد، داده‌ها متشکل از موارد زیر خواهند بود:

N تعداد کل حفره‌های هوا که با تلاقی با آن‌ها وجود دارد،

S_r تعداد کل توقف‌ها؛

S_a تعداد توقف‌های در حفره‌های هوا؛

S_p تعداد توقف‌ها در خمیر سیمان (در صورت برآورد)؛ و

I فاصله انتقال در راستای E-W بین محل‌های توقف.

یادآوری ۱۴- از S_r و غیره، می‌توان برای نمایش سایر اجزاء شمارش شده توسط دیگر شمارنده‌ها استفاده کرد.

۱-۱-۱۴ طول پیمایش کل را با استفاده از معادله (۲۰) محاسبه کنید (T_r):

$$T_r = S_r \cdot I \quad (20)$$

۲-۱-۱۴ مقدار هوا (A):

$$A = \frac{S_a \cdot 100}{S_t} \quad (21)$$

۳-۱-۱۴ فراوانی حفره‌ها (n):

$$n = \frac{N}{T_t} \quad (22)$$

۴-۱-۱۴ مقدار خمیر سیمان (p) بر حسب %:

$$p = \frac{S_p \cdot 100}{S_t} \quad (23)$$

۵-۱-۱۴ نسبت خمیر سیمان به هوا (p/A):

$$\frac{p}{A} = \frac{S_p}{S_a} \quad (24)$$

۶-۱-۱۴ میانگین طول وتر (\bar{l}):

$$\bar{l} = \frac{S_a \cdot I}{N} \quad (25)$$

یا

$$\bar{l} = \frac{A}{100n} \quad (26)$$

۷-۱-۱۴ سطح ویژه (α):

$$\alpha = \frac{4}{\bar{l}} \quad (27)$$

یا

$$\alpha = \frac{400n}{A} \quad (28)$$

۸-۱-۱۴ ضریب فاصله‌داری (\bar{L}):

۱-۸-۱-۱۴ اگر p/A کوچک‌تر یا مساوی مقدار زیر باشد:

$$4.342\bar{L} = \frac{P}{400n} \quad (29)$$

۲-۸-۱-۱۴ اگر p/A بزرگ‌تر از مقدار زیر باشد:

$$4.342\bar{L} = \frac{3}{\alpha} \left[1.4 \left(1 + \frac{p}{A} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (30)$$

۲-۱۴ اگر محاسبات بر مبنای روش نسبت خمیر سیمان به هوا باشد، داده‌ها شامل S_p ، S_a و N و I (بین محل‌های توقف) خواهد بود. موارد زیر را محاسبه نمایید:

۱-۲-۱۴ نسبت خمیر سیمان به هوا (r):

$$r = \frac{S_p}{S_a} \quad (31)$$

۲-۲-۱۴ با توجه به طرح اختلاط، نسبت حجم سنگدانه‌ها به حجم خمیر سیمات (M) را محاسبه کنید:

$$M = \frac{G_c}{P_c} \quad (32)$$

که در آن:

G_c مجموع جرم سنگدانه‌ها، هر یک تقسیم بر وزن مخصوص متناظر خود، و

P_c مجموع جرم سیمان تقسیم بر وزن مخصوص سیمان با اضافه جرم افزودنی‌های معدنی تقسیم بر وزن مخصوص افزودنی‌های معدنی با اضافه جرم آب (شامل بخش مایع هرگونه افزودنی) تقسیم بر وزن مخصوص مایعات.

یادآوری ۱۵- مقادیر به کار رفته برای محاسبه G_c و P_c باید دقیقاً انعکاس‌دهنده چگالی‌های مختلف مواد تشکیل‌دهنده و نسبت جرم هر یک باشد.

۳-۲-۱۴ در صد هوا (A):

$$A = \frac{100}{r(1+M) + 1} \quad (33)$$

۴-۲-۱۴ خمیر سیمان بر حسب درصد (p):

$$p = A.r \quad (34)$$

۵-۲-۱۴ سطح ویژه (α) :

$$\alpha = \frac{4N}{S_a \cdot I} \quad (35)$$

۶-۲-۱۴ میانگین طول وتر (\bar{l}) :

$$\bar{l} = \frac{S_a \cdot I}{N} \quad (36)$$

۷-۲-۱۴ ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) :

۱-۷-۲-۱۴ اگر r کوچک‌تر یا مساوی مقدار زیر باشد:

$$4.342\bar{L} = \frac{S_p \cdot I}{4N} \quad (37)$$

۲-۷-۲-۱۴ اگر r بزرگ‌تر از $4/342$ باشد، از معادله ۱۲ با جایگزینی r به جای p/A استفاده کنید.

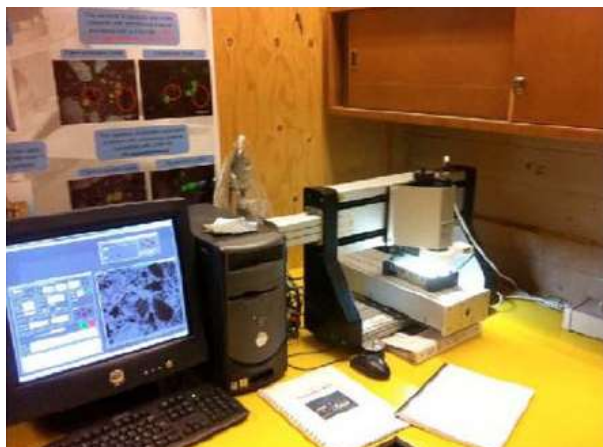
۳-۱۴ در صورت تمایل برای تعیین ضریب فاصله‌داری (L) می‌توان از شکل ۴ و روش گرافیکی به‌جای روش محاسبه مستقیم استفاده کرد.

روش اجرایی C - روش سایه روشن توسعه یافته

۱۵ دستگاه اندازه‌گیری آزمونها

۱-۱۵ دستگاه‌های مورد نیاز برای انجام این روش مختلف بوده و دستگاه‌های که در زیربندهای ۱-۱-۱۵ تا ۱-۱۵-۵ ارائه شده است، نشان‌دهنده الزامات ضروری هستند. علاوه بر موارد تشریح شده، می‌توان از سایر تجهیزات با کیفیت یکسان استفاده کرد.

دستگاه‌های رایانه‌ای به‌صورت تجاری در دسترس هستند. از پردازشگرهای تصویر به‌وفور استفاده شده است. مثالی از دستگاه‌های مورد استفاده برای روش سایه روشن توسعه یافته در شکل ۶ ارائه شده است.



ب- دستگاه با دسترسی تجاری بر مبنای انتقال یک میکروسکوپ چشمی با کانون ثابت



الف- دستگاه بر مبنای اسکنر بستر هموار و مسطح

شکل ۶- تصاویری از دو دستگاه مختلف برای اجرای روش سایه روشن توسعه یافته

۱-۱-۱۵ سکوی آزمونه، که سکویی برای نگهداری آزمونه و سطح مورد بررسی به صورت عمود بر محور چشمی دستگاه تهیه عکس فراهم می کند.

۱-۱-۱-۱۵ اگر نیاز به تراز نمودن آزمونه باشد، باید مراحلی که در زیربندهای ۴-۱-۹ و ۵-۱-۹ تشریح شده است، انجام شود.

۲-۱-۱-۱۵ چنانچه آزمونه با سطح مورد بررسی بر روی صفحه شیشه‌ای نگه داشته شده باشد و دستگاه تهیه عکس در سمت روبروی صفحه شیشه‌ای قرار گرفته باشد، در این صورت جداکننده‌های نازکی (۰/۱ mm) یا کمتر) بین آزمونه و صفحه شیشه‌ای قرار داده و از هر دو سطح در برابر سایش حفاظت کنید.

۳-۱-۱-۱۵ در صورت نیاز به انتقال آزمونه به بالا یا پائین دستگاه تهیه عکس، کمینه جابجایی سکو باید به اندازه کافی باشد تا امکان بررسی و آنالیز طول کل پیمایش، متناظر با الزامات مندرج در جدول ۲، بدون نیاز به تغییر موقعیت آزمونه در حین آنالیز فراهم گردد. کلیه جابجایی‌ها باید در صفحه کانونی دستگاه تهیه عکس انجام شود.

۴-۱-۱-۱۵ در صورت نیاز به جابجایی دستگاه تهیه عکس به بالا یا پائین آزمونه، کمینه قابلیت جابجایی دستگاه تهیه عکس باید به اندازه کافی باشد تا امکان آنالیز و بررسی طول پیمایش کل، مطابق با مقادیر مندرج در جدول ۲، بدون نیاز به تغییر مکان آزمونه در حین آنالیز فراهم گردد. کلیه جابجایی‌ها باید در صفحه کانونی دستگاه تهیه عکس انجام شود.

۲-۱-۱۵ وسیله عکس برداری، ابزاری برای دستیابی به عکس رقمی لازم از آزمونه فراهم می کند. با توجه به پیکربندی سستم، می توان از یک عکس یا ترکیب چند عکس برای نمایش کل محدوده مورد بررسی استفاده کرد.

۱۵-۱-۲-۱ داده‌های خام (یعنی، طول خط) حاصل از عکس رقمی برحسب واحد تعداد تصویردانه‌ها خواهند بود. دیمانسیون تصویردانه (R) در امتداد اندازه‌گیری باید توسط تولیدکننده و یا توسط کارور و قبل از انجام آنالیز، جهت ارائه طول خطوط برحسب یکاهای میکرومتر یا میلی‌متر، تعیین گردد. اگر R برای دستگاه تهیه عکس ثابت باشد، تعیین آن فقط برای یک بار کفایت می‌کند. اگر R متغیر باشد (یعنی، بزرگنمایی دستگاه تهیه عکس ثابت نباشد) برای هر آنالیز R باید تعیین شود. برای تعیین R باید از استانداردهای کالیبراسیون شناخته شده استفاده شود.

۱۵-۱-۳ منبع روشنایی، با توجه به پیکربندی دستگاه تهیه عکس منبع روشنایی نیز تغییر خواهد کرد. در کل، منبع روشنایی باید نور کافی برای روشن کردن محل حفره‌های پر شده با پودر سفید را تامین نماید ولی نباید روشنایی بیش از حد که بر توانایی دستگاه تهیه عکس در تشخیص لبه‌های حفره‌های هوا تاثیر می‌گذارد، ایجاد کند.

۱۵-۱-۴ وسیله ذخیره‌سازی عکس، عکس رقمی از آزمون را می‌توان تا تکمیل تمام آنالیزها در یک محیط ذخیره‌سازی مانند دیسک‌خوان یا حافظه موجود در داخل دستگاه تهیه عکس ذخیره نمود.

۱۵-۱-۵ وسیله پردازش تصویر، ابزاری برای انجام گام‌های ضروری پردازش بر روی تصویر رقمی آزمون شامل تبدیل ابعاد تصویردانه‌ها به طول با استفاده از R ، لیت کردن به بخشی از عکس و تعیین طول پیمایش کل (T_i)، طول پیمایش از میان حفره‌های هوا (T_n)، و تعداد حفره‌های هوا در تلاقی با خط پیمایش (N) است.

یادآوری ۱۶- سطح مورد بررسی می‌تواند شامل مشخصه‌هایی باشد که مشابه حفره هوا است، حال آنکه این مشخصه‌ها حفره‌های هوا نیست:

الف- شیار به جا مانده ناشی از جداشدن مقطع تقریباً کروی و صاف سنگدانه ماسه از سطح موردنظر در طول پرداخت، بسیار شبیه حفره هوا خواهد بود. سطح را از لحاظ وجود حفره‌های غیر مدور پر شده با پودر سفید مورد بررسی قرار دهید. هرگونه بیرون آمدگی سنگدانه‌ها را با استفاده از علامت‌گذار سیاه رنگ با نوک فشرده تیره کرده، و آزمون را دوباره مورد سنجش قرار دهید و چنانچه بیرون آمدگی‌های متعددی مشاهده شود سطح آن را دوباره آماده‌سازی کنید و آزمون را تحت سنجش مجدد قرار داده و یا از روش پردازش تصویر برای حذف این مشخصه‌ها از عکس، قبل از آنالیز استفاده کنید.

ب- در مواردی که بتن با حجم خاکستر کوره زیاد باشد، (HVFA)، سنوسفرها، ذرات توخالی خاکستر کوره یا ذرات کروی توخالی پلاستیکی به عنوان حفره هوا شناسایی می‌شوند. این امر بر سنجش پارامترهای سامانه حفره هوا تاثیر گذار بوده و در این مورد آنالیز بتن با استفاده از روش اجرایی A یا روش اجرایی B، با توجه به هدف آنالیز، می‌تواند مورد نیاز باشد.

۱۶ روش اجرای آزمون

۱۶-۱ اگر اهداف آنالیز مستلزم تعیین مقادیر نسبت خمیر سیمان به هوا یا ضریب فاصله‌داری یا هردوی آن‌ها باشد، مقدار خمیر سیمان آزمون (p) را با استفاده از پارامترهای طرح اختلاط یا سایر موارد مانند شمارش نقاط به دست آورید.

یادآوری - در صورت تعیین مقدار خمیر سیمان با استفاده از شمارش نقاط، توصیه می‌شود کمینه از ۵۰۰ نقطه برای بررسی استفاده شود. با افزایش تعداد کل نقاط شمارش شده، عدم قطعیت تعیین مقدار خمیر سیمان کاهش می‌یابد.

۲-۱۶ آزمون آماده شده بتنی را بر روی سکوی آزمون قرار دهید. در صورت نیاز سطح آماده شده را تراز کرده و ناحیه تحت بررسی را تعیین کنید و با استفاده از دستگاه تهیه عکس، عکس‌های رقمی از آزمون تهیه کنید.

۳-۱۶ مراحل ضروری پردازش را بر روی تصاویر رقمی از آزمون که شامل لیت کردن، تقسیم‌بندی و تعیین کل طول پیمایش شده (T_t) برحسب میلی‌متر، طول پیموده شده از میان حفره‌های هوا (T_a) برحسب میلی‌متر و تعداد حفره‌های هوایی که در تلاقی با خط پیمایش هستند، (N)، است، انجام دهید.

یادآوری ۱۸ - در هنگام تقسیم‌بندی عکس کارور یک تصویر دودویی از داده‌های تصویر به دست آمده تهیه می‌کند. در اغلب مواقع این فرایند منجر به حذف مشخصه‌هایی کوچک‌تر از یک اندازه مشخص می‌شود. بزرگ‌ترین مشخصه حذف شده در حین انجام فرایند لیت کردن، با توجه به تجهیزات به کار رفته و اهداف آنالیز و بررسی، توسط کارور انتخاب می‌شود.

۱۷ محاسبه

۱-۱۷ داده‌ها شامل موارد زیر خواهد بود:

T_t طول کل پیمایش، برحسب mm؛

T_a طول پیمایش از میان حفره‌های هوا، برحسب mm؛

N تعداد کل حفره‌های هوای متقاطع با خط پیمایش؛

p مقدار خمیر سیمان، در صورت برآورد، برحسب درصد حجم.

۲-۱۷ محاسبات را مطابق توضیحات بند ۱۱ انجام دهید.

۱۸ گزارش

۱-۱۸ اطلاعات زیر را گزارش کنید.

۱-۱-۱۸ روش به کار رفته، روش اجرایی A، روش اجرایی B یا روش اجرایی C.

۲-۱-۱۸ مشخصات منبع آزمون‌ها.

۳-۱-۱۸ محلی که آزمون‌ها برداشته شده‌اند و جهت‌گیری آن‌ها نسبت به منابع.

۴-۱-۱۸ جهت‌گیری و موقعیت سطوح بریده شده از نمونه‌ها برای پیمایش.

۵-۱-۱۸ طول پیمایش، مساحت پیمایش شده و در صورت استفاده از روش شمارش نقطه اصلاح شده، تعداد توقف‌ها.

- ۱۸-۱-۶ مقادیر تعیین شده برای مقدار هوا و در صورت برآورد برای مقدار خمیر سیمان، فراوانی حفره‌ها، سطح ویژه، ضریب فاصله‌داری و نسبت خمیرسیمان به هوا.
- ۱۸-۱-۷ روشی که با آن مقدار خمیر سیمان برآورد شده است،
- ۱۸-۱-۸ بزرگنمایی به کار رفته در حین آنالیز و بررسی.
- ۱۸-۲ در صورت برآورد پارامترهای سامانه حفره هوا در مقاطع نزدیک به سطح، رابطه این پارامترها با عمق از سطح مرجع باید ارائه شود.

۱۹ دقت و اریبی

۱۹-۱ دقت

۱۹-۱-۱ مقدار دقت برای این روش آزمون برای سنجش‌های انجام شده بر روی چهار آزمون پراخت‌زده شده که در یک آزمایشگاه آماده شده و سپس بین نه آزمایشگاه توزیع شده و تعدادی از سنجش‌ها در هر یک از این آزمایشگاه‌ها که اغلب شامل کمینه دو کارور در هر آزمایشگاه بوده و دو یا سه سنجش توسط هر کارور انجام می‌شود، صورت می‌گیرد، در جدول ۴ ارائه شده است. محدوده ویژگی‌هایی که با این چهار سطح آماده شده به کار رفته در این مطالعه تحت پوشش قرار می‌گیرد عبارتند از: برای مقدار هوا، ۲٪ تا ۹٪، برای حفره‌های هوای متقاطع، ۷۹ تا ۵۱۲ حفره در هر متر و میانگین خمیر سیمان در محدوده ۲۰٪ تا ۲۲٪. تغییرپذیری روش آزمون در کارهای عملی واقعی برای آزمون‌های به‌دست آمده و آماده سازی شده از بتن درجا بیشتر خواهد بود چرا که تغییرات بیشتر ناشی از انتخاب آزمون و آماده‌سازی سطح در آزمایشگاه‌های مختلف، منجر به افزایش ضریب تغییرات خواهد شد. جدول ۵ تغییرات واقعی این مطالعه را با برآوردهای تئوریکی مقایسه می‌کند.

جدل ۴- داده‌های دقت میانگین بر مبنای مجموعه‌ای از چهار آزمون آماده شده و توزیع شده از میان نُه آزمایشگاه^A

درصد میانگین		محدوده نتایج دو آزمون ^B (D2s)	انحراف معیار ^B (1s)	آیتم
محدوده نتایج دو آزمون ^C (D2s)	ضریب تغییرات ^C (1s %)			
.....	.....	۰٫۸۲	۰٫۲۹	مقدار هوا % داخل آزمایشگاه
.....	.....	۱٫۱۶	۰٫۴۱	بین آزمایشگاه‌ها
۴٫۱ (۱۰٫۳)	۱٫۵ (۳٫۷)	.....	.....	حفره‌ها در هر سانتی‌متر داخل آزمایشگاه
۱۳٫۸ (۳۵٫۰)	۴٫۸ (۱۲٫۴)	.....	.....	بین آزمایشگاه‌ها
.....	.....	۸٫۸	۳٫۱	مقدار خمیر سیمان، % بین کارورها (هر یک در آزمایشگاه مختص خود)

^a شامل سنجش با هر دو روش شمارش نقاط و پیمایش خطی است. به‌طور کلی ۱۹ کارور با مجموع ۴۱ سنجش بر روی هر آزمون در این مطالعه شرکت کرده‌اند. برای شمارش نقاط: ۶ آزمایشگاه، ۱۲ کارور، و ۲۶ سنجش. برای پیمایش خطی: سه آزمایشگاه، هفت کارور و ۱۵ سنجش. سنجش مقدار خمیر سیمان توسط ۱۳ کارور در هشت آزمایشگاه مختلف انجام شده است. ۱۱ سنجش با روش شمارش نقاط و دو سنجش با روش پیمایش خطی به‌دست آمده است.

^B این اعداد به ترتیب نشان‌دهنده حدود (1s) و (D2s) است که در استاندارد ASTM C670 تشریح شده است.

^C این اعداد به ترتیب نشان‌دهنده حدود (1s %) و (D2s%) است که در استاندارد ASTM C670 تشریح شده است.

جدل ۵- مقایسه تغییرات واقعی با تخمین‌های تئوریک بر مبنای توزیع دوجمله‌ای و توزیع پواسون

شماره آزمون	مقدار میانگین	انحراف معیار		ضریب تغییرات %	
		واقعی ^A	تئوریک ^B	واقعی	تئوریک
مقدار هوا، درصد برحسب شمارش ۱۵۰۰ نقطه					
۱	۲/۹۸	۰/۴۵	۰/۴۴	۱۵/۱	۱۴/۸
۲	۳/۶۵	۰/۴۹	۰/۴۸	۱۳/۴	۱۳/۲
۳	۵/۵۵	۰/۴۰	۰/۵۹	۷/۲	۱۰/۶
۴	۸/۰۲	۰/۶۴	۰/۷۰	۸/۰	۸/۷
حفره‌های هوا در هر اینچ بر مبنای پیمایش ۱۰۰ اینچ					
۱	۲/۳۱	۰/۲۷	۰/۱۵	۱۱/۷	۶/۵
۲	۵/۷۷	۰/۷۸	۰/۲۴	۱۳/۵	۴/۲
۳	۷/۶۹	۰/۸۶	۰/۲۸	۱۱/۲	۳/۶
۴	۱۲/۶۹	۱/۶۳	۰/۳۶	۱۲/۸	۲/۸
<p>^A شامل تمام داده‌ها، تمام آزمایشگاه‌ها و تمام کارورها می‌شود. شامل داده‌های هر دو روش اجرایی شمارش نقاط و پیمایش خطی می‌شود.</p> <p>^B انحراف معیار تئوری: برای مقدار هوا: توزیع دوجمله‌ای، انحراف معیار در نقاط روی حفره هوا \sqrt{npq} با استفاده از شمارش ۱۵۰۰ نقطه مفروض، که n تعداد نقاط، p دهگان بخشی که روی حفره هوا است، و q دهگان بخشی که روی حفره هوا نیست، را نشان می‌دهد. برای تبدیل به واحدهایی از درصد مقدار هوا، بر n تقسیم و در ۱۰۰ ضرب کنید تا مقدار درصد به دست آید. برای حفره‌های هوا در هر اینچ: توزیع پواسون، $S.D. = \sqrt{np}$، که np میانه تعداد رخ داده‌ها را نشان می‌دهد. (شمارش به‌ازای ۲۵۴۰ mm پیمایش بر مبنای نتایج حاصل از پیمایش ۲۵۴۰ mm)</p>					

۱۹-۱-۲ در جدول ۶ تخمین دقت مقدار هوا و ضریب فاصله‌داری حاصل از یک مطالعه، عمدتاً با استفاده از روش‌های مشابه موجود در این روش آزمون ارائه شده است. مقدار قابل توجهی از این سنجش‌ها با استفاده از پیمایش خطی با بزرگنمایی X ۵۰ به دست آمده است. دو آزمون تیر بتنی سخت‌شده با مقدار نامی هوا در حدود ۳٪ و ۶/۵٪ در یک آزمایشگاه تهیه شده است. یک جفت سطح از این تیرها برای هر یک از آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده بریده شده است، یک سطح در آزمایشگاه اصلی پرداخت زده شده و سطح مجاور در آزمایشگاه شرکت‌کننده در آزمون پرداخت زده شده است.

۱۹-۱-۳ تکرارپذیری انحراف معیار روش اجرایی C در جدول ۷ آمده است. تکرارپذیری روش اجرایی C (انحراف معیار بین آزمایشگاهی) تاکنون محاسبه نشده است.

۱۹-۲ اریبی

۱۹-۲-۱ مصالح مرجع پذیرفته شده‌ای برای تعیین مقدار اریبی پارامترهای صحیح حفره‌های هوا در بتن وجود ندارد.

۱۹-۲-۲ با توجه به نتایج مطالعه بین آزمایشگاهی که در زیربند ۱۹-۱-۱ و جدول ۴ به آن ارجاع داده شده است، اریبی بسیار اندکی بین نتایج مقدار میانگین هوا و حفره‌های هوای متقاطع، که برای هر یک از

چهار آزمون برآورد شده است، برای روش اجرایی A و روش اجرایی B وجود دارد. مقادیر میانگین کل در جدول ۸ ارائه شده است. برای مقایسه مشخصه مقدار خمیر سیمان به دست آمده از روش اجرایی A مقادیر برآورد شده بسیار اندکی از آن وجود دارد.

جدل ۶- تخمین دقت میانگین با استفاده از مطالعه که هر دو آزمون آماده شده به همراه آزمون آماده نشده برای تعیین مقدار هوا و ضریب فاصله داری به آزمایشگاه های شرکت کننده در مطالعه ارسال شده است

درصد میانگین		محدوده نتایج دو آزمون ^A (D2S)	انحراف معیار (1s) ^A	آیتم
محدوده نتایج دو آزمون (D2S) ^B	ضریب تغییرات (1s %) ^B			
قطعات در آزمایشگاه مبدا آماده شده و در آزمایشگاه مبدا مورد سنجش قرار گرفته اند.				
.....	.....	۱٫۶۱	۰٫۵۷	مقدار هوا %
۲۲٫۶	۸٫۰	.....	.....	ضریب فاصله داری
قطعات در آزمایشگاه مبدا آماده شده ولی در آزمایشگاه مشارکت کننده در مطالعه مورد سنجش قرار گرفته است				
.....	.....	۲٫۰۱	۰٫۷۱	مقدار هوا %
۵۶٫۹	۲۰٫۱	.....	.....	ضریب فاصله داری
قطعات در آزمایشگاه مشارکت کننده در مطالعه پرداخت زده شده و مورد سنجش قرار گرفته است				
.....	.....	۲٫۰۷	۰٫۷۳	مقدار هوا %
۴۹٫۵	۱۷٫۵	.....	.....	ضریب فاصله داری
^A این اعداد به ترتیب نشان دهنده حدود (1s) و (D2s) است که در استاندارد C670 تشریح شده است.				
^B این اعداد به ترتیب نشان دهنده حدود (1s %) و (D2s%) است که در استاندارد C670 تشریح شده است.				

جدول ۷- قابلیت تکرار انحراف معیار برای روش اجرایی C که با استفاده از دو دستگاه متفاوت انجام شده است

حفره‌های هوا / cm		مقدار هوا %		آزمونه ^D	حفره‌های هوا / cm		مقدار هوا %		آزمونه ^A
دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	دستگاه B ^C	دستگاه A ^B		دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	
۵,۰۶	۴,۶۵	۶,۹۴	۶,۶۶	آنالیز ۱	۲,۷۸	۲,۸۸	۴,۶۵	۴,۹۰	آنالیز ۱
۵,۱۲	۴,۷۲	۶,۹۴	۶,۷۵	آنالیز ۲	۲,۶۵	۲,۹۰	۴,۵۲	۴,۹۸	آنالیز ۲
۵,۰۸	۴,۶۹	۶,۹۵	۶,۷۰	آنالیز ۳	۲,۶۴	۲,۸۰	۴,۵۳	۴,۸۱	آنالیز ۳
۴,۹۱	۴,۷۲	۶,۸۶	۶,۸۱	آنالیز ۴	۲,۶۷	۲,۷۷	۴,۵۳	۴,۸۵	آنالیز ۴
۴,۹۲	۴,۶۶	۶,۸۸	۶,۷۸	آنالیز ۵	۲,۶۵	۲,۷۳	۴,۵۲	۴,۷	آنالیز ۵
۵,۰۲	۴,۶۹	۶,۹۱	۶,۷۴	میانگین (n=5)	۲,۶۸	۲,۸۲	۴,۵۵	۴,۸۵	میانگین (n=5)
۰,۱۰	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۶	انحراف معیار	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۹	انحراف معیار
۱,۹ %	۰,۷ %	۰,۶ %	۰,۹ %	C از V	۲,۲ %	۲,۶ %	۱,۲ %	۱,۹ %	C از V
حفره‌های هوا / cm		مقدار هوا %		آزمونه ^d	حفره‌های هوا / cm		مقدار هوا %		آزمونه ^a
دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	دستگاه B ^C	دستگاه A ^B		دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	دستگاه B ^C	دستگاه A ^B	
۲۹,۲	۲۷,۹	۰,۱۴۷	۰,۱۵۷	آنالیز ۱	۲۳,۹	۲۳,۵	۰,۲۱۶	۰,۲۱۵	آنالیز ۱
۲۹,۵	۲۷,۹	۰,۱۴۵	۰,۱۵۶	آنالیز ۲	۲۳,۴	۲۳,۳	۰,۲۱۶	۰,۲۱۵	آنالیز ۲
۲۹,۲	۲۸,۰	۰,۱۴۷	۰,۱۵۶	آنالیز ۳	۲۳,۳	۲۳,۳	۰,۲۲۶	۰,۲۱۹	آنالیز ۳
۲۸,۶	۲۷,۷	۰,۱۵۲	۰,۱۵۷	آنالیز ۴	۲۳,۶	۲۲,۹	۰,۲۲۱	۰,۲۲۲	آنالیز ۴
۲۸,۶	۲۷,۵	۰,۱۵۰	۰,۱۵۹	آنالیز ۵	۲۳,۴	۲۳,۰	۰,۲۲۴	۰,۲۲۳	آنالیز ۵
۲۹,۰	۲۷,۸	۰,۱۴۸	۰,۱۵۷	میانگین (n=5)	۲۳,۵	۲۳,۲	۰,۲۲۱	۰,۲۱۹	میانگین (n=5)
۰,۳۹	۰,۲۲	۰,۰۰۳	۰,۰۰۱	انحراف معیار	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۰۰۵	۰,۰۰۴	انحراف معیار
۱,۴ %	۰,۸ %	۱,۹ %	۰,۸ %	C از V	۱,۱ %	۱,۱ %	۲,۱ %	۱,۷ %	C از V

^A بتن‌های مشابه با هر دو دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در طرح اختلاط نامی بتن، مقدار سیمان ۲۲۲kg، مقدار ۵۵/۵kg خاکستر کوره از نوع C، ۸۳۳kg سنگدانه درشت (سنگ آهنگ دولومیتی با ۰,۷ جذب آب)، ۵۴۲/۵kg سنگدانه ریزدانه (ماسه طبیعی با ۰,۵ جذب آب)، $w/c = 0.45$ ، مقدار خمیر سیمان ۲۹,۷٪، کولوفون چوب عنصر ایجادکننده هوا و مقدار هوای هدف ۵٪ است. با استفاده از هر یک دستگاه‌ها، هر آزمونه به صورت مکرر پنج بار مورد بررسی و آنالیز قرار می‌گیرد. پس از هر آنالیز، آزمونه از دستگاه برداشته می‌شود و سپس برای بررسی و آنالیز بعدی در دستگاه جایگزین می‌شود.

^B مشخصات دستگاه مطابق مشخصات تشریح شده برای روش اجرایی C است. دستگاه آزمونه در شکل ۶-الف نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در دانشگاه تورنتو واقع در تورنتو، آنتاریو، کانادا و توسط یک کارور انجام شده است.

^C مشخصات دستگاه مطابق مشخصات تشریح شده برای روش اجرایی C است. دستگاه آزمونه در شکل ۶-ب نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در دانشگاه ایالتی اوکلاهوما واقع در تورنتو، استیل واتر، اکلاهوما، ایالات متحده آمریکا توسط یک کارور انجام شده است.

^D بتن‌های مشابه با هر دو دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در طرح اختلاط نامی بتن، مقدار سیمان ۲۲۲kg، مقدار ۵۵/۵kg خاکستر کوره از نوع C، ۸۳۳kg سنگدانه درشت (سنگ آهنگ دولومیتی با ۰,۷ جذب آب)، ۵۴۲/۵kg سنگدانه ریزدانه (ماسه طبیعی با ۰,۵ جذب آب)، $w/c = 0.45$ ، مقدار خمیر سیمان ۲۹,۷٪، کولوفون چوب عنصر ایجادکننده هوا و مقدار هوای هدف ۷٪ است. با استفاده از هر یک دستگاه‌ها، هر آزمونه به صورت مکرر پنج بار مورد بررسی و آنالیز قرار می‌گیرد. پس از هر آنالیز، آزمونه از دستگاه برداشته می‌شود و سپس برای بررسی و آنالیز بعدی در دستگاه جایگزین می‌شود.

جدول ۸- مقایسه کل داده‌های میانگین در مجموعه چهار آزمون آماده شده که بین آزمایشگاه‌ها و کارورهای مختلف توزیع شده است

حفره‌های هوا cm^{-1}		مقدار هوا %		آزمونه
پیمایش خطی ^B	شمارش نقطه ^A	پیمایش خطی ^B	شمارش نقطه ^A	
۰٫۹۲	۰٫۸۸	۲٫۹۱	۳٫۰۰	شماره ۱
۲٫۱۲	۲٫۲۴	۳٫۵۹	۳٫۷۰	شماره ۲
۲٫۹۳	۲٫۹۳	۵٫۴۶	۵٫۶۶	شماره ۳
۴٫۷۹	۴٫۸۹	۷٫۹۷	۸٫۲۰	شماره ۴

^A روش شمارش نقاط اصلاح شده، شش آزمایشگاه، ۱۲ کارور، و ۲۶ برآورد.

^B روش پیمایش خطی: سه آزمایشگاه، هفت کارور، و ۱۵ برآورد.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

تفسیر نتایج

الف-۱ پاسخ به این سوال که آیا پارامترهای برآوردشده سامانه حفره‌های هوا برای تامین حفاظت در شرایط یخزدگی‌ها و انجماد دوره‌ای اشباع قابل قبول است یا نه باید توسط تصریح‌کننده ارائه شود و یا با استفاده از آزمون یخزدگی و یخ‌گشایی واقعی (یعنی، روش آزمون استاندارد C666/C666M، روش آزمون استاندارد C672/C672M، نتایج برجا) تعیین گردد. در ادامه این متن اطلاعات مفیدی از پارامترهای سامانه حفره هوا برای بتن مقاوم در برابر یخزدگی و انجماد ارائه شده و دستورالعمل‌ها و مشخصات فنی سایر نهادهای ذریعته مربوط تشریح شده است.

الف-۲ برای بتن هوا دار که براساس آئین‌نامه‌های ACI 201.2R و ACI 211.1 طراحی شده است، نسبت خمیر سیمان به هوا (p/A) معمولاً در محدوده ۴ تا ۱۰، سطح ویژه (α) اغلب در محدوده 25 mm^{-1} تا 45 mm و ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) اغلب در محدوده 0.1 mm تا 0.2 mm قرار دارد.

الف-۳ از پارامترهایی که با استفاده از این روش برآورد شده‌اند، ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) اغلب به‌عنوان مهمترین شاخص تاب‌آوری محیط خمیر سیمان در بتنی است که در معرض انجماد و یخزدگی قرار می‌گیرد. بیشینه مقدار ضریب فاصله‌داری برای بتن در معرض شرایط معتدل، معمولاً 0.20 mm در نظر گرفته می‌شود. برای شرایط ملایم مقادیر بزرگ‌تر و برای شرایط شدید، به‌ویژه چنانچه بتن در تماس با موادشیمیایی ضد یخ قرار داشته باشد، مقادیر نسبتاً کوچک‌تر کفایت می‌کند. در تعیین مقادیر ضریب فاصله‌داری باید دقت شود چرا که اگر اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه‌های مختلف انجام شود، انحراف معیار آن مشخصه به یک‌پنجم مقدار میانگین می‌رسد. بنابراین اختلاف قابل توجه در ضریب فاصله‌داری تنها می‌تواند از نمونه‌برداری و تغییرات بین آزمایشگاه‌های مختلف ایجاد شود. عوامل تاثیرگذار بر تغییرپذیری روش آزمون در بخش دقت و اریبی تشریح می‌شود.

الف-۴ مقدار هوا و پارامترهای سامانه حفره‌های هوا در بتن سخت‌شده در اصل به نوع و میزان عنصر هواساز به‌کار رفته، میزان متراکم‌سازی بتن و نسبت آب به سیمان آن بستگی دارد. با افزایش نسبت آب به سیمان یا مقدار خمیر سیمان، اگر سایر شرایط بدون تغییر باقی بمانند، مقادیر سطح مخصوص (α) و فراوانی حفره‌ها (n) به سرعت کاهش می‌یابد. مقادیر رضایت بخش برای سطح مخصوص (α) و ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) مستلزم این است که فراوانی حفره‌های تقریباً بزرگ‌تر از $300/m$ باشد. با فرض عدم افزایش ضریب فاصله‌داری (\bar{L})، افزایش نسبت آب به سیمان یا مقدار خمیر سیمان باید با افزایش مقدار هوا همراه باشد. چنانچه بتن از همان ابتدا به میزان کافی هوادار باشد، مقدار هوا را می‌توان با لرزش طولانی‌تر، بدون

افزایش قابل توجه در میزان ضریب فاصله‌داری (\bar{L})، به میزان قابل توجهی کاهش داد. با این وجود بدلیل خطرات آب انداختن و جداسازی استفاده از ویبره طولانی در عملیات برجا توصیه نمی‌شود.

الف-۵ فراوانی حفره‌های هوا (n) یک پارامتر بسیار مهم در تعیین مقدار سطح ویژه (α) و ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) است. بنابراین در استفاده از روش میکروسکوپی برای مشاهده و ثبت تمام مقاطع حفره‌های هوای متقاطع با خط پیمایش باید دقت مضاعف شود. تشخیص مقاطع حفره‌های هوا با ابعاد کوچک، برای مثال، $10 \mu m$ برای تضمین برآورد صحیح این پارامترها بسیار ضروری است. به همین دلیل، در آماده‌سازی مقاطع بسیار هموار و مسطح، باید بسیار دقت شود و میزان بزرگنمایی به کار رفته بهتر است کمتر از $50 \times$ نبوده و نقطه شاخص در کانون (یا دیگر ابزار رتیکال) نسبت به مساحت و محیط مقطع حفره هوا، باید به وضوح قابل مشاهده باشد.

الف-۶ به شرط این که مقدار سطح مخصوص (α) یا فراوانی حفره‌های هوا به اندازه کافی بزرگ باشد، مقدار مناسب ضریب فاصله‌داری (\bar{L}) را حتی زمانی که مقدار هوا کم است، نیز می‌توان به دست آورد. با این وجود، برای دستیابی به سامانه حفره‌هایی که دارای ظرفیت حجمی و پارامترهای هندسی لازم برای حفاظت از خمیر سیمان عمل‌آوری شده اشباع، در صورت قرارگیری در معرض یخزدگی و انجماد است، تهیه بتن با مقدار هوای بالا (A) و ضریب فاصله‌داری به حد کافی کم (\bar{L})، برای تامین حفاظت، بسیار حائز اهمیت است.

الف-۷ برای بتن به شدت اشباع‌شده که در معرض یخزدگی و انجماد قرار دارد، قبل از قرارگیری در معرض یخزدگی، علاوه بر تضمین مقدار هوای کافی، باید به کمینه مقاومت فشاری رسیده باشد تا امکان حفاظت مناسب بتن وجود داشته باشد. کمینه مقدار این مقاومت فشاری باید برابر 28 MPa باشد.