INSO
17724
1st.Edition
2014

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

استاندارد ملی ایران
۱۷۷۲۴
چاپ اول
۱۳۹۳

# سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده- روش آزمون

# Petrographic examination of 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 حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران 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 می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول 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 می تواند 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 سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این 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
## «سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده- روش آزمون»

| **رئیس:** | **سمت و/ یا نمایندگی** |
| --- | --- |
| ارشد، بهمن<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی |
| **دبیر:** | |
| مشاور، عاطف<br>(کارشناس مهندسی عمران) | شرکت تکین ساز آزما |
| **اعضاء**: (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| امیری، احمد<br>(کارشناس مهندسی عمران) | شرکت بنیاد بتن آذرآبادگان |
| بهکام، علیرضا<br>(کارشناس مهندسی عمران) | شرکت معیارگستر صدر |
| پوربابا، مسعود<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه |
| تقی زادیه، نادر<br>(کارشناس ارشد زمین شناسی) | آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی |
| حیدرپور، هادی<br>(کارشناس مهندسی عمران) | کارشناس |
| روا، افشین<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی |
| زیرک کار، سهراب<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | سازمان عمران شهرداری تبریز |

| | |
|---|---|
| سامانی، ایوب<br>(کارشناس مهندسی عمران) | شرکت مهندسین مشاور خاک آب تحلیل |
| ظهوری، رضا<br>(کارشناس مهندسی عمران) | بتن آماده لطفی |
| عدالتی، حسین<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | مجتمع تولیدی امامیه سپاه |
| فرشی حق رو، ساسان<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی |
| مشک آبادی، کامبیز<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر |
| موسایی، اصغر<br>(کارشناس معماری) | آزمایشگاه عمران سنجش میزان |
| موسوی، محمد<br>(کارشناس مهندسی عمران) | آزمایشگاه جهاد تحقیقات سهند |
| مهدیزاده، کامران<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | سازمان نظام مهندسی ساختمان<br>استان آذربایجان شرقی |
| ولیزاده، وحید<br>(کارشناس ارشد مهندسی عمران) | اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی |

## فهرست مندرجات


| عنوان | | صفحه |
|---|---|---|
| آشنایی با سازمان ملی استاندارد | | ب |
| کمیسیون فنی تدوین استاندارد | | ج |
| پیش گفتار | | و |
| ۱ | هدف و دامنه کاربرد | ۱ |
| ۲ | مراجع الزامی | ۱ |
| ۳ | اصطلاحات و تعاریف | ۲ |
| ۴ | ارزیابی صلاحیت سنگ‌نگاران و بهره‌گیری از کارشناسان فنی | ۲ |
| ۵ | اهداف آزمون | ۳ |
| ۶ | وسایل آزمون | ۶ |
| ۷ | انتخاب و استفاده از وسایل آزمون | ۸ |
| ۸ | آزمونه‌ها | ۹ |
| ۹ | بررسی نمونه‌ها | ۱۱ |
| ۱۰ | آماده‌سازی نمونه | ۲۳ |
| ۱۱ | بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی | ۲۵ |
| ۱۲ | بررسی با استفاده از میکروسکوپ سنگ‌نگاری | ۲۸ |
| ۱۳ | ویژگی‌های خمیر سیمان | ۳۰ |
| ۱۴ | گزارش آزمون | ۳۱ |
| پیوست الف (الزامی) تکنیکی برای آشکارسازی ژل قلیایی-سیلیسی، در معرض تایید با روش‌های دیگر | | ۳۲ |
| پیوشت ب (اطلاعاتی) کتابنامه | | ۳۷ |

## پیش گفتار

استاندارد «سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده-روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت تکین ساز آزما تهیه و تدوین شده است و در پانصد و پنجمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده های ساختمانی مورخ ۹۳/۲/۴ 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 پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ASTM C856**:**2013, Petrographic examination of hardened concrete– Test method

# سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده- روش آزمون

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

**۱-۱** هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش آزمون سنگ‌نگاری[1] نمونه‌های سخت‌شده بتن است. نمونه‌های مورد آزمون ممکن است از سازه‌های بتنی برداشته شوند، یا از محصولات بتنی یا بخشی از آن باشند، و یا از نمونه‌های بتن یا ملاتی باشند که که در معرض شرایط محیطی طبیعی، شرایط بهره‌برداری شبیه‌سازی شده و یا آزمون‌های آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند. عبارت «سازه‌های بتنی» تمامی انواع اشیاء، واحدها یا سازه‌های ساخته شده از بتن با سیمان هیدرولیکی را در بر می‌گیرد.

**۱-۲** روش‌های سنگ‌نگاری اشاره‌شده در این استاندارد، برای آزمون نمونه‌های سخت‌شده انواع مخلوط‌های سیمان هیدرولیکی شامل بتن، ملات، دوغاب، اندود سیمانی، اندود گچ و سیمان، موزاییک سیمانی و مانند آن‌ها کاربرد دارد. در این استاندارد، مصالح تحت بررسی به عنوان «بتن» در نظر گرفته شده است، که برای سایر مخلوط‌ها نیز همین عنوان به کار رفته است، مگر این که صریحاً به آن اشاره شود.

**۱-۳** پیوست الف، یک روش اورانیل استات برای شناسایی مکان‌هایی که ممکن است دارای ژل قلیایی-سیلیسی باشند را طرح می‌کند. ضروری است، که عناصر موجود در آن مکان‌ها با استفاده از تکنیک‌های معین نظیر سنگ‌نگاری ذره‌بینی شناسایی شود.

**هشدار**- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است. یک بیانیه هشدار، مشخصاً در در بند ۶-۲-۱۰-۱ داده شده است.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

**۲-۱** استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۷۹۰، سیمان هیدرولیکی-تعیین پتانسیل انبساط ملات‌های سیمان پرتلند در معرض سولفات -روش آزمون

---

1- Petrographic

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

**2-3** ASTM C215, Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens

**2-4** ASTM C227, Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)

**2-5** ASTM C342, Test Method for Potential Volume Change of Cement-Aggregate Combinations

**2-6** ASTM C441, Test Method for Effectiveness of Pozzolans or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction

**2-7** ASTM C457, Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete

**2-8** ASTM C496/C496M, Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens

**2-9** ASTM C597, Test Method for Pulse Velocity Through Concrete

**2-10** ASTM C803/C803M, Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete

**2-11** ASTM C805, Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete

**2-12** ASTM C823, Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions

**2-13** ASTM C1012, Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

**2-14** ASTM C1260, Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

**2-15** ASTM E3, Guide for Preparation of Metallographic Specimens

**2-16** ASTM E883, Guide for Reflected–Light Photomicrography

**2-17** ASTM Adjunct C856 (ADJCO856), A chart of 27 photos

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ASTM C125، به‌کار می‌رود.

## ۴ ارزیابی صلاحیت سنگ‌نگاران و بهره‌گیری از کارشناسان فنی

**۴-۱** تمامی آزمون‌های سنگ‌نگاری اشاره‌شده در این استاندارد، باید با هدایت فنی یک سنگ‌نگار ناظر تمام وقت با حداقل ۵ سال تجربه در آزمون‌های سنگ‌نگاری بتن و مصالح بتنی، انجام شود. سنگ‌نگار ناظر بتن باید دوره‌های دانشگاهی شامل سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و کانی‌شناسی نوری را گذرانده باشد و یا دارای ۵ سال تجربه مرتبط مستند باشد، همچنین تجربه کاربرد آن‌ها در ارزیابی‌های مصالح و محصولات بتنی و موادسیمانی را داشته باشد. خلاصه‌ای از سوابق حرفه‌ای و صلاحیت‌های تمامی سنگ‌نگاران بتن باید در دسترس باشد.

**۴-۲** یک سنگ‌نگار بتن باید در موارد زیر صاحب‌نظر باشد: مصالح بتن؛ فرآیندهای توزین، اختلاط، حمل و پرداخت بتن حاوی سیمان هیدرولیکی؛ ترکیب و ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان؛ فعل و انفعال ترکیبات بتن؛ و اثرات قرارگیری بتن در معرض شرایط بهره‌برداری مختلف.

**۴-۳** آماده‌سازی نمونه و جنبه‌هایی از آزمون سنگ‌نگاری نظیر اندازه‌گیری ابعاد نمونه، سنگ‌نگاری نمونه‌های دریافت شده و رنگ‌دهی سطوح نمونه که مستلزم آموزش و مهارت‌های اشاره شده در بند ۴-۱ نیست، باید توسط سنگ‌نگاران بتن یا کارشناسان آموزش‌دیده با پیروی از دستورالعمل‌ها و تحت راهنمایی یک سنگ‌نگار بتن دارای صلاحیت انجام شود. تحلیل و تفسیر ویژگی‌های مرتبط با بررسی و ارزیابی عملکرد مصالح ارائه شده توسط نمونه، منحصراً باید توسط سنگ‌نگاران بتن که دارای صلاحیت‌های ذکر شده در بند ۴-۱ هستند، انجام شود.

**۴-۴** یک سنگ‌نگار بتن باید برای ارائه یک بیانیه شفاهی، گزارش کتبی، یا هر دو آماده باشد که تشریح مشاهدات و بررسی‌های انجام شده در طول آزمون‌های سنگ‌نگاری و تفسیر یافته‌ها به‌طوری که نگرانی‌های فرد یا نهاد سفارش‌دهنده آزمون را تشریح کند، را در برگیرد. اطلاعات تکمیلی ارائه شده به سنگ‌نگار در مورد بتن، مصالح بتنی، شرایط بهره‌برداری یا دیگر ویژگی‌های سازه‌بتنی ممکن است در تفسیر داده‌های به دست‌آمده طی آزمون‌های سنگ‌نگاری، مفید باشد.

**۴-۵** این استاندارد می‌تواند مبنای تنظیم مقررات، میان متقاضی خدمات مشاوره‌ای و سنگ‌نگار مشاور باشد. در چنین مواردی، متقاضی خدمات مشاوره‌ای و سنگ‌نگار مشاور باید نوع، اندازه و اهداف آزمون‌ها و تحلیل‌های انجام شده را تعیین کنند، و می‌توانند توافقشان را به شکل مکتوب درآورند. در این توافق ممکن است انجام تصمیمات مشخص، گزارش مشاهدات، هزینه‌های تعهدشده یا ترکیبی از این موارد و یا شرایط دیگر قید شود.

## ۵ اهداف آزمون

**۵-۱** مثال‌هایی از اهداف آزمون سنگ‌نگاری بتن در بندهای ۵-۲ تا ۵-۵ ارائه شده است. در موارد خاص، ممکن است احتمال مفید بودن آزمون سنگ‌نگاری با مشورت با یک سنگ‌نگار خبره در مورد اهداف پیشنهادی یا جاری بررسی، تعیین شود.

### ۵-۲ بتن گرفته شده از سازه‌ها

**۵-۲-۱** تعیین جزئیات وضعیت بتن در یک سازه

۵-**۲-۲** تعیین دلایل کیفیت پایین، عیوب یا فرسودگی بتن در یک سازه

**۵-۲-۳** تعیین عملکرد احتمالی بتن در آینده

**۵-۲-۴** تعیین این‌که بتن سازه مطابق با موارد مشخص شده است یا نه. در این حالت، ممکن است آزمون‌های دیگری در ارتباط با آزمون سنگ‌نگاری لازم باشد.

**۵-۲-۵** تشریح ملات سیمان شامل تعیین کمی انواع مواد چسباننده هیدرولیکی به کار رفته، درجه هیدراتاسیون، درجه کربوناتاسیون (در صورت وجود)، علت ناسالمی سیمان، وجود مواد سیمانی کمکی، ماهیت فرآورده‌های هیدراتاسیون، کفایت عمل‌آوری و نسبت آب به سیمان بالای ملات.

**۵-۲-۶** تعیین واکنش‌های قلیایی-سیلیسی یا قلیایی-کربناتی یا واکنش‌های سیمان- سنگدانه یا واکنش‌هایی که میان آلاینده‌ها و ملات رخ می‌دهد و تعیین اثرات آن‌ها بر بتن.

**۵-۲-۷** تعیین این‌که آیا بتن در معرض یا تحت تأثیر حمله سولفات‌ها یا دیگر مواد شیمیایی یا یخزدگی اولیه یا سایر اثرات مضر یخزدن و آب‌شدن قرار گرفته است یا نه.

**۵-۲-۸** بخشی از یک مطالعه در مورد ایمنی یک سازه برای کاربری حال حاضر و یا پیشنهادی.

**۵-۲-۹** تعیین این‌که بتن قرار گرفته در معرض آتش، بدون آسیب یا با آسیب جزئی و یا با آسیب قابل توجه است.

**۵-۲-۱۰** بررسی عملکرد سنگدانه ریز و درشت در سازه یا تعیین ترکیب مصالح دانه‌ای جهت مقایسه با مصالح تهیه شده از منابع تاییدشده یا مشخص.

**۵-۲-۱۱** تعیین عواملی که سبب می‌شوند یک بتن خاص در محیطی که قرار گرفته است، به طور رضایتبخش قابل بهره‌برداری باشد.

**۵-۲-۱۲** تعیین وجود و ماهیت رفتارهای سطحی نظیر رفتارهای ارتعاشی خشک روی کف‌های بتنی.

**۵-۳** آزمونه‌های گرفته شده از بتن یا ملات در شرایط بهره‌برداری واقعی یا شبیه‌سازی‌شده ممکن است برای اغلب موارد ذکر شده در بند ۵-۲ مورد آزمون قرار گیرد.

### ۵-۴ محصولات بتنی

**۵-۴-۱** آزمون سنگ‌نگاری می‌تواند در بررسی انواع محصولات بتنی از قبیل قطعات بنایی، قطعات سازه‌ای پیش‌ساخته، شمع، لوله و واحدهای ساختمانی به کار رود. محصولات یا نمونه‌های در معرض آزمون ممکن است از تولید جاری یا از عناصر سازه‌ای در شرایط بهره‌برداری، یا از عناصری که در شرایط بهره‌برداری واقعی یا شبیه‌سازی‌شده مورد آزمون واقع شده است، گرفته شوند.

**۵-۴-۲** تعیین ویژگی‌هایی نظیر مواردی که در بند ۵-۲ ذکر شد.

**۵-۴-۳** تعیین اثرات فرآیندهای ساخت و متغیرهایی نظیر فرآیندهای اختلاط، قالب‌گیری، بازکردن قالب، تحکیم، عمل‌آوری و جابجایی.

**۵-۴-۴** تعیین اثرات استفاده از مصالح مختلف در ساخت بتن، فرآیندهای قالب‌گیری و شکل‌دهی، انواع و مقادیر آرماتورگذاری، فولادگذاری و غیره.

### ۵-۵ نمونه‌های آزمایشگاهی

اهداف آزمون سنگ‌نگاری نمونه‌های آزمایشگاهی بتن، ملات یا خمیر سیمان در کل برای بررسی اثرات آزمون بر نمونه یا یک یا چند مورد از مواد تشکیل‌دهنده است، که نمونه‌هایی از اثرات یک فرآیند و شواهد عینی از نمونه‌های واکنش مصالح شناخته شده در خمیر سیمان یا ملات یا بتن، نسبت‌ها، سن و پیشینه ارائه می‌کند.

اهداف تعیین شده موارد زیر را در بر می‌گیرد:

**۵-۵-۱** برای تعیین این‌که واکنش قلیایی-سیلیسی رخ داده است یا نه، کدام مصالح دانه‌ای تحت تأثیر واقع شده، چه شواهدی از واکنش وجود دارد و اثرات واکنش بر بتن چیست. روش ذکر شده در پیوست الف برای شناسایی مکان‌هایی که ممکن است دارای ژل قلیایی-سیلیسی باشند، مفید است.

**۵-۵-۲** برای تعیین این‌که یک یا چند واکنش قلیایی-کربناتی رخ داده است یا نه، کدام مصالح دانه‌ای تحت تأثیر واقع شده، چه شواهدی از واکنش(ها) وجود دارد و اثرات واکنش بر ویژگی‌های بتن چیست.

**۵-۵-۳** برای تعیین سایر واکنش‌های رخ داده بین مصالح دانه‌ای و سیمان. علاوه بر واکنش‌های قلیایی-سیلیسی و قلیایی-کربناتی، این واکنش‌ها شامل هیدراتاسیون سولفات‌های غیرهیدراته، هیدراتاسیون مجدد ژئولیت‌ها، ماده خیس‌کننده رس‌ها و واکنش‌های حلالیت، اکسیداسیون، سولفات‌ها و سولفیدها نیز می‌شود (به مراجع [۱]، [۱۶] و [۱۷] کتابنامه مراجعه شود).

**۵-۵-۴** برای تعیین این‌که یکی از مصالح دانه‌ای به کار رفته در آزمون توسط یک ماده واکنش‌پذیر آلوده شده است یا نه، در زمانی که مصالح دانه‌ای واکنش‌پذیر نباشند.

**۵-۵-۵** برای تعیین اثرات آزمون یخ‌زدن و آب‌شدن یا سایر ویژگی‌های ظاهری فیزیکی یا مکانیکی بتن بر مصالح دانه‌ای و ملات.

**۵-۵-۶** برای تعیین اندازه واکنش، ماهیت فرآورده‌های واکنش و اثرات واکنش ایجاد شده در محیط خورنده شیمیایی از قبیل مواردی که در استاندارد ASTM C452 یا ASTM C1012 ذکر شده است.

**۵-۵-۷** برای تعیین ویژگی‌های بتن عمل‌آوری شده با رطوبت که در معرض حمله شیمیایی یا واکنش میان مصالح دانه‌ای و سیمان یا یخ‌زدن و آب‌شدن قرار نگرفته است.

**۵-۵-۸** یک سنگ‌نگار با مقایسه نمونه‌های آزمایشگاهی مناسب، ممکن است بتواند وجود یک واکنش خاص در بتن را اثبات کند یا تعیین کند که واکنش قابل تشخیص نمی‌باشد.

## ۶ وسایل آزمون

**۶-۱** دستگاه‌ها و منابع به کار گرفته‌شده در انجام آزمون سنگ‌نگاری بتن سخت‌شده، به فرآیندهای موردنیاز بستگی دارد. تجهیزاتی که معمولاً استفاده می‌شود، در زیر ارائه شده است. تجهیزات موردنیاز برای انجام آزمون‌ها در پیوست الف آمده است. تجهیزات موردنیاز برای نمونه‌گیری در محل داده نشده است. سایر تجهیزات مفید را می‌توان اضافه نمود.

### ۶-۲ برای آماده‌سازی نمونه

**۶-۲-۱** اره الماسی– اره صفحه‌ای با پیشبری خودکار و تیغه‌ای که به حد کافی بزرگ باشد تا ۱۷۵ mm را در یک بار عبور اره برش دهد.

**۶-۲-۲** روغن برشکاری، برای اره الماسی.

**۶-۲-۳** چرخ(های) پوششی افقی، از فولاد، چدن یا سایر پوشش‌های فلزی با قطر ترجیحی حداقل ۴۰۰mm، که برای سایش یک ناحیه به ابعاد حداقل ۱۰۰mm در ۱۵۲ mm کافی باشد.

**۶-۲-۴** دستگاه ساینده مستقل، با استفاده از مواد ساینده و روان‌کننده، با نگاه‌دارنده‌های چرخ‌دار نمونه بر روی میز دوار. این نوع از دستگاه ساینده، سرعت آماده‌سازی صاف سطوح سایشی را به طور زیادی افزایش می‌دهد.

**۶-۲-۵** چرخ پرداخت، با حداقل قطر ۲۰۰mm و ترجیحاً دو سرعته یا یک پرداخت‌کار ارتعاشی.

**۶-۲-۶** اجاق برقی یا گرمخانه، کنترل شده از نظر حرارتی، تا خشکاندن و اشباع کردن نمونه‌ها با رزین یا موم برای آماده‌سازی مقاطع نازک، سطوح سایشی و مقاطع پرداخت‌شده را امکان‌پذیر سازد.

**۶-۲-۷** کلنگ معدن‌کاوی یا چکش آجرچینی یا هر دو.

**۶-۲-۸** ساینده‌ها– سمباده‌های کاربیدی سیلیکونی، شماره‌های ۱۰۰(۱۵۰μm)، ۲۲۰ (۶۳μm)، ۳۲۰ (۳۱ μm)، ۶۰۰ (۱۶ μm)، ۸۰۰ (۱۲ μm)؛ و در صورت لزوم ، پودرهای پرداخت نوری مانند M-۳۰۳، M-۲۰۴، M-۳۰۹.

**۶-۲-۹** چهارگوش‌های شیشه لوحی، با اضلاع ۳۰۰mm تا ۴۵۰mm و با حداقل ضخامت ۱۰mm برای پرداخت دستی نمونه‌ها.

**۶-۲-۱۰** وسیله (های) مناسب جهت اشباع بتن و ثابت نمودن مقاطع نازک به اضافه حلال مناسب. که به این منظور بلسان کانادایی[1]، سیمان لکساید۷۰[2] و ترکیبات اپوکسی انعطاف‌پذیر به کار می‌روند.

1- Canada balsam
2- Lakeside 70 cement

**۶-۲-۱۰-۱ هشدار**– اپوکسی‌های انعطاف‌پذیر، پیوندهای قوی تشکیل می‌دهند و در عین حال، نسبت به بلسان کانادایی یا سیمان لکساید۷۰، شاخص‌های انکسار بالایی دارند و سمی می‌باشند. اجازه ندهید تا با پوست تماس داشته باشد؛ باید از دستکش‌های پلاستیکی استفاده شود و کار باید زیر هود انجام گیرد، به طوری که از استنشاق بخارات جلوگیری شود.

**۶-۲-۱۱** اسلایدهای میکروسکوپ– باید شفاف، ضد زنگ، شیشه‌ای با عرض تقریبی mm ۲۴ و حداقل طول mm ۴۵ باشد. برای تناسب با برخی مقاطع نازک دستگاه‌ها ممکن است تعیین ضخامت آن ضروری باشد.

**۶-۲-۱۲** عینک‌های ایمنی، ضد زنگ و ترجیحاً با شماره ضخامت ۱ (۰٫۱۸ mm).

### ۶-۳ برای آزمون نمونه

**۶-۳-۱** استریومیکروسکوپ، با بزرگنمایی ۷ تا ۷۰ برابری یا بیشتر.

**۶-۳-۲** نگهدارنده‌ها– نگهدارنده‌های چرخ‌دار کوچک با سرهای تخت و خمیده برای نگهداشتن مقطعی از نمونه به منظور تنظیم دستی نمونه‌های بتن در زیر استریومیکروسکوپ.

**۶-۳-۳** میکروسکوپ سنگ‌نگاری یا میکروسکوپ پولاریزه، برای بررسی‌های نور عبوری، با پایه مکانیکی؛ با قدرت بزرگنمایی کم، متوسط و زیاد مانند ۳٫۵ برابر، ۱۰ برابر و ۲۰ تا ۲۵ برابر و یا ۴۳ تا ۵۰ برابر با روزنه عددی ۰٫۸۵ یا بیشتر؛ عدسی‌های تنظیم شده با تصحیحات و بزرگنمایی‌های مناسب، برای استفاده در هر یک از عدسی‌های شیئی؛ میکرومتر عدسی؛ کندانسور قابل تنظیم برای تطبیق روزنه عددی عدسی شیئی با بزرگترین روزنه عددی مورد استفاده؛ متعادل‌کننده‌های تمام موج و یک چهارم موج، گوه کوارتز و سایر لوازم جانبی.

**۶-۳-۴** میکروسکوپ فلزنگاری، با روشن‌کننده عمودی و پایه مکانیکی، با قدرت بزرگنمایی کم، متوسط و زیاد و عدسی‌های مناسب که بزرگنمایی‌هایی در حدود ۲۵ تا ۵۰۰ برابر را فراهم کند. نور قطبیده انعکاسی باید در دسترس بوده و متعادل‌کننده‌های مناسب فراهم شوند. برای بررسی فلزنگاری، برخی از میکروسکوپ‌های پولاریزه را می‌توان با لوازم جانبی تجهیز کرد، در صورتی که با بالا بردن لامپ یا پایین آوردن پایه، بتوان فاصله آزاد کافی برای روشن‌کننده عمودی و نمونه‌های ضخیم‌تر به کار رفته، ایجاد کرد.

**۶-۳-۵** میکرومتر عدسی– میکرومترهای عدسی که با استفاده از میکرومتر پایه‌ای واسنجی می‌شوند، برای اندازه‌گیری ذرات سنگدانه، ذرات سیمان، هیدروکسید کلسیم و سایر بلورها و عرض ترک‌ها مفید می‌باشند.

**۶-۳-۶** میکرومتر پایه‌ای، برای واسنجی میکرومترهای عدسی.

**۶-۳-۷** لامپ‌های میکروسکوپ– بسیاری از میکروسکوپ‌های پولاریزه جدید دارای روشن‌کننده‌های توکار هستند، که باعث راحتی و رضایتبخشی کار با آن می‌شود، در صورتی که بتوان کندانسور را با بزرگ کردن لنز عقبی عدسی شیئی برای بزرگترین روزنه نوری عددی تنظیم کرد. اگر میکروسکوپ نیازمند روشن‌کننده مجزا

باشد، لامپ‌های رشته‌ای نواری تنگستن در موقعیت‌های مناسب و قابل تنظیم بدنه دستگاه، رضایتبخش می‌باشند. انواع زیادی از روشن‌کننده‌ها برای استریومیکروسکوپ‌ها در دسترس می‌باشند؛ برخی از آن‌ها روی پایه خودشان می‌ایستند و برخی از آن‌ها را می‌توان بر میکروسکوپ سوار کرد؛ انتخاب آن‌ها بر مبنای کفایت روشنایی برای کارهای موردنظر است. برای این کار روشن‌کننده‌های قابل تمرکز مناسب‌تر هستند.

**۶-۳-۸** نگهدارنده‌های سوزنی و نقاط– علاوه بر گیره‌های سنجاقی و سوزن‌های آزمایشگاهی، یک سوزن خیاطی با شماره ۱۰ نصب شده بر دسته یا گروهی از پین‌های سنجاقی با اندازه ۰ تا ۴، برای کاوش فرآورده‌های واکنش مفید هستند.

**۶-۳-۹** بطری‌ها و قطره‌چکان‌ها، برای اسید، آب و سایر واکنشگرهای به کار رفته در طول آزمون، لازم می‌باشند.

**۶-۳-۱۰** انبرک‌های مناسب، ترجیحاً از فولاد ضد زنگ، از جمله انبرک‌های ساعت‌سازی با نوک ظریف.

**۶-۳-۱۱** کاغذ لنز.

**۶-۳-۱۲** انکسارسنج و وسیله غوطه‌وری، با پوشش گستره شاخص‌های انکساری از ۱٫۴۱۰ تا حداقل ۱٫۷۸۵ در گام‌هایی که بزرگتر از ۰٫۰۰۵ نباشد. وسیله غوطه‌وری ثابت، تنظیم شده در دمای معین و با ضریب حرارتی مشخص ترجیح داده می‌شود و باید در یک اتاق با دمای کنترل شده به کار رود. یک دماسنج مدرج با دقت یک درجه سلسیوس باید برای اندازه‌گیری دمای هوا نزدیک پایه میکروسکوپ به کار رود، تا در صورت نیاز بتوان اصلاحات حرارتی شاخص انکسار را انجام داد.

## ۷ انتخاب و استفاده از وسایل آزمون

**۷-۱** به منظور نشان دادن ویژگی‌های مهم بتن، آزمایشگاه‌ها باید برای عکسبرداری از بتن در مقیاس بزرگ و کوچک، تجهیز شوند. برخی اوقات، لامپ‌های معمولی میکروسکوپ برای گرفتن عکس‌های ریزمقیاس در نور عبوری و بازتابیده، رضایتبخش می‌باشند، لامپ‌هایی با شدت نوری نقطه‌ای یا میدانی نظیر لامپ‌های رشته‌ای نواری تنگستن یا لامپ‌های قوسی کربنی یا زیرکونیوم خیلی مطلوبند. برای راهنمایی بیشتر در خصوص عکسبرداری ریزمقیاس، به ویژه استفاده از نور بازتابیده به استاندارد ASTM E883، مراجعه شود.

**۷-۲** حداقل تجهیزات برای آزمون سنگ‌نگاری بتن که برای آماده‌سازی و آزمون نمونه در آزمایشگاه کفایت کند، عبارتند از: انتخاب وسایل آزمون و تدارکات برای آماده‌سازی نمونه، یک استریومیکروسکوپ ترجیحاً با پایه بزرگ به طوری که به راحتی بتواند نمونه‌هایی با قطر ۱۵۲ mm را بررسی کند، یک میکروسکوپ پولاریزه و لوازم جانبی، لامپ‌ها برای هر میکروسکوپ، وسیله غوطه‌وری ثابت تنظیم شده با ضریب حرارتی مشخص. نمونه‌های آزمون سنگ‌نگاری ممکن است با ارسال نمونه‌ها به اشخاص یا شرکت‌هایی که خدمات درخواستی مشتری در ارتباط با آماده‌سازی مقاطع نازک و صیقلی و سطوح صاف سایشی را انجام می‌دهند، به‌دست آیند. آماده‌سازی نمونه‌ها در محل راحت‌تر بوده و دسترسی آنی به آن‌ها بر هزینه بالای احتمالی‌شان برتری دارد.

**۳-۷** انکسار اشعه ایکس، انتشار اشعه ایکس، آنالیز حرارتی تفاضلی، آنالیز وزنی حرارتی، شیمی تجزیه، طیف‌نگاری اشعه مادون قرمز، پیمایش میکروسکوپی الکترون، آنالیز پراکندگی طول موج یا انرژی و سایر روش‌هایی که احتمالاً در به دست‌آوردن پاسخ‌های سریع و معین به سوالات مرتبط، مفید هستند، در جایی که آن‌ها را نتوان با بررسی میکروسکوپی تعیین کرد. برخی از مواد نامطلوب تشکیل دهنده بتن، فرآورده‌های هیدراتاسیون سیمان و برخی از فرآورده‌های واکنش مفید در تعیین اثرات در معرض‌گذاری مختلف و بسیاری از مواد آلوده‌کننده ممکن است شناسایی نشوند، مگر این‌که روش‌های مکمل میکروسکوپی نور به کار گرفته شوند (به مراجع [۱۸] و [۱۹] کتابنامه مراجعه شود). تکنیک اورانیل استات ارائه شده در پیوست الف می‌تواند در مکان‌یابی محل‌هایی که ممکن است دارای ژل قلیایی-سیلیسی باشند، به کار رود.

## ۸ آزمونه‌ها

**۱-۸** حداقل اندازه نمونه، باید حداقل یک نمونه مغزه‌گیری‌شده، ترجیحاً با قطر ۱۵۲ mm و طول ۳۰۲ mm برای هر مخلوط یا شرایط یا رده بتن باشد، بجز در مورد سنگفرش که ارتفاع کل نمونه مغزه‌گیری‌شده از سنگفرش باید ۱۰۲ mm یا ۱۵۲ mm باشد. قطعات شکسته بتنی معمولاً در آزمون سنگ‌نگاری با تردید استفاده می‌شوند. زیرا آسیب به بتن را نمی‌توان به صورت واضح به عنوان کارکردی از روش نمونه‌برداری یا معرف شرایط واقعی بتن دانست. در صورتی که مصالح دانه‌ای به حد کافی کوچکتر باشند، می‌توان از مغزه‌هایی با قطر کوچکتر از ۱۵۲ mm استفاده کرد؛ در بتن فروپاشی‌شده، استحصال مغزه با قطر ۵۴ mm نسبت به مغزه با قطر ۱۵۲ mm بسیار نامرغوب‌تر است. در حالی‌که مغزه‌هایی با قطر سه برابر حداکثر اندازه سنگدانه مطلوب است، هنگامی که بتن با سنگدانه بزرگتر از ۵۰mm نمونه‌برداری شود، به دلیل هزینه‌ها و مشکلات جابجایی مغزه‌های بزرگتر، این شرایط به ندرت رخ می‌دهد.

**۲-۸** نمونه‌های گرفته شده از سازه‌ها– مناسب‌ترین نمونه‌ها برای آزمون سنگ‌نگاری بتن گرفته شده از سازه‌ها، مغزه‌های سوراخ‌کاری شده با مته‌های الماسی با حداقل قطر دو برابر (ترجیحاً سه برابر) حداکثر اندازه سنگدانه درشت بتن است. در صورتی که اندازه سنگدانه به کار رفته ۱۵۲ mm باشد، یک مغزه با حداقل قطر ۲۵۰mm مطلوب است؛ معمولاً بزرگترین نمونه به دست آمده، مغزه با قطر ۱۵۲ mm است.

**۱-۲-۸** موقعیت و جهت‌گیری کلی مغزه‌ها، شامل طول مغزه(های) ارسال نشده به آزمایشگاه، باید به طور واضح نشان داده شود؛ و هر مغزه باید به طور مناسبی برچسب‌زده شود. برای مغزه‌های سوراخ‌کاری شده در حالت عمودی، ارتفاع یا عمق در بالا و پایین هر مقطع باید نشان داده شود و آسیب و شکستگی‌های مغزه پیش از سوراخ‌کاری باید علامت‌گذاری شود. برای مغزه‌های گرفته شده در حالت افقی یا مایل، جهت صفحه عمودی و بالا و پایین مقطع باید علامت‌گذاری شود. داده‌های میدانی باید ثبت شوند.

**۸-۲-۲** برخی اوقات، قطعات شکسته بتنی گرفته شده از سازه‌های کاملاً فروپاشیده یا قطعات برداشته شده در زمان آماده‌سازی برای تعمیر، جهت آزمون سنگ‌نگاری به کار برده می‌شوند. در صورتی که موقعیت‌های اولیه نمونه‌ها در سازه به طور واضح توصیف شده یا در یک نقشه یا عکس‌هایی نشان داده شود، نمونه‌ها موثرتر خواهد بود.

**۸-۲-۳** اطلاعات ارائه شده توسط نمونه‌ها، باید شامل موارد زیر باشند:

**۸-۲-۳-۱** موقعیت و جهت‌گیری اولیه هر نمونه (به استاندارد ASTM C823 مراجعه شود)؛

**۸-۲-۳-۲** نسبت‌های اختلاط بتن(ها)؛

**۸-۲-۳-۳** منابع مصالح تشکیل‌دهنده بتن و نتایج آزمون نمونه‌های مربوط به آن؛

**۸-۲-۳-۴** تشریح روش‌های اختلاط، بتن‌ریزی، تحکیم و عمل‌آوری؛

**۸-۲-۳-۵** قدمت سازه، یا در مورد سازه‌ای که نیازمند چندین سال تا اتمام آن است، تاریخ‌های بتن‌ریزی نمونه‌های گرفته شده؛

**۸-۲-۳-۶** شرایط عملیات و بهره‌برداری از سازه؛

**۸-۲-۳-۷** دلیل و اهداف آزمون؛

**۸-۲-۳-۸** علائم پذیرفته شده برای نشان دادن نقص یا فروپاشی، و؛

**۸-۲-۳-۹** نتایج آزمون‌های میدانی نظیر اندازه‌گیری‌های سرعت ضربانی (ASTM C215)، تعداد برگشت‌های ضربات چکش (ASTM C805) یا قرائت‌های میله (ASTM C803/C803M).

## ۸-۳ نمونه‌های گرفته شده از آزمونه‌های در معرض عوامل طبیعی، محصولات بتنی و نمونه‌های آزمایشگاهی

**۸-۳-۱** اطلاعات ارائه شده باید شامل موارد زیر باشد: مصالح به کار رفته، نسبت‌های اختلاط، عمل‌آوری، سن بتن در زمان آزمون یا بهره‌برداری، جهت در معرض‌گذاری، سن کنونی، بررسی شرایط در طول در معرض‌گذاری، مشخصات در معرض‌گذاری آزمایشگاهی یا طبیعی و روش ساخت محصولات بتنی. ممکن است از محصولات بزرگ بتنی مانند سازه‌ها نمونه‌برداری شود؛ واحدهای کوچکتر احتمالاً یک یا چند مشخصه از گستره شرایط بهره‌برداری یا ساخت یا هر دو را ارائه می‌کنند.

**۸-۳-۲** در معرض‌گذاری نمونه‌های آزمایشگاهی باید با نتایج آزمون، سن در زمان آزمون و در دسترس بودن نتایج آزمون سنگدانه‌ها، چسباننده‌های هیدرولیکی و مواد مضاف به کار رفته، توصیف شود. در صورت دسترسی، این اطلاعات باید همراه با آزمونه‌های در معرض عوامل طبیعی و محصولات بتنی یا نمونه‌های گرفته شده از آن باشد.

## ۹ بررسی نمونه‌ها

**۹-۱** انتخاب روش‌ها، تکنیک های خاص و روش‌های به کار رفته در بررسی یک نمونه به هدف مطالعه و ماهیت نمونه بستگی دارد. روش‌های مورد استفاده باید پس از پاسخگویی شفاف به سوالات تدوین شده مدنظر مطالعه، انتخاب شوند. در صورت امکان، روش‌ها باید برای پاسخگویی صریح و اقتصادی به آن سوالات، انتخاب شوند. جزئیات موردنیاز برای تصمیم‌گیری توسط اهداف مطالعه تحمیل شده و برای موقعیت‌های مختلف، متفاوت خواهد بود. در نتیجه، انتخاب و موقعیت نمونه‌های ارائه شده برای بررسی باید توسط اهداف مطالعه هدایت گردد. برای آن دسته از موضوعات مرتبطی که در این جا ذکر نشده‌اند، باید به استاندارد ASTM C457 مراجعه شود.

**۹-۲** آزمون چشمی و طرح کلی آزمون تکمیلی– آزمون سنگ‌نگاری بتن، ملات یا خمیر سیمان باید با مرور کل اطلاعات موجود درباره نمونه(ها)، متعاقب بررسی چشمی هر نمونه، آغاز شود. خلاصه‌ای از اطلاعاتی که می‌توان به دست آورد در جدول ۱ داده شده است. مطالعه باید متعاقب بررسی صورت گرفته با استفاده از استریومیکروسکوپ باشد (به جدول ۲ و بند ۱۱ مراجعه شود). در برخی موارد، مطالعه بیشتر ضروری نبوده و گزارش را می‌توان آماده کرد. در موارد دیگری، برای پردازش بیشتر و مطالعه استریومیکروسکوپی تکمیلی، بررسی جزئی‌تر با استفاده از میکروسکوپ‌های سنگ‌نگاری یا فلزنگاری یا توسط انکسار اشعه ایکس و سایر روش‌های مفید، و برای سایر آزمون‌های فیزیکی یا شیمیایی، نمونه‌هایی در طول بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی انتخاب می‌شوند. روش‌های آماده‌سازی نمونه در بند ۱۰ عنوان شده است. در جداول ۲ و ۴ مشخصاتی از بتن که با استفاده از استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ‌های سنگ‌نگاری و فلزنگاری، به راحتی قابل مشاهده‌اند، خلاصه شده است. بررسی با استفاده از استریومیکروسکوپ در بند ۱۱ ذکر شده است. بررسی بتن آسیب‌دیده از حریق در جدول ۳، در بخش مربوط به بررسی با استفاده از میکروسکوپ پولاریزه و جدول ۴، و در بخش مربوط به بررسی با استفاده از میکروسکوپ فلزنگاری اشاره شده است. در طول هر مطالعه، سنگ‌نگار باید انجام بررسی‌های متعاقب جزئی‌تر را در نظر بگیرد، و نیاز به بررسی مجدد نمونه‌ها را تشخیص دهد. مشاهدات ممکن با استفاده از انواع مختلف میکروسکوپ‌ها، در جدول ۵ نشان داده شده است؛ ویژگی‌های برخی از ترکیبات مرتبط، در جدول ۶ ذکر شده است. یک مرور جامع از موقعیت‌هایی که امکان حضور ژل قلیایی-سیلیسی در آن‌ها وجود دارد را می‌توان با استفاده از تکنیک اورانیل استات طرح شده در پیوست الف، به دست آورد.

**۹-۳** عکسبرداری‌ها– عکس‌ها و تصاویر باید برای نشان‌دادن ویژگی‌های نمونه‌های مورد آزمون، از قبیل شرایط نمونه در زمان وصول، قبل از این‌که تغییری در آن‌ها ایجاد شود، ویژگی‌های مهم ریزمقیاس و بزرگ مقیاس مقاطع پوششی آماده‌شده، مقاطع پرداخت شده، سطوح شکستگی، مقاطع نازک و قاب‌های غوطه‌وری، نگهداری شوند. عکس‌ها باید دارای مقیاس باشد.

**جدول۱- بررسی چشمی بتن [۱]**

| سنگدانه درشت | سنگدانه ریز | ملات | هوا | مواد کارگذاشته شده |
|---|---|---|---|---|
| ترکیب:<br>حداکثر ابعاد[a]، mm، در گستره $< d <$<br>نوع:<br><br>۱- شن<br>۲- سنگریزه<br>۳- مخلوط ۱ و ۲<br>۴- سایر (نام)<br>۵- مخلوط ۱+ یا ۲ + یا ۴ اگر نوع۱، ۲ یا ۴ همگن یا ناهمگن باشد<br><br>نوع سنگ‌شناسی سنگدانه درشت بیش از ٪۲۰، ٪۳۰، ٪۴۰ یا ٪۵۰ از کل باشد<br><br>ساخت:<br>شکل<br>توزیع<br>بسته‌بندی<br>دانه‌بندی (یکنواخت، غیر یکنواخت، بیش از حد، یا کم بودن برخی از اندازه‌ها)<br>موازی بودن جوانب تخت یا محورهای طولی مقاطع در معرض، عمود بر راستای جای‌گیری یا موازی با سطوح پرداخت شده و شکل داده شده[b] | نوع:<br><br>۱- ماسه طبیعی<br>۲- ماسه تولید شده<br>۳- مخلوط ۱ و ۲<br>۴- سایر (نام)<br>۵- مخلوط ۱+ یا ۲ + یا ۴ اگر نوع۱، ۲ یا ۴ همگن یا ناهمگن باشد<br><br>توزیع<br>شکل ذره<br>دانه‌بندی<br>جهت‌گیری کلی } اگر قابل مشاهده است | رنگ، با مقایسه با نمودار رنگ سنگ‌ها<br><br>توزیع رنگ:<br>۱- خالدار<br>۲- یکنواخت<br>۳- تغییرات تدریجی<br><br>توزیع | بیش از ٪۳ از کل، غالباً به صورت حفره‌های کروی است؟<br>کمتر از ٪۳ از کل، غالباً به صورت حفره‌های غیرکروی است؟<br>اختلاف رنگ میان حفره‌ها و ملات؟<br><br>حفره‌های خال، پرشده، پوشانده یا نسبتاً پرشده<br><br>شکل<br>توزیع<br>دانه‌بندی(اگرقابل‌مشاهده‌است)<br>موازی بودن محورهای طولی حفره‌های نامنظم یا صفحات حفره‌ها: با یکدیگر؛ با جوانب تخت یا محورهای طولی سنگدانه درشت | نوع، اندازه، موقعیت؛ انواع فولاد؛ سایر مواد<br><br>حفره‌های زیر آرماتور افقی یا با زاویه حاده |

**جدول۱- ادامه**

| | |
|---|---|
| شرایط: | |
| آیا زمانی که با یک چکش به آرامی ضربه زده می‌شود، صدای زنگ می‌دهد یا یک صدای گرفته یکنواخت؟ آیا می‌توانید آن را با انگشتانتان بشکنید؟ ترک‌خورده است؟ چگونه توزیع شده است؟ در سراسر آن یا در اطراف سنگدانه درشت است؟ آیا در نمونه‌های مغزه‌گیری شده یا برش داده شده، سنگدانه در زمان برش یا سوراخ‌کاری می‌شکند؟ ترک‌ها پر شده است؟ ته‌نشست‌های سطحی وجود دارد؟ در صورت خشک شدن در هوا، آیا نواحی با رطوبت غیرعادی یا خشک به نظر می‌رسند؟ آیا در سنگدانه، دیواره‌های پیرامونی شکل گرفته است؟ | سالم یا پوسیده است؟ آیا ترک‌ها مربوط به مواد کارگذشته شده است؟ |

[a] بخش عمده‌ای از سنگدانه درشت، دارای ابعاد حداکثری هستند، با گستره‌ای که در سطوح شکسته‌شده یا برش‌خورده، اندازه‌گیری شده است.

[b] مقاطع برش‌خورده یا سوراخ‌کاری شده نزدیک به و موازی با سطوح شکل‌گرفته، در نتیجه بیلچه‌زنی یا میل‌زنی، آشفتگی موضعی در نزدیک سطح نشان می‌دهند. مقاطع برش‌خورده در سطح لایه زیرین (عمود بر راستای جای‌گیری) جهت‌گیری غیرمشخصی دارند. مقاطع شکسته‌شده عمود بر راستای جای‌گیری در بتن متعارف ریخته شده با چسبندگی عادی، تمایل به داشتن سنگدانه با برآمدگی‌های فراوان در پایین نمونه بالایی ریخته شده و حفره‌های فراوان در بالای نمونه پایینی ریخته شده، دارند.

**جدول۲- طرح کلی بررسی بتن با استفاده از استریومیکروسکوپ[۱]**

| سنگدانه درشت | سنگدانه ریز | ملات | فضاهای خالی |
|---|---|---|---|
| نوع سنگ‌شناسی یا کانی‌شناسی به کار رفته<br>بافت سطحی<br>داخل نمونه:<br>شکل ذره<br>اندازه ذره زیاد مشاهده شده، mm<br>گستره میانگین، از - تا – به mm<br>بدون بافت (خیلی ریز برای بررسی)<br>یکنواخت یا متغیر در داخل نمونه<br>از نمونه به نمونه<br>پیوستگی بین دانه‌ای<br>تخلخل و جذب[a]<br>چه مقدار و کدام نوع از سنگدانه بتن، شکسته است؟<br>کدام نوع از سنگدانه، حفره‌های مرزی دارد؟ همه؟ کل یکی از انواع؟ بیش از ٪۵۰ یکی از انواع؟چندین نوع؟<br>جداشدگی | نوع سنگ‌شناسی یا کانی‌شناسی به کار رفته<br>شکل<br>بافت سطحی<br>دانه‌بندی<br>توزیع | رنگ<br>ترک‌ها در داخل یا پیرامون سنگدانه<br>برخورد ملات با سنگدانه:<br>هیچ شکافی روی سطح برش‌خورده یا شکسته شده قابل رویت نیست؛ سنگدانه با انگشتان یا میله از جای خود بیرون نمی‌آید؛<br>شکاف‌های مرزی زیاد، متوسط، کم<br>پهنا<br>خالی<br>پرشده<br>وجود یا عدم وجود ترک‌های ناشی از آماده‌سازی نمونه، آماده‌سازی نمونه قبلی<br>مواد سیمانی کمکی[b]<br>آلودگی<br>آب انداختن | دانه‌بندی<br>نسبت کروی به غیرکروی<br>غیرکروی، بیضوی، نامنظم، صفحه‌ای<br>تغییر رنگ از سطح داخلی به ملات<br>درخشندگی سطح داخلی شبیه باقیمانده ملات،کدر، درخشان<br>عدم پرشدگی حفره‌ها، کم، متوسط، زیاد، کامل، جزئی، بی‌رنگ، رنگی، دسته‌های ابریشمی، صفحات شش ضلعی، ژل، سایر<br>حفرات زیرین یا صفحات<br>حفره‌ای غیرعادی، کم، متوسط، زیاد |

**یادآوری**- شرایط: هنگامی که بتن با بزرگنمایی ۶ تا ۱۰ برابر تحت نور مناسب بررسی می‌شود، سطح تازه شکسته شده بتن در وضعیت فیزیکی مناسب، که رطوبت طبیعی آن حفظ شده است، دارای درخشندگی است، که از نظر کانی‌شناسی، حالت شیشه‌ای با نور کم نیمه شفاف را داراست.[c] لبه‌های نازک تراشه‌های خمیرسیمان نور را انتقال می‌دهند؛ بازتاب‌ها، ظاهراً از بسیاری از نقاط ریز واقع بر سطح می‌آیند، و کیفیت درخشندگی، مانند شیشه شکسته است اما با شدت کمتر. سطح تازه شکسته شده بتن در وضعیت فیزیکی نامناسب، غیرشفاف بوده و از نظر درخشندگی کدر است که حالت نیمه شیشه‌ای متمایل به گچی دارد. یک نمونه آزمایشگاهی از مخلوط بتن با نسبت‌های متعارف، که به طور مناسب و به مدت ۲۸ روز عمل‌آوری شده و مقاومت فشاری یا خمشی نرمالی را نشان می‌دهد، توسط چکش شکسته شده و در طی یک هفته از زمان اتمام عمل‌آوری، نمونه‌ای از بتن در وضعیت فیزیکی مناسب، باید بررسی شود.

تحت همان شرایط بررسی، هنگامی که تضمین منطقی وجود دارد که بتن حاوی سیمان پرتلند سفید یا سیمان سرباره نیست، رنگ ملات بتن در وضعیت فیزیکی مناسب، بجز در مجاور ترک‌های قدیمی یا سطوح اولیه، قطعاً خاکستری یا سبز مایل به قهوه‌ای است.

[a] خلل و فرج قابل مشاهده با چشم غیر مسلح یا در بزرگنمایی- برابر، قطرات آب موجود در سطح را جذب می‌کند.

[b] کره‌های توپر تیره یا کره‌های توخالی شیشه‌ای یا مغناطیسی یا برخی شیشه‌ای و برخی مغناطیسی که با بزرگنمایی ۹ برابر در سطوح برش‌خورده یا شکسته‌شده، قابل شناسایی است. سایر مواد مضاف معدنی با ذرات مشخصه قابل رویت، در بزرگنمایی‌های پایین قابل تشخیص هستند. سطح ساییده‌شده بتن حاوی سیمان پرتلند سرباره‌ای در نزدیک سطوح آزاد به طور غیرمعمول سفید است، ولی تکه‌های مایل به سبز یا آبی مایل به سبز را حفظ کرده است و ذرات سرباره را می‌توان با استریومیکروسکوپ یا میکروسکوپ پولاریزه مشاهده کرد.

[c] Dana, E. S., Textbook of Mineralogy, revised by W. E. Ford, John Wiley & Sons, New York, N. Y., 4th ed., 1932, pp. 273–274.

**جدول۳- اثرات حریق بر ویژگی‌های بتن**

| ویژگی | علل و اثرات | روش‌های بررسی |
|---|---|---|
| سختی سطح | آب‌زدایی تا ۱۰۰°C باعث حذف آب آزاد می‌شود؛ آب‌زدایی اساساً در ۵۴۰°C کامل می‌شود؛ هیدروکسیدکلسیم در دمای ۴۵۰-۵۰۰°C) به CaO تبدیل می‌شود. خمیر سیمان در اثر ضریب حرارتی منبسط شده و سپس منقبض می‌شود، ترک‌خورده، شکفته شده و نرم می‌شود [۲]. | بتن نرم‌شده تحت فشار را می‌توان مطابق استاندارد ASTM C805 آزمون نمود، در صورتی که بتن دچار تغییر رنگ نشده است، احتمالاً سالم است. که با مغزه‌گیری برای آزمون‌های فشاری، و با آزمون‌های خوردگی (CRD-C 52) [۲]، و با خراش چاقو، مشخص می‌شود. |
| ترک‌خوردگی | عمود بر سطح و داخلی، که گرمایش یا سرمایش سبب افزایش تنش‌های کششی می‌شود. در برخی از بتن‌های جدید، جمع‌شدگی بزرگ‌مقیاس شبیه ترک‌خوردگی است؛ ممکن است تا ۱۰۰mm نفوذ کند، ولی خود به خود درست شود[۲]. | بررسی سطح، آزمون‌های اولتراسونیک، مغزه‌گیری، آزمون سنگ‌نگاری [۲]. |
| تغییر رنگ – هنگامی که بتن دچار پوسته‌شدگی نشده است، عمق رنگ صورتی را برای‌تخمین اثر حریق، مشاهده کنید. | بتن ساخته شده با سنگدانه‌های رسوبی یا دگرگون شده، در اثر گرمایش تغییر رنگ دائمی نشان می‌دهد. تا ۲۳۰°C رنگ ثابت است؛ در ۲۹۰-۵۹۰°C) از صورتی به قرمز تبدیل می‌شود؛ در ۵۹۰-۹۰۰°C) رنگ به خاکستری و سپس به زرد نخودی تغییر می‌کند [۲]. در دماهای بالای ۵۰۰°C، سنگدانه کربناتی نسبت به سنگدانه سیلیسی، کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳]. در دمای ۵۷۳°C، کوارتز ریز با ٪۸۵ افزایش در حجم به کوارتز درشت تبدیل می‌شود، که آلوئک ایجاد می‌کند. قرارگیری یک چهارم میلگرد در معرض دمای ۷۹۰°C، باعث پوسته‌شدگی بیش از حد فولاد می‌شود؛ در دمای ۹۰۰°C، فرآورده‌های هیدراتاسیون به پودر سفید تجزیه می‌شوند. ترک‌خوردگی سطحی در حدود ۲۹۰°C؛ ترک‌خوردگی عمیق در حدود ۵۴۰°C. | تغییر رنگ، فاکتور خیلی مفیدی برای بررسی‌کننده است؛ که نحوه تشخیص در دمای حدود ۳۰۰°C را ممکن می‌سازد. |
| رفتار سنگدانه– رفتار سنگدانه بر مقاومت، مدول، پوسته‌شدگی، ترک‌خوردگی، سختی سطح و کرنش‌های حرارتی باقیمانده، اثر می‌گذارد [۲]. | سنگدانه‌ها از نظر ضریب پخش حرارتی، ضریب هدایت، ضریب انبساط، متفاوتند. انتقال حرارت از بتن ساخته شده با سنگدانه سیلیسی، ماسه‌سنگ، بازالت، سنگ آهک، سنگدانه‌های سبک، کاهش می‌یابد [۲]. | تغییرات حرارتی، اغلب همراه با تغییر حجمی است [۲]. |

**جدول۳- ادامه**

| | | |
|---|---|---|
| پوسته‌شدگی | به صورت موازی با سطح آزاد رخ می‌دهد؛ متعاقب گسیختگی‌های بشقابی به خصوص در گوشه‌ها و لبه‌ها [۲]. | |
| یادآوری- مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته. برای بتن با حداقل سن یک سال، مقاومت پس از سرد شدن از دمای ۳۰۰°C، افزایش می‌یابد، در صورتی که مقاومت طرح به دست آمده باشد [۳]. | کاهش در مقاومت بتن حاوی سنگدانه سیلیسی، پس از گرم‌شدن و سپس سردشدن، و آزمون:<br>گرمایش تا دمای، °C — کاهش در مقاومت، ٪<br>۱۸۰ — ۲۵<br>۳۷۰ — ۵۰<br>۵۷۰ — ۸۰<br>کاهش در دمای مدول، °C — کاهش در مقاومت، ٪<br>۲۰۰ — ۲۵<br>۴۳۰ — ۵۰<br>۷۶۰ — ۷۰ | تعیین آزمون‌های فشاری و مدول الاستیسیته مغزه‌ها؛ استاندارد ASTM C805 برای تعیین کیفی؛ استاندارد ASTM C597 [۲]. |

**جدول۴- طرح کلی بررسی بتن در مقاطع نازک**

| سنگدانه ریز و درشت | ذرات ته‌نشست سیمان و فرآورده‌های هیدراتاسیون | ویژگی‌های خمیرسیمان |
|---|---|---|
| کانی‌شناسی، بافت، ساخت، متغیر یا همگن.<br>دانه‌بندی؛ پس از بررسی یک سری از مقاطع نازک، زیادی یا کمی اندازه‌های ماسه، مشخص شود. دانه‌بندی و ماهیت درونی مرزهای سنگدانه. طبقه‌بندی سنگدانه ریز و درشت.<br>سنگدانه معدنی طبیعی یا سنگ شکسته؛ سنگدانه ریز طبیعی یا تولید شده.<br>پیوستگی با ملات؛ ترک‌های پیرامونی داخل مرزهای ذرات سنگدانه؛ ترک‌های داخلی.<br>ترک‌های ریز کلی، اگر بتوان مشخص کرد که آن‌ها قبل از تهیه برش نازک، وجود داشته‌اند.<br>واکنش‌های قلیایی-کربناتی، اگر سنگدانه درشت از سنگ(های) کربناته باشد، آیا دیواره‌های پیرامونی عاری از هیدروکسید کلسیم وجود دارد؟ سنگ‌های نسبتاً دولومیتی، برخی اوقات واکنش می‌دهند، و با خمیر عاری از هیدروکسیدکلسیم در امتداد قسمت دولومیتی، محصور می‌شوند، در حالی که در امتداد قسمت سنگ‌آهکی، خمیر سالم است. برای توضیحات بیشتر به ستون ۳ مراجعه شود.<br>واکنش‌های قلیایی-سیلیسی، آیا سنگدانه، حاوی انواع مشخص ذرات واکنش‌پذیر (سنگ چخماق، نواکولیت، شیشه آتشفشانی اسیدی، کریستوبالیت، تری دیمیت، شیشه بطری) است؟ | در بتن با سن بیش از دو سال و با عمل‌آوری معمولی، ذرات ته‌نشست سیمان آن‌هایی هستند که بزرگترند، که ممکن است از ترکیب چندین ماده یا الیت یا بلیت ($C_3S$ و $C_2S$ جایگزین شده‌اند) به دست آید. دو مورد اخیر ممکن است، توسط یک یا دو لایه از ژل دارای شاخص‌های انکساری مختلف یا یک لایه از هیدروکسیدکلسیم، محصور شود. ذرات بزرگتر ته‌نشست شده، ممکن است واقعاً غیرهیدراته باشند، و انکسار مضاعف پایینی(خاکستری تیره) از الیت در مقاطع شبه شش‌ضلعی واپیچیده و انکسار مضاعف مشهود (زرد درجه اول) از زوج‌های لایه لایه در ذرات کروی بلیت، را حفظ کنند. آلومینوفریت درون‌شبکه‌ای به صورت دانه‌های منشوری در گستره رنگی از قهوه‌ای تا قهوه‌ای مایل به سبز یا قهوه‌ای مایل به قرمز، ظاهر می‌شود، و دارای شاخص انکساری بالا و چندرنگی پوشانده شده با رنگ دانه است. تری کلسیم آلومینات، به‌دلیل شکل مکعبی ایزوتروپی یا به علت زود هیدراته شدن در هیدراتاسیون بتن حاوی اترینگیت خیلی ریز یا هیدرات سولفات آلومینیوم تتراکلسیم یا سایر هیدرات‌های آلومینیوم تتراکلسیم با یا بدون سایر آنیون‌ها، معمولاً در مقطع نازک قابل تشخیص نیست. این‌ها ممکن است در خلل و فرج‌های بتن قدیمی قابل رویت باشد، اما به بهترین وجه توسط انکسار اشعه ایکس، مشخص می‌شوند. سیمان تأمین شده از منابع مختلف، رنگ‌های متفاوتی از آلومینوفریت داشته و سیلیکات‌های کلسیم، رنگ‌های سبز کم‌رنگ یا زرد یا سفید دارند. در صورت امکان، بهتر است سیمان از یک منبع تأمین شود. | خمیر سیمان معمولی، دارای نور عبوری قهوه‌ای مایل به سبزی است که تا حدودی شاخص انکساری آن متفاوت می‌باشد، و حاوی ذرات ته‌نشست سیمان غیرهیدراته است. در مقطع‌گیری از بتن در سنین اولیه یا با عمل‌آوری ناکافی، خمیر شامل ذرات سیمان غیرهیدراته، با حداکثر اندازه کمتر از چند میکرومتر و حداکثر قطر ۱۰۰μm است، در صورتی که سیمان در آسیاب‌های مداری باز، آسیاب شده یا برای کاهش گرمای هیدراتاسیون، به طور عمدی در ناحیه سطحی پایین ساییده شود. خمیر سیمان معمولی با قطب‌های متقاطع، به رنگ سیاه بوده یا خاکستری رگه‌دار خیلی تیره با بلورهای محصور بی‌شکل پراکنده یا جداشدگی ذرات هیدروکسیدکلسیم و ذرات پراکنده ته‌نشست شده سیمان است. در بتن با نسبت آب به سیمان بالا و سنگدانه سیلیسی، بلورهای هیدروکسیدکلسیم به بزرگی حداکثر اندازه ذرات ته‌نشست شده سیمان، در حدود ۱۰۰μm است. در بتن با نسبت آب به سیمان پایین و درصد سیمان بالا و با سنگدانه کربناتی یا سیلیسی، حداکثر اندازه بلورهای هیدروکسیدکلسیم به طور قابل توجهی کوچک است. صرف‌نظر از نسبت آب به سیمان و نوع سنگدانه، بلورهای هیدروکسیدکلسیم، فضای مماس بر سطح پایینی ذرات سنگدانه را اشغال می‌کند. |

**جدول۴- ادامه**

| | | |
|---|---|---|
| اگر کوارتزیت به ساب‌گری‌وک، آرژیلیت، فیلیت یا هر یک از موارد مذکور در جمله بالا، تبدیل شود، آیا ترک‌های داخلی، پیرامون سنگدانه وجود دارد؟ آیا سنگدانه طوری ژلاتینی شده است، که در طی برش مقاومت کرده، و تنها یک پوسته پیرامونی چسبیده به ملات باقی گذارد؟ (پدیده اخیر، همچنین در بتن تشکیل شده با سنگدانه حاصل از سرباره سردشده در هوا، اتفاق می‌افتد، که نشان دهنده واکنش میان سیمان و سرباره است). ترک‌هایی که به صورت کشیده و باریک، از مرکز به سمت مرز ذره، ظاهر می‌شوند، دلیل واکنش قلیایی-سیلیسی است [۴]. | | در جایی که کل سنگدانه از سنگ کربناتی باشد، حداکثر اندازه هیدروکسیدکلسیم، در مقایسه با یتن با سنگدانه سیلیسی، کوچکتر است. (احتمالاً هیدروکسید کلسیم، در کلسیت به صورت هم‌بافته است).<br>خمیر سیمان، در بتنی که به مدت طولانی در معرض اسیدشویی قرار گرفته است، هیدروکسیدکلسیم کمتری دارد، که به صورت تبلور مجدد ذرات تقریباً بی‌شکل ته‌نشین شده در نزدیک سطوح خارجی، ظاهر می‌شود.<br>در بتن با سن بیش از دو یا سه سال، ساخته شده با سیمان تیپ I یا II یا III، برخی از اترینگیت‌ها انتظار می‌رود، به صورت نشان‌های برجسته در حفره‌های هوا باشند. این یک پدیده طبیعی است؛ برای اثبات حمله سولفات‌ها، باید از نظر شیمیایی مشخص شود که درصد $SO_3$ بتن، بیش از درصد اولیه سولفات سیمان است. اترینگیت موجود در فضاهای خالی، به بتن آسیب نمی‌زند، گرچه ممکن است همراه با اترینگیت خیلی‌ریز موجود در خمیر سیمان باعث آسیب بتن شود. |

**جدول۵- مشاهده ویژگی‌های بتن با استفاده از انواع میکروسکوپ**

| ویژگی | نوع میکروسکوپ | | |
|---|---|---|---|
| | استریومیکروسکوپ | سنگ‌نگاری | فلزنگاری |
| سنگدانه: | | | |
| شکل | × | × | × |
| دانه‌بندی | × | — | — |
| توزیع | × | — | — |
| بافت | × | × | × |
| ترکیب | × | × | |
| انواع سنگ | × | × | — |
| تغییر | × | × | — |
| درجه | × | × | — |
| فرآورده‌های واکنش | × | × | × |
| پوشش‌ها | × | × | — |
| دیواره‌های پیرامونی | × | × | — |
| ترک‌خوردگی داخلی | × | × | × |
| آلودگی | × | × | |
| بتن: | | | |
| هوادار یا بدون هوا | × | × | × |
| حفره‌های هوا | — | — | — |
| شکل | × | × | × |
| اندازه | × | × | × |
| توزیع | × | — | — |
| آب‌انداختگی | × | — | — |
| جداشدگی | × | — | — |
| چسبندگی خمیر و سنگدانه | × | × | × |
| شکستگی‌ها | × | × | × |
| مواد کارگذاشته شده | | | |
| اندازه | × | — | — |
| شکل | × | — | — |
| موقعیت | × | — | — |
| نوع | × | — | — |

**جدول۵- ادامه**

| | | | |
|---|---|---|---|
| تغییر | | | |
| درجه و نوع | × | × | × |
| فرآورده‌های واکنش | | | |
| موقعیت | × | × | × |
| شناسایی | ×[a] | × | — |
| ماهیت و شرایط عملیات سطحی | × | × | — |
| خمیر سیمان: | | | |
| رنگ | × | × | — |
| سختی | × | — | × |
| تخلخل | × | — | × |
| کربناسیون | × | × | — |
| سیمان ته‌نشست | | | |
| توزیع | — | × | × |
| اندازه ذره | — | × | × |
| فراوانی | — | × | × |
| ترکیب | — | × | × |
| مواد سیمانی کمکی | ×[b] | × | × |
| اندازه | — | × | × |
| فراوانی | × | × | × |
| شناسایی | × | × | × |
| ترکیبات سیمان سخت شده | ×[c] | × | × |
| آلودگی | | | |
| اندازه | × | × | × |
| فراوانی | × | × | × |
| شناسایی | — | × | ×[d] |

[a] گاهی اوقات، اترینگیت ثانوی می‌تواند توسط پوشش بلوری و درخشش ابریشمی مشخص شود.

[b] خاکستر بادی می‌تواند توسط رنگ و شکل مشخص شود، هنگامی که دیواره‌های پیرامونی تیره وجود دارد. در بتنی که اکسیده نشده است از رنگ سبز یا آبی خمیر سیمان می‌توان به وجود سرباره پی برد.

[c] اترینگیت و هیدروکسیدکلسیم موجود در حفره‌ها را می‌توان توسط پوشش‌های بلوری آن‌ها، تشخیص داد.

[d] اکسید منیزیم و اکسید کلسیم باید در مقطع پرداخت شده، قابل شناسایی باشد.

**جدول۶- ته‌نشست‌های ثانوی در بتن[A]**

| ترکیب شیمیایی و معادل معدنی | شاخص‌های انکسار | شکل و نحوه رخداد |
|---|---|---|
| کربنات کلسیم ($CaCO_3$)؛ کلسیت | $\omega = 1.658$<br>$\varepsilon = 1.486$ | توده‌ها یا لایه‌های سفید یا خاکستری ریزدانه در خمیر سیمان، حفره‌ها، در امتداد شکستگی‌ها یا روی سطوح بیرونی؛ خیلی رایج |
| کربنات کلسیم ($CaCO_3$)؛ آراگونیت | $\alpha = 1.530$<br>$\beta = 1.680$<br>$\gamma = 1.685$ | بلورهای سفید ریز یا سوزنی در حفره‌ها یا شکستگی‌های بتن؛ نادر |
| کربنات کلسیم ($CaCO_3$)؛ واتریت | $o = 1.544 – 1.550$<br>$E = 1.640 – 1.650$ | پوسته‌های سفید کروی با انکسار مضاعف در نمونه‌های آزمایشگاهی عمل‌آوری شده با رطوبت (واتریت A)؛ قابل شناسایی در بتن سالم گرفته شده از سازه توسط انکسار اشعه ایکس (واتریت α)؛ رایج [۵] |
| هگزا کلسیم آلومینات تری سولفات ۳۲ آبه $\{Ca_6[Al(OH)_6]_2 \cdot 24H_2O\}(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$; [6]؛ اترینگیت | $\omega = 1.464 – 1.469$[B]<br>$\varepsilon = 1.458 – 1.462$ | الیاف سفید ریز یا سوزنی یا کروی که در حفره‌ها، خمیر سیمان یا شکستگی‌ها نمو می‌کنند؛ خیلی رایج [۵، ۱] |
| تترا کلسیم آلومینات مونوسولفات ۱۲ آبه $(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O)$ | $\omega = 1.504$<br>$\varepsilon = 1.49$ | صفحات شش‌ضلعی سفید تا بی‌رنگ و خیلی ریز در حفره‌ها و شکستگی‌ها؛ خیلی نادر [۵] |
| تتراکلسیم آلومینات ۱۳ آبه $(Ca_4Al_2(OH)_{14} \cdot 6H_2O)$ | $\omega = 1.53$<br>$\varepsilon = 1.52$ | بلورهای جفت شده، شبه‌شش‌ضلعی، بی‌رنگ و میکایی در حفره‌ها؛ خیلی نادر [۷] |
| سدیم کربنات آبدار، $(Na_2O \cdot CO_2 \cdot H_2O)$ ؛ ترموناتریت | $\alpha = 1.420$<br>$\beta = 1.506$<br>$\gamma = 1.524$ | حاوی ژل قلیایی-سیلیسی به مقدار خیلی کم؛ نادر [۵] |
| سولفات آلومینیوم هیدراته، $(2Al_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 15H_2O)$؛ پارآلومینات | $\alpha = 1.463 \pm 0.003$<br>$\beta = 1.471$<br>$\gamma = 1.471$ | در حفره‌های بتن کاملاً دگرگون شده رخ می‌دهد؛ خیلی نادر [۷] |
| کلسیم سولفات دی هیدرات $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$ ؛ سنگ گچ | $\alpha = 1.521$<br>$\beta = 1.523$<br>$\gamma = 1.530$ | بلورهای سفید تا بی‌رنگ در حفره‌ها، خمیرسیمان یا در امتداد سطوح ذرات سنگدانه در بتن یا ملات در معرض سولفات‌ها یا آب شور؛ نامعمول |
| هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$)؛ پورتلند | $\omega = 1.574$<br>$\varepsilon = 1.547$ | صفحات یا ورق‌های شش‌ضلعی سفید تا بی‌رنگ در خمیرسیمان، حفره‌ها، در امتداد شکستگی‌ها؛ در جای‌جای بتن |
| هیدروکسید منیزیم ($Mg(OH)_2$)؛ بروسیت | $\omega = 1.559$<br>$\varepsilon = 1.580$ | پوسته‌های ریزدانه سفید تا زرد و پرشدگی‌های بتن در معرض محلول‌های منیزیمی یا آب شور؛ نامعمول[۹، ۸] |
| سیلیکات آبدار ($SiO_2 \cdot nH_2O$)؛ اپال | $\eta = 1.43$<br>با مقدار آب تغییر می‌کند | سفید تا بی‌رنگ، با پراکندگی مناسب، بی‌شکل؛ ناشی از شسته‌شدگی زیاد یا کربناسیون خمیر سیمان؛ در نسبت‌های قابل تشخیص، نامعمول |

**جدول ۶- ادامه**

| | | |
|---|---|---|
| ژل قلیایی-سیلیسی ($Na_2O{\cdot}K_2O{\cdot}CaO{\cdot}SiO_2$) | $\eta = 1.46 – 1.53$ | سفید، مایل به زرد یا بی‌رنگ؛ لزج، سیال، موم‌شکل، لاستیک مانند، سخت؛ در حفره‌ها، شکستگی‌ها، برون‌نشست‌ها، سنگدانه؛ رایج [۱۱،۱۰] |
| اکسید آهن هیدراته ($Fe_2O_3{\cdot}nH_2O$)؛ لیمونیت<br>تامازیت<br>$\{Ca_6[Si(OH)_6]_2{\cdot}24H_2O\}(SO_4)_2(CO_3)_2$ [6] | کدر یا تقریباً کدر<br>$\omega = 1.504$<br>$\varepsilon = 1.468 \pm 0.002$[B] | لکه‌های قهوه‌ای در شکستگی‌ها و روی سطوح؛ معمولاً به صورت شش‌ضلعی یا منشوری؛ قابل رشد در پیوستگی با اترینگیت؛ در لوله فاضلاب در معرض حمله سولفات‌ها، در دوغاب، در برخی سنگفرش‌ها [۱۲] |
| سینگنیت<br>$(K_2Ca(SO_4)_2){\cdot}H_2O$ | $\alpha = 1.501$ [13]<br>$\beta = 1.51$<br>$\gamma = 1.51$ | یافته شده در حفره‌ها و نواحی پیرامونی ذرات سنگ متورق، به شکل الیاف [۱۴] |
| هیدروتالیست<br>$Mg_{3/4}Al_{1/4}(OH)_2(CO_3)_{1/8}(H_2O)_{1/2}$ [6] | $\omega = 1.510 \pm 0.003$<br>$\varepsilon = 1.495 \pm 0.003$ | لایه‌های پهن شده با توده‌های الیافی [۱۵، ۶] |

[A] گزارشات اختصاصی و کتبی حاوی اطلاعاتی در مورد بسیاری از ترکیبات ثانوی ناشناخته در بتن؛ این‌ها در جدول گنجانده نشده است. شاخص‌های انکسار انواع کانی‌های رایج از دستورالعمل‌های کانی‌شناسی برگرفته شده است.

[B] شاخص‌های انکسار بالاتر و پایین‌تر برای رخداد طبیعی اترینگیت [۱۳] و تامازیت [۱۲] ثبت شده است، اما معلوم نیست که رخداد طبیعی کانی‌ها و ترکیبات موجود در سیمان هیدراته با ترکیب یکسان باشند.

## ۱۰ آماده‌سازی نمونه

### ۱۰-۱ آماده‌سازی برای بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی

**۱۰-۱-۱** مغزه‌های سوراخ‌کاری شده با مته‌های الماسی، سطوح شکل داده شده یا پرداخت شده، سطوح تازه شکسته شده یا سطوح با ترک‌های قدیمی باید در شرایطی که دریافت می‌شوند، مورد بررسی قرار گیرند. برخی اوقات، مرطوب ساختن سطوح مغزه‌گیری شده، شکل داده شده و پرداخت شده، به افزایش تباین[1] کمک می‌کند.

**۱۰-۱-۲** برش‌های اره الماسی باید نسبت به ویژگی‌های مهم بتن جهت‌یابی شود، که یا عمود بر راستای کف در بتن معمولی بوده، یا عمود بر سطح پرداخت شده یا شکل داده شده و یا عمود بر ترک یا مجموعه ترک‌ها است، تا ترکیب و ساختار بتن و مقدار تغییر ظاهری ناشی از ترک، مشخص شود.

**۱۰-۱-۳** آماده کردن حداقل یک سطح برش خورده، توسط سایش آن با ساینده‌های ریز (همچنان که در استاندارد ASTM C457 تشریح شده است) تا دستیابی به یک پرداخت مات صاف و انتخاب نواحی منطبق بر سطوح متقابل برای آماده‌سازی مقاطع و نمونه‌های نازک جهت انکسار نوری، شیمیایی، اشعه-X یا سایر بررسی‌ها مفید است.

**۱۰-۱-۴** نمونه‌های به دست آمده با مته الماسی معمولاً در فرآیند برش آسیب نمی‌بینند؛ در هر حال، بتن ضعیف آسیب‌دیده در اثر حمله شیمیایی، واکنش قلیایی-سنگدانه، یخزدن و آب‌شدن یا چند مورد از این‌ها، در صورتی که توسط مته‌ای با قطر ۵۴ mm سوراخ‌کاری شود، مغزه ضعیف با شکستگی‌های زیاد حاصل خواهد شد، در حالی که اگر با مته‌ای با قطر ۱۵۲ mm سوراخ‌کاری شود، مغزه‌های کاملاً متفاوتی به دست خواهد داد. این تفاوت، به ویژه در بررسی‌های سنگ‌نگاری انجام شده در طول مطالعات وضعیت سازه‌های قدیمی، مهم است. همچنین، بتن ضعیف شده ممکن است در طول عملیات برش بشکند. جابجایی و آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات آزمایشگاهی معمولاً شامل اعمال نیرو و برخی اوقات اعمال حرارت به نمونه است.

**۱۰-۱-۵** اثرات نیرو در طول آماده‌سازی نمونه را می‌توان با استفاده از برش‌های ضخیم‌تر و صرفاً با یک برش موازی با محور طولی مقطع مغزه، به حداقل رساند. بتن شکسته یا ترد را می‌توان با پوشش آن درگچ، رزین اپوکسی یا دیگر مواد تقویتی، قبل از برش تقویت نمود.

**۱۰-۱-۶** در صورتی که بتن مرطوب گرما داده شود، حرارت به کار رفته در زمان اشباع بتن با رزین یا موم گرمانرم[2] منجر به ترک‌خوردگی می‌شود، و خواص نوری برخی از ترکیبات نظیر اترینگیتدگرگون می‌شود. بنابراین، اثراتی ایجاد کرده و شناسایی ترکیبات را مشکل می‌کند. این اثرات ممکن است با ویژگی‌های اصلی اشتباه گرفته شوند. لذا در ارزیابی یک ویژگی خاص و شاخص‌سازی آن به عنوان ویژگی اصلی نمونه یا در طول برداشت نمونه از سازه یا در طول عمل‌آوری آزمایشگاهی باید احتیاط شود.

---

1- Contrast
2- Thermoplastic

**۱۰-۱-۷** زمانی که واکنش‌های قلیایی-کربناتی مدنظر بوده و دیواره‌های پیرامون سنگدانه شکسته کربناتی، قابل رویت است، اسیدسایی سطح سایشی یا برش‌خورده با اسیدهیدروکلریک ضعیف یا N ۶، برای رویت این‌که دیواره‌های پیرامونی ذرات سنگدانه درشت، مستعد اسیدسایی کمتر یا بیشتری نسبت به داخل ذره است، مفید می‌باشد. از آنجایی که اسیدسایی باعث تخریب سطح می‌شود، این مرحله تا زمانی که دیگر بررسی‌های سطح کامل نشده است، نباید انجام شود. اسیدسایی سطح سایشی به مدت ۳۰S در اسیدهیدروکلریک ٪۱۰، فرآیند مناسبی است.

**۱۰-۲** آماده‌سازی قاب‌های غوطه‌وری[1]– برای بررسی‌ها با استفاده از میکروسکوپ سنگ‌نگاری، باید قاب‌های غوطه‌وری آماده شوند. این نوع بررسی، تطبیق‌پذیری را فراهم می‌کند زیرا مواد را می‌توان در مایعاتی با شاخص‌های انکساری متفاوت غوطه‌ور کرد. شناخت جزئی‌تر در مورد استفاده از قابلیت‌های میکروسکوپ سنگ‌نگاری، مستلزم بازرسی دقیق قاب‌های غوطه‌وری است.

**۱۰-۲-۱** قاب‌های غوطه‌وری برای مشاهده و شناسایی ترکیبات مختلف سنگدانه، پسماند و ته‌نشست ذرات سیمان پرتلند، ترکیب هیدروکسیدکلسیم سیمان هیدراته، ترکیبات سیمان‌های مخلوط، مواد سیمانی مکمل، ترکیبات ناشی از تغییر شیمیایی مواد سیمانی و سنگدانه‌ها، ته نشست‌های ثانوی ناشی از قرارگیری بتن در معرض مواد شیمیایی مختلف و برای تایید شناسایی‌های صورت‌گرفته با سایر روش‌ها، مفید است.

**۱۰-۲-۲** پودرها و خرده‌های ریز برای قاب‌های غوطه‌وری را می‌توان به صورت زیر آماده کرد: **الف**– پودرسازی نمونه‌هایی که از آزمونه گرفته می‌شوند؛ **ب**– با استفاده از یک میله نوک تیز برای برداشت نمونه‌ها از فضاهای کوچک سنگدانه و خمیر سیمان، مواد موجود در حفره‌های سنگدانه، خلل و فرج‌ها و ترک‌ها؛ و **پ**– تراشه‌های ناشی از سطوح شکسته و شکل داده شده.

**۱۰-۲-۳** در قاب‌های غوطه‌وری، قطعات مجزا معمولاً با جهت‌گیری تصادفی هستند، به طوری که شناسایی شاخص‌های اصلی انکساری یک ماده را می‌توان علاوه بر داده‌های سایر ویژگی‌های نوری، تعیین کرد. نسبت‌های مواد پودر شده، براده‌ها یا تراشه‌ها بر روی یک اسلاید شیشه‌ای قرار گرفته و در یک مایع غوطه‌وری با شاخص انکساری مشخص، غوطه‌ور می‌شوند. یک روکش پوششی در بالای نمونه‌ها به کار می‌رود. بر اساس شاخص‌های انکساری و سایر ویژگی‌های نوری، می‌توان ترکیبات ناشناخته را شناسایی کرد.

**۱۰-۲-۴** شاخص انکسار مایعات در دسترس، مقادیر شاخص را حداقل تا سه رقم اعشار ارائه می‌کند (به بند ۶-۳-۱۲ مراجعه شود).
در صورتی که سنگ‌نگار از رنگ‌های خط بک[2] یا سایر تکنیک‌ها آگاهی داشته باشد، می‌توان مایعاتی با دقت دو رقم اعشار را به کار برد.

---

1- Immersion Mounts
2- Becke line

**۱۰-۳** آماده‌سازی مقاطع نازک- تشریح جزئی‌تر آماده‌سازی مقاطع نازک خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است. در صورتی که امکانات داخلی موجود نباشد، آزمایشگاه‌های زیادی وجود دارند که این خدمت را ارائه می‌کنند. در این روش، اگر بتن مقاوم بوده ولی قطعات ضخیم‌تر ضعیف باشند، بتن به صفحاتی با ضخامت ۲mm برش داده می‌شود. ممکن است، اشباع بتن با یک رزین، قبل از برش آن برای جلوگیری از فروپاشی ضروری باشد. رزین‌های اپوکسی رقیق انعطاف‌پذیر یا رزین‌های گرمانرم به طور موفقیت‌آمیزی به کار رفته‌اند. قطعات بتنی نازک، سپس بر روی اسلایدهای شیشه‌ای همراه با اپوکسی منعطف یا بلسان کانادایی یا سیمان لکساید۷۰ قرار گرفته و همپوشی‌ها با استفاده از ساینده‌های ریز پیش‌رونده تا رسیدن به ضخامت ۳۰μm یا کمتر، ساییده می‌شوند؛ برای بررسی جزئی‌تر خمیر سیمان در نور عبوری، ضخامت کوچکتر از ۲۰μm موردنیاز است. معمولاً بررسی ضخامت مقطع با استفاده از رنگ‌های انکساری مواد معدنی متعارف در سنگدانه، نظیر کوارتز یا فلدسپات در طول مراحل نهایی سایش، ضروری است. یک سرپوش شیشه‌ای بر روی مقطع تمیز شده و آماده شده قرار گرفته و با بلسان کانادایی یا مواد دیگر، ایمن می‌شود.

**۱۰-۳-۱** دستگاه‌های نیمه‌خودکار سازنده مقاطع نازک، در دسترس هستند، که سطح اصلی کارنشده را برای سوار کردن آماده می‌کنند، ضخامت اضافی سطح کارنشده قبل از سوار کردن، تا رسیدن به ضخامت ۵۰μm تا ۱۰۰μm ساییده می‌شود، و ضخامت کمتری را برای برچیدن با صیقل‌کاری دستی باقی می‌گذارد.

### ۱۰-۴ آماده‌سازی برای بررسی با میکروسکوپ فلزنگاری

**۱۰-۴-۱** آماده‌سازی نمونه‌ها، برای برررسی با میکروسکوپ فلزنگاری در استاندارد ASTM E3 تشریح شده است.

**۱۰-۴-۲** روش‌های ذکر شده در اینجا، صرفاً به منظور راهنمایی است. روش‌های مورد استفاده باید متناسب با تکنیک‌های مختلف میکروسکوپی به کار رفته، شرایط نمونه و ترکیب باشد. ارائه دستورالعمل‌های متناسب با هر وضعیت ممکن، مقدور نمی‌باشد.

**۱۰-۵** آماده‌سازی نمونه‌ها با روش اورانیل استات، در پیوست الف داده شده است.

## ۱۱ بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی

**۱۱-۱** در صورت وجود بیش از یک نمونه، آن‌ها به ترتیب منطقی مرتب شوند تا بیانگر: موقعیت در سازه و تفاوت‌های مصالح، نسبت‌ها، در معرض قرارگیری یا ترکیبی از این‌ها باشد. قبل از اینکه نمونه‌ها تغییر داده شوند، باید عکس‌ها و طرح‌هایی از ویژگی‌های مهم تهیه شود. در جداول ۱ و ۲ برخی از ویژگی‌های قابل مشاهده در طول بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی آمده است.

### ۱۱-۲ بتن گرفته شده از سازه‌ها (واقعه‌نگاری مغزه[1])

**۱۱-۲-۱** مغزه‌های برش‌خورده را با یکدیگر جفت کرده و در صورت گم شدن قطعه‌ای، آن را مشخص کنید. برای تایید داده‌های میدانی، مغزه‌ها اندازه‌گیری شده و در صورت لزوم، یک واقعه‌نگاری نموداری از هر مغزه تهیه می‌شود. واقعه‌نگاری باید در مقیاسی انجام شود که ویژگی‌های مرتبط را نشان دهد. واقعه‌نگاری ممکن است برای نشان دادن ویژگی‌های سابق و اخیر ذرات واکنش داده، فرآورده‌های واکنش، تغییرات در اندازه یا نوع سنگدانه ریز و درشت، توزیع سنگدانه درشت، آرایش لانه‌زنبوری، جداشدگی اجزاء، اتصالات سرد یا مرزهای پیرامونی یا بالایی، موقعیت و جهت فولاد یا مواد دیگر کار گذاشته شده، تغییرات در رنگ خمیر سیمان و سایر ویژگی‌های مهم به کار رود. باید یادداشت‌برداری شده و به طور مناسب در واقعه‌نگاری ارجاع داده شود. در صورتی که مغزه‌ها برای حفظ مقدار رطوبت زمان سوراخ‌کاری، به طور مناسب بسته‌بندی شوند (که ممکن است برابر با مقدار رطوبت واقعی در محل باشد/ نباشد)، نمونه‌ها را باید با احتیاط جابجا کرد تا مقدار رطوبت حفظ شده و از شکستگی نمونه‌ها جلوگیری شود. آزمون‌هایی که در ارتباط با شرایط رطوبتی زمان وصول نمونه‌ها، انجام می‌شوند شامل مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته استاتیکی یا دینامیکی، تعیین درصد هوا توسط سنجه پرفشار، نفوذپذیری و یخزدن و آب‌شدن است.

**۱۱-۲-۲** در طول بررسی چشمی، مقایسه کلی مغزه‌ها از نظر شرایط مختلف، مصالح، میزان و ماهیت فروپاشی، باید انجام شده و ثبت شود. نمونه‌ها باید در گروه‌های قابل مقایسه بر پایه شرایط یا موقعیت نواحی تعیین شده برای بررسی جزئی‌تر، دسته‌بندی شوند. در برخی موارد، در طول بررسی چشمی یا استریومیکروسکوپی ممکن است، یک یا چند نمونه از هر گروه برای مطالعه بیشتر انتخاب شوند. در صورت کاهش تعداد نمونه‌های برگزیده برای بررسی جزئی‌تر، انتخاب باید پس از بررسی‌های دقیق چشمی و استریومیکروسکوپی برای تعیین یک یا چند فاکتور مشخص هر گروه، صورت گیرد.

**۱۱-۳** نمونه‌های در معرض عوامل طبیعی– این نمونه‌ها باید در ترتیب منطقی از مصالح، نسبت‌ها، سن یا ترکیبی از این‌ها مرتب شوند، و با توجه به ترکیب و شرایط، مقایسه شوند. ویژگی‌های مهم برای بررسی جزئی‌تر باید مشخص شده و یادداشت شوند. جدول ۳ ویژگی‌های بتن آسیب‌دیده توسط حریق را نشان می‌دهد.

### ۱۱-۴ محصولات بتنی

**۱۱-۴-۱** زمانی که محصولات دارای ابعاد نسبتاً کوچکی هستند (مانند موزاییک، بلوک یا آجر)، نمونه‌ها ممکن است شامل واحدهای کامل، یا قطعات نمونه‌گیری شده از واحدها توسط مغزه‌گیری یا برش باشند. نمونه‌ها باید سازماندهی شده و متناسب با اهداف بررسی، جهت‌گیری شوند. از اینرو، برای مثال، قطعات نمونه‌گیری شده از یک واحد محصول باید با یکدیگر گروه‌بندی شده و هر نمونه باید با بررسی چشمی و اندازه‌گیری ابعاد مربوط به علامت‌گذاری‌ها یا برچسب‌زنی‌ها تشریح شود. اطلاعات زیر باید ثبت شده یا به وضوح بر روی نمونه‌ها

1- Core Log

نشانه‌گذاری شود: موقعیت در واحد محصول (بالا، کناره، انتها، داخل و غیره)؛ جهت‌های عمودی و افقی در زمان قالب‌گیری؛ قسمت‌های انتهایی داخلی یا بیرونی؛ موقعیت در واحد محصول در طول دوره عمل‌آوری؛ موقعیت نمونه نسبت به بخش‌های تحت فشار بتن مجاور مهارهای تاندون؛ و موقعیت در واحد محصول در زمان کارگذاشتن در سازه و غیره. طرح یا عکس ویژگی‌های مرتبط باید برای نشان دادن شرایطی از قبیل ترک‌خوردگی، رنگ‌دهی، ته‌نشست‌های شیمیایی، وجود ماده خارجی، جداشدگی، عیوب سطحی و مشابه این موارد، ثبت شوند.

**۱۱-۴-۲** روش‌های بیان شده در بندهای ۱۱-۱ و ۱۱-۲ برای بررسی محصولات بتنی قابل استفاده می‌باشند. بررسی ممکن است به سمت ویژگی‌های ناشی از عملیات مرتبط با ساخت نظیر اختلاط، قالب‌گیری، بازکردن قالب، عمل‌آوری و روش‌های پیش‌تنیدگی سوق داده شود. برای مثال، غیریکنواختی ممکن است ناشی از اختلاط ناقص، تحکیم نامناسب در طول قالب‌گیری، یا عمل‌آوری ناقص یا غیریکنواخت باشد. عیوب سطحی و ظاهر ضعیف ممکن است ناشی از کاربرد نامناسب مواد آزاد شده ترکیب، باشد که احتمالاً منجر به عدم هیدراتاسیون سیمان در ناحیه نزدیک سطح می‌شود. چنین ویژگی‌هایی را می‌توان تشخیص داد و با بررسی چشمی و میکروسکوپی سطوح شکل داده شده یا قالب‌گیری شده، سطوح پوششی یا برش‌خورده، یا سطوح دارای شکستگی در سرتاسر نمونه، تشریح نمود.

**۱۱-۵** نمونه‌های آزمایشگاهی– این نمونه‌ها باید به ترتیب منطقی مرتب شوند و با توجه به ترکیب و شرایط، و ویژگی‌های متأثر از فرآیند آزمون، مقایسه شوند.

**۱۱-۶** بررسی استریومیکروسکوپی– بررسی استریومیکروسکوپی با بزرگنمایی‌های ۵ تا ۱۵۰ برابر، جزئیات بیشتری را مشخص می‌سازد (به جداول ۱ و ۲ مراجعه شود). بررسی چشمی و استریومیکروسکوپی اغلب به طور جایگزین انجام می‌شوند. بررسی‌ها در بزرگنمایی‌های پایین، ویژگی‌های سطوح شکل داده شده، پرداخت شده، فروپاشی شده، شکسته شده، برش‌خورده یا ساییده شده را آشکار می‌سازد. ترک‌های قدیمی ممکن است باز شده و سطوحشان برای آشکارسازی فرآورده‌های واکنش و تغییر ثانویه بررسی شوند. ترک‌های قدیمی اغلب با رنگ متفاوتی از توده بتن بوده و به علت ته‌نشست‌های ثانوی تیره‌تر به نظر می‌رسد.

**۱۱-۶-۱** سطوح تازه شکسته شده ممکن است ناشی از ضعف‌های ساختاری باشد و ویژگی‌های مهمی را که با تغییر ثانوی پوشش داده نشده است را آشکار می‌سازد.

**۱۱-۶-۲** سطوح برش‌خورده و سایشی، جهت آشکارسازی ترک‌های ریز و ردیابی مجموعه‌ای از ترک‌هایی که در سطوح سوراخ‌کاری شده یا برش‌خورده مشهود نیستند، نسبت به پرشدگی نسبی خلل و فرج‌ها و ترک‌ها و آشکارسازی دیواره‌های پیرامونی ذرات سنگدانه که ممکن است بیانگر واکنش‌های شیمیایی بین سیمان و سنگدانه باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرند. دیواره‌های پیرامونی ذرات شن و ماسه طبیعی، ناشی از هوازدگی ته‌نشست‌ها است، مگر این‌که، نمونه‌های سنگدانه‌های مورداستفاده در دسترس بوده و نشان دهد که دیواره‌های

پیرامونی قبل از به کار بردن سنگدانه در بتن، وجود نداشتند. دیواره‌های پیرامونی ایجاد شده در بتن بر روی ذرات شن و ماسه، در محل‌هایی که ذرات در تماس با حفره‌های هوا هستند، وجود نداشته یا نسبتاً نازک و ضعیف هستند. دیواره‌های پیرامونی ایجاد شده در اثر هوازدگی ممکن است دیواره‌های ایجاد شده توسط واکنش قلیایی-سیلیسی را بپوشانند. سنگریزه دیواره‌دار در بتن معمولاً نشان‌دهنده تغییر بتن نظیر وقوع واکنش قلیایی-سیلیسی یا قلیایی-کربناتی است ([۱۰]، [۲۰]، [۲۱]). دیواره‌های پیرامونی در ملات در اطراف سنگدانه درشت قرار می‌گیرند ([۵]، [۱۹])، و نواحی احاطه شده در ملات ممکن است، خمیر ژل مرطوب ([۴]) یا خمیر زیاد کربناته شده مجاور مصالح کربناتی باشد که تحت یک واکنش قلیایی-کربناتی واقع شده است. روش ذکر شده در پیوست الف در مکان‌یابی ته‌نشست‌های ژل قلیایی-سیلیسی مفید است.

**۱۱-۶-۳** ته‌نشست‌ها در ترک‌های قدیمی ممکن است شامل کلسیت یا اترینگیت یا هیدروکسیدکلسیم یا ترکیبی از این‌ها و یا عناصر بلورین غیرعادی باشد، اما گاهی اوقات شامل ماسه، سیلت، رس و ارگانسیم‌های آب شیرین و آب‌شور است. چنین ارگانسیم‌هایی ممکن است گواه این باشد، که بخشی از سازه‌ای که در حالت عادی غوطه‌ور نمی‌شود، مستغرق شده است.

**۱۱-۶-۴** تعیین کمی اجزای سازنده بتن را می‌توان با استفاده از روش‌های نقطه‌شمار میکروسکوپی یا خطی پیمایشی، مطابق با الزامات استاندارد ASTM C457 انجام داد. یک تحلیل کلی ممکن است شامل مقادیر تناسبی سنگدانه درشت، سنگدانه ریز، ملات سیمانی و حفره‌های هوا باشد. تفکیک سنگدانه درشت و ریز دقیق نیست، مگر این‌که دو شکستگی از نظر سنگ‌شناسی قابل تشخیص باشد، زیرا، ابعاد بزرگتر ذرات معمولاً با سطح آماده شده، از وسط به دو قسمت تقسیم نمی‌شود. همچنین، نسبت گونه‌های منحصر به فرد سنگ، نظیر محتوای ناسالم یا ترکیبات واکنش‌پذیر در سنگدانه ریز یا درشت یا هر دو، نسبت‌های سنگدانه سبک وزن و با وزن عادی، و فراوانی مواد دانه‌ای آلوده کننده را می‌توان با این روش‌ها از نظر کمی تعیین کرد.

## ۱۲ بررسی با استفاده از میکروسکوپ سنگ‌نگاری

**۱۲-۱** مشخصات مناسب مقاطع نازک بتن– ویژگی‌های مناسبی که مقاطع نازک بتن یا ملات را مشخص می‌کنند، عبارتند از: سطح پایینی ثابت شده بدون سایش بوده و تا یک پرداخت مات صیقلی ساییده می‌شود، که معمولاً با پرداخت سطح با آلومینای نوری یا معادل آن به دست می‌آید؛ سطح پایینی فضای خالی، کامل بوده؛ فضاهای خالی دوره‌های پیرامونی کاملی دارند؛ مرز دقیقی میان فضای خالی و ملات احاطه‌کننده وجود دارد؛ ته‌نشست‌ها در فضاهای خالی باقی می‌مانند؛ و سنگدانه‌ای که با استریومیکروسکوپ به صورت کامل مشاهده شده است، زمانی که فضای خالی انتخاب شد، کامل باقی می‌ماند و ترک‌های ریز در برش ریزمقیاس، ایجاد نمی‌شود. هنگامی که مصالح دانه‌ای عمدتاً از کوارتزیت یا کوارتز است، جلوگیری از ایجاد برش‌های ریزمقیاس، خیلی مشکل می‌باشد، در صورتی که کاهش ضخامت مقطع به ۳۰μm مطلوب است، طوری که درخشان‌ترین رنگ

انکسار مضاعف کوارتز، سفید درجه اول باشد. برخی از ترک‌ها تشکیل خواهد شد و برخی دیگر به علت فقدان خمیر سیمان در آن‌ها، که نرم‌تر از مصالح کوارتزی هستند، رخ می‌دهند.

**۱۲-۱-۱** ضخامت مطلوب مقاطع نازک گستره‌هایی از ۲۰μm تا ۴۰μm است. مقاطع نازکتر ممکن است برای بررسی جزئی‌تر ملات خمیر سیمان، لازم باشند. گاهی اوقات لازم است که ضخامت عادی کنار گذاشته شده و برای حفظ ته‌نشست‌های شکننده در فضاهای خالی نظیر ژل قلیایی-سیلیسی، اترینگیت، هیدروکسیدکلسیم، کلسیت، آراگونیت یا تائوماسیت، از یک مقطع ضخیم‌تر استفاده کرد. هنگامی که حفظ برخوردهای میان ملات و سنگدانه درشت مطلوب باشد، ترجیحاً مقطع ضخیم‌تر از معمول با بالاترین رنگ انکسار مضاعف کوارتز به صورت زرد کم‌رنگ درجه اول، به کار رود. در بتن معمولی، مواد اطراف سنگدانه شامل ژل بی‌شکل سیمان، با بلورهای هیدروکسیدکلسیم کاملاً یکنواخت، ولی با غلظت‌های کم در امتداد سطح زیرین سنگدانه ریز و درشت توزیع شده است، در صورتی که مقطع موازی با راستای جای‌گیری برش داده شود. در حالت واکنش قلیایی-سیلیسی، یک ناحیه خالی یا عاری از هیدروکسیدکلسیم، معمولاً در اطراف ذرات سنگدانه تحت واکنش، وجود دارد؛ گاهی اوقات ژل در اطراف سنگدانه موجود بوده یا خمیر سیمان را مرطوب می‌کند، طوری که کاملاً تیره بوده و در نور قطبیده مسطح، با قطب‌های متقاطع و ترکیب دانه‌ای قهوه‌ای، تیره‌تر از خمیر سیمان عادی است. تشخیص خمیرسیمان مرطوب شده با ژل تقریباً آسان است؛ با تجربه ممکن است هیدروکسیدکلسیم موجود در اطراف ذرات سنگدانه تحت واکنش را تشخیص داد، تا وقتی که سنگدانه ریز یا هر ذره ریز موجود، محتوی مقادیر زیاد میکای بی‌رنگ نباشد. پوسته‌های نازک روسی می‌تواند با صفحات نازک هیدروکسیدکلسیم اشتباه گرفته شود، هنگامی که هر دو روی لبه مشاهده می‌شوند؛ در صورتی که شاخص بالایی از میکا مشاهده شود، آن‌ها را می‌توان مشخص کرد.

**۱۲-۱-۲** گاهی اوقات بهتر است بخشی از مقطع یا شکستگی کوارتز کنار گذاشته شود، تا از میان کوارتز (انکسار مضاعف ۰٫۰۰۹)، هیدروکسیدکلسیم (انکسار مضاعف ۰٫۰۲۷) و کلسیت (انکسار مضاعف ۰٫۱۷۲) شناسایی ممکن باشد. زمانی که این سه مواد با هم واقع می‌شوند، ذرات کوارتز مانند دانه‌های ماسه یا سنگریزه‌ها شکل می‌گیرد، در حالی‌که هیدروکسیدکلسیم یا به صورت صفحات مماس با سنگدانه، و یا به صورت بلورهای محصور در خمیر احاطه کننده ذرات سیمان ته‌نشست یا نواحی ژل ظاهر می‌شود. انکسار مضاعف هیدروکسیدکلسیم سه برابر کوارتز است؛ انکسار مضاعف کلسیت ۶٫۴ برابر هیدروکسیدکلسیم است؛ و انکسار مضاعف آراگونیت ۵٫۷ برابر هیدروکسیدکلسیم است. در حالی که وجود آراگونیت در بتن، تقریباً نامعمول است، وجود کلسیت در بتن به عنوان محصولی از کربناسیون و عناصر سازنده سنگدانه، متداول است. در ضخامت معمول ۳۰μm، بالاترین انکسار مضاعف هیدروکسیدکلسیم، موازی با شکافتگی رنگ زرد روشن درجه اول با ناحیه نارنجی تصادفی یا قرمز درجه اول مشاهده می‌شود. کلسیت در همان مقطع دارای انکسار مضاعف سفید درجه بالا است، بجز در ذرات خیلی ریز که بسیار نازک بوده و تقریباً لوزی شکل‌اند، رنگ انکسار مضاعف سفید درجه اول است. روابط انکسار مضاعف بحث شده در این پاراگراف، تفسیر مقاطع نازک بتنی را ممکن می‌سازد.

**۱۲-۲** انتخاب نواحی برای مقاطع نازک بتن- نواحی که از آن‌ها مقاطع نازک تهیه می‌شوند، معمولاً باید پس از بررسی استریومیکروسکوپی سطح ساییده شده یا برش‌خورده، انتخاب شوند. انتخاب ناحیه ممکن است وابسته به ویژگی‌های مدنظر بررسی باشد، یا در حالت بتن کاملاً فروپاشی شده، ممکن است تحت تأثیر انتخاب حجمی است که در برابر برش، حتی پس از اشباع نمونه، به حد کافی مقاوم باشد. در این حالت، ناحیه‌ای از ملات با سنگدانه درشت در گوشه‌ها یا در امتداد کناره‌ها ممکن است، انتخاب مناسبی باشد. در صورتی که بررسی سنگدانه برای مقایسه با سنگدانه تهیه شده از منبع مشخص برای دانستن این‌که هر دو احتمالاً از یک معدن مشابه به دست آمده‌اند، موردنظر باشد، سنگدانه درشت باید به تعداد کافی برای پوشش گستره‌ای از متغیرهای موجود و شرایط فیزیکی آن‌ها، انتخاب شود. در صورتی که بتن در معرض واکنش‌های قلیایی-سیلیسی یا قلیایی- کربناتی باشد، نواحی انتخاب شده، باید شامل سنگدانه درشت با ترک‌های داخلی محیطی بدون احاطه مرکز و ترک‌های باریک در وسط ذره به سمت کناره‌ها که دارای/ فاقد ژل در حالت واکنش قلیایی-سیلیسی است، باشد. در حالتی که هر دو واکنش رخ می‌دهد، ذراتی با دیواره‌های پیرامونی واکنش داده ممکن است برای برش انتخاب شوند، اما این امر، معمولاً تلاش بیهوده‌ای است؛ دیواره‌های پیرامونی قابل تشخیص با چشم غیرمسلح یا با بزرگنمایی پایین استریومیکروسکوپ ممکن است در مقطع نازک قابل رویت نباشند.

**۱۲-۲-۱** ویژگی‌های قابل رویت در بررسی مقاطع نازک بتن در جدول ۴ نشان داده‌شده است.

## ۱۳ ویژگی‌های خمیر سیمان

**۱۳-۱** بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و معدنی خمیرسیمان تحت تأثیر یا تا اندازه‌ای تابع *w/c* و *w/cm*، میزان عمل‌آوری، نازکی و ترکیب سیمان پرتلند و سایر مواد سیمانی، پوزولان‌ها، افزودنی‌های معدنی و شیمیایی و ذرات ریز سنگدانه‌ها است (به استاندارد ASTM C125 مراجعه شود). ویژگی‌های موردنظر در ارزیابی خمیرسیمان تغییر نیافته، عبارتند از:

**الف**- رنگ، سختی، چگالی و تخلخل ([۲۲]، [۲۳]، [۲۴] و [۲۵])؛

**ب**- بافت سطوح شکسته ([۲۲] و [۲۳])؛

**پ**- اندازه، فراوانی، رنگ، کانی‌شناسی غیرپوزولانی و ته‌نشست و پسماند مواد پوزولانی و سیمانی ([۲۲]، [۲۳]، [۲۴] و [۲۶])؛

**ت**- اندازه، فراوانی و شکل شناسی ترکیب هیدروکسیدکلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیمان همچنان که ممکن است تحت تأثیر مواد پوزولانی باشد ([۲۲]، [۲۳] و [۲۶])؛

**ث**- درجه هیدراتاسیون مواد سیمانی ([۲۲]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]، [۲۶]، [۲۷] و [۲۸])؛

**ج**- شدت رنگ خمیرهای اشباع شده با رنگ ([۲۴] و [۲۶])؛

**چ**- ماهیت پیوند خمیر با سنگدانه؛

**ح**- میزان جذب قطرات آب ([۲۴])؛

**خ**- عمق کربناسیون ([۲۳])؛
**د**- میزان آب‌انداختن و جداشدگی اجزای سازنده بتن ([۲۳] و [۲۷])، و؛
**ذ**- سختی ریزمقیاس خمیر ([۲۵]).

**۱۳-۲** نسبت‌های *w/c* و *w/cm* و توزیع یکنواخت آن‌ها در کل بتن ممکن است تحت تأثیر موارد زیر باشد:
**الف**- مقدار آب اولیه، آب آزاد ناشی از سنگدانه‌ها و آب اضافه شده برای اختلاط و اختلاط مجدد؛
**ب**- میزان جذب آب توسط سنگدانه‌ها؛
**پ**- کارآیی آب مخلوط و آب آزاد ناشی از سنگدانه‌ها؛
**ت**- آب انداختن و ارتعاش پس از جای‌گیری بتن، و؛
**ث**- از دست دادن آب به خاطر تبخیر و جذب توسط لایه زیرین.

**۱۳-۳** معمولاً به دلیل ماهیت متغیر خمیرها، سن خمیرها و قرارگیری در معرض تأثیرات مختلف بیرونی، یک شیوه پذیرفته شده استاندارد برای به‌کارگیری روش‌های میکروسکوپی جهت تعیین نسبت‌های *w/c* یا *w/cm* بتن سخت‌شده، وجود ندارد. در مطالعه SHRP[1]، روشی برای تخمین نسبت‌های *w/c* و *w/cm* ([۲۹]) به طور ویژه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است، اما توسط SHRP، جهت گنجاندن در این استاندارد توصیه نشده است.

## ۱۴ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:
**الف**- موقعیت و جهت‌گیری نمونه‌ها در سازه یا محصولات یا انواع نمونه؛
**ب**- پیشینه نمونه‌ها، تا جایی که در دسترس است؛
**پ**- آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌ها همراه با نتایج آن‌ها؛
**ت**- تشریح نمونه‌ها و گزارشی در مورد نسبت‌های اختلاط، اگر در دسترس بوده و برآورد شده است، طرز کار، روش ساخت و کیفیت اولیه بتن در سازه، تا حدی که چنین اطلاعاتی در دسترس است؛ و
**ث**- تفسیر، تا جایی که امکان داشته باشد، ماهیت مصالح و رخدادهای شیمیایی و فیزیکی که منجر به کفایت یا خرابی بتن می‌شود.

1- Strategic Highway Research Program

## پیوست الف

## (الزامی)

## تکنیکی برای آشکارسازی ژل قلیایی-سیلیسی، در معرض تایید با روش‌های دیگر

### الف-۱ هدف

**الف-۱-۱** این تکنیک برای آشکارسازی ژل قلیایی-سیلیسی ناشی از واکنش‌های ترکیبات سیلیکاتی سنگدانه‌ها با ترکیبات قلیایی خمیر سیمان پرتلند، کاربرد دارد. این تکنیک، شامل عمل‌آوری سطح بتن آماده شده با محلول اورانیل استات و مشاهده سطح عمل‌آوری شده با قرار دادن در معرض نور فرابنفش با طول موج کوتاه است.

**الف-۱-۲** در صورت وقوع واکنش‌های قلیایی-سیلیسی در بتن سخت شده، این تکنیک یکی از روش‌هایی است که می‌تواند برای شناسایی آن‌ها به کار رود. این آزمون، تابع بررسی‌های سنگ‌نگاری مشخص و آزمون‌های فیزیکی برای تعیین انبساط بتن است. بررسی‌های سنگ‌نگاری شامل شناسایی ژل قلیایی-سیلیسی و ترکیبات واکنش‌پذیر سنگدانه است، به طوری که می‌تواند با تحلیل توسط میکروسکوپ الکترونی و تحلیل کمکی ستون عناصر تکمیل شود. آزمون‌های فیزیکی، شامل آزمون‌های تغییرطول منشورهای بتنی است.

**الف-۱-۳** خاکستر بادی، دوده سیلیکاتی و دیگر مواد دارای خواص پوزولانی می‌تواند واکنش داده و فرآورده‌های فرعی، مشابه ژل ایجاد شده توسط واکنش قلیایی-سیلیسی(ASR[1])، ایجاد کند. اگر این فرآورده‌ها به طور یکنواخت توزیع شوند، اثر آن‌ها در ایجاد زمینه یکنواخت برای تمرکز ژل قلیایی-سیلیسی، می‌تواند مشخص شود. مواد حاوی اپال و احتمالاً سایر ترکیبات سنگ‌ها نیز بتوانند مشخص شوند. همچنین گزارش شده است، که غلظت‌های متمرکز اترینگیت ثانوی، دارای تابش ماهتابی هستند. اترینگیت ثانوی به عنوان یکی از اجزای بتن ناشی از فرآیندهای مختلف، شایع است.

### الف-۲ اقدامات احتیاطی

**الف-۲-۱** اورانیل استات یک ماده خطرناکی است که جابجایی و مصرف آن مستلزم تدابیر ویژه‌ای است. نور فرابنفش، خطراتی برای چشم و پوست دارد. مطالب این پیوست، به مفهوم نشان دادن مسائل ایمنی مربوط به جابجایی، استفاده و مصرف اورانیل استات و بتن عمل‌آوری شده با آن نمی‌باشد. همچنین، اقدامات احتیاطی لازم در رابطه با کاربردهای نور فرابنفش و در معرض‌گیری چشم‌ها و پوست، در این پیوست آورده نشده است.

**الف-۲-۲** مسئولیت بکارگیری اقدامات ایمنی و سلامتی و نحوه مصرف مواد و و روش‌های جابجایی اورانیل استات و پرتو فرابنفش، قبل از مصرف بر عهده کاربر آن است. همچنین، مسئولیت مطابقت با الزامات ملی و محلی بر عهده کاربر آن است.

---

1- Alkali-silica reaction

**الف-۲-۳** پوشش محافظ، شامل دستکش‌های پلی‌اتیلنی، روپوش آزمایشگاهی و سایر پوشش‌های موردنیاز باید در زمان جابجایی اورانیل استات و دیگر مواد شیمیایی، مورد استفاده قرار گیرد.

**الف-۲-۴** نور فرابنفش موج کوتاه، می‌تواند برای چشم‌ها و پوست مضر باشد. عینک‌های ایمنی فیلترکننده نور فرابنفش یا حفاظ‌های صورت که پرتو فرابنفش را جذب می‌کنند، باید به کار روند.

**الف-۲-۵** اورانیل استات به عنوان یک ماده خطرناک طبقه‌بندی شده است، که جابجایی و مصرف آن مستلزم تدابیر ویژه‌ای است. جابجایی، نگهداری و مصرف محلول اورانیل استات و موادی که در آن به کار رفته است، و تماس با آن باید طبق مقررات مربوط، باشد.

## الف-۳ ارزیابی صلاحیت

این تکنیک، می‌تواند توسط یک کارشناس کاملاً آموزش‌دیده به کار رود.

## الف-۴ وسایل آزمون، واکنشگرها و مواد

### الف-۴-۱ وسایل موردنیاز برای آماده‌سازی نمونه

**الف-۴-۱-۱** بشر پلاستیکی– با ظرفیت ۵۰۰ml یا بیشتر؛

**الف-۴-۱-۲** بطری آبفشان پلاستیکی (برای آب)– با ظرفیت اسمی ۲۵۰ ml؛

**الف-۴-۱-۳** دستکش‌های پلی‌اتیلنی یک‌بار مصرف؛

**الف-۴-۱-۴** پوشش محافظ (برای مثال روپوش آزمایشگاهی)؛

**الف-۴-۱-۵** حوله‌های کاغذی جاذب، و؛

**الف-۴-۱-۶** فضای سرپوشیده برای کاربرد واکنشگر– هود آزمایشگاهی، جعبه دستکش، یا کیف‌های دستکش یک‌بار مصرف، برای این منظور مناسب می‌باشند.

### الف-۴-۲ وسایل موردنیاز برای عمل‌آوری نمونه

**الف-۴-۲-۱** اپلیکاتور نوع پودر نکننده یا تار نکننده برای واکنشگر (برای مثال، یک بطری آبفشان کوچک و دستی برای رقیق کردن محلول‌های واکنشگر)، و؛

**الف-۴-۲-۲** اپلیکاتور آب– بطری آبفشان کوچک و دستی برای رقیق کردن محلول‌ها.

**الف-۴-۳ واکنشگر** (محلول اورانیل استات)

**الف-۴-۳-۱** محلول اسید استیک (۱N)؛

**الف-۴-۳-۲** بالن جوشش– با ظرفیت اسمی ۲۵۰ml؛

**الف-۴-۳-۳** آب مقطر یا یونیزه؛

**الف-۴-۳-۴** بالن حجمی– با ظرفیت اسمی ۱۰۰ml؛

**الف-۴-۳-۵** بطری نگهداری پلی‌اتیلنی با سرپوش کاملاً محکم- با ظرفیت اسمی ۱۰۰ml؛

**الف-۴-۳-۶** پودر اورانیل استات (با درجه واکنشگری ACS)؛

**الف-۴-۳-۷** ترازو- با قابلیت سنجش وزن از ۰٫۰۵ g تا ۱۰g، و؛

**الف-۴-۳-۸** محلول اورانیل استات (آماده شده به صورت زیر)- ۵ g از اورانیل استات پودری را وزن کنید. ۱۰۰ml از محلول اسید استیک را با استفاده از بالن حجمی ۱۰۰ml، اندازه‌گیری کنید. (هشدار- اقدامات احتیاطی و ایمنی مناسب را در جابجایی اورانیل استات و اسید استیک به کار برید. محلول اسید استیک اندازه‌گیری شده با بالن حجمی را به بالن جوشش منتقل کنید. ۵ g از اورانیل استات پودری را به بالن جوشش اضافه کنید. مخلوط را روی شعله کم تا حل شدن پودر، حرارت دهید. نگذارید مخلوط به جوش آید. بالن را از روی شعله برداشته و بپوشانید، و اجازه دهید در دمای اتاق سرد شود. محلول سردشده در دمای اتاق را در یک بطری نگهداری پلی‌اتیلنی با سرپوش کاملاً محکم، ذخیره کنید. این محلول، اگر بر اساس توصیف فوق، نگهداری شود، حداقل به مدت یکسال باقی می‌ماند).

**الف-۴-۴** لامپ فرابنفش (UV) موج کوتاه (۲۵۴ nm).

**الف-۴-۵** اطاقک دید یا اتاق تاریک.

**الف-۴-۶** عینک‌های ایمنی- برای محافظت از نور فرابنفش موج کوتاه.

## الف-۵ نمونه‌ها

**الف-۵-۱** نمونه‌های تحت بررسی، می‌تواند از هر اندازه و شکلی باشد. ناحیه سطحی آزمون، باید دارای مساحت اسمی ۱۵۵ $cm^2$باشد، یا برای نمایندگی از بتن، به حدکافی بزرگ باشد. اندازه نمونه، تا حدی تابع حداکثر اندازه سنگدانه است. این روش، برای نمونه‌های کارگاهی و آماده شده در آزمایشگاه، قابل استفاده است. مورد اخیر، شامل نمونه‌های آزمون شده با استفاده از استانداردهای ASTM C227، ASTM C342، ASTM C441 و ASTM C1260 است.

**الف-۵-۲** برای نمایش داخل بتن، نمونه را با استفاده از روش مناسبی، نظیر تکنیک‌های شکافت داده شده در استاندارد ASTM C496/C496M، بشکنید. بلافاصله، آزمون را در سطوح تازه ظاهرشده، انجام دهید.

## الف-۶ روش آماده‌سازی و پیش‌مشاهده

### الف-۶-۱ آماده‌سازی و پیش مشاهده

**الف-۶-۱-۱** سطح نمونه تازه شکسته‌شده را با استفاده از بطری آبفشان پرشده با آب مقطر یا یونیزه‌شده، مرطوب کنید. آزمون را در زمانی که نمونه هنوز مرطوب است، انجام دهید.

**الف-۶-۲** نمونه را از جهت تابش ماهتابی طبیعی، از قبل مشاهده کنید.

**الف-۶-۲-۱** پوشش محافظ، از جمله دستکش‌های پلی‌اتیلنی، روپوش آزمایشگاهی و عینک‌های ایمنی فیلترکننده نورUV را بپوشید. نورUV موج کوتاه، می‌تواند برای چشم‌ها و پوست خطرناک باشد. عینک‌های معمولی یا عینک‌های ایمنی پلاستیکی یا حفاظ صورت، پرتوهای مضر را جذب می‌کنند.

**الف-۶-۲-۲** در صورت استفاده از اطاقک دید، لامپUV را در محل مناسبی در داخل آن قرار دهید. نمونه مرطوب را در داخل اطاقک دید قرار دهید. در صورت استفاده از اتاق تاریک، نمونه مرطوب را بر روی میز قرار داده و چراغ‌ها را خاموش کنید.

**الف-۶-۲-۳** نورUV موج کوتاه را در اطاقک دید یا اتاق تاریک، روشن کرده و آن را بر نمونه مرطوب بتابانید. برای مشاهده از عینک‌های ایمنی فیلترکننده نورUV، استفاده کنید، و برای مقایسه بعدی، تابش ماهتابی سنگدانه‌ها یا دیگر اجزا را یادداشت کنید. سنگدانه‌های غیرفلورسنت به صورت تیره ظاهر می‌شوند، در حالی که خمیرسیمان و سنگدانه‌های ذاتاً فلورسنت، نظیر اپال و برخی سرباره‌ها، تابش ماهتابی ملایمی دارند. موقعیت و ماهیت هر تابش ماهتابی را یادداشت کنید.

## الف-۷ روش عمل‌آوری با اورانیل استات

**الف-۷-۱** پوشش محافظ، از جمله دستکش‌های پلی‌اتیلنی، روپوش آزمایشگاهی و عینک‌های ایمنی فیلترکننده نورUV را بپوشید.

**الف-۷-۲** آزمون باید صرفاً روی سطوح داخلی تازه شکسته شده، انجام شود. در صورتی که سطح داخلی نمونه مرطوب نباشد، با استفاده از بطری آبفشان پرشده با آب مقطر یا یونیزه‌شده، آن را مرطوب نمایید.

**الف-۷-۳** بطری آبفشان را تقریباً تا نصف ظرفیتش از محلول اورانیل استات آماده شده، پر کنید.

**الف-۷-۴** قسمت تحتانی جعبه یا کیف دستکش یا هود آزمایشگاهی را با حوله‌های کاغذی جاذب، بپوشانید. بطری‌های آبفشان حاوی آب مقطر یا یونیزه شده و واکنشگر، بشر پلاستیکی ۵۰۰ml و نمونه مرطوب را در داخل جعبه یا کیف دستکش یا هود آزمایشگاهی، قرار دهید.

**الف-۷-۵** نمونه را در حالت افقی روی حوله کاغذی قرار دهید. محلول اورانیل استات را به سطح داخلی مرطوب نمونه، اعمال کنید. همواره افشانه بطری آبفشان را بر سطح نمونه هدایت کنید. افشانه را تقریباً ۲۵ mm دور از سطح نگه دارید. برای اجتناب از تاری و برگشت از سطح نمونه، فشار بطری در حداقل حفظ شود.

**الف-۷-۶** اجازه دهید، اورانیل استات در سطح داخلی بتن به مدت ۱ min، جذب شود.

**الف-۷-۷** بعد از ۱ min، نمونه را در حالت عمودی روی بشر پلاستیکی ۵۰۰ml، نگه‌داشته و برای زدودن اورانیل استات اضافی از سطح عمل‌آوری شده، با آب مقطر یا یونیزه‌شده، سه بار آن را شستشو دهید. آب حاصل از شستشوی نمونه را در بشر پلاستیکی جمع کنید.

**الف-۷-۸** نمونه را از جعبه یا کیف دستکش یا هود آزمایشگاهی بردارید و آن را روی یک حوله کاغذی قرار دهید. بلافاصله پس از این که عمل‌آوری با اورانیل استات اتمام یافت، نسبت به مشاهده نمونه اقدام کنید.

## الف-۸ قرار دادن سطح عمل‌آوری شده در معرض نور فرابنفش

**الف-۸-۱** در صورت استفاده از اطاقک دید، لامپUV را در محل مناسبی در داخل آن قرار دهید. سطح زیرین اطاقک دید را با حوله‌های کاغذی بپوشانید. در صورت استفاده از اتاق تاریک، قسمتی از روی میز را با حوله‌های کاغذی بپوشانید.

**الف-۸-۲** نمونه را با استفاده از بطری آبفشان پرشده با آب مقطر یا یونیزه‌شده، دوباره مرطوب کنید. نمونه را در داخل اتاقک دید روی حوله کاغذی قرار دهید. در صورت استفاده از اتاق تاریک، نمونه مرطوب را روی حوله کاغذی در روی میز قرار دهید، و چراغ‌های اتاق را خاموش کنید.

**الف-۸-۳** نورUV را بر سطح عمل‌آوری شده بتابانید. به آن نگاه نکنید، و اجازه ندهید کسی بدون استفاده از محافظ چشم، به نورUV نگاه کند.

## الف-۹ شناسایی ژل قلیایی-سیلیسی

**الف-۹-۱** ژل قلیایی-سیلیسی، تابش ماهتابی زرد مایل به سبز روشن دارد، و معمولاً در داخل و اطراف سنگدانه، در خلل و فرج‌ها و در ترک‌ها، رخ می‌دهد. گزارش شده است، که اترینگیت نیز تابش ماهتابی مشابهی دارد.

**الف-۹-۲** ممکن است، نواحی کربناته بتن نیز تابش ماهتابی داشته باشند. در هر حال، تابش ماهتابی ناشی از فرآورده‌های کربناسیون، معمولاً یکنواخت بوده و عموماً در امتداد سطوح بتن قرار گرفته در معرض جو، به وجود می‌آید. کربناسیون همچنین ممکن است، در محل‌هایی با فروپاشی زیاد یا در ترک‌ها و یا هر دو، به وجود آید، که در آن، دی‌اکسید کربن جو به داخل نمونه نفوذ می‌کند.

**الف-۹-۳** برخی از مواد، نظیر خاکستر بادی، دوده سیلیکاتی، خاکستر و پوزولان‌های طبیعی می‌توانند واکنش دهند، که فرآورده‌های واکنش شکل گرفته، تابش ماهتابی دارند. در هر حال، خاکستر بادی و دوده سیلیکاتی با پراکندگی مناسب و سرباره و پوزولان‌های طبیعی با سایش ریز، صرفاً سبب افزایشی در شدت تابش ماهتابی زمینه‌ای یکنواخت خمیر سیمان می‌شوند. در صورتی که این مواد، به خوبی پراکنده نشده باشند، یا به یکدیگر چسبیده باشند، تابش ماهتابی به صورت نواحی ریز گسسته، مشاهده خواهد شد. معمولاً، اندازه این نواحی خیلی کوچک بوده، و از تابش ماهتابی روشن ژل ناشی از سنگدانه‌های ریز و درشت قابل شناسایی است.

**الف-۹-۴** شناسایی وجود ژل قلیایی-سیلیسی با استفاده از این تکنیک، باید توسط سایر روش‌های سنگ‌نگاری نظیر بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع نازک یا قاب‌های پودری یا هر دو، تایید شود.

**الف-۹-۵** تاریخچه تدوین و استفاده از این تکنیک در مراجع [۳۰] و[۳۶] آمده است.

## پیوست ب

## (اطلاعاتی)

## کتابنامه


[1] Mather, K., “Petrographic Examination of Hardened Concrete in Significance of Tests and Properties of Concrete-Making Materials”,Symposium on Significance of Tests and Properties of Concrete andConcrete Making Materials, ASTM 169 A, ASTM International,1966, pp. 125–143.

[2] Smith, Peter, “Investigation and Repair of Damage to Concrete Caused by Formwork and Falsework Fire,” ACI Journal, JACIA, No. 11 ,Nov 1963; ACI Proceedings, PACIA, Vol 60, 1963, pp. 1535–1566.

[3] Green, J. Keith, “Some Aids to the Assessment of Fire Damage”, Concrete, COCTA, Vol 10, No. 1, January 1976, pp. 14–17.

[4] Idorn, G. M., Durability of Concrete Structures in Denmark, Technical University of Denmark, Copenhagen, January 1967, p. 208.

[5] Mielenz, R. C., “Petrography Applied to Portland Cement Concrete”, Reviews in Engineering Geology, edited by T. Fluhr and R. F. Legget, Geological Society of America, GAEGA, Vol I, 1962, pp. 1–38.

[6] Taylor, H. F. W., “Crystal Structures of Some Double Hydroxide Minerals,” Mineralogical Magazine, MNLMB, Vol 39, No. 304, December 1973, pp. 377–389.

[7] Idorn, G. M., “Concrete Deterioration of a Foundation,” Acta Polytechnia (Copenhagen, Denmark), APOBA, No. 4, 1957, pp. 5–48.

[8] Idorn, G. M., “Disintegration of Field Concrete,” Danish National Institute of Building Research and Academy of Technical Science, Commission on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report N1, DNBRA, 1956, 39 pp.

[9] Hutton, C. O., “Two Unusual Occurrences of Paraluminite,” New Zealand Journal of Science and Technology, NZTBA, Vol 26B, 1945, pp. 242–244.

[10] McConnell, D., Mielenz, R. C., Holland, W. Y., and Greene, K. T,. “Cement-Aggregate Reaction in Concrete,” Journal of the American Concrete Institute, JACIA, Proceedings, Vol 44, October 1947, pp. 93–128.

[11] Mather, B., “Cracking of Concrete in the Tuscaloosa Lock,” Highway Research Board Proceedings, HIRPA, Vol 51, 1951, pp. 218–233.

[12] Erlin, Bernard, and Stark, David C., “Identification and Occurrence of Thaumasite in Concrete,” Highway Research Record No. 113, HRBRA, 1966, pp. 108–113.

[13] Winchell, A. N., and Winchell, H., The Microscopical Characters of Artificial Inorganic Solid Substances, Academic Press, New York and London, 1964.

[14] Lea, F. M., The Chemistry of Cement and Concrete, 3d ed., Edward Arnold Ltd., London, England, pp. XIV and 727.

[15] Lerch, W., Ashton, F.W., and Bogue, R. H., "The Sulfoaluminates of Calcium," National Bureau of Standards Journal of Research, JRNBA, Vol 2, 1929, pp. 715–731.

[16] Hansen, W. C., "Anhydrous Minerals and Organic Materials as Sources of Distress in Concrete," Highway Research Record No. 43, Highway Research Board, HRBRA, 1963, pp.1–7.

[17] Mielenz, R. C., "Reactions of Aggregates Involving Solubility, Oxidation, Sulfates, or Sulfides," Highway Research Record No. 43, Highway Research Board, HRBRA, 1963, pp. 8–18.

[18] Erlin, Bernard, "Methods Used in Petrographic Studies of Concrete", Analytical Techniques for Hydraulic Cements and Concrete, ASTM STP 395, ASTM International, 1966, pp. 3–17.

[19] Erlin, Bernard, "Analytical Techniques, Observations of the Performance of Concrete in Service," Highway Research Board Special Report 106, Highway Research Board, HRBRA, Publication 309-01790-4, 1970.

[20] Brown, L. S., "Some Observations on the Mechanics of Alkali-Aggregate Reaction," ASTM Bulletin No. 205, April 1955, p. 40ff.

[21] Symposium on Alkali-Carbonate Rock Reactions, Highway Research Record No. 45, HRBRA, Washington, 1964.

[22] Erlin, Bernie, "Other Viewpoints on Petrographic Reports," Concrete Construction Magazine, February 2000, pp. 21–27.

[23] Erlin, Bernard, "Water-Cement Ratio," Concrete International, American Concrete Institute, March 2000, pp. 7–9.

[24] Liu, J.J., and Kahn, M.S., "Comparison of Known and Determined Water-Cement Ratios Using Petrography," SP-191, "Water-Cement Ratio and Other Durability Parameters," American Concrete Institute, 2000, pp. 11–25.

[25] Erlin, Bernard, Campbell, R.A., "Paste Micro-Hardness—Promising Technique for Estimating Water-Cement Ratio," SP-191, "Water-Cement Ratio and Other Durability Parameters," American Concrete Institute, 2000, pp. 43–55.

[26] Jakobsen, V.H., Laugesen, P., Thaulow, N., "Determination of Water-Cement Ratio in Hardened Concrete by Optical Fluorescence Microscopy," SP-191, "Water-Cement Ratio and Other Durability Parameters," American Concrete Institute, 2000, pp. 27–36.

[27] St. John, D.A., Poole, A.W., and Sims, I., Concrete Petrography, A Handbook of Investigative Techniques, Arnold, 1998, pp.141–150.

[28] SHRP-C-339, "Concrete Microstructure: Recommended Revisions to Test Methods," Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC 1993.

[29] Nordtest Method, NT Build 361, 1991: Concrete, Hardened: Water-Cement Ratio.

[30] Natesaiyer, K., and Hover, K. C., "In Situ Identification of ASR Products in Concrete," Cement and Concrete Research, Vol 18, 1988, pp. 455–463.

[31] Natesaiyer, K., and Hover, K. C., "Further Study of an Insitu Technique for the Identification of Alkali-Silica Reaction Products in Concrete," Cement and Concrete Research, Vol 19, 1989, pp. 770–778.

[32] Natesaiyer, K., and Hover, K. C., “Some Field Studies of the New Insitu Technique for the identification of ASR Products,” Proceedings of the 8th International Conference on Alkali Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, 1989, pp. 555–560.

[33] Natesaiyer, K., Stark, D., and Hover, K. C., “Gel Fluorescence Reveals Reaction Product Traces,” Concrete International, January 1991.

[34] Pflug, H. D., and Crumpton, C. E., “Analysis of Sodium and Concrete by Fluorescence Photometry,” ASTM Materials and Research Standards, July 1963.

[35] Natesaiyer, K., “Some Applications of the Gel Fluorescence Test for Alkali-Aggregate Reaction in Concrete,” Cement and Concrete Deposits, El Sevier Science Publishers Limited, England, 1993.

[36] Strategic Highway Research Program (SHRP), “Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structures”, SHRP-C/FR-91-101, National Research Council, 1991, p. 49.

[37] Brownmiller, L. T., “The Microscopic Structure of Hydrated Portland Cement,” Journal of the American Concrete Institute, JACIA, Proceedings, Vol 39, January 1943, pp. 193–210.