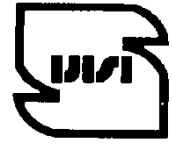




جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۳۲۰۱-۱۱

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

3201-11

1st.Edition

2014

آزمون بتن - قسمت ۱۱:

تعیین مقاومت بتن در برابر کلراید،

انتشار یک سویه

**Testing of concrete :**  
**Part 11: Determination of the chloride**  
**resistance of concrete, unidirectional**  
**diffusion**

ICS:91.100.30

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

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 و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

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

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

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول 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 درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، 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، گواهینامه 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

« آزمون بتن - قسمت ۱۱: تعیین مقاومت بتن در برابر کلراید، انتشار یک سوبه »

### رئیس:

یوسف زاده فرد ، میکائیل  
(دکترای عمران)

### سمت و/یا نمایندگی

دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

### دبیر:

جاودانی، علی  
(فوق لیسانس مهندسی عمران)

شرکت معیار آزمای ارس

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

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان  
آذربایجان شرقی

ارشد، بهمن  
(فوق لیسانس مهندسی عمران)

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان  
آذربایجان شرقی

تقی زاده، نادر  
(فوق لیسانس زمین شناسی)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان  
آذربایجان شرقی

روا، افشین  
(فوق لیسانس مهندسی عمران)

کارشناس

خزانی، ناصر  
(لیسانس مهندسی عمران)

اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان  
شرقی

محدث، نقی  
(فوق لیسانس مهندسی عمران)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ اصول
۴	۵ معرف‌ها و ابزارآلات
۶	۶ آماده کردن آزمون‌ها
۱۰	۷ روند
۱۳	۸ روند بازگشتی و اعلام نتایج
۱۵	۹ گزارش آزمون
۱۶	۱۰ دقت آزمون
۱۷	پیوست الف- ضرایب انتشار
۱۹	پیوست ب- آزمون مغزه بتن
۲۰	پیوست پ- روش غوطه‌ور سازی برای آزمون‌های بزرگ
۲۱	پیوست ت- تجهیزات متداول و روند مربوطه برای اشباع خلاء
۲۳	پیوست ث- روند در معرض محلول کلرید قراردادن آزمون‌ها
۲۵	پیوست ج- فاصله عمق‌ها به منظور ساییدن آزمون‌ه مقطع

## پیش گفتار

استاندارد "آزمون بتن - قسمت ۱۱: تعیین مقاومت بتن در برابر کلراید، انتشار یک سویه" که پیش نویس آن در کمیسیون های فنی مربوطه توسط شرکت معیار آزمای ارس تهیه و تدوین شده است و در پانصد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان، مصالح و فرآورده های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۲/۸ 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 می شود.

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

ISO 1920-11:2013, Testing of concrete, Part 11: Determination of the chloride resistance of concrete, unidirectional diffusion

## آزمون بتن - قسمت ۱۱: تعیین مقاومت بتن در برابر کلراید، انتشار یک سویه

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روشی برای تبیین پارامترهای نفوذ کلرید در حالت ناپایدار یک سویه، برای نمونه‌های تهیه شده از بتن سخت شده می‌باشد. این روش آزمون، تعیین نفوذ کلرید را در یک سن مشخص، به عنوان مثال به منظور رتبه‌بندی کیفیت بتن با آزمون مقایسه‌ای، ممکن می‌سازد.

یادآوری ۱- هدف آزمون عبارت است از ارزیابی مقاومت بالقوه یک مخلوط بتنی در برابر ورود کلرید.

یادآوری ۲- از آنجایی که مقاومت در برابر نفوذ کلرید به سن بتن بستگی دارد، به دلیل تاثیر هیدراتاسیون دائمی بتن، رتبه بندی هم ممکن است که با تغییر سن بتن تغییر نماید.

### 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.

1-2 ISO 1920-3, Testing of concrete — Part 3: Making and curing test specimens

2-2 ISO 1920-6, Testing of concrete — Part 6: Sampling, preparing and testing of concrete cores

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

به منظور دستیابی به اهداف این استاندارد ملی، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

سطح در معرض<sup>۱</sup>

سطحی از عضو<sup>۲</sup> بتنی که در هنگام ساخت و ساز، در معرض محیط کلرید قرار می‌گیرد.

۲-۳

میزان کلرید قابل حل در اسید

1 - As-cast surface  
2 - Element

عبارت است از مقدار کلرید قابل حل در اسید، که به صورت درصدی از جرم بتن بیان می‌شود.

۳-۳

### نفوذ کلرید

عبارت از ورود کلریدها به داخل بتن به دلیل قرار گرفتن در معرض منابع کلرید خارجی است.

۴-۳

### انتشار

حرکت ملوکول‌ها یا یون‌ها تحت یک گرادیان غلظت از یک منطقه با غلظت بالا به منطقه‌ای با غلظت پایین‌تر می‌باشد.

۵-۳

### ضریب انتشار

تناسب بین شار مولکولی (مانند نرخ جریان یون‌های کلرید) و گرادیان غلظت در معادله انتشار.

یادآوری ۱- در این استاندارد ملی ایران، قانون فیک<sup>۱</sup> به عنوان یک نمایانگر ریاضی معتبر برای مکانیسم ورود کلرید، به کار گرفته می‌شود.

یادآوری ۲- به پیوست الف مراجعه شود.

۶-۳

### مقدار کلرید اولیه، $C_i$

مقدار کلرید در یک فاصله به اندازه کافی دور از سطح، که تحت تاثیر نفوذ کلرید محلول در سطح قرار نگیرد.

یادآوری ۱- این مفهوم، مقدار کلرید اولیه را که در هنگام مخلوط شدن بتن از اجزای اصلی به دست می‌آید، منعکس می‌کند.

۷-۳

### ضریب انتشار حالت غیر پایدار، $D_{nss}$

ضریب انتشار که مخلوط‌شدگی هم‌زمان کلرید را به مد نظر قرار می‌دهد.

یادآوری ۱- این مفهوم نرخ انتشار کلرید درون بتن، در زمانی که بخشی از کلرید در حال مخلوط‌شدن با سیمان است را منعکس می‌کند.

یادآوری ۲- به پیوست الف مراجعه شود.

یادآوری ۳- انتشار کلرید در حالت پایدار بر روی نمونه‌های اشباع‌شده با آب، که در آن‌ها کلرید به درون یک نمونه بتنی نازک قرار گرفته بین دو مخزن کلرید محلول، منتشر می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود. که یکی از مخزن‌ها دارای غلظت کلرید بیش از مخزن دیگر است. این انتشار کلرید در حالت پایدار، در این روش آزمون پوشش داده نمی‌شود. انتشار کلرید در حالت پایدار تنها انتشار انتقال یونی را از میان بتن منعکس می‌کند، چرا که بتن قادر نیست یون کلرید بیشتری را مخلوط کند.

۸-۳

### ساییدن مقطع

عبارت است از فرایند ساییدن آزمونه بتنی به شکل لایه‌های متوالی در حالت خشک.

۹-۳

### شرایط اشباع خلاء

آزمونه‌ای که در حالت خلاء با آب اشباع شده است.

## ۴ اصول

یک آزمونه استوانه‌ای یا مکعبی شکل، بر اساس استاندارد ISO1920-3، قالب‌گیری می‌گردد و به مدت یک دوره استاندارد ۲۸ روزه به عمل آورده می‌شود (اصلاحات شرایط عمل آوری در بخش ۶-۱ را نیز ملاحظه کنید).

یادآوری ۱- یک دوره عمل آوری کمتر از ۲۸ روز، بسته به نوع سیمان و هدف از آزمون ممکن است که در نظر گرفته شود. پیوست ب راهنمایی‌هایی در مورد آزمون آزمونه‌های مغزه ارائه می‌دهد که مغزه ممکن است از یک عنصر آزمون، از یک بتن پیش ساخته یا یک سازه نمونه برداری شده باشد.

آزمونه به دو زیر آزمونه تقسیم می‌گردد: یک "آزمونه مقطع" که به منظور تعیین مقطع حاوی کلرید بعد از قرارگیری در معرض ورود کلرید همه سویه استفاده می‌شود و یک زیر آزمونه اولیه کلریدی به منظور تعیین سطح اولیه کلرید،  $C_i$ . این شکل‌های اولیه به عنوان سطح کلرید بتن قالب‌گیری شده در نظر گرفته می‌شوند. آزمونه مقطع به صورت اشباع در حالت خلا با آب مقطر یا آب املاح زدوده شده، که تمامی سطوح آن به غیر از یک سطح، پوشیده شده است که سطح غیر پوشیده در معرض محلول کلرید قرار می‌گیرد. در معرض کلرید قرار گرفتن آزمونه با غوطه‌ور کردن<sup>۱</sup> آن در محلول کلرید انجام می‌پذیرد.



**یادآوری ۲-** آزمون ممکن است بدون اشباع کردن آزمون مقطع در حالت خلاء انجام گیرد، در این صورت بهتر است این موضوع در گزارش آزمون ذکر گردد.

**یادآوری ۳-** در معرض قرارگیری آزمون با روش های جایگزینی قابل حصول است که عبارتند از:

**الف-** غوطه‌ور کردن سطح غیر پوشیده آزمون در محلول کلرید؛

**ب-** وارونه کردن آزمون و غوطه‌ور کردن سطح غیر پوشیده در محلول کلرید.

**یادآوری ۴-** استفاده از آزمون‌های بزرگ کاملاً غوطه‌ور شده در محلول در پیوست پ شرح داده شده است. محلول استاندارد مرجع برای مدت زمان در معرض قرار گیری ۹۰ روز بصورت ۳٪ جرم محلول سدیم میباشد. غلظت محلول در طی مدت آزمون ثابت نگه داشته خواهد شد.

**یادآوری ۵-** ممکن است سایر غلظت‌ها یا محلول‌ها، به عنوان مثال آب دریا، و مدت‌های در معرض قرارگیری به غیر از ۹۰ روز قابل به کار رفتن هستند.

بعد از اینکه مدت زمان در معرض کلرید قرار گیری مشخص شده سپری شد، حداقل ۸ لایه موازی از سطح در معرض قرار گرفته شده از آزمون مقطع کنده میشوند. مقدار کلرید قابل حل در اسید هر یک از لایه‌ها و متوسط عمق لایه از سطح بتن در معرض محلول کلرید قرار گرفته تعیین می‌شود. مقدار اولیه کلرید با ساییدن یک نمونه از یک زیر آزمون و تعیین مقدار کلرید قابل حل در اسید آن تعیین می‌شود. مقدار کلرید محلول در سطح ( $C_s$ ) و ضریب انتشار کلرید در حالت غیر پایدار ( $D_{nss}$ ) با استفاده از تحلیل برگشتی غیر خطی<sup>۱</sup> با روش متناسب کردن منحنی های حداقل مربعات<sup>۲</sup>، تعیین می‌شوند. به دلیل ضریب تغییرات بالا، که برای این آزمون تقریباً برابر با ۱۵٪ است، برای آزمون سه آزمون مختلف مورد نیاز است که نتایج آن‌ها باید به صورت جداگانه گزارش شود.

**یادآوری ۶-** ضریب انتشار کلرید با تغییر سن بتن و بر حسب مدت زمان‌های متفاوت در معرض کلرید قرارگیری آزمون تغییر می‌کند.

**یادآوری ۷-** آزمون انتشار که در این استاندارد ملی بیان شده است تنها برای حالتی که مقدار کلرید اولیه در آن ثابت است معتبر می‌باشد.

**یادآوری ۸-** زمانی که برای این آزمون، اطلاعات دقیق در دسترس باشد یک نحوه بررسی معتبر بودن نتایج دو آزمون یا بیشتر بعلاوه نحوه تعیین مقدار متوسط، معرفی خواهد شد.

## ۵ معرف ها و ابزار آلات

### ۱-۵ معرف‌ها:

1 - Nonlinear regression analysis

2 - Least squares curve fitting procedure

معرف‌های کیفیت تحلیلی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

یادآوری - کلمه "درصد" همواره به معنی درصد جرم می‌باشد مگر آنکه به گونه دیگری ذکر شده باشد.

۱-۱-۵ هیدروکسید کلسیم،  $\text{Ca(OH)}_2$ .

۲-۱-۵ محلول کلرید در معرض:

الف- محلول مرجع

مقدار  $30\text{g NaCl}$  را در  $970\text{g}$  آب مقطر یا آب بدون املاح که هدایت الکتریکی آن در دمای  $20^\circ\text{C}$  کمتر از  $0.5\text{mSm}^{-1}$  باشد حل نمایید تا یک محلول  $\text{NaCl}$  با جرم ۳٪ تولید شود. محلول به دست آمده را در یک ظرف تمیز نگه دارید.

یادآوری - این محلول  $\text{NaCl}$ ، غلظت کلریدی مشابه با آب دریا دارد.

ب- سایر محلول‌های در معرض

در حالتی که غلظت محلول کلرید در معرض به غیر از آنچه در بخش الف بند ۲-۱-۵ ذکر شد باشد، باید غلظت ثبت و گزارش شود. در حالتی که غلظت متفاوتی به کار رفته باشد، ترکیب محلول‌ها باید ثبت و گزارش شود.

یادآوری ۱- آب دریای طبیعی و مصنوعی استفاده شده است تا در معرض قرارگیری کارهای ساخت و ساز را منعکس کنند.

یادآوری ۲- غلظت‌های بالاتر  $\text{NaCl}$ ، مثلاً برابر با ۱۶/۵٪، و مدت زمان‌های در معرض قرارگیری کوتاه‌تر (به عنوان مثال ۳۵ روز)، به منظور شتاب بخشیدن به ایجاد یک مقطع کلرید، قابل به کار رفتن هستند.

۳-۱-۵ سیستم مانع نفوذ ناپذیر کلرید

یک رنگ پلی اورتان یا یک رنگ با اساس اپوکسی یا یک سیستم مانع در برابر انتشار کلرید معادل، برای درزبندی کردن سطوح آزمون به کار می‌رود.

۴-۱-۵ مواد شیمیایی برای آنالیز کلرید

مطابق استاندارد معتبر موجود در مکان مورد استفاده، باید شماره استاندارد مرجع در گزارش آزمون ذکر شود.

۵-۱-۵ آب مقطر یا آب بدون املاح

باید هدایت الکتریکی کمتر یا مساوی  $0.5\text{mSm}^{-1}$  داشته باشد.

۲-۵ ابزار

۱-۲-۵ اژه الماسی خنک شونده با آب

۲-۲-۵ ترازو برای توزین  $\text{NaCl}$  و آب، با قابلیت توزین با دقت  $1\text{g} \pm 1$  گرم

۳-۲-۵ دماسنج، با قابلیت اندازه‌گیری دما با دقت  $1^\circ\text{C} \pm 1$

۴-۲-۵ محفظه با دمای کنترل شده، با قابلیت حفظ کردن دمایی معادل با  $(2 \pm 20)^\circ\text{C}$

۵-۲-۵ یک ظرف پلی اتیلن با دریچه درزبندی شده در مقابل هوا به منظور غوطه‌ور کردن مقطع آزمون

حجم محلول در معرض باید از حجم آزمون بیشتر باشد و در هر صورت نباید کمتر از  $12/5 \text{ ml}$  به ازای هر سانتی متر مکعب از سطح در معرض قرار گرفته باشد. یک ظرف ممکن است حاوی بیش از یک نمونه تهیه شده باشد. نسبت محلول در معرض به سطح در معرض قرار گرفته باید ثبت و گزارش شود.

**یادآوری-** در طی آزمون، غلظت کلرید محلول کلرید در معرض، کاهش پیدا می‌کند و اگر نسبت حجم محلول کلرید در معرض به سطح در معرض قرار گرفته تغییر کند، نرخ کاهش با بتن اسمی یکسان تغییر خواهد کرد. به این دلیل اگر یک مقایسه مستقیم نتایج از آزمون‌های مختلف مورد نیاز باشد، توصیه می‌شود نسبت حجم محلول کلرید در معرض به سطح در معرض قرار گرفته ثابت باشد.

#### ۵-۲-۶ حوضچه به منظور تماس با مقطع آزمون.

حوضچه‌ها باید یک قطر ثابت داشته باشند و عمق اولیه آن‌ها نباید کمتر از  $125 \text{ mm}$  باشد.

#### ۵-۲-۷ ابزار برای ساییدن و جمع‌آوری پودر بتن به صورت لایه‌هایی با عمق $1 \text{ mm}$ یا بیشتر

ابزار برای ساییدن و گردآوردن پودر بتن، که قابلیت ساییدن یک سطح با مساحت حداقل  $4000 \text{ mm}^2$  را داشته باشد و به فاصله  $10 \text{ mm}$  از لبه محدوده آزمون را نساید.

#### ۵-۲-۸ هوای فشرده یا دمنده هوا

به منظور تمیز کردن گرد و غبار از آزمون و ابزار آلات بین لایه‌های ساییده شده.

#### ۵-۲-۹ کیسه‌های جمع کردن گرد و غبار

#### ۵-۲-۱۰ ابزار برای آزمون محتوی کلرید

بر طبق استاندارد ملی معتبر در مکان مورد استفاده، عدد مرجع استاندارد ملی باید در گزارش آزمون ذکر شود.

#### ۵-۲-۱۱ کولیس ورنیه

کولیس ورنیه که قابلیت اندازه‌گیری با دقت تا  $1 \text{ mm} \pm$  را داشته باشد.

#### ۵-۲-۱۲ ظرف خلاء

که قابلیت نگهداری حداقل ۳ آزمون را داشته باشد.

#### ۵-۲-۱۳ پمپ خلاء

با قابلیت نگهداری فشار مطلق کمتر از  $50 \text{ mbar}$  ( $5 \text{ Kpa}$ ) در درون ظرف به عنوان مثال پمپ جت آب<sup>۱</sup>.

### ۶ آماده کردن آزمون‌ها

#### ۶-۱ آماده کردن زیر آزمون‌ها<sup>۲</sup>

1 -Water-jet pump

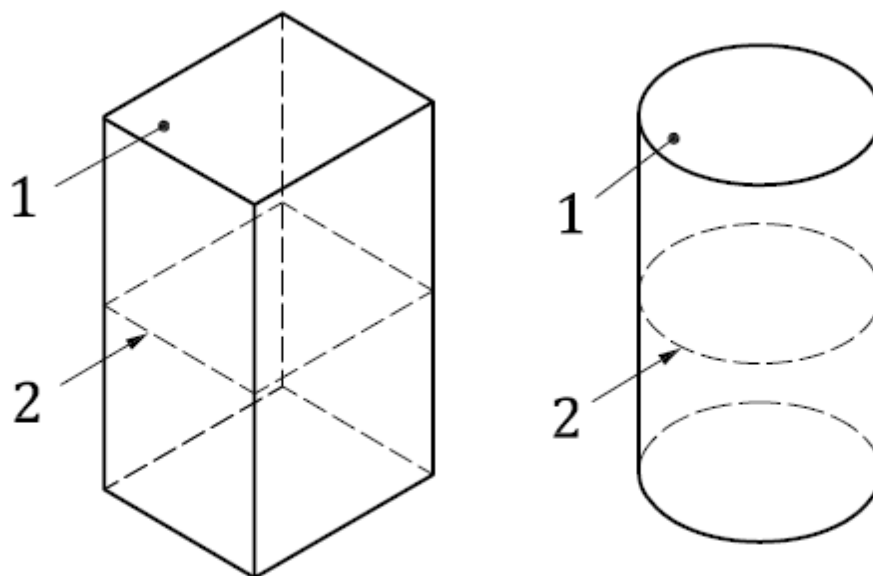
2 -Sub-specimens

اندازه یک آزمون باید به صورتی انتخاب شود که بعد از بریده شدن، حداقل ابعاد زیر آزمون‌ها که برای تعیین یک مقطع کلرید به کار می‌رود، سه برابر حداکثر اندازه اسمی مجموع باشد. سه آزمون که ممکن است به شکل استوانه با قطر ۱۰۰ mm یا بیشتر، یا به شکل مکعب با بعد ۱۰۰ mm یا بیشتر باشند، قالب‌گیری می‌شوند و در یک مخزن آب با دمای  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  به مدت ۲۸ روز بر طبق استاندارد ISO1920-3 عمل‌آوری می‌شوند. در مکان‌های با آب و هوای گرم، شرایط عمل‌آوری بعد از جدا کردن آزمون از قالب، میتواند با آنچه در استاندارد ISO1920-3 آمده است متفاوت باشد. در چنین حالتی، آزمون‌ها می‌توانند درون آب با درجه حرارت  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$  و یا درون یک محفظه با دمای  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$  و رطوبت نسبی حداقل ۹۵٪ نگه‌داری شوند.

**یادآوری** - ممکن است بسته به نوع سیمان و هدف آزمون، یک دوره عمل‌آوری غیر از ۲۸ روز در نظر گرفته شود.

بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری استاندارد یا یک دوره عمل‌آوری مشخص (یادآوری ذکر شده قبلی را ببینید). هر استوانه یا مکعب با استفاده از ارّه الماسی خنک‌شونده با آب، بریده میشود تا دو زیر آزمون از آزمون اولیه اصلی به دست آید. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، آزمون‌های استوانه‌ای در جهت موازی با سطح صاف و آزمون‌های مکعبی در جهت موازی با سطح فوقانی (پرداخت شده) بریده می‌شوند. هیچ بعدی از زیر آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفته به منظور تعیین مقطع کلرید نباید کمتر از سه برابر مقطع اسمی حداکثر مجموع باشد. یک زیر آزمون (که "زیر آزمون مقطع" نامیده می‌شود) به منظور تعیین کردن مقطع کلرید، به کار می‌رود و زیر آزمون کلرید اولیه به منظور تعیین مقدار کلرید اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مقدار کلرید اولیه به عنوان مقدار کلرید قالب بتن در نظر گرفته می‌شود. سطوح اره شده مجاور به منظور تعیین این مقادیر به کار می‌روند.

**یادآوری ۲** - در صورتی که یک مقطع کلرید با لحاظ کردن تاثیر سطح شکل داده شده، مورد نیاز باشد، ممکن است یک سطح شکل داده شده از یک آزمون مکعبی به عنوان سطح قرار گرفته در معرض کلرید، استفاده شود. هرچند نتایج حاصل از چنین روندی به دلیل غلظت‌های خمیر سیمان و کلرید در سطح شکل داده شده، به دشواری قابل تفسیر هستند. بهتر است استفاده از این روند طبق بخش ز بند ۹ گزارش شوند چرا که این حالت یک شرایط آزمون غیر استاندارد است.



راهنما  
 ۱ سطح پرداخت شده  
 ۲ برش به منظور جدا کردن آزمون‌ها و ایجاد سطح در معرض

شکل ۱- آماده کردن آزمون

زیر آزمون بعد از برش به منظور به کار گرفتن در تعیین مقدار کلرید اولیه، یا باید در یک محفظه پلاستیکی درزبندی شده قرار داده شود و یا اینکه بلافاصله مورد آزمون قرار گیرد. در صورت نیاز آزمون‌های مشتق شده از آزمون اصلی اولیه به منظور کاهش اندازه آن‌ها به منظور راحتی کار با آن‌ها قابل برش دادن هستند ولی آزمون مشتق شده از آزمون اصلی اولیه به منظور تعیین مقطع کلرید نباید بعدی کمتر از سه برابر حداکثر اندازه اسمی سنگ‌دانه داشته باشد.

#### ۲-۶ بهینه کردن و آماده نمودن آزمون برای آزمون کلرید

##### ۱-۲-۶ اشباع خلاء مقطع آزمون‌ها

بعد از برش آزمون‌ها، مقطع آزمون‌ها را به صورت خلاء اشباع نمایید. پیوسته ت مقدماتی متداول برای اشباع خلاء را نشان می‌دهد. آزمون‌ها را درون یک محفظه خلاء قرار دهید و طی چند دقیقه بعد از بستن محفظه، فشار مطلق را به مقداری بین ۱۰ mbar و ۵۰ mbar (۱ kPa تا ۵ kPa) کاهش دهید. این فشار مطلق را به مدت ۳ ساعت نگه‌دارید و سپس در حالی که پمپ خلاء هنوز در حال کار کردن است، محفظه را با آب مقطر یا آب بدون املاح پر کنید تا تمامی آزمون‌های مقطع غوطه‌ور شوند.

آزمون‌های مقطع را به صورت غوطه‌ور در آب باقی بگذارید تا زمانی که روند درزبندی کردن سطح آغاز شود.

همان‌گونه که در این بند شرح داده شد، این آزمون ممکن است بدون اشباع خلاء آزمون مقطع در آب انجام شود. اگر آزمون مقطع در آب، اشباع خلاء نشود، این موضوع باید به منظور اجازه مقایسه دادن دو نتیجه آزمون بدست آمده از روش مشابه، در گزارش آزمون ذکر شود.

#### ۲-۲-۶ درزبندی کردن سطوح به غیر از سطوح در معرض کلیات ۱-۲-۲-۶

درزبندی کردن را در طی ۲۴ ساعت از اتمام اشباع خلاء و یا عمل‌آوری استاندارد (در صورتی که اشباع خلاء انجام نگرفته شده باشد) آغاز کنید. باید تمامی سطوح آزمون‌های مقطع به جز سطح برش داده شده، درزبندی شوند، برای استثناء به پیوست پ مراجعه شود. بعد از درزبندی کردن سطح، آزمون‌ها را به مدت حداقل ۱۸ ساعت در یک محلول هیدروکسید کلسیم اشباع قرار دهید.

یادآوری- هدف از درزبندی کردن سطوح به غیر از سطح قرار گرفته در معرض کلرید این است که اطمینان حاصل شود که ورود یون‌های کلرید به درون بتن یک انتشار خالص یک سویه است و ترکیبی از انتشار یا سایر فرایندها به عنوان مثال مکش موئینگی نیست.

#### ۲-۲-۲-۶ روند های درزبندی کردن

الف- آزمون‌های به وسیله روش مرجع استاندارد "غوطه‌ورکردن" در معرض محلول کلرید قرار گرفته می‌شوند. آزمون مقطع باید تا زمانی که سطح آن به حالت "سفید خشک" درآید در هوای آزمایشگاه خشک شود.

یادآوری- این روش معمولاً بین ۲ تا ۴ ساعت طول می‌کشد.

تمامی سطوح به غیر از سطح در معرض محلول کلرید قرار گرفته باید با لایه‌ای از اپوکسی یا پلی‌اورتان یا معادل آن‌ها پوشیده شود تا اطمینان حاصل شود که سطح تحت آزمون قرار گرفته، عاری از مواد پوشش‌دهنده باقی می‌ماند. ماده پوشش دهنده باید طبق توصیه‌های سازنده به کار رود و عمل‌آوری شود.

ب- آزمون‌های قرار گرفته در معرض کلرید با روش‌های جایگزین.

ب-۱ در معرض قرار دادن به وسیله درست کردن حوضچه:

ب-۱-۱ همانطوری که در بخش الف بند ۲-۲-۲-۶ توضیح داده شد برای آزمون‌های در معرض قرار گرفته به وسیله غوطه‌ور سازی؛ یا

ب-۱-۲ سطح را با یک پارچه خشک کنید تا آب آزاد را بزداييد و سطح را با یک یا سه لایه نوار پلیمری یا نواری از ماده مرکب خود آمیخته شونده با میزان نفوذپذیری پایین بخار آب (به عنوان مثال نوار فویل آلومینیومی یا سطح نازک پلیمری پارافینی شده)، با اطمینان حاصل کردن از هم‌پوشانی کافی محل‌های اتصال، بپیچانید.

یادآوری- اگر یک لایه به کار رفته باشد طبق بخش ب بند ۲-۲-۷ احتیاج به محافظت اضافی دارد.

ب-۲ در معرض قرار دادن به وسیله غوطه‌ور سازی:

ب-۲-۱ برای آزمون‌های در معرض قرار گرفته به وسیله غوطه‌ورسازی، همانطوری که در بخش الف بند ۶-۲-۲-۲ شرح داده شد.

### ۶-۲-۳ در معرض محلول کلرید قرار دادن آزمون‌ها

الف- آزمون‌ه مقطوع برای غوطه‌ورسازی - روش مرجع استاندارد.

بعد از نگه‌داری در محلول هیدروکسید کلسیم اشباع، آزمون‌ه باید مستقیماً بدون اینکه سطح آن خشک شود به محل در معرض قرارگیری انتقال پیدا کند. یک روند و ترتیب مناسب برای این کار در پیوست ۳ نشان داده شده است.

ب- روش‌های جایگزین برای اینکه زیر آزمون‌ه مقطوع در معرض قرار بگیرد:

ب-۱- زیر آزمون‌ه مقطوع برای قرارگیری درون حوضچه

بعد از اینکه آزمون‌ه درون محلول هیدروکسید کلسیم به مدت کافی نگه‌داری شد، یک حوضچه به حالتی بر روی آزمون‌ه قرار داده میشود که از نشت محلول کلرید در معرض جلوگیری کند. یک روند و ترتیب مناسب برای این کار در پیوست ۳ نشان داده شده است. به اینکه حجم حوضچه باید برابر با مقدار تعیین شده در بخش ۵-۲-۶ باشد توجه داشته باشید.

به منظور جلوگیری از نشت، مرز بیرونی بین لوله‌ی پلاستیکی و آزمون‌ه، درزبندی شده است. قطر لوله به کار رفته به منظور شکل دادن حوضچه ممکن است که ۱۰mm تا ۲۰mm کمتر از قطر آزمون‌ه باشد تا امکان شکل-گیری حالت درزبندی شدگی در برابر آب را پدید آورد. سطحی که با حوضچه پوشیده نشده است، باید توسط درزگیر یا یک نوار که در بخش ب بند ۶-۲-۲-۲ شرح داده شد، کاملاً درزبندی شود.

یادآوری - در لبه چنین آزمون‌هایی، ورود همه سوبه کلرید صورت نخواهد گرفت.

یک روش جایگزین عبارت است از استفاده از یک لوله اندکی بزرگتر و یک درزگیر لاستیکی بین لوله و سطح درزبندی شده آزمون‌ه.

ب-۲- زیر آزمون‌ه مقطوع برای غوطه‌ور سازی:

بعد از درزبندی کردن مطابق بند ۶-۲-۲ و نگه داشتن آزمون‌ه در محلول هیدروکسید کلسیم، آزمون‌ه باید بدون خشک شدن سطح آن، مستقیماً به دستگاه غوطه‌ورسازی در معرض انتقال داده شود.

## ۷ روند

۷-۱ شرایط در معرض قرار گیری

۷-۱-۱ محلول کلرید در معرض

محلول کلرید در معرض دارای ۳٪ محلول NaCl مطابق بخش الف بند ۵-۱-۲ خواهد بود مگر در صورتی که غیر از این ذکر شود. اگر محلول کلرید در معرض، متفاوت با محلول مرجع باشد (به بخش ب بند ۵-۱-۲ مراجعه شود)، باید گزارش شود.

**یادآوری ۱-** اگر مد نظر است آزمون برای یک کاربرد خاص در یک شرایط در معرض قرارگیری مشخص قرار گیرد، محلول کلرید در معرض باید منعکس کننده شرایط در معرض قرارگیری باشد که تخلیه مورد انتظار کلرید را به حساب آورد.

**یادآوری ۲-** در طی مدت زمان آزمون غلظت کلرید در معرض، کاهش پیدا خواهد کرد. حجم محلول کلرید در معرض، به نوعی انتخاب شده است که در طی روند یک آزمون که به مدت ۹۰ روز به طول می‌انجامد نیاز به تعویض محلول نداشته باشد. اگر یک دوره آزمون طولانی‌تر مورد نیاز باشد، بهتر است محلول کلرید در معرض، در فواصل زمانی ۹۱ روزه تعویض گردد.

**یادآوری ۳-** قانون فیک بر این فرض استوار است که غلظت کلرید خارجی در طی مدت زمان انجام‌گیری آزمون ثابت باقی می‌ماند. در شرایط آزمون عادی، خطای معرفی شده در اثر فرض کردن اینکه غلظت کلرید در غلظت‌های اولیه ثابت باقی می‌ماند، کوچک است.

### ۲-۱-۷ دمای در معرض قرار گیری

دمای حمام آب برای غوطه‌ور کردن آزمون، دمای محلول کلرید در معرض در روش غوطه‌ور سازی و دمای اتاق به کار رفته به منظور نگه‌داری آزمون قرار گرفته در حوضچه، باید برابر با مقدار  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  نگه داشته شود و روزانه حداقل یکبار بررسی و تایید گردد و ابزارآلات به کار رفته در آزمون و محدوده‌های در نظر گرفته شده در طی مدت آزمون باید گزارش شوند.

### ۲-۷ روش در معرض قرار گیری

#### ۱-۲-۷ کلیات

سطح در معرض قرار گرفته (برش داده شده) آزمون‌های مقطع باید در تماس مستقیم با محلول کلرید در معرض باشد چه با غوطه‌ورسازی، چه با درست کردن حوضچه یا واژگون کردن، سن آزمون، وقتی که برای اولین بار در معرض محلول کلرید قرار می‌گیرد باید ثبت و گزارش شود.

### ۲-۲-۷ روش در معرض قرار گیری

#### الف- روش مرجع استاندارد غوطه‌ورسازی

آزمون‌های مقطع که قرار است غوطه‌ور شوند باید درون محفظه‌هایی که حاوی محلول کلرید در معرض هستند قرار بگیرند و محفظه باید کاملاً از محلول پر شود و درزبندی گردد. این محفظه‌ی درزبندی شده باید در حمام آب مخصوص برای این آزمون قرار داده شود.

ب- روش‌های جایگزین در معرض قرار گیری

#### ب-۱- قراردادن درون حوضچه

برای آزمون‌های درون حوضچه قرار داده شده، حوضچه باید کاملاً با محلول کلرید در معرض احاطه شود و سپس بایک نوار نازک پلاستیکی درزبندی گردد. سپس تمامی مجموعه درون یک اتاقک بسته که محتوی رطوبت نسبی بیش از ۹۵٪ است قرار می‌گیرد. اگر با پرکردن جزئی اتاقک، رطوبت نسبی بالا حاصل گردد، آزمون‌ها باید در حالتی نگه‌داری شوند که از تماس مستقیم با آب جلوگیری شود.



اگر رطوبت نسبی محیط اتاقک پایین تر از ۱۰٪ باشد، به عنوان مثال زمانی که برای به عمل آوری نمونه‌ها از یک اتاق بخار استفاده میشود و وجوه جانبی نمونه‌ها با یک لایه از نوار پوشیده شده است، وجوه جانبی نمونه را با دو لایه اضافی از همان نوار یا لایه نازک پلاستیک پلی اتیلن بپیچانید تا کاملاً از امکان خشک شدن بتن احتراز شود.

#### ب-۲- غوطه‌ورسازی

زیر نمونه مقطع سر و ته میشود و سطح در معرض قرار گرفته آن درون محلول کلرید در معرض قرار میگیرد. این نمونه باید در حالتی ثابت شود که اطمینان حاصل شود که تمامی سطح در معرض قرار گرفته، در تماس با محلول باشند و در تماس باقی بمانند، به عنوان مثال بر روی یک شبکه باز تور مانند که در زیر سطح محلول کلرید در معرض قرار گیرنده ثابت شده است قرار گرفته و محکم شوند. نمونه‌ها درون محلول باید طوری قرار بگیرند که خطر هوای محبوس شده را به حداقل برسانند. اتاقک درزبندی خواهد شد تا از تبخیر جلوگیری شود.

#### ۷-۳ مدت زمان در معرض قرار گیری:

زمان مرجع برای در معرض کلرید قرار گرفتن ۹۰ روز میباشد. مدت زمان در معرض قرار گیری بسته به اجزای تشکیل دهنده بتن و شرایط اختلاط، ممکن است که به غیر از ۹۰ روز باشد.

#### ۷-۴ تعیین مقدار کلرید اولیه ( $C_i$ ):

آزمونه مقدار کلرید اولیه را از درون محفظه پلاستیکی بیرون آورید. یک لایه به ضخامت تقریباً ۱ mm باید از سطح برش داده شده آزمونه اولیه مقدار کلرید، ساییده شده و دور انداخته شود. سپس همان سطح ساییده می-شود تا یک گرد با وزن ۲۰g از نمونه برای آنالیز کلرید حاصل شود. مقدار کلرید قابل حل در اسید بر طبق یک استاندارد معتبر تعیین می‌شود و بر حسب درصد جرم بتن بیان می‌شود و با  $C_i$  نشان داده می‌شود. شماره مرجع استاندارد ملی باید در گزارش آزمون ذکر شود.

اگر تعدادی آزمونه از یک بحر بتن با ترکیب یکسان ساخته شده باشند، مقدار کلرید اولیه از روی آزمون یک آزمونه واحد قابل تعیین است.

#### ۷-۵ ساییدن مقطع

بعد از ۹۰ روز و در طی ۸ ساعت بعد از جدا کردن آزمونه از محلول در معرض، حداقل ۸ لایه موازی از زیر آزمونه مقطع باید به صورت خشک ساییده شوند که هر لایه یک نمونه حاوی حداقل ۵ گرم بتن تامین کند و این روند به شکلی باشد که خارجی ترین لایه نیز ضخامتی حداقل برابر با ۱mm داشته باشد. ضخامت لایه باید مطابق مقطع کلرید مورد انتظار تنظیم شود تا حداقل ۶ نقطه، مقطع بین سطح در معرض و عمقی که در آن محتوی کلرید بالاتر از محتوی کلرید اولیه باشد را پوشش دهد. حد فواصل توصیه شده عمق برای ساییدن مقطع برای بتن ساخته شده از سیمان پرتلند و بتن های حاوی خاکستر بادی، GGBS یا میکروسیلیس در پیوست ث داده شده است.

**یادآوری ۱-** مقادیر آورده شده در پیوست ۳ ممکن است برای بتن های با سن زیادتر یا بتن های گرفته شده از سازه های موجود مناسب نباشند.

**یادآوری ۲-** در شرایط عادی همه ۷ لایه شامل مقطع خواهند بود (مقدار لایه سطحی درون شامل مقطع نمی باشد). معیار حداقل ۶ نقطه به منظور جلوگیری از این مسئله است که اگر ثابت شود که یک لایه خارج از محدوده است کل آزمون غیر معتبر گردد.

بعد از ساییدن، باقی مانده آزمون مقطع را در یک محفظه پلاستیکی درزبندی شده چسبان تا زمانی که مقطع محاسبه شود نگه دارید. در صورتی که محتوی کلرید در عمیق ترین لایه بیش از  $C_i + 0.015\%$  باشد، لایه های بیشتری را بسایید تا زمانی که مقطع کامل ایجاد شود. به منظور حصول اطمینان از اینکه یک مقطع کامل به دست آمده است، به عنوان مثال محلول کلرید به تمامی زیر آزمون مقطع نفوذ نکرده است، آخرین لایه باید در عمقی حداقل برابر با ضخامت مقطع آزمون و در هر صورت حداقل عمق برابر با  $10\text{ mm}$  باشد.

آزمون های بتنی باید به صورت خشک آسیاب شوند و ساییده شدن آنها باید بر روی یک سطحی انجام گیرد که کمینه مساحت آن برابر با  $40\text{ cm}^2$  باشد و درون محدوده  $10\text{ mm}$  داخل ناحیه تماس انجام گیرد تا از تاثیر لایه ها و از اختلال ناشی از پوشش بتن، احتراز شود.

آزمون مقطع باید به نحوی ایمن به صورت موازی با ساییده ثابت شود و یک محفظه جمع آوری کننده گرد، به عنوان مثال یک کیسه پلاستیکی، باید در موقعیت خود ثابت شود تا گرد را جمع آوری کند. بهتر است هر لایه حداقل ۵ گرم گرد تولید کند. بعد از ساییدن هر لایه، تجهیزات و سطح زیر آزمون مقطع را با هوای فشرده یا با یک دمنده هوا از هر گونه گرد باقی مانده پاک کنید، سپس عمق لایه را اندازه بگیرید. عمق لایه با استفاده از قانون کالیپر<sup>۱</sup> به صورت متوسط پنج اندازه گیری با توزیع مساوی، اندازه گیری می شود.

گرد بتنی هر لایه در کیسه های پلاستیکی علامت گذاری شده جمع آوری میشود تا به منظور تعیین غلظت کلرید آنالیز گردند. هر کیسه باید به وضوح به صورت آزمون مشتق شده از نمونه مرجع، حد فاصل عمق و تاریخ علامت گذاری شود.

## ۶-۷ آنالیز کلرید

مقدار کلرید قابل حل در اسید هر نمونه ساییده شده باید بر طبق استاندارد ملی معتبر در محل استفاده تعیین شود. شماره مرجع استاندارد ملی باید در گزارش آزمون ذکر شود.

## ۸ روند رگرسیون<sup>۲</sup> و گزارش نتایج

اولین نقطه مورد استفاده در تحلیل رگرسیونی لایه دوم از سطح می باشد.

1- Calliper rule

2 - Regression

عمقی را که در آن، محتوی کلرید برای اولین بار به مقداری بین  $C_i$  و  $C_i + 0.15\%$  میرسد تعیین کنید. این آخرین نقطه به کار رفته در آنالیز برگشتی است و "نقطه صفر" نامیده می‌شود. اگر این نقطه حاصل نشود، لایه‌های بیشتری باید از زیر آزمون مقطع ساییده شود تا جایی که محتوی کلرید اولیه حاصل شود. لایه‌های عمیق‌تر از این نقطه و همچنین لایه سطح از آنالیز برگشتی مستثنی می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، مقدار کلرید محاسبه شده در سطح ( $C_s$ ) و ضریب انتشار کلرید در حالت ناپایدار ( $D_{nss}$ )، برای نقاط مرتبط، با استفاده از آنالیز برگشتی غیرخطی با آخرین مربعات و با استفاده از فرمول (۱)، درحالی که لایه سطح مقطع حذف شده است، تعیین می‌شود.

فرمول (۱)

$$C_x = C_i + (C_s - C_i) \left( 1 - \operatorname{erf}_{(x)} \left[ \frac{x}{2\sqrt{D_{nss}t}} \right] \right)$$

که در این فرمول

$C_x$  محتوی کلرید اندازه گرفته شده در عمق متوسط  $x$  و در زمان در معرض قرار گیری  $t$ ، بر حسب درصد جرم بتن می‌باشد.

$C_s$  محتوی کلرید اندازه گرفته شده در سطح در معرض قرار گرفته شده، بر حسب درصد جرم بتن می‌باشد.

$C_i$  محتوی کلرید اولیه، بر حسب درصد جرم بتن می‌باشد.

$x$  عمق زیر سطح در معرض قرار گرفته شده تا نقطه ی وسط لایه ی ساییده شده، بر حسب متر ( $m$ ) می‌باشد.

$D_{nss}$  ضریب انتشار کلرید در حالت ناپایدار، بر حسب مترمربع بر ثانیه ( $m^2s^{-1}$ ) می‌باشد.

$t$  زمان در معرض قرار گیری، بر حسب ثانیه می‌باشد.

$\operatorname{erf}_{(x)}$  تابع خطا که در فرمول (۲) شرح داده شده است می‌باشد.

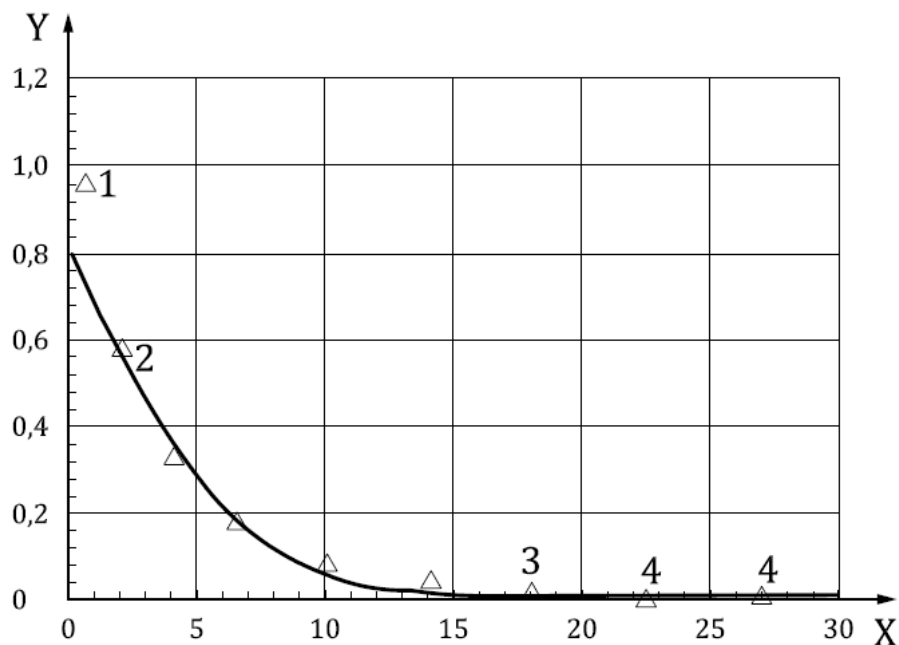
فرمول (۲)

$$\operatorname{erf}_{(x)}z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-u^2) du$$

مقادیر  $\operatorname{erf}z$  در بسته نرم افزارهایی که به طور گسترده‌ای در دسترس هستند داده شده است.

یادآوری ۱- توصیه نمی‌شود مقادیر  $C_S$  و  $D_{nss}$  به منظور تخمین نفوذ کلرید در شرایطی به غیر از شرایط مورد استفاده در آزمون استفاده شوند.

یادآوری ۲- نتایج این آزمون به روش‌های گوناگون قابل بیان شدن است، به عنوان مثال به صورت پارامتر نفوذ یا به صورت عمق مورد نیاز برای رسیدن به مقدار کلرید بحرانی.



راهنما

Y مقدار کلرید، بر حسب درصد جرم بتن

X عمق، بر حسب میلیمتر

۱ در رسم منحنی، اولین نقطه همیشه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد

۲ این اولین نقطه است که در تحلیل رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفته است

۳ "نقطه صفر"

۴ برای نقاط بعد از نقطه صفر نیز، منحنی عبور داده نمی‌شود

شکل (۲) - نمودار تحلیل رگرسیونی

## ۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

(الف) شناسایی آزمون‌های آزمون؛

(ب) توصیف آزمون شامل تعیین سن آن در آغاز آزمون؛

(پ) تاریخ و زمان آغاز آزمون؛

- ت) مدت زمانی که آزمون به طول می‌انجامد؛
- ث) مدت زمان‌های به عمل آوری به غیر از ۲۸ روز؛
- ج) حالتی که در آن آزمون، بدون اشباع شدن آزمون‌ه مقطوع در خلاء، انجام گرفته است؛
- چ) محلول کلرید در معرض در صورتی که چیزی غیر از محلول NaCl ۳٪ باشد؛
- ح) غلظت NaCl اولیه و نهایی محلول آزمون؛
- خ) مدت زمان در معرض قرار گیری برای محلول کلرید، در صورتی که غیر از ۹۰ روز باشد؛
- د) روش در معرض قرار گیری (به وسیله فروبردن، غوطه‌ور سازی یا واژگون سازی)؛
- ذ) دمای متوسط بعلاوه بیشترین و کمترین دمای محلول کلرید در معرض؛
- ر) حجم محلول کلرید در ازای سطح در معرض قرار گرفته (برحسب میلی لیتر بر سانتیمتر مربع  $(\text{ml cm}^{-2})$ )؛
- ز) وسایل اندازه‌گیری کلرید منفرد و عمقی که آن‌ها نشان می‌دهند؛
- س) شماره مرجع استاندارد ملی که مقدار کلرید قابل حل در اسید بر طبق آن تعیین شده است؛
- ش) محتوی کلرید اولیه،  $C_i$  بر حسب درصد جرم بتن؛
- ص) شرایط مرزی محاسبه شده در سطح در معرض،  $C_s$  بر حسب درصد جرم بتن؛
- ض) ضریب انتشار کلرید در حالت ناپایدار،  $D_{nss}$ ، برای هر آزمون بر حسب سانتیمتر مربع بر ثانیه  $(\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1})$ ، ضریب همبستگی و تعداد نقاط تحلیل رگرسیونی؛
- ط) مقدار متوسط ضریب انتشار کلرید در حالت ناپایدار،  $D_{nss}$ ، و مقدار متوسط غلظت کلرید محاسبه شده در سطح در معرض قرار گرفته،  $C_s$ ؛
- ظ) هر گونه انحراف از روش استاندارد آزمون؛
- ع) یک اعلان توسط شخصی که به صورت فنی مسئول آزمون است مبنی بر اینکه آزمون مطابق با این بخش از این استاندارد ملی انجام گرفت، به غیر از مواردی که در بخش ظ به آن اشاره شد.

## ۱۰ دقت آزمون

هیچ داده مربوط به دقت آزمون در دسترس نیست.

یادآوری - ضرایب متغیرهایی که در ذیل می‌آید برای نتایج یک آزمون منفرد قابل انتظار است:  $C_s$  تقریباً برابر با ۲۰٪ و  $D_{nss}$  تقریباً برابر با ۱۵٪.

پیوست الف  
(اطلاعاتی)  
ضرایب انتشار

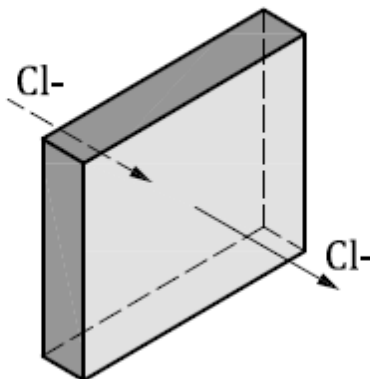
با روش زیر ضریب انتشار (شکل الف-۱ را ببینید) به صورت نرخ انتقال ماده منتشر شونده از میان سطح واحد یک مقطع تقسیم بر گرادیان فضایی غلظت در آن مقطع، تعیین می‌شود:

فرمول (الف-۱)

$$D = -\frac{F}{\partial c / \partial x}, m^2 / s$$

که در آن:

$F$  عبارت است از نرخ جریان (شار) بر حسب مول بر متر مربع در ثانیه ( $\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}$ ).  
 $\partial c / \partial x$  گرادیان غلظت است که در آن غلظت بر حسب مول بر متر مکعب ( $\text{mol/m}^3$ ) می‌باشد.



شکل الف-۱: مقطع واحد برای تعیین جریان کلرید

این تعریف به اهمیت واحدهای  $D$  و ارتباط منطقی آن‌ها در تمام این تعریف توجه می‌کند. برای بتن، به جای غلظت، مقدار کلرید به کار می‌رود، که برای محلول‌های الکترولیتی متداول قابل استفاده است. به جهت آن که تعدادی از یون‌های کلرید ممکن است با فازهای سیمان واکنش نشان دهند یا ترکیب شوند، برای آزمون ضروری است که حداقل دو نوع ضریب انتشار مشخص شود:

الف- ضریب انتشار حالت پایدار: این حالتی است که یک شار ثابت از یون‌های کلرید در طی زمان آزمون حاصل شود. غلظت کلریدها با واحدهای بر حسب مول‌های کلرید به ازای متر مکعب محلول آزمون داده شده است. به

دلیل شرایط آزمون، ضریب انتشار محاسبه شده از این روش، پتانسیل چنین بتنی را برای ترکیب شدن با یون-های کلرید در نظر نمی‌گیرد.

ب- ضریب انتشار حالت ناپایدار: این حالتی است که جریان یون‌های کلرید در طی زمان آزمون ثابت نیست. غلظت کلریدها به صورت درصدی از جرم سیمان یا بتن، یا بر حسب کیلوگرم به ازای متر مکعب بتن ( $\text{kg m}^{-3}$ ) بیان می‌شود. به دلیل شرایط آزمون ضریب انتشار محاسبه شده از این روش، توانایی بتن برای ترکیب شدن یون‌های کلرید را به حساب می‌آورد.

## پیوست ب

### (اطلاعاتی)

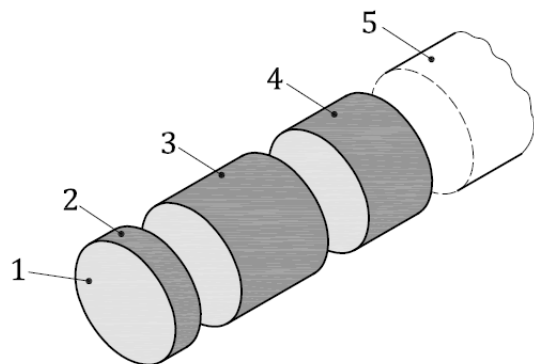
#### آزمون آزمون مغزه

بهتر است سن بتن سازه‌ای که آزمون مغزه‌ها از آن سازه گرفته خواهند شد ۲۸ روز کامل باشد، که یک روز کامل عبارت است از زمان لازم برای ایجاد بلوغ در بتن با عمل آوردن تحت آب به مدت یک روز در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و یا دمای  $27^{\circ}\text{C}$  برای شرایط آب و هوایی گرم. سن بتن و یا هر اطلاعات دیگری در مورد به عمل‌آوری عضو باید ثبت و گزارش شود.

مغزه‌ها باید بر طبق استاندارد ایزو ۶-۱۹۲۰ تهیه گردند. هنگامی که یک مغزه از یک سازه موجود گرفته می‌شود، ضروری است که آزمون مقطع از ناحیه‌ای باشد که تحت تاثیر ورود خارجی کلرید قرار نگرفته است.

**یادآوری** - اگر هدف آزمون ارزیابی قابلیت تحمل پذیری یک سازه باشد، مهم است که بتن مورد آزمون، از بتنی باشد که آرماتور تقویت کننده را پوشش می‌دهد. لایه خارجی مغزه به اندازه ۱۰mm پوشش<sup>۱</sup> حاوی خمیر سیمان با غلظت‌های بیشتر است که ممکن است که مقدار  $C_s$  و  $D_{nss}$  ضبط شده را تحت تاثیر قرار بدهد که معمولاً بریده شده و به دور انداخته می‌شود و آزمون بر روی سطح اره شده به فاصله ۱۰mm از سطح سازه انجام می‌شود. همان طوری که در شکل ۱ نشان داده شده است، این روند در مورد آزمون‌های قالب گیری شده نیز انجام می‌گیرد. زمانی که پوشش یک سازه موجود مورد آزمون قرار می‌گیرد، ضروری است اطمینان حاصل شود که در آن لحظه آزمون گرادیان کلرید نداشته باشد. زمانی که این روش به کار می‌رود، بهتر است انحرافات از این آزمون ثبت شوند.

شکل ب-۱ موقعیت‌های نسبی آزمون از جمله سطح در حین قالب‌گیری، زیر آزمون مقطع، و آزمون اولیه کلرید را برای یک آزمون مغزه زمانی که برای تعیین ضریب انتشار ناحیه پوشش<sup>۲</sup> یک سازه موجود به کار می‌رود را به شرطی که در ناحیه پوشش گرادیان کلرید موجود نباشد، نشان می‌دهد.



#### راهنما

۱ سطح در حین قالب گیری

۲ ۱۰ mm خارجی که به دور انداخته می‌شود

۳ برای مقطع کلرید (ابعاد باید مطابق بخش ۶-۱ باشند)

۴ ضخامت ۲۰ mm به منظور فراهم کردن مقدار کلرید اولیه

۵ مغزه داخلی

شکل ب-۱ آزمون اصلی و آزمون‌های مشتق شده از آزمون اصلی برای یک آزمون مغزه

1-Cover

۲ -Cover zone : مقدار بتنی که بین قالب و میلگردها قرار گرفته و میلگردها را پوشش میدهد و در اصطلاح فنی به آن بتن کاور نیز میگویند.



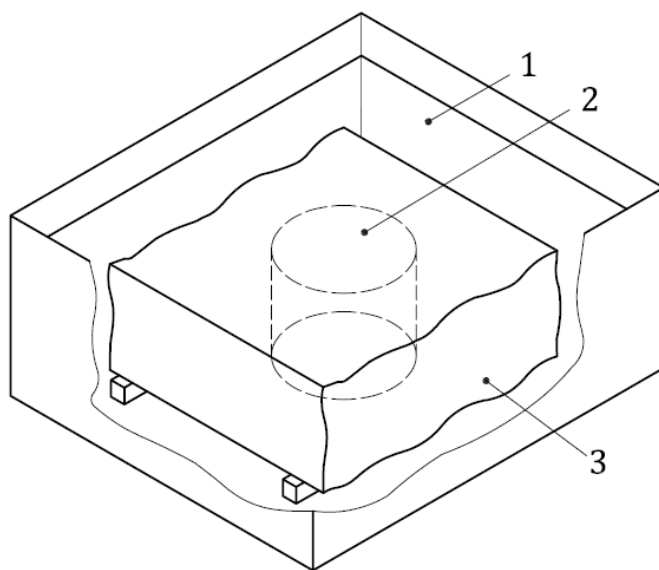
## پیوست پ

### (الزامی)

#### روش غوطه‌ور سازی برای آزمون‌های بزرگ

آزمون‌های بزرگ، به اندازه کافی بزرگ هستند طوری که زمانی که کل آزمون غوطه‌ور می‌شود ناحیه‌ای که از آن نمونه‌های پودر ساییده می‌شود، از ورود دو بعدی و سه بعدی یون‌های کلرید تاثیر نپذیرد. زمانی که این تکنیک به کار می‌رود، نسبت ناحیه در معرض قرار گرفته آزمون به حجم محلول در معرض، باید برابر با مقدار گفته شده در بخش ۵-۲-۵ باشد. یک مثال از یک روند و ترتیب مناسب برای این منظور در شکل پ-۱ نشان داده شده است.

در جایی که یک آزمون بزرگ به کار رفته است بدون درزبندی شدن سطوح غیر آزمون شونده، ساییدگی باید انجام شود درون یک محدوده ۵۰mm داخل مرز آزمون انجام شود تا از تاثیر لبه‌ها احتراز گردد.



راهنما

۱ محلول کلرید حداقل ۱۲/۵ میلی لیتر به ازای سانتیمتر مربع از سطح در معرض قرار گرفته.

۲ ساییدن مقطع در محدوده حداقل ۵۰ میلیمتری داخل آزمون انجام گرفت.

۳ سطح درزبندی نشده

شکل پ-۱ یک مثال از آزمون بزرگ غوطه‌ور شده

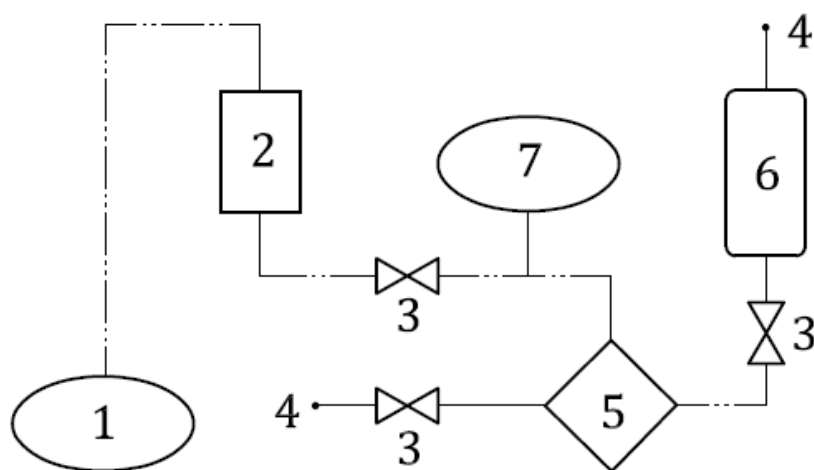
## پیوست ت

### (اطلاعاتی)

#### تجهیزات و فرایند متداول برای اشباع شدن در خلاء

##### بخش ت-۱ دستگاه

شکل ت-۱ یک ابزار متداول به کار رفته برای اشباع شدن در خلاء آزمونه‌های بتنی را نشان می‌دهد.



##### راهنما

- ۱ - پمپ خلاء
- ۲ - تله آب
- ۳ - شیر
- ۴ - اتصال هوا
- ۵ - اتاقک خلاء
- ۶ - مخزن آب
- ۷ - فشارسنج یا مانومتر

شکل ت-۱: ترتیب متداول ابزارآلات به کار رفته برای اشباع شدن در خلاء آزمونه‌های بتنی

ت-۱-۱ مخزن آب، ظرف با گنجایش ۵۰۰ ml یا بزرگتر با قابلیت تخلیه شدن از زیر ظرف.

ت-۱-۲ اتاقک آب، با قطر اولیه کمینه ۲۵۰ ml که با سه اتصال دهنده تجهیز شده است تا مخزن آب، پمپ خلاء و جو را متصل کند.

ت-۱-۳ فشارسنج یا مانومتر، با دقت ۱ mbar.

ت-۱-۴ تله آب، به منظور محافظت پمپ خلاء از آب باید به کار رود. اگر تله آب به کار نرود، توصیه می‌شود پمپ روغن برای هر عملیات تعویض شود.

ت-۱-۵ پمپ خلاء، با قابلیت کاهش فشار به مقداری بین ۱۰ mbar و ۵۰ mbar.

ت-۱-۶ شیر به تعداد سه عدد و خطوط جریان، به منظور متصل کردن و کنترل جریان مایع.

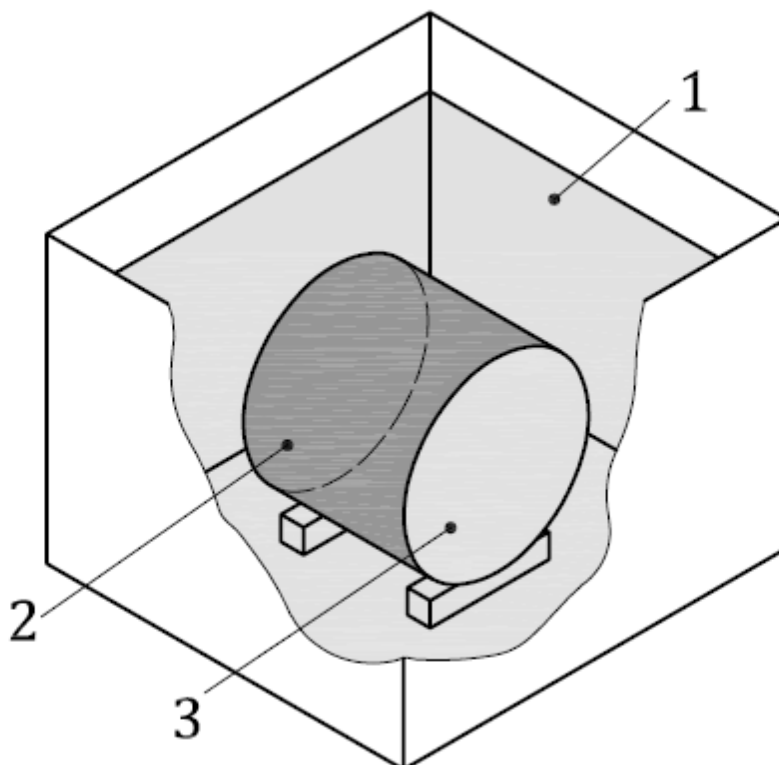
## ت-۲ روش آزمون

- الف) آزمون‌های مقطع را درون محفظه خلاء قرار دهید و شیرهای منتهی به محفظه را ببندید.
- ب) شیر خلاء را باز کنید و پمپ خلاء را روشن کنید تا فشار مطلق را به مقداری بین ۱۰mbar تا ۵۰mbar (مقداری بین ۱ kPa تا ۵ kPa) کاهش دهد. توصیه می‌شود این روند تنها چند دقیقه طول بکشد و این فشار مطلق را به مدت ۳ ساعت نگه دارید.
- پ) در حالی که پمپ خلاء هنوز روشن است، شیرهای آب را برای مدتی که برای پر شدن محفظه با آب مقطر یا آب بدون املاح از محفظه متصل شده لازم است، باز کنید. بهتر است تمامی آزمون‌ها کاملاً وارد نشود در آب غوطه‌ور شوند. در طی این آزمون، اطمینان حاصل کنید که هوا از خط آب به پمپ خلاء وارد نشود.
- ت) خلاء را برای مدت بیش از یک ساعت نگه دارید.
- ث) شیر خلاء را ببندید و پمپ خلاء را خاموش کنید.
- ج) شیر خلاء را باز کنید و اجازه دهید که هوا دوباره وارد محفظه شود.

پیوست ث  
(اطلاعاتی)

روند در معرض محلول کلرید قرار دادن آزمون‌ها

ث-۱ آزمونہ مقطع برای غوطه‌ور سازی  
شکل ث-۱ یک ترتیب مناسب را نشان می‌دهد.



راهنما

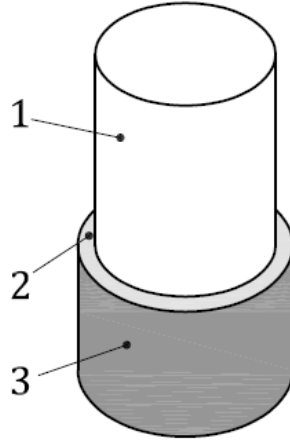
۱- محلول کلرید که از  $12/5$  ml به ازای هر سانتیمتر مربع سطح در معرض آزمونہ کاملاً غوطه‌ور شده، کمتر نباشد.

۲- سطح درزبندی شده

۳- سطح در معرض

شکل ث-۱ - مثالی از یک آزمونہ غوطه‌ور شده و سطوح درزبندی شده

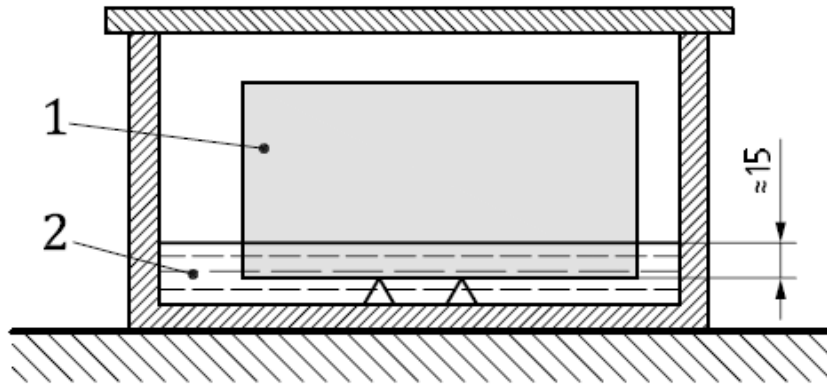
ث-۲ آزمون مقطعی برای حوضچه  
 شکل ث-۲ یک ترتیب مناسب را نشان می‌دهد.



راهنما  
 ۱- حوضچه  
 ۲- درزگیر  
 ۳- زیر آزمون مقطعی

شکل ث-۲- مثالی از زیر آزمون مقطعی و سطح درزبندی شده و در حوضچه قرار گرفته

ث-۳ زیر آزمون مقطعی برای واژگون کردن  
 شکل ث-۳ یک ترتیب مناسب را نشان می‌دهد



راهنما  
 ۱- درزگیر روی آزمون  
 ۲- محلول NaCl  
 ابعاد به میلی‌متر هستند

شکل ث-۳: مثالی از یک آزمون واژگون شده و ابزار آلات در معرض قرارگیری

## پیوست ج

### (اطلاعاتی)

#### فاصله عمق ها به منظور ساییدن آزمون مقطع

فواصل عمق توصیه شده برای ساییده شدن برای آزمون‌های ساخته شده از سیمان پرتلند در جدول ج-۱ آورده شده است.

نسبت آب / سیمان						لایه
0,70	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30	
0~1	0~1	0~1	0~1	0~1	0~1	لایه ۱
1~5	1~3	1~3	1~3	1~2	1~2	لایه ۲
5~10	3~6	3~5	3~5	2~3	2~3	لایه ۳
10~15	6~10	5~8	5~7	3~5	3~4	لایه ۴
15~20	10~15	8~12	7~10	5~7	4~6	لایه ۵
20~25	15~20	12~16	10~13	7~9	6~8	لایه ۶
25~30	20~25	16~20	13~16	9~12	8~10	لایه ۷
30~35	25~30	20~25	16~20	12~16	10~12	لایه ۸

جدول ج-۱: فواصل عمق توصیه شده از ساییده شدگی آزمون مقطع برای بتن ساخته شده از سیمان پرتلند (ابعاد به میلیمتر هستند)

فواصل عمق توصیه شده برای ساییده شدن آزمون‌های ساخته شده از بتن حاوی GGBS، خاکستر بادی یا میکروسیلیس در جدول ج-۲ آورده شده است.

نسبت آب / سیمان <sup>۱</sup>						لایه
0,70	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30	
0~1	0~1	0~1	0~1	0~1	0~1	لایه ۱
1~3	1~3	1~3	1~2	1~2	1~2	لایه ۲
3~6	3~5	3~5	2~3	2~3	2~3	لایه ۳
6~10	5~8	5~7	3~5	3~4	3~4	لایه ۴
10~15	8~12	7~10	5~7	4~6	4~5	لایه ۵
15~20	12~16	10~13	7~9	6~8	5~6	لایه ۶
20~25	16~20	13~16	9~12	8~10	6~8	لایه ۷
25~30	20~25	16~20	12~16	10~12	8~10	لایه ۸

۱- زمانی که بتن حاوی GGBS، خاکستر بادی یا میکروسیلیس است، نسبت آب به سیمان باید مطابق با آنچه که الزامات استاندارد ملی تعیین کرده است محاسبه شود.

جدول و-۲: فواصل عمق توصیه شده برای ساییده شدگی زیر آزمون مقطع برای بتن حاوی GGBS، خاکستر بادی یا میکروسیلیس (ابعاد به میلیمتر هستند)