

آزمایشگاه تکنولوژی بتن

تعریف بتن

بتن، سنگ دج ساختگی است که از در هم آمیختن و مخلوط متناسبی از سیمان - شن - ماسه - آب و درصدی هوا که خواسته یا ناخواسته وارد بتن گردیده است تشکیل شده.



۱- پرکننده ها (مخلوط سنگدانه های درشت دانه (شن) و ریزدانه (ماسه))

۲- خمیر سیمان (مخلوط آب و سیمان)

توده اصلی بتن شامل:

۱- شکل خمیری قبل از گیرش (که می تواند به هر شکل دلخواهی درون قالب قرار گیرد)

۲- مقاومت خوب در برابر آتش سوزی و عوامل جوی

۳- در دسترس بودن مصالح آن

۴- مقاومت فشاری بالا

عوامل مقبولیت استفاده از بتن:

تنها نقطه ضعف بتن، مقاومت کششی آن بوده که به وسیله آرماتور (میلگرد) جبران می گردد.

خمیر سیمان

در اثر واکنش شیمیایی (هیدراتاسیون) بین ماسه و سیمان (دوغاب سیمان) چسبندگی بین دانه‌های شن و ماسه ایجاد و موجب سخت و محکم شدن بتن می‌گردد.

خمیر سیمان در کل حجم بتن ← ۲۰ الی ۳۵ درصد

حجم سیمان در کل حجم بتن ← ۷ الی ۱۵ درصد

برای انجام هیدراتاسیون مقدار آب محدود و مشخصی نیاز است ولی در بتن همیشه مقدار آب مصرفی به مراتب بیشتر از آن است (حدود ۳ الی ۴ برابر).

این آب اضافی به منظور ایجاد کارایی لازم در بتن برای پر کردن کلیه زوایای قالب و گرفتن دور کلیه میلگردهای مسلح کننده بتن استفاده می‌شود.

کمترین مقدار خمیر سیمان ← دوغاب سیمان دور تمام سنگدانه‌های مخلوط را اندود کند

کمتر از این مقدار سیمان باعث عدم چسبندگی بین سنگدانه‌ها در نتیجه کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد

بیشترین مقدار خمیر سیمان ← دوغاب سیمان علاوه بر اندود کردن دور سنگدانه‌ها، فضای خالی استخوان بندی سنگدانه را نیز پر کند.

بیشتر از این مقدار سیمان باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. همچنین جنس گران قیمت و کم مقاومت سیمان جایگزین جنس ارزان قیمت و پر مقاومت سنگ می‌گردد.

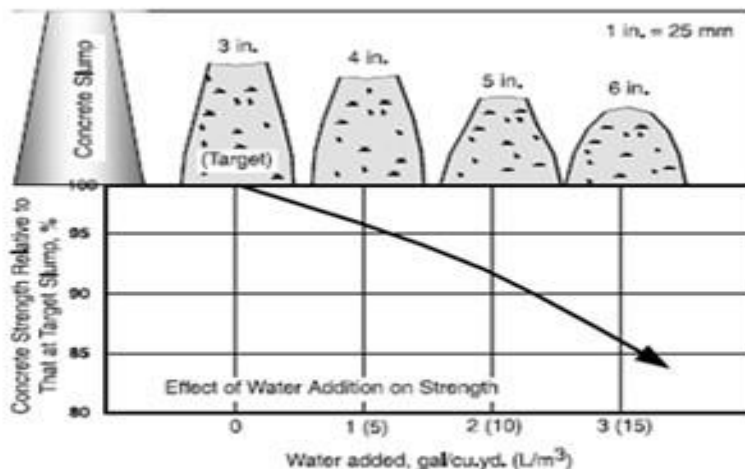


Figure 1 Example of effect of water addition on slump and strength of concrete

یکی از مهمترین عوامل در کیفیت بتن ← نسبت آب به سیمان

۱- افزایش مقاومت فشاری و خمشی

۲- افزایش قابلیت آب بندی

۳- کاهش جذب آب بتن

۴- افزایش مقاومت نسبت به عوامل جوی

۵- پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی

۶- چسبندگی بهتر میان فولاد و بتن

۷- کاهش تغییرات حجمی در اثر خشک شدن (نشست بتن)

مزایای کاهش نسبت آب به سیمان

هرچه بتن

غلیظ تر (اسلامپ کمتر)

سنگدانه ها درشت تر

هوا خنک تر

سطح دانه ها صاف تر

شکلشان کروی تر

برای ساخت بتن نیاز به آب کمتر

غلظت بتن (کارایی یا اسلامپ بتن)

درشتی دانه های مصالح سنگی

زبری مصالح سنگی

گرما

رطوبت هوا

عوامل تاثیرگذار در تعیین مقدار آب بتن

۱- مقدار سیمان در مخلوط بتن

۲- نوع سیمان

۳- کیفیت سیمان

تأثیر سیمان بر روی مقاومت بتن از طریق

"انواع سیمان"

- سیمان پرتلند تیپ ۱: جهت مصارف عمومی و بدون ویژگی خاص

- سیمان پرتلند تیپ ۲: برای اقدامات احتیاطی در برابر حمله سولفات‌ها و حفاظت میلگردها در برابر نمک‌های کلر به طور همزمان برای افزایش پایداری بتن

- سیمان پرتلند تیپ ۳: برای دستیابی به مقاومت زودرس زمانی که قالب‌ها بایستی زودتر از موعد مقرر باز گردند. (سیمان زودگیر)

- سیمان پرتلند تیپ ۴: با حرارت زایی کم هنگامی که نیاز به آهنگ تولید حرارت و مقدار حرارت تولیدی کم دارد. (سیمان دیرگیر)

- سیمان پرتلند تیپ ۵: مقاوم در برابر سولفات‌ها هنگامی که بتن مورد حمله شدید سولفات‌ها قرار می‌گیرد.

(*) سیمان پرتلند تیپ ۵ برای محیط‌هایی که همزمان در برابر سولفات‌ها و املاح کلر قرار می‌گیرد بمنظور حفاظت میلگردها مناسب نمی‌باشد*)

- سیمان پرتلند پوزولانی: از آسیاب کردن و مخلوط کردن پوزولان‌ها با سیمان پرتلند ساخته می‌شود و برای استفاده در بتن‌های حجیم کاربرد دارد.

پوزولان‌ها به مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینیومی گفته می‌شود که به تنهایی خاصیت گیرش و سیمانی شدن ندارند اما به صورت ذرات ریز در مجاورت

رطوبت، با آهک آزاد شده از هیدراتاسیون سیمان و درجه حرارت محیط دارای خاصیت سیمانی می‌گردند. (مقدار پوزولان بین ۱۵ تا ۴۰ درصد متغیر است)

- سیمان پورتلند روبره‌ای: از آسیاب کردن و مخلوط کردن سیمان پرتلند و سرباره کوره آهنگدازی بدست می‌آید. (مقدار سرباره بین ۲۵ تا ۷۰ درصد متغیر است)

"انواع دیگر سیمان"

- سیمان پرتلند ممتاز: دارای مقاومت فشاری بیشتر در روزهای نخست نسبت به سیمان پرتلند نوع ۱
- سیمان برقی (نسوز) یا سیمان آلومینیومی: کسب مقاومت بسیار بالا در روزهای نخست و پایداری در برابر اثر آب دریا و سولفاتهای آب و زمین
- سیمان پرتلند سفید و رنگی:
 - سیمان پرتلند معمولی = سیمان پرتلند + ۸/۰ درصد وزن کل سیمان حاوی آهن
 - سیمان پرتلند سفید = مواد خام سیمان پرتلند بدون آهن
 - سیمان پرتلند **قرمز** - **زرد** - **قهوه‌ای** - سیاه = سیمان پرتلند سفید + اکسید آهن
 - سیمان پرتلند سیاه - **قهوه‌ای** = سیمان پرتلند سفید + اکسید منگنز
 - سیمان پرتلند **سبز** = سیمان پرتلند سفید + اکسید کرم
 - سیمان پرتلند **آبی** = سیمان پرتلند سفید + اکسید آبی کبالت
 - سیمان پرتلند سیاه = سیمان پرتلند سفید + کربن (دوده)
- برای ساخت سیمان رنگی به‌مراه کلینکر سیمان سفید، ۵ تا ۱۰ درصد وزنی مواد معدنی با نرمه سنگهای رنگی آسیاب می‌کنند.
- سیمان حباب‌زا (سیمان هوازا): مقاوم در برابر ذوب و یخ‌بندان متوالی - جلوگیری از جدایی سنگدانه‌ها
 - اسیدهای چرب و صابون‌های آنها
 - رزین‌های چوب
 - لیگنوسولفونیتها
- سیمان ممتاز: آسیاب ریزتر به نسبت سیمان تیپ ۱ - دوبار پخته شدن - تولید گرمای هیدراته شدن بیشتر در روزهای اولیه
- سیمان سوپر سولفات: تحمل بالاترین غلظت سولفاتها در آب و خاک و آب دریا
- سیمان منبسط شونده: حاوی مقدار زیادی تری کلسیم آلومینات (C_3A) و سولفات کلسیم



Clinker

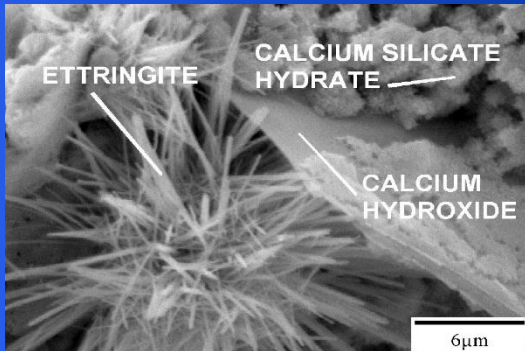
سیمان چاه کنی
سیمان پرتلند ضد آب
سیمان‌های خمیری

از انواع سیمان‌های کاربردی دیگر می‌توان

سیمان پرتلند طبق تعریف استاندارد ملی ایران

"سیمان پرتلند چسباننده‌ای است آبی که از پودر نمودن توام کلینکر همراه با مقدار مناسبی سنگ گچ به منظور تنظیم زمان گیرش اولیه بدست می‌آید."

کلینکر فرآورده‌ای است مرکب که عمدتاً از سیلیکاتهای کلسیم و آلومیناتها تشکیل شده است و از واکنش حرارتی-شیمیایی مواد آهکی و رسی در کوره سیمان تا دمای معین (۱۴۰۰ الی ۱۵۰۰ درجه سلسیوس) بدست می‌آید.



Cement Hydration

فرایند سخت شدن سیمان در مجاورت آب را هیدراتاسیون نامند.

هیدراتاسیون

محصول

سیلیکاتهای کلسیم آبدار و ترکیبات دیگر نظیر آلومیناتها (اشکال سوزنی و الیافی) + حرارت

نتیجه

اتصال تمامی سنگدانه‌ها و دانه‌های سیمان به یکدیگر

آزمایش روش تعیین جرم حجمی سیمان براساس استاندارد ASTM C188-89

هدف: تعیین جرم حجمی سیمان

اهمیت و کاربرد: جرم حجمی سیمان هیدرولیکی به عنوان جرم واحد حجم ذرات جامد تعریف می‌گردد. برای تعیین وزن مخصوص یک جسم جامد باید حجم وزن معینی از آنرا بدست آورد.

وزن جسم جامد (خشک شده در گرمخانه با دمای 5 ± 10.5 به مدت حداقل ۲۴ ساعت)

وزن مخصوص ویژه جسم =

حجم (بدون فضای خالی)

* در مورد سیمان یا دیگر مصالح ساختمانی پودر شده می‌بایست از ذرات رد شده از الک ۲۰۰ استفاده نمود.

لوازم مورد نیاز آزمایش:

- ترازو با دقت ۰.۱ گرم
- قیف پایه بلند و کوتاه از هر کدام یک عدد
- نفت سفید یا الکل یا هر مایع شیمیایی دیگری که بر روی سیمان واکنش ندهد و وزن حجمی آن کمتر از 0.62 gr/cm^3 باشد.
- پودر سیمان رد شده از الک ۲۰۰ که به مدت ۲۴ ساعت در دمای 5 ± 10.5 درجه سانتی گراد نگهداری شده
- بالن لوشاتلیه

بالن لوشاتلیه بالن استاندارد با مقطع دایره ای و از جنس شیشه پیرکس شفاف است

برای تعیین جرم حجمی سیمان پرتلند به کار می‌رود و با وجود سطح اتکای مناسب، عدم تعادل را بسیار کاهش می‌دهد

قسمت بالایی گلولی در محدوده ۱-۱۰ mm و ۱۸-۲۴ mm با دقت ۱۰.۱ ml و صحت ۱۰.۵ ml درجه بندی شده است.

بالن لوشاتلیه وسیله ای است از ابزارهای آزمایشگاهی که جهت تعیین جرم حجمی سیمان پرتلند به کار برده میشود. قسمت بالایی گلولی در محدوده ۱-۱۰ mm و ۱۸-۲۴ mm درجه بندی شده است.

شرح آزمایش:

بالن را با نفت یا الکل یا هر مایع دیگر تا نقطه بین + تا ۱ میلیمتر در ساقه بالن به کمک قیف پایه بلند پر نمایید. چنانچه قسمت بالای لوله آغشته به مایع گردیده بود آن را خشک نموده و مقدار مایع در بالن را به دقت قرائت نموده و آنرا یادداشت کنید. (V_0)
مقداری سیمان (۶۴ گرم) را با دقت ۰.۱ گرم وزن نموده (m_1) و تمام سیمان را با دقت داخل بالن ریخته و از مسدود شدن لوله بالن جلوگیری نمایید. برای این منظور می توان از یک وسیله لرزاننده استفاده نمود. پس از آنکه تمام سیمان در داخل بالن ریخته شد درپوش آن را گذاشته و به صورت مایل تکان دهید یا به آهستگی در مسیر یک دایره افقی بچرخانید طوری که مطمئن شوید هوای بین دانه های سیمان خارج شود. در این مرحله مجدداً سطح مایع را قرائت نموده (V_1) و یادداشت نمایید.

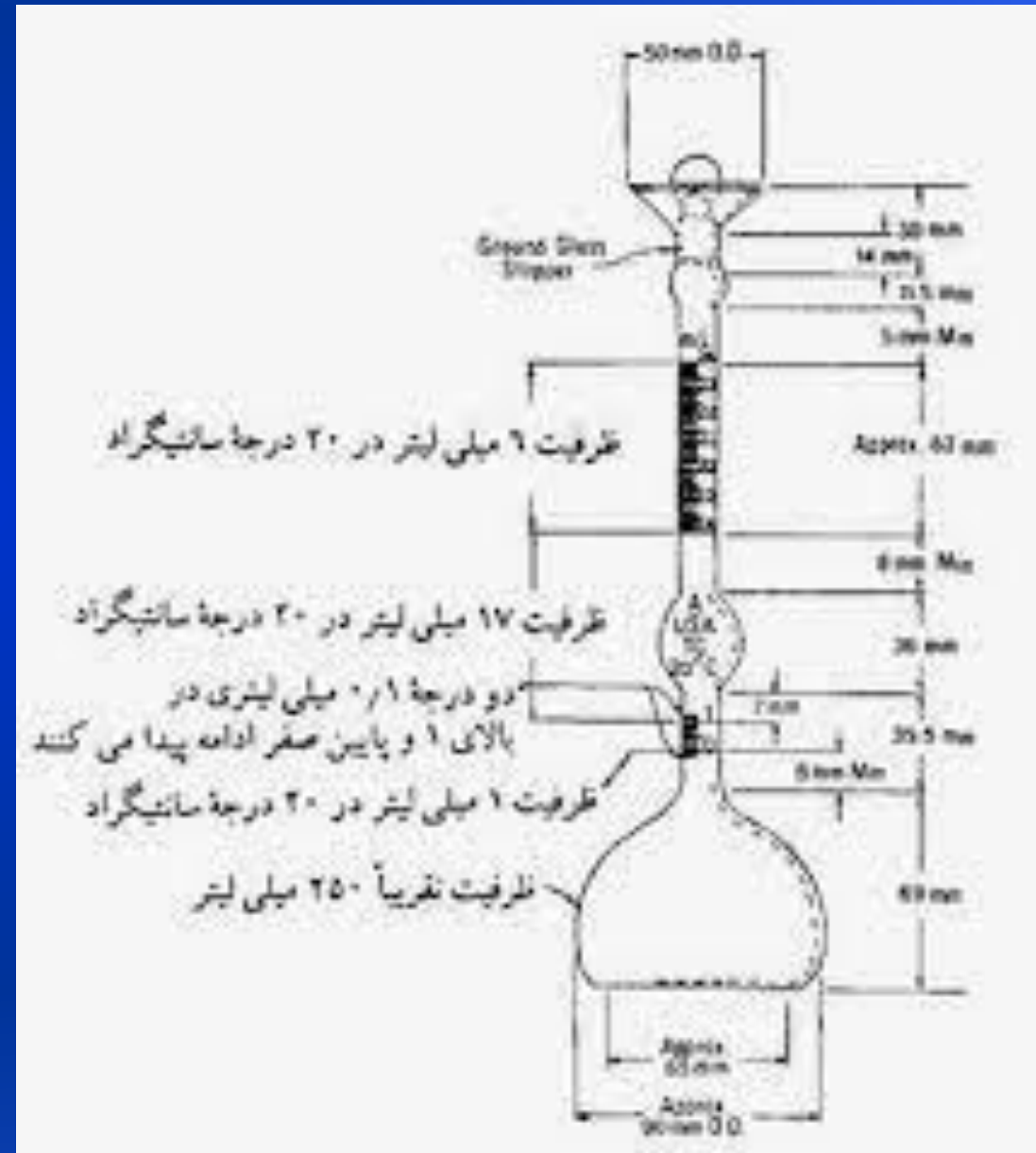
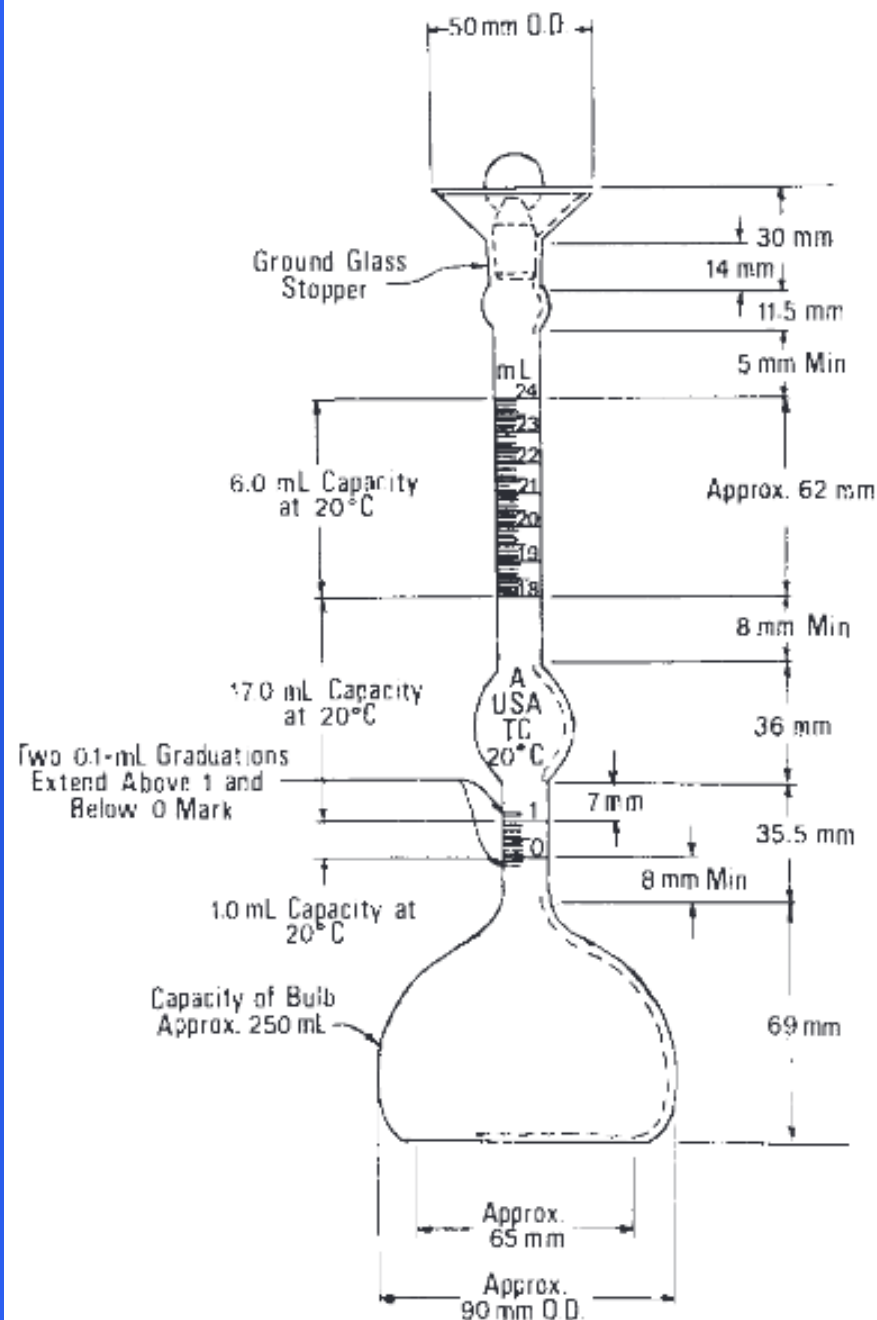
تذکره ۱: وسیله آزمایش قبل از آزمایش باید کاملاً تمیز و خشک باشد و تمام سیمان توزین شده در لوله ریخته شود.
تذکره ۲: به علت خاصیت موئینگی لوله باید روی قرائت اول و دمو دقت کافی را مبذول داشت.
تذکره ۳: درجه حرارت مایع و پودر سیمان و بالن و محل آزمایش در خلال آزمایش باید ۱۷.۷ الی ۲۳.۳ درجه سانتیگراد باشد.

محاسبات:
$$\text{جرم} / \text{حجم} = \frac{m_1}{V_1 - V_0} = \text{وزن مخصوص ویژه سیمان}$$

وزن مخصوص سیمان مطابق با استاندارد ایران:

وزن مخصوص ویژه سیمان پرتلند	3 - 3.25 gr/cm ³
وزن فضایی کیسه نلرزیده	1 - 1.25 gr/cm ³
وزن فضایی سیمان لرزیده	1.5 - 1.8 gr/cm ³
وزن فضایی سیمان فله	1 - 1.3 gr/cm ³
وزن مخصوص ویژه سیمان پوزولانی	2.9 - 3 gr/cm ³

تصویر و مشخصات استاندارد بالن لوشاتلیه



آزمایش روش تعیین درجه نرمی سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۰ – دت ۱۰۹

ASTM C204-89 – DIN 1164-85

هدف: تعیین درجه نرمی سیمان پرتلند

اهمیت و کاربرد: یکی از عوامل موثر بر میزان هیدراتاسیون، ریزدانه‌های سیمان می‌باشد. هر قدر ذرات سیمان ریزتر ← افزایش هیدراتاسیون ← کسب مقاومت و گیرش سریعتر دانه‌های ۱۰ الی ۲۴ میکرون ← ذرات تامین کننده مقاومت سیمان دانه‌های کوچکتر از ۱۰ میکرون ← تامین درجه خمیری – عامل پلاستیکی شدن بتن – نفوذناپذیری – اخذ مقاومت زیاد و سریع * ذرات کوچکتر از ۵ میکرون سبب گیرش بسیار سریع و احتمالاً گیرش کاذب می‌شود. دانه‌های بزرگتر از ۲۰ میکرون ← کمک به افزایش مقاومت پس از یک هفته دانه‌های بزرگتر از ۰.۱ میلیمتر (۱۰۰ میکرون) ← عدم شرکت در آبگیری

نکات:

- تولید حرارت هیدراتاسیون تنها در واحد زمان افزایش می‌یابد.
- کل حرارت هیدراتاسیون تولیدی از زمان اختلاط به بعد تغییری نمی‌کند.
- چنانچه مقاومت نهایی خمیر سیمان یا بتن مد نظر باشد، ترکیب شیمیایی سیمان مهمتر از نرمی سیمان که یکی از عوامل بسیار مهم می‌باشد است.
- افزایش ریزی سیمان باعث افزایش زمان آسیاب نمودن و همچنین مصرف بیشتر گچ می‌گردد. از این رو باعث کاهش سریعتر کارایی بتن خواهد شد.
- هیدراتاسیون از سطح دانه‌های سیمان آغاز شده و سرعت واکنش هیدراتاسیون و افزایش مقاومت سریع سیمانی به ریزی بالای سیمان مربوط می‌شود.

این آزمایش به دو روش انجام می‌پذیرد:

الف – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق مقدار باقی مانده سیمان بر روی الک

ب – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق دستگاه هوا تراوی (نفوذ هوا)

الف – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق مقدار باقی مانده سیمان بر روی الک

لوازم مورد نیاز آزمایش:

- ترازو با دقت ۰.۱ گرم
- الک ۹۰ میکرون شماره ۱۷۷ در سیستم ASTM
- دستگاه لرزاننده (شیکر)
- گرمخانه (آون) با قابلیت تولید دمای یکنواخت 105 ± 5 درجه سلسیوس

مقدار آزمون مورد نیاز: برای هر آزمایش نیاز به ۱۰۰ گرم سیمان می باشد.

شرح آزمایش:

این روش آزمایش کاملاً اختیاری است. برای انجام این آزمایش ۱۰۰ گرم سیمان را در آون و دمای 105 ± 5 درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک کرده سپس در محیط خشک و عاری از رطوبت (دسیکاتور) قرارداده، تا دمای اتاق خنک شود. پس از توزین سیمان آن را بر روی الک ۹۰ میکرون (به همراه درب و زیرالک) ریخته و به مدت ۲۵ دقیقه الک کنید.

روش الک کردن: با یک دست محکم الک را گرفته و به صورت کمی مایل نگه دارید. سپس با دست دیگر به الک ضربه وارد کرده و این عمل را تا ۱۲۵ بار در دقیقه تکرار کنید. بعد از هر ۲۵ بار ضربه، الک را به صورت افقی نگه داشته و با چرخاندن ۹۰ درجه الک، چند ضربه به زیر بدنه آن وارد کنید. بعد از ۱۰ تا ۲۰ دقیقه یکبار با برس نرم سطح زیرالک را به منظور باز شدن چشمه های مسدود شده پاک کنید. بعد از ۲۵ دقیقه الک کردن باقیمانده سیمان بر روی الک را با کج کردن و ضربه زدن به الک درون ظرفی جمع آوری و توزین نمایید. سپس باقیمانده را مجدداً الک کرده تا مطمئن شوید در عرض ۲ دقیقه الک کردن، کمتر از یک دهم درصد وزنی جرم اولیه (۰.۱ گرم به ازای ۱۰۰ گرم) از الک می گذرد.

جرم باقیمانده بر روی الک با تقریب ۰.۵ درصد وزنی گزارش می گردد. برای کنترل صحت نتیجه یکبار دیگر ۱۰۰ گرم سیمان را آماده و مورد آزمایش قرار دهید.

اختلاف دو آزمایش نباید بیشتر از ۱ درصد باشد. در صورت اختلاف بیشتر برای سومین بار آزمایش را تکرار و میانگین هر سه نتیجه را گزارش کنید.

الف – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق مقدار باقی مانده سیمان بر روی الک

محاسبات

$$Z = \frac{R}{W} \times 100$$

$$N = 100 - Z$$

Z درصد وزنی زبری سیمان

R جرم باقی مانده سیمان روی الک ۹۰ میکرون gr

W جرم کل نمونه اولیه سیمان gr

N درصد وزنی نرمی سیمان

ب – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق دستگاه هوا تراوی (نفوذ هوا)

هدف: تعیین سطح مخصوص سیمان

لوازم مورد نیاز آزمایش:

- ترازو با دقت ۰.۱ گرم
- دماسنج – زمان سنج
- دستگاه بلین

مقدار آزمون مورد نیاز: مقدار سیمان استاندارد که برای میزان کردن دستگاه به کار می رود مقداری است که یک بستر سیمان با تخلخل 0.5 ± 0.005 تشکیل دهد و به طریق هزیر محاسبه می شود.

محاسبات

W جرم نمونه لازم برای آزمایش

ρ وزن مخصوص نسبی آزمون سیمان (برای سیمان پرتلند 3.25 – 3 gr/cm³)

v حجم (استوانه تراوایی) بستر سیمان

e تخلخل بستر نمونه آزمایش معادل 0.5 ± 0.005

$$W = \rho \cdot v(1 - e)$$

ب – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق دستگاه هوآتراوی (نفوذ هوا)

تهیه نمونه مورد نیاز: نمونه سیمان مورد آزمایش را در یک شیشه درب دار کوچک ۱۰۰ سانتی متر مکعبی ریخته و به مدت ۲ دقیقه آنرا به شدت تکان دهید تا ذرات به هم چسبیده آن از یکدیگر جدا شوند.

شرح آزمایش:

در این آزمایش سطح مخصوص سیمان از روی زمان عبور حجم ثابتی از هوا تحت فشار معین و درجه حرارت معلوم از میان قشر فشرده سیمان محاسبه می گردد.

ابتدا صفحه مشبک را در داخل سلول قرارداده و یک کاغذ صافی در داخل محفظه قرار دهید. مقدار معین سیمان بدست آمده از رابطه ذکر شده را با دقت ۰.۱ گرم توزین و در داخل محفظه بریزید. سطح سیمان را با ضربه زدن به بدنه محفظه صاف نموده سپس یک کاغذ صافی روی سطح سیمان قرارداده و به کمک سمبه تا آنجا که کلاهک آن به سطح استوانه برسد بستر سیمان را کاملاً فشار دهید. محفظه تراوایی را روی لوله U شکل قرارداده و مطمئن شوید که محفظه روی لوله قرار گرفته باشد. برای این منظور می توان سطح تماس لوله مانومتریک و جداره خارجی محفظه تراوایی را با روغن کمی چرب کرد فقط دقت کنید به کاغذ صافی و بستر سیمان خللی وارد نگردد.

هوای موجود در یک بازوی لوله U شکل را به آهستگی تخلیه کرده به طوری که محلول به بالاترین نشانه لوله برسد. سپس شیر رابسته و زمان سنج را آماده کنید. همینکه مایع سنج به نشانه دوم رسید آن را به کار بیاندازید و زمانی که به نشانه سوم رسید آنرا متوقف کنید. فاصله زمانی بین این دو نشانه را با دقت ۰.۵ ثانیه محاسبه کنید. دقت کنید به دلیل خاصیت موئینگی در داخل لوله مانومتریک قرائت بین دونقطه ۲ و ۳ با دقت انجام پذیرد. همچنین دمای محیط آزمایشگاه را بر حسب درجه سلسیوس مشخص نمایید.

این آزمایش را بایستی حداقل ۲ بار انجام داده و میانگین نتیجه دو آزمایش به عنوان نتیجه نهایی گزارش می گردد. نتایج دو آزمایش با اختلاف حداکثر ۲ درصد قابل قبول می باشد.

سطح مخصوص سیمان عبارت است از سطح جانبی دانه های موجود سیمان در واحد جرم cm^2/gr

ب – تعیین درجه نرمی سیمان از طریق دستگاه هوا تراوی (نفوذ هوا)

رابطه تعیین سطح مخصوص سیمان

$$S = \frac{S_s \rho_s (1 - e_s) \sqrt{n_s} \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\rho (1 - e) \sqrt{e_s^3} \sqrt{T_s} \sqrt{n}}$$

S سطح مخصوص نمونه آزمایش cm²/gr

Ss سطح مخصوص نمونه استاندارد استفاده شده برای کالیبره کردن دستگاه cm²/gr

T فاصله زمانی اندازه گیری شده در لوله مانومتریک نمونه آزمایشی بر حسب ثانیه

Ts فاصله زمانی اندازه گیری شده در لوله مانومتریک نمونه استاندارد برای کالیبره کردن دستگاه بر حسب ثانیه

e تخلخل بستر نمونه آزمایشی برابر با ۰.۵±۰.۰۰۵

es تخلخل بستر نمونه سیمان استاندارد برای کالیبره کردن دستگاه

ρ وزن مخصوص نسبی آزمونه مورد آزمایش

ρs وزن مخصوص نسبی آزمونه سیمان استاندارد برای کالیبره کردن دستگاه cm²/gr

n ناروایی (لزجت دینامیکی یا ویسکوزیته) هوا بر حسب پواز poises برای نمونه آزمایشی

ns ناروایی (لزجت دینامیکی یا ویسکوزیته) هوا بر حسب پواز poises برای نمونه استاندارد در دمای آزمایش برای کالیبره کردن دستگاه

چنانچه رابطه را ساده نماییم خواهیم داشت:

$$S = \frac{S_s \rho_s (1 - e_s) \sqrt{n_s}}{\sqrt{e_s^3} \sqrt{T_s}} \times \frac{\sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\rho (1 - e) \sqrt{n}}$$

چون آزمایش نمونه استاندارد در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد انجام گرفته است می توان به جای قسمت اول فرمول، ضریب ۲۱ را جایگزین کرد. از این رو خواهیم داشت:

$$S = 21 \times \frac{\sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\rho (1 - e) \sqrt{n}}$$

مقادیر تقریبی سطح مخصوص سیمان‌ها به قرار زیر است:

سیمان‌های ریزدانه $\sim 4500 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان‌های متوسط دانه $\sim 3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان‌های درشت دانه $\sim 2000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

مطابق استاندارد ایران سطح مخصوص :

سیمان پرتلند تیپ ۱ $\sim 2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان پرتلند تیپ ۲ $\sim 2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان پرتلند تیپ ۳ $\sim 4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان پرتلند تیپ ۴ $\sim 2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان پرتلند تیپ ۵ $\sim 2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$

سیمان‌های ریزدانه ← گیرش سریعتر + تاب مقاومت فشاری در روزهای نخست نسبت به انواع دیگر سیمان بیشتر

درصد اختلاط سیمان‌های ریزدانه ممتاز همانند سیمان پرتلند تیپ ۱ ← تفاوت‌ها
دقت بیشتر در ساخت آن + آسیاب ریزتر + دو بار پخته شده
نگهداری سیمان:

سیمان فله ← فقط در سیلو مجاز به نگهداری ← در شرایط مناسب نگهداری حداکثر تا ۳ ماه
سیمان کیسه‌ای ← در کیسه‌های لایه کاغذی ← در شرایط مناسب نگهداری حداکثر ۶ هفته

در صورت نگهداری سیمان بیش از مقدار مجاز:

کاهش مقاومت سیمان در حدود ۲۰ درصد
کاهش سطح مخصوص سیمان در حدود $2000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ { قبل از استفاده باید آزمایش شود یا در قسمت‌های غیر سازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

عملکرد دستگاه بلین:

این دستگاه به وسیله کشش مقدار معینی هوا که از میان یک بستر سیمان با تخلخل معین تهیه شده و عبور هوا از میان بستر سیمانی عمل می‌کند. اندازه حفره‌ها در بستر سیمان با تخلخل معین با اندازه دانه‌های سیمان رابطه داشته و نشان دهنده میزان جریان هوا در داخل بستر است. دستگاه بلین به طریق نفوذ هوا نرمی سیمان پرتلند را به طریق سطح مخصوص آن یعنی مجموع سطح اشغالی بر حسب سانتی متر بر یک گرم سیمان تعیین می‌شود.

شرح دستگاه بلین:

❖ استوانه تراوایی (سلول):

از جنس شیشه یا فلز سخت و ضد زنگ

قطر داخلی 1.27 ± 0.1 cm

سطح فوقانی محفظه نسبت به محور استوانه دارای یک زاویه قائم

برآمدگی به عرض ۱ الی ۱.۲ میلی متر در ساختمان محفظه یا داخل استوانه 5 ± 1.5 سانتی متر

سطح فوقانی برای نگهداری صفحه مشبک

حجم بستر فشرده شده سیمان در داخل سلول باید به وسیله جانشین کردن جیوه انجام شود.

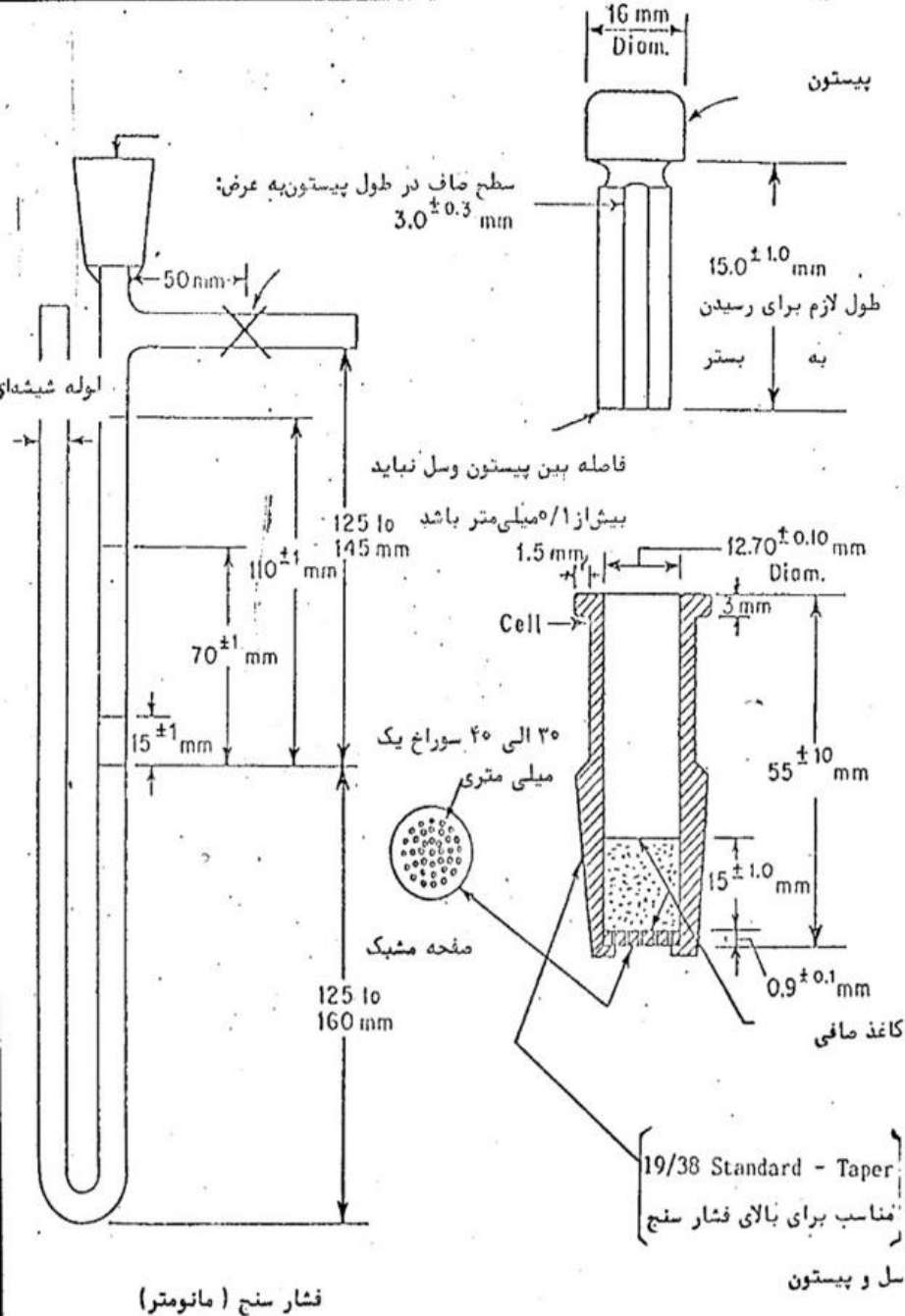
حجم سلول برابر با 1.812 cm^3 به وسیله جیوه اندازه‌گیری شده باشد.

❖ صفحه مشبک:

از جنس فلز ضد زنگ

ضخامت 0.9 ± 0.1 میلیمتر

۳۰ الی ۴۰ چشمه به قطر حداکثر یک میلیمتر با فواصل مساوی روی صفحه



شکل ۱ - دستگاه نفوذپذیری (بلین)

شرح دستگاه بلین:

◆ **سمبه (پستون):**

از جنس لامینات فنولیک

داخل استوانه را با یک فاصله ۰.۱ میلیمتری پر کند

کف لبه تیز و نسبت به محور پیستون دارای زاویه ۹۰ درجه

بالای پیستون دارای کلاهک بوده تا یک فاصله 0.1 ± 1.5 میلیمتری بین کف پیستون و قسمت بالای

صفحه مشبک باقی بماند.

خروج هوای اضافی از مرکز یا یکی از طرفین پیستون امکانپذیر باشد.

❖ کاغذ صافی:

باید از نوع متوسط باشد. (نوع ۱ درجه B)

باید مدور و دارای لبه نرم باشد.

قطر کاغذ برابر قطر داخلی محفزه باشد

برای هر آزمایش باید از کاغذ صافی نو استفاده شود

❖ لوله مانومتریک:

قطر خارجی لوله برابر ۹ میلیمتر

در قسمت بالای لوله که سلول روی آن قرار می‌گیرد کاملاً آببندی شده باشد که هوا عبور نکند.

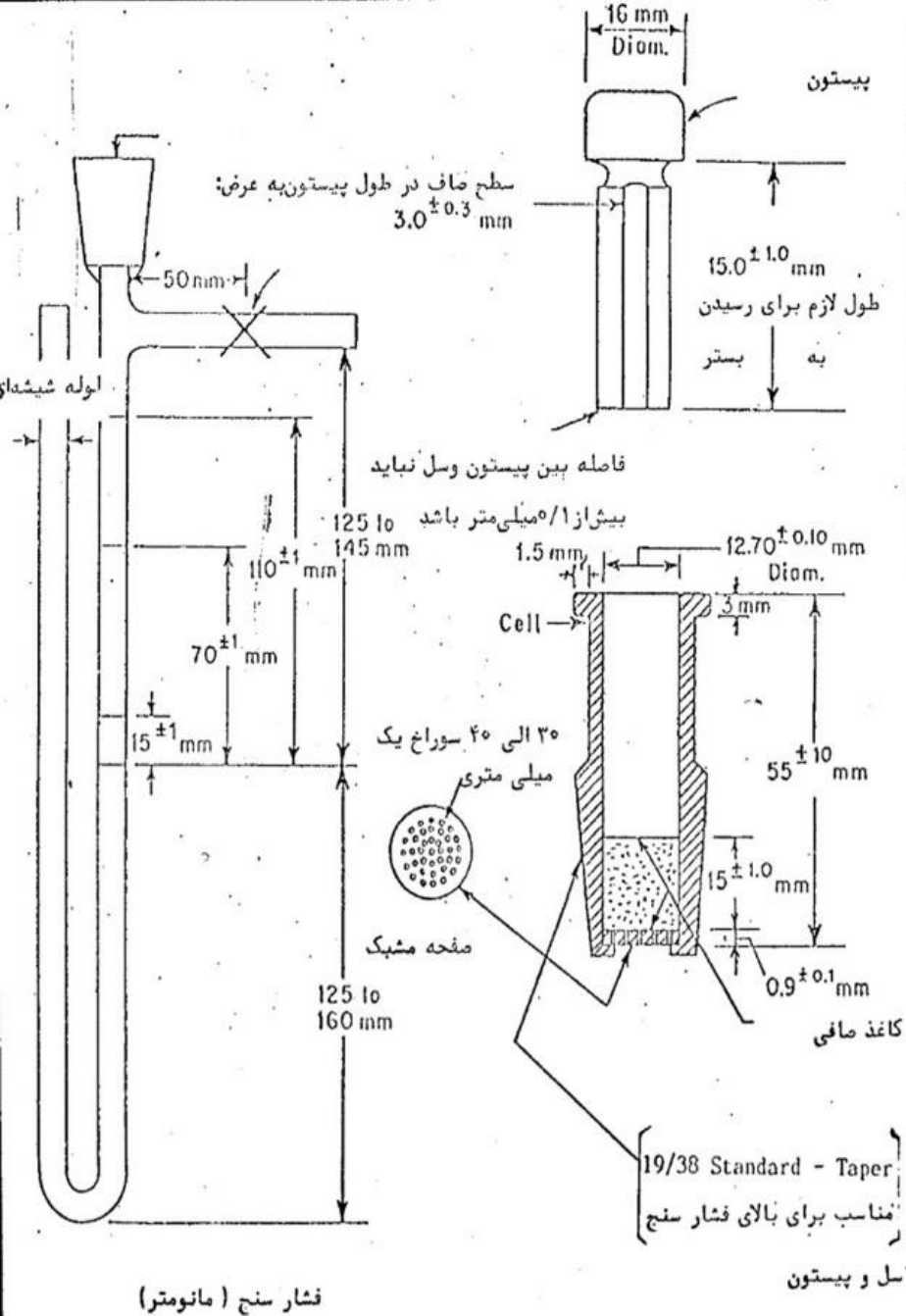
دارای یک خط نشانه در فاصله ۱۲.۵ الی ۱۴.۵ سانتیمتری زیر شیر خروجی هوا

فواصل ۱.۵ و ۷ و ۱۱ سانتیمتری از خط نشانه زیر شیر خروجی نشانه گذاری شده باشد

طول لوله فشار سنج از کف تا زیر شیر هوا برابر ۲۵ الی ۳۰.۵ سانتیمتر باشد

در فاصله حداکثر ۵ سانتیمتری لوله U یک شیر آببندی نصب باشد

لوله باید کاملاً عمودی و روی پایه‌ای مستحکم مستقر باشد.



شکل ۱ - دستگاه نفوذپذیری (بلین)

شرح دستگاه بلین:

❖ محلول فشار سنج:

لوله U شکل باید تا پایین ترین خط نشانه با محلول غیر فواری پر شود
محلول نباید رطوبت را جذب کند

دارای ناروایی و وزن مخصوص کم باشد. مانند (دی بوتیل فتالات / دی بوتیل ۱ بنزن / دی بوتیل ۲ بنزن / دی کربوکسیلات / هرنوع روغن معدنی سبک)

❖ زمان سنج:

دارای دکمه قطع و وصل باشد
دقت قرائت آن ۰.۵ ثانیه و یا کمتر باشد.

* لزجت دینامیکی هوا برحسب پواز بر طبق جدول مقابل می باشد.

درجه حرارت	لزجت دینامیکی
۱۶	۰۰۰۱۷۸۸
۱۸	۰۰۰۱۷۹۸
۲۰	/۰۰۰۱۸۰۸
۲۲	/۰۰۰۱۸۱۸
۲۴	۰۰۰۱۸۲۸
۲۶	/۰۰۰۱۸۳۷
۲۸	/۰۰۰۱۸۴۷
۳۰	/۰۰۰۱۸۵۷
۳۲	/۰۰۰۱۸۶۷
۳۴	/۰۰۰۱۸۷۶

آزمایش روش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۱۹ - دت ۱۱۶

ASTM C187-86

هدف: تعیین مقدار آب لازم بمنظور تهیه خمیر سیمان با غلظت نرمال

اهمیت و کاربرد:

برای تعیین میزان آب خمیر سیمان
برای مقایسه زمان گیرش و سلامت انواع سیمان و مقایسه با سیمان‌های ناشناخته
برای تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی با غلظت کنترل شده خمیر سیمانی

نرمال بودن خمیر سیمان:

طبق استاندارد ملی ایران ← میله آب سنج در مدت ۳۰ ثانیه نفوذ در خمیر سیمان در فاصله 1 ± 6 mm از کف قالب قرار گیرد.
طبق استاندارد ASTM ← میله آب سنج در مدت ۳۰ ثانیه نفوذ در خمیر سیمان در فاصله 1 ± 10 mm از کف قالب قرار گیرد.

مقدار آب خمیر سیمان نرمال ← ۲۶ الی ۳۳ درصد وزن خشک سیمان

لوازم مورد نیاز آزمایش:

- ترازو با حداقل ظرفیت یک کیلوگرم و دقت ۰.۱ گرم
- استوانه مدرج با حداقل ظرفیت ۲۰۰ میلی متر

- دستگاه ویکات
- ۱- پایه
- ۲- میله متحرک
- ۳- میله آب سنج
- ۴- سوزن

شرح آزمایش:

مقدار ۵۰۰ گرم سیمان مورد نظر را نمونه برداری کرده و حدود ۲۵ درصد وزن سیمان، آب مناسب برای اختلاط توزین نمایید.

میله آب سنج را روی صفحه دستگاه قرار داده و عقربه متحرک روی صفحه مدرج دستگاه را روی عدد صفر پایین تنظیم کنید. آب توزین شده را همراه با نمونه سیمان در یک ظرف با فضای کافی، بهم زده و پس از مخلوط شدن توسط دستکش لاستیکی به خوبی مالش داده و پس از کسب روانی آن را به شکل گلوله در آورید. گلوله را از فاصله ۱۵ سانتیمتری، ۶ بار از یک دست به دست دیگر پرتاب نمایید

زمان تهیه خمیر از لحظه افزودن آب به سیمان تا آغاز ریختن خمیر در قالب نباید از $4 \pm 25s$ دقیقه بیشتر شود.

پس از تهیه خمیر سیمان، آن را به آرامی و بدون اعمال هیچگونه فشاری وارد قالب کرده و به آرامی ولی با سرعت عمل بر روی صفحه صاف دستگاه قرار دهید. سپس قسمت اضافی خمیر سیمان را بریده و سطح آن را صاف نمایید. حداکثر مدت زمان انجام تمامی این اعمال ۳۰ ثانیه می باشد.

قالب خمیر را در زیر میله آب سنج قرار دهید و به آرامی سر میله آب سنج را در تراز سطح خمیر تنظیم و پیچ مربوط به آن را محکم کنید. در این حالت عقربه باید عدد ۴۰ میلیمتر را بر روی صفحه مدرج نمایش دهد. با باز کردن پیچ به مدت ۳۰ ثانیه میله در خمیر نفوذ می کند که باید موقعیت آن را قرائت و یادداشت نمایید. از ایجاد هرگونه لرزش در مدت آزمایش اجتناب کنید.

اگر میله پس از آزاد شدن در مدت ۳۰ ثانیه در فاصله ۵ الی ۷ میلیمتری کف قالب قرار گیرد، غلظت خمیر سیمان نرمال می باشد، در غیر اینصورت برای رسیدن به چنین مخلوطی لازم است خمیرهای جدید سیمان با درصدهای مختلف آب ساخته و آزمایش شود تا به شرایط مورد نظر رسید.

تذکر ۱: ظروف و دیگر وسایل باید کاملاً تمیز و خشک باشند

تذکر ۲: تمام آب توزین شده باید با سیمان مخلوط گردد.

تذکر ۳: عمل نفوذ میله در خمیر سیمان در فاصله کمی پس از وارد کردن خمیر در قالب صورت پذیرد.

تذکر ۴: درجه حرارت سیمان، آب و محیط آزمایش در خلال ساخت خمیر و انجام آزمایش بین ۱۷.۷ الی ۲۳.۳ درجه سانتیگراد باشد.

چنانچه با تکرار آزمایش مقدار نفوذ میله مطابق استاندارد بدست آید این میزان آب به کار رفته جهت تولید خمیر سیمان می تواند مبنای محاسبه قرار گیرد در غیر این صورت بوسیله رسم منحنی تغییرات بر حسب فاصله میله از کف قالب مقدار نظیر فاصله ۵ میلیمتر را برای غلظت نرمال خمیر سیمان بدست آورید. برای رسم منحنی، آزمایش باید حداقل ۳ مرتبه تکرار گردد.

مطلوبست تا برای رسم منحنی از کاغذ میلیمتری استفاده شود تا بتوان دقیقاً غلظت خمیر نرمال را بدست آورد.

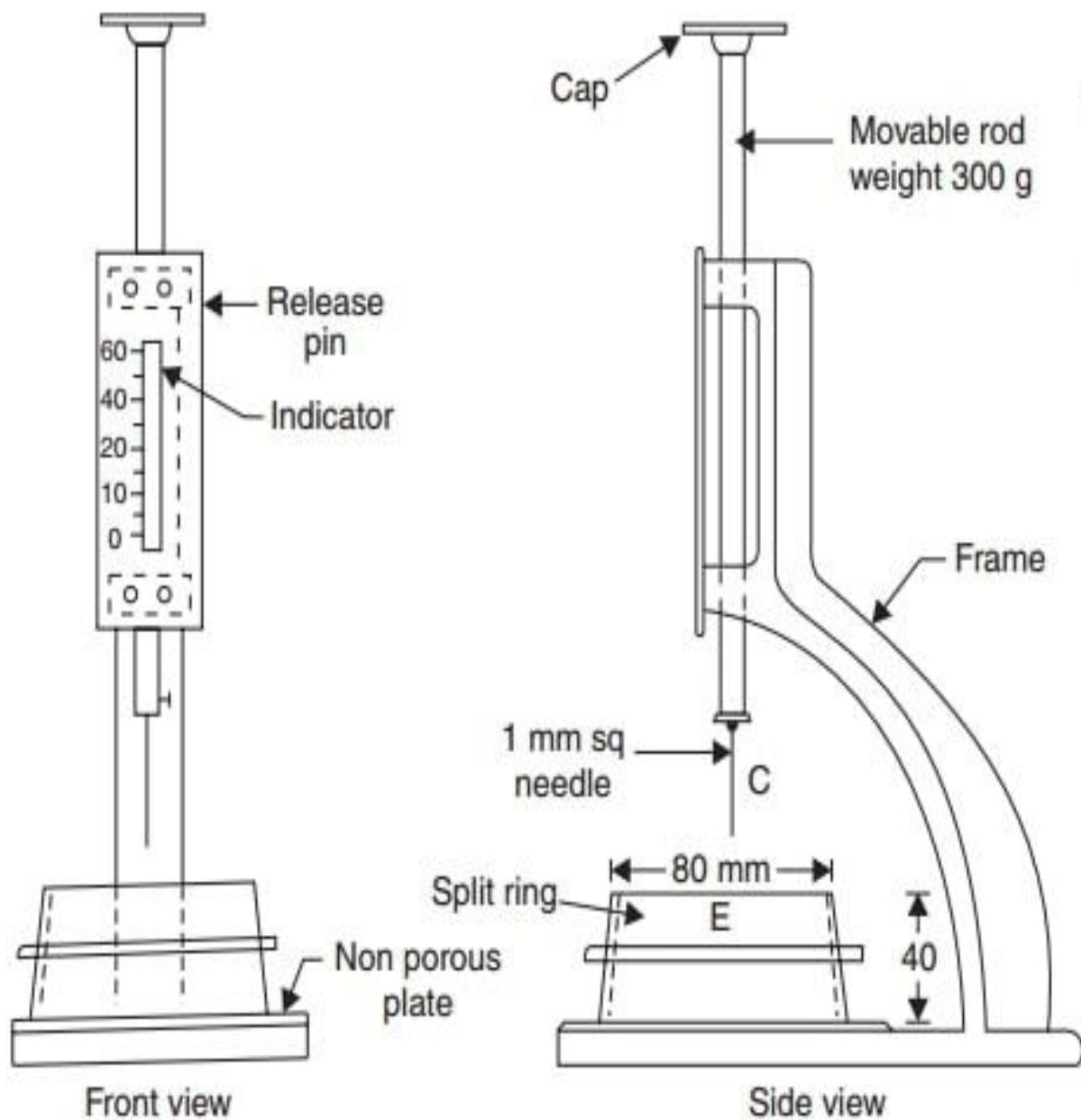
محاسبات

g_c - غلظت خمیر نرمالW_w - وزن آب در مخلوطW_c - وزن سیمان در مخلوط

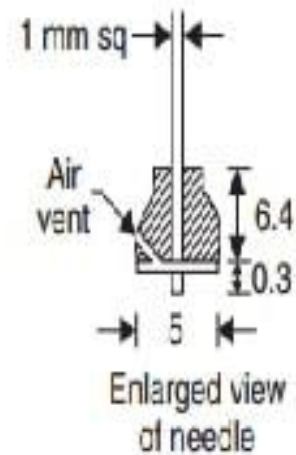
$$g_c = \frac{W_w}{W_c}$$

شرح دستگاه ویکات:

- ❖ **الف:** پایه که بر روی آن میله متحرک قرار گرفته است و یک سر آن دارای میله سوزن متحرک به قطر 1.13 ± 0.05 میلیمتر و طول ۵۰ میلیمتر و سر دیگر این میله در طول ۵۰ میلیمتری دارای قطر 10 ± 0.05 میلیمتر بوده که به میله آب سنج (غوطه ور) معروف است. میله متحرک دارای عقربه‌ای است که بر روی صفحه مدرج متصل به پایه، بالا و پایین رفته و حرکت قائم میله نسبت به پایه و حرکت قائم عقربه نسبت به میله توسط پیچ‌های جداگانه قابل کنترل می‌باشد. وزن کلی قسمت متحرک دستگاه ویکات در موقع استفاده همراه با سوزن 300 ± 1 گرم می‌باشد. وزن سوزن باید 9 ± 0.5 گرم باشد.
- ❖ **ب:** قالب ویکات از یک استوانه شکافدار با قطر داخلی ۸۰ میلیمتر و ارتفاع ۴۰ میلیمتر که بر روی صفحه غیر متخلخل قرار گرفته تشکیل می‌شود. جدار خارجی استوانه دارای شیب دو درجه بوده و بوسیله حلقه قیدی شکاف استوانه کاملاً بسته می‌شود.



Vical apparatus with needle for initial section time test



Plunger for standard consistency test



آزمایش روش تعیین گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۲ – دت ۱۱۳

ASTM C191-82

هدف: تعیین زمان شروع گیرش خمیر سیمان و تغییر وضعیت آن به حالت جامد

اهمیت و کاربرد:

زمان گیرش اولیه مدت زمان سپری شده از لحظه اختلاط آب و سیمان بوده که بعد از آن رشد کریستال‌های ناشی از هیدراتاسیون به اندازه‌ای است که روانی خمیر رو به کاهش می‌گذارد. در ارتباط با اهمیت این آزمایش، با توجه به اینکه قبل از زمان گیرش اولیه، میزان گیرش سیمان غیر مشخص است پس کل عملیات ساخت، حمل، ریختن و پرداخت بتن باید در این محدوده زمانی صورت گیرد در غیر این صورت هرگونه حرکت بتن در زمانی که بتن در حال سخت شدن است باعث کاهش پایداری و مقاومت فشاری بتن می‌گردد، این موضوع در مواقعی که فاصله بین محل ساخت و مصرف بتن زیاد باشد یا عملیات بتن ریزی با مشکلاتی روبرو گردد حائز اهمیت می‌گردد. در هر صورت بتن، بایستی قبل از زمان گیرش اولیه در محل نهایی خود قرار گیرد. همچنین این آزمایش جهت بررسی کیفیت سیمان‌های مصرفی در کارگاه قابل استفاده است چرا که سیمان‌های فاسد شده دارای زمان گیرش بیش از حد متعارف است.

گیرش نهایی مدت زمان سپری شده از لحظه اختلاط آب و سیمان تا زمان از بین رفتن کارایی بتن می‌باشد. بنابر این زمان گیرش نهایی به عنوان زمان شروع عملیات نهایی هیدراتاسیون سیمان و خاتمه عملیات گیرش سیمان تلقی می‌گردد.

لوازم مورد نیاز آزمایش:

- ترازو با حداقل ظرفیت یک کیلوگرم و دقت ۰.۱ گرم
- استوانه مدرج با حداقل ظرفیت ۲۰۰ میلی متر

- دستگاه ویکات
- ۱- پایه
- ۲- میله متحرک
- ۳- میله آب سنج
- ۴- سوزن

دما و رطوبت: دمای سیمان، آب و محل آزمایشگاه در حین تهیه خمیر سیمان و قالب گیری بایستی بین ۱۷.۷ الی ۲۳.۳ درجه سانتیگراد باشد. قالب سیمانی که برای آزمایش تهیه می شود باید در تمام مدت آزمایش در دمای 18.9 ± 1.1 درجه سانتیگراد و در محیطی با حداقل رطوبت نسبی ۹۰ درصد و دور از جریان هوا نگهداری شود.

شرح آزمایش:

تمامی مراحل آماده سازی آزمونه خمیر سیمان و دستگاه مطابق با آزمایش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان است. پس از آماده سازی نمونه و قراردادن در دستگاه ویکات و تنظیم عقربه بر روی ۴۰ میلیمتر، دستگاه به همراه آزمونه به مدت ۳۰ دقیقه درون اتاق رطوبت قرار می گیرد. سپس آزمایش مطابق با روش آزمایش قبلی ادامه پیدا می کند. با این تفاوت که پس از باز کردن پیچ سوزن و نفوذ به خمیر سیمان در طی ۳۰ ثانیه تا فاصله ۵ میلیمتری کف قالب (طبق استاندارد ASTM ۱۵ میلیمتری کف قالب) متوقف گردد. در صورت عدم نفوذ به میزان مشخص شده آزمایش باید هر ۱۵ دقیقه تکرار گردد و در فاصله زمانی بین آزمایش ها دستگاه و نمونه در اتاق رطوبت قرار گیرد.

نکته: محل نفوذ سوزن در خمیر سیمان باید دارای حداقل فاصله با محل های نفوذ قبلی و همچنین حداقل فاصله مناسب تا لبه قالب را دارا باشد.

برای تعیین زمان گیرش نهایی باید از سوزن با ضمیمه فلزی تو خالی استفاده کرد. گیرش نهایی زمانی اتفاق می افتد که با قراردادن سوزن بر روی خمیر سیمان و باز کردن پیچ سوزن فقط اثر کمی بر روی سیمان باقی گذاشته در حالی که هیچ اثری از ضمیمه فلزی آن بر روی سیمان نباشد. اگر بر روی سطح فوقانی آزمونه کف درست شده بود، باید سطح زیرین آن برای تعیین زمان گیرش نهایی مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اینکه زمان گیرش نهایی برای سیمان های معمولی و زود سخت شونده حدود ۱۰ ساعت است لذا در زمان های متوالی آزمایش جهت تعیین زمان گیرش نهایی باید صورت گرفته تا شرط مذکور اثبات شود.

محاسبات: در صورتی که سوزن در فاصله ۵ میلیمتری از کف قالب متوقف شود این مدت زمان از اختلاط، به عنوان زمان گیرش اولیه ثبت می گردد. در غیر اینصورت به وسیله رسم نمودار تغییرات "زمان نفوذ – فاصله سوزن از کف قالب" و بدست آوردن زمان نفوذ نظیر فاصله ۵ میلیمتر بر روی منحنی بر اساس حداقل ۳ مرتبه عمل نفوذ سوزن در فواصل زمانی معین تعیین می شود. مقادیر فاصله سوزن از کف قالب بایستی کمتر و بیشتر از ۵ میلیمتر باشد. رسم منحنی بر روی کاغذ میلیمتری برای دقت در تعیین زمان گیرش اولیه صورت می پذیرد.

آزمایش روش تعیین انبساط سیمان (سلامت سیمان) بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۱ – دت ۱۲۳ ASTM C151-84

هدف: تعیین سلامت سیمان

اهمیت و کاربرد:

سلامت سیمان به ثبات حجم خمیر سیمان بعد از گیرش اطلاق می شود.

عدم سلامت سیمان یا انبساط مخرب معوق ← علت ← مقادیر بیش از اندازه آهک آزاد خوب پخته نشده ← معلول ← تغییرات حجمی زیاد

اگر مواد خام درون کوره حاوی مقداری بیش از آنچه می تواند با اکسیدهای اسیدی ترکیب شوند باشد مقدار اضافی به حالت آزاد باقی می ماند.

آهک آزاد موجود در کلینکر ← در اثر هیدراته شدن ← حجمی به مراتب بیشتر از حجم اولیه اکسید کلسیم

*نکته: خمیر سیمان پس از گیرش اولیه و سخت شدن نباید تغییر حجم عمده ای پیدا کند

در صورت انبساط خمیر سیمان در محل هایی که امکان انبساط وجود ندارد ← خرابی و ترک
دلیل انبساط ← فعل و انفعال آهک و منیزیم آزاد و سولفات کلسیم

سه دلیل اصلی خرابی سیمان

الف- هیدراته شدن آهک آزاد موجود در کلینکر که باعث افزایش حجم اولیه اکسید کلسیم می شود. (به روش تجزیه شیمیایی نمی توان مقدار آهک آزاد را تعیین نمود. یعنی بین CaO هیدراته نشده و Ca(OH)_2 تولید شده از هیدراتاسیون سیلیکاتها (در مجاورت هوا) نمی توان تفاوتی قائل شد.)

ب- اکسید منیزیم در مجاورت آب شبیه به CaO عمل کرده و با کریستالی شدن حجم بیشتری را اشغال می کند.

ج- انبساط سولفات کلسیم که با تشکیل سولفوآلومینات کلسیم از گچ اضافی که با C_3A ترکیب نشده سیمان را خراب می کند.



در استاندارد ایران دو روش برای انجام آزمایش وجود دارد:

۱- روش لوشاتلیه

۲- روش اتوکلاو

۱- روش لوشاتلیه

لوازم مورد نیاز آزمایش

پودر سیمان

ترازو با دقت ۰.۱ گرم

مزور با دقت ۱ cc

انبرک لوشاتلیه

کولیس با دقت ۰.۲ mm

شرح آزمایش:

ابتدا ۲۰۰ گرم سیمان را با ترازو ۰.۱ توزین کرده و سپس به روش تعیین غلظت نرمال خمیر سیمان، آزمون‌های آماده نمایید. برای تعیین انبساط سیمان پرتلند، استوانه لوشاتلیه را بر روی یک صفحه شیشه‌ای قرارداده و آنرا با خمیر نرمال سیمان تهیه شده پر نمایید.

تذکر: هنگام پر کردن خمیر نرمال سیمان در استوانه لوشاتلیه دقت کنید شکاف استوانه بسته باشد.

طرف دیگر استوانه لوشاتلیه را نیز با یک صفحه شیشه‌ای پوشانده و روی آن یک وزنه کوچک یک کیلوگرمی قرار دهید و سریعاً داخل محفظه آبی با دمای 18.9 ± 1.1 درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری کنید. پس از ۲۴ ساعت فاصله سوزن دو سر انبرک لوشاتلیه را با کولیس اندازه‌گیری نموده و مجدداً قالب را در زیر آب با همان درجه حرارت قبل قرار دهید. به مرور و در طی مدت ۲۵ الی ۳۰ دقیقه دمای آب را به نقطه جوش رسانده و همل جوشاندن را تا یک ساعت ادامه دهید. پس از گذشت یک ساعت قالب را از آب خارج کرده و تا رسیدن به دمای محیط خنک کنید. سپس مجدداً فاصله دو سر سوزن\$ها را اندازه‌گیری کنید. اختلاف دوبار اندازه‌گیری معرف انبساط سیمان می‌باشد.

۲- روش اتوکلاو لوازم مورد نیاز آزمایش

پودر سیمان

ترازو با دقت ۰.۱ گرم

مزور با دقت ۱ cc

قالب خمشی ملات نرمال به ابعاد $۱۶ \times ۴ \times ۴$ سانتیمتر

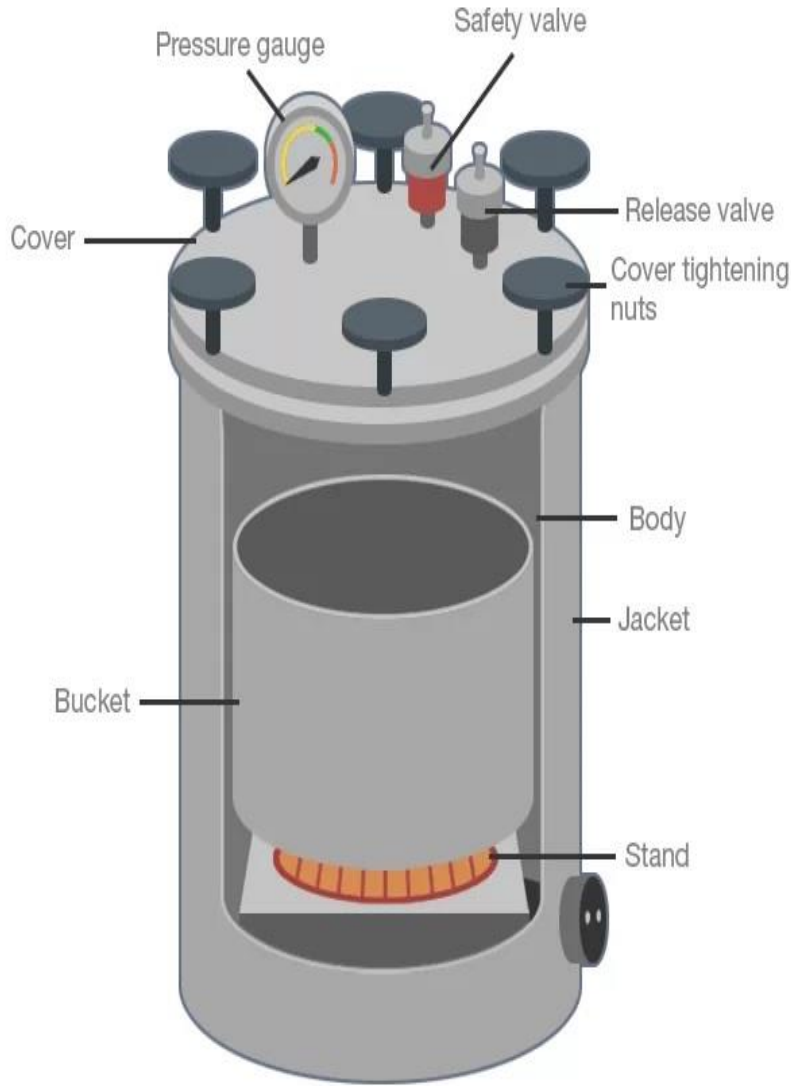
کاردک به عرض ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر

دستگاه اتوکلاو

شرح آزمایش:

ابتدا به روش تعیین غلظت نرمال خمیر سیمان نمونه‌هایی را آماده نمایید. برای پر کردن قالب‌های سیمان، برای هر خانه قالب ۳۱۰ گرم خمیر سیمان را توزین کرده و به طور مساوی در سطح هر قالب بریزید و با کوبه مخصوص ۷۰۰ گرمی (ملات کوب)، ۲۰ بار خمیر سیمان را فشرده نمایید. عمل ضربه زدن باید در هر دو طرف دیواره قالب‌ها انجام شود. بعد از فشرده کردن لایه اول مجدداً ۳۱۰ گرم خمیر سیمان را برای لایه دوم توزین و با ۲۰ ضربه دیگر فشرده نمایید. کلاhek قالب را بردارید و سطح قالب‌ها را با ۲ تا ۳ بار حرکت کاردک یا خط کش فلزی صاف کنید. قالب‌ها را به مدت ۲ ساعت در محفظه هوای مرطوب قرار دهید و بعد از دو ساعت مجدداً سطح قالب را صاف نمایید. قالب‌ها را به مدت حداقل ۲۰ ساعت در داخل محفظه هوای مرطوب نگهداری کنید. بعد از گذشت ۲۴ ساعت قالب را از محفظه خارج و فوراً طول آن را اندازه بگیرید و بلافاصله در دستگاه اتوکلاو روی پایه مخصوص خود با دمای محیط قرارداده طوری که تمام سطوح قالب با بخار اشباع شده تماس حاصل نماید. اتوکلاو باید به اندازه کافی آب با حرارت ۲۰ الی ۲۷.۵ درجه سانتی گراد داشته باشد تا در تمام طول آزمایش بخار اشباع شده تولید نماید. برای خروج هوا از اتوکلاو در ابتدای گرم کردن باید شیر هوا را باز گذاشت تا بخار شروع به خارج شدن کند در این موقع شیر هوا را ببندید و درجه حرارت اتوکلاو را تا حدی بالا ببرید که در مدت ۴۵ تا ۷۵ دقیقه عقربه فشار سنج بخار ۰.۷ ± ۲۲ اتمسفر را نشان دهد. پس از گذشت ۳ ساعت دستگاه حرارتی اتوکلاو را خاموش کنید تا دستگاه طوری خنک شود که فشار بخار در مدت ۲۴ ساعت به ۰.۷ اتمسفر برسد. فشار داخلی دستگاه را با باز کردن شیر هوا خارج کرده و قالب‌ها را خارج کنید. قالب‌ها در آبی با دمای ۹۰ درجه قرار گرفته و به وسیله آب سرد اطراف قالب‌ها را خنک کرده طوری که پس از ۱۵ دقیقه دمای آب حاوی قالب‌ها به ۲۳ درجه سانتیگراد برسد. دما را در ۲۳ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه ثابت نگه داشته و سپس قالب‌ها را خارج و خشک کنید (از خشک کردن آزمون اجتناب کنید) و آنها را دوباره اندازه گیری کنید. اختلاف اندازه گیری قبل و بعد از قراردادن در دستگاه اتوکلاو با تقریب ۰.۱ درصد گزارش شود. افزایش طول به عنوان انبساط خمیر سیمان و کاهش طول با علامت منفی و کاهش حجم خمیر سیمان و بر مبنای درجه منعکس می‌گردد.

شرح دستگاه اتوکلاو



اتوکلاو شامل دستگاه تهیه بخار با فشار زیاد و مجهز به حرارت سنج می‌باشد. اتوکلاو باید به دستگاه کنترل فشار بخار و سوپاپ اطمینان با تحمل فشار $5 \pm 22\%$ مجهز باشد. دستگاه برای خروج هوا در لحظات اولیه و همچنین خروج بخار در هنگام خنک کردن دستگاه دارای شیر هوا باشد. قطر فشار سنج ۱۱۲ میلیمتر و از صفر تا ۴۲ اتمسفر تقسیم بندی شده است. فواصل هر تقسیم بندی نباید بیشتر از 0.35 اتمسفر باشد. در فشار ۴۲ اتمسفر عقربه فشارسنج نباید بیش از 0.2 اتمسفر خطا داشته باشد. قدرت تولید حرارت دستگاه باید به طوری باشد که با داشتن حداکثر بار (آب و قالب‌های سیمان) در مدت ۴۵ تا ۷۵ دقیقه پس از روشن شدن به ۲۱ اتمسفر برسد. دستگاه کنترل فشار باید قادر به حفظ کنترل فشار بخار 0.7 ± 1 اتمسفر حداقل در مدت ۳ ساعت را دارا بوده و فشار بخار 0.7 ± 21 اتمسفر دارای حرارت 1.7 ± 215.7 درجه سانتی گراد باشد. اتوکلاو باید طوری ساخته شود که فشار ۲۱ اتمسفر را بعد از خاموش کردن در مدت ۱.۵ ساعت به کمتر از 0.7 اتمسفر برساند.

به منظور اندازه‌گیری تغییرات طول باید یکی از روش‌های زیر را مد نظر داشت:

- ۱- وسیله موثری برای تماس با پیچ‌های شاخص که در قالب‌های سیمان تعبیه شده به منظور اندازه‌گیری طول
- ۲- میکرومتر صفحه‌ای دقیق یا وسیله اندازه‌گیری مدرج دیگر که بتواند تا 0.025 میلیمتر را نشان دهد.
- ۳- دستگاه اندازه‌گیری که به اندازه کافی مدرج باشد تا بتواند تغییرات کوچک طولی قالب را نشان دهد.

تذکره ۱- دمای محل آزمایش، لوازم آزمایش، قالب و مواد خشک نباید کمتر از ۲۰ و بیشتر از ۲۷.۵ درجه سانتیگراد باشد. حرارت آب اختلاط و محفظه رطوبت باید 1.7 ± 23 درجه سانتی گراد باشد.

تذکره ۲- رطوبت نسبی آزمایشگاه حداقل ۵۰ درصد باشد و محفظه رطوبت باید شرایط نگهداری رطوبت حداقل ۹۰ درصد را دارا باشد.