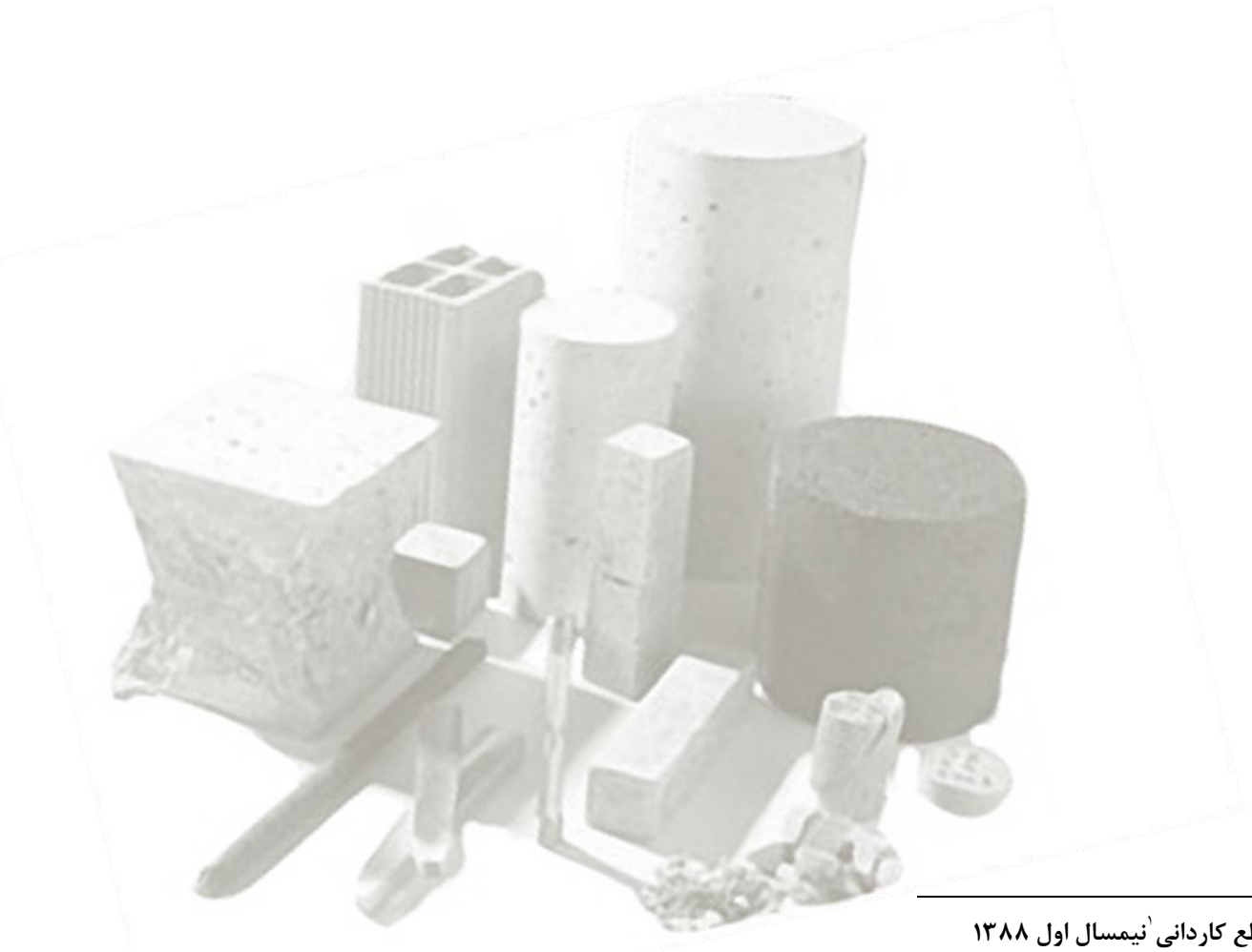
گزارش کار آزمایشگاه بتن

استاد: مهندس تجری

دانشجو: محمد تقی نظری

مرکز آموزش عالی فنی و حرفه ای امام خمینی
علی آباد کتول



مقطع کاردانی نیمسال اول ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

مقدمه

برای داشتن یک سازه بتنی ایمن باید مطمئن باشیم که بتن مورد استفاده دارای استانداردهای لازم را داشته باشد، لذا دانستن این عمل فقط در آزمایشگاه میسر می‌باشد. به نظر بنده درس آزمایشگاه بتن یکی از مهمترین دروسی می‌باشد که باید مهندسین عمران آن را بدانند.

این گذارش آزمایش‌های مورد نیاز و مهم همراه با تصاویر در حین آزمایش را به دربر می‌گیرد تا مورد استفاده دانشجویان قرار گیرد.

در انتها از استاد عزیز و گرامی آقای مهندس تجری را کمال تشکر دارم که با دلسوزی‌های ایشان انواع آزمایش های مهم بتن مورد آزمایش قرار گرفته شد.

این را می‌دانم در این گذارش حتما نقص‌هایی وجود دارد از جمله در ضرب و تقسیم ها یا تایپ مطالب امکان دارد اشتباهاتی داشته باشد که در صورت وجود عذرخواهی می طلبم.

خواهش دارم هرگونه اظهارنظر در مورد پروژه اعم از انتقاد یا پیشنهاد یا رفع نقص پروژه پیشنهادات خود را به ایمیل من ارسال نمایید تا در رفع مشکل اقدام نمایم. درضمن هرگونه سوال یا راهنمایی خواستید بنده در خدمت هستم.

پل ارتباطی بنده با شما:

mn۶۷.nazari@yahoo.com

فهرست

فصل اول- آزمایش‌های مربوط به سیمان

آزمایش تعیین جرم حجمی سیمان ۶

آزمایش تعیین غلظت نرمال سیمان توسط دستگاه ویکات ۸

آزمایش زمان گیرش اولیه سیمان توسط دستگاه ویکات ۹

آزمایش تعیین مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان ۱۱

آزمایش سلامت سیمان ۱۴

فصل دوم – آزمایش های مربوط به سنگدانه ها

آزمایش دانه بندی مصالح به روش الک کردن ۱۷

آزمایش ارزش ماسه ای ۲۰

آزمایش تعیین درصد رطوبت ماسه ۲۲

آزمایش وزن مخصوص توده ای ماسه ۲۴

آزمایش وزن مخصوص ظاهری ۲۶

فصل سوم – آزمایش های مربوط به بتن

طرح اختلاط بتن ۲۹

نمونه گیری ۳۵

تعیین مقاومت فشاری بتن ۳۶

تعیین مقاومت کششی بتن ۳۸

تعیین مقاومت خمشی بتن ۳۹

آزمایش های مربوط به کارآیی مخلوط بتن تازه ۴۱

آزمایش اسلامپ ۴۱

آزمایش فاکتور تراکم ۴۳

آزمایش تعیین مقدار هوای بتن تازه به روش فشاری ۴۵

فصل اول

آزمایش‌های مربوط به سیمان

آزمایش تعیین جرم حجمی سیمان

وسایل مورد نیز: بالن لوشاتلیه، نفت سفید، سیمان، ترازو

هدف آزمایش: این روش آزمایش برای تعیین جرم حجمی سیمان هیدرولیکی به کار می رود. جرم حجمی سیمان در ارتباط با طرح و کنترل مخلوط‌های بتن مورد استفاده قرار می گیرد. جرم حجمی سیمان هیدرولیکی به عنوان جرم واحد حجم ذرات جامد تعریف می شود.

روش آزمایش: بالن را با نفت توسط یک لوله نازک تا نقطه ای بین علامتهای ۰ و۱ میلی لیتر در ساقه بالن پر می نماییم و عدد بدست آمده را قرائت و برداشت می‌کنیم.

دلیل گذاشتن لوله نازک این است که نفت به جداره بالن برخورد نکند و در هنگام ریختن سیمان، به جداره بالن نچسبد.

عدد قرائت شده ۰.۵ می‌باشد.

در مرحله بعد ۶۴ گرم سیمان را که توسط ترازو وزن کرده‌ایم را توسط یک قیف به آرامی و به تدریج داخل بالن لوشاتلیه می‌ریزیم. باید برای جلوگیری و پراکنده شدن و پاشیده شدن سیمان دقت کافی به عمل آید. در هنگام ریختن سیمان درون بالن به دلیل نازکی جداره بالن امکان گرفتگی وجود دارد، برای رفع این مشکل با زدن ضربه هایی به کناره های بالن از

گرفتگی آن جلوگیری می‌کنیم. پس از آنکه تمام سیمان ریخته شد، در پوش بالن را گذاشته و آن را به آهستگی و یکنواخت به مایل تکان می دهیم طوری که هوای سیمان خارج شود ودیگر هیچ حبابی بر روی سطح مایع نباشد. بالن را چند دقیقه بر روی میز گذاشته و پس از ته‌نشین شدن عدد را قرائت و برداشت می‌کنیم.

عدد برداشت شده ۲۱.۸ می‌باشد.

برای اطمینان در آزمایش و رفع خطا دوباره به ترتیب شرح گذارش بالا بار دیگر انجام می‌دهیم که این اعداد بدست می‌آید:

در هنگام ریختن نفت: ۰.۶

بعد از ریختن سیمان: ۲۱.۴

محاسبات: ابتدا تفاوت قرائت‌های ابتدا و انتها را بدست می‌آوریم و با استفاده از فرمول زیر جرم حجمی سیمان را بدست می‌آوریم که برحسب $\frac{kg}{m^3}$ بدست می آید:

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad \text{جرم: } m \qquad \text{حجم: } v$$

$$\rho_1 = \frac{64}{21.8 - 0.5} = 3.004\ {}^{kg}/_{cm^3} \times 1000 = 3004\ {}^{kg}/_{m^3}$$

$$\rho_2 = \frac{64}{21.4 - 0.6} = 3.076\ {}^{kg}/_{cm^3} \times 1000 = 3076\ {}^{kg}/_{m^3}$$

$$\text{میانگین} = \frac{3004 + 3076}{2} = 3040\ {}^{kg}/_{m^3}$$

آزمایش تعیین غلظت نرمال سیمان توسط دستگاه ویکات

وسایل آزمایش: ترازو، دستگاه ویکات با سوزن ۱۰ میلیمتر

هدف آزمایش: برای زمان گیرش اولیه، گیرش نهایی و سلامت سیمان لازم است خمیر سیمان با غلظت معینی مطابق استاندارد تعیین شود.

برای هر نوع سیمان مقدار آب لازم جهت ساختن خمیر نرمال عموما بین ۲۶ تا ۳۳ درصد وزن سیمان خشک می‌باشد.

شرح آزمایش: در مرحله اول ۶۵۰ گرم سیمان را پس از وزن کردن با مقدار مشخصی آب مخلوط می‌کنیم.

در این آزمایش مقدار مورد نیازآب، ۲۸ درصد سیمان خشک معادل ۱۸۲ گرم شد.

پس از پوشیدن دستکش مخلوط را از انتهای گشادتر مخروط به داخل فشار می‌دهیم طوری

که مخروط کاملا از خمیر پر شود. خمیر اضافی را پاک می‌کنیم سپس حلقه از طرف گشادتر روی صفحه گذاشته و با یک ماله سطح آن را صاف می‌کنیم. سپس زیر سوزن ویکات قرار می‌دهیم. باید دقت شود که تمام مراحل این کار باید کمتر از ۳۰ ثانیه انجام شود. سوزن دستگاه ویکات را روی صفر تنظیم می‌کنیم، سپس ضامن دستگاه را رها کرده و بعد از ۳۰ ثانیه مقدار آن را پس از قرائت برداشت می‌کنیم. این میله در حالت استاندارد باید به اندازه 10 ± 1 میلیمتر نفوذ کند.

مقدار فرورفتگی سوزن درون خمیر ۹ میلیمتر اندازه گیری شد.

نتیجه: بر اساس این آزمایش مشخص گردید که سیمان مورد مصرف در آزمایش فاقد استاندارد لازمه می‌باشد.

آزمایش تعیین زمان گیرش اولیه سیمان توسط سوزن ویکات

وسایل آزمایش: ترازو، دستگاه ویکات با سوزن ۱ میلیمتر

هدف آزمایش: این آزمایش سرعت سخت شدن خمیر سیمان را نشان می‌دهد.

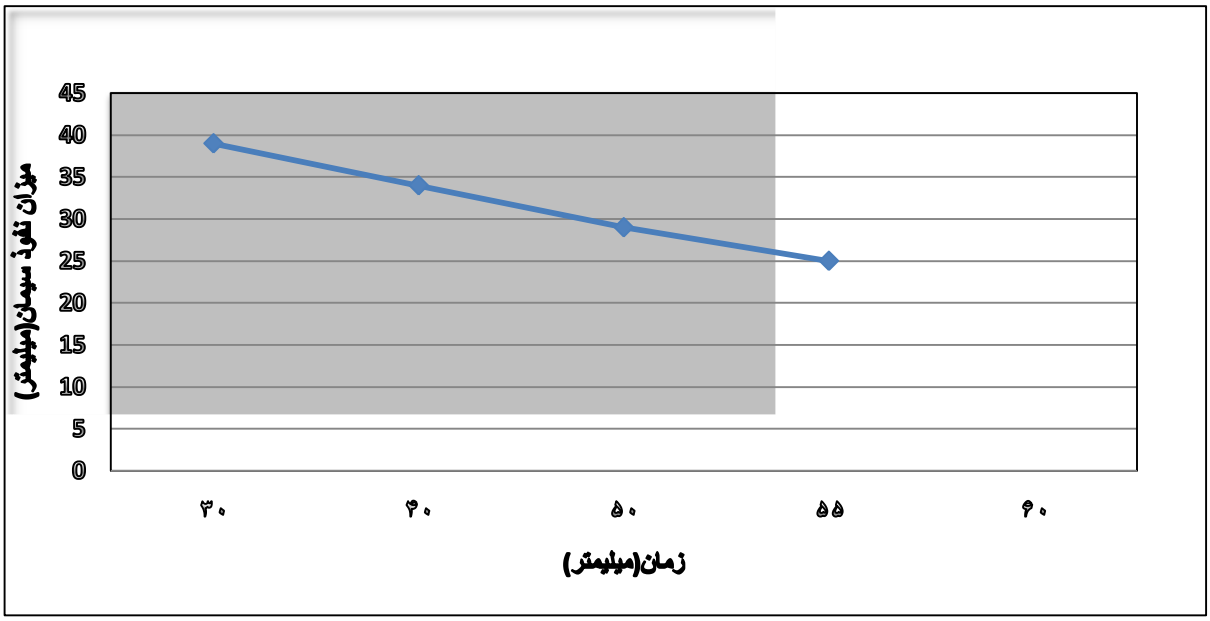
برای هر نوع سیمان مقدار آب لازم جهت ساختن خمیر نرمال عموماً بین ۲۶ تا ۳۳ درصد وزن سیمان خشک می‌باشد.

شرح آزمایش: در مرحله اول ۶۵۰ گرم سیمان را پس از وزن کردن با مقدار مشخصی آب مخلوط می‌کنیم.

در این آزمایش مقدار مورد نیازآب، ۲۸ درصد سیمان خشک معادل ۱۸۲ گرم شد.

پس از پوشیدن دستکش مخلوط را از انتهای گشادتر مخروط به داخل فشار می‌دهیم طوری که مخروط کاملا از خمیر پر شود. خمیر اضافی را پاک می‌کنیم سپس حلقه از طرف گشادتر روی صفحه گذاشته و با یک ماله سطح آن را صاف می‌کنیم. سپس زیر سوزن ویکات قرار می‌دهیم. به مدت ۳۰ دقیقه آن را رها کرده، سپس میزان نفوذ سوزن با قطر ۱ میلیمتر در زمان ۳۰ دقیقه و پس از هر ۱۰ دقیقه یک بار اندازه می‌گیریم تا نفوذی برابر یا کمتر از ۲۵ میلیمتر برسیم. مطابق با آیین نامه ASTM حداقل زمان ۶۰ دقیقه می‌باشد. باید توجه شود که در هنگام تعیین میزان نفوذ سوزن نباید از نقطه نفوذی که دفعات قبل استفاده کردیم، دوباره استفاده نکنیم.

در نمودار زیر میزان نفوذ سوزن در آزمایشی که انجام شد به ثبت رسیده است:



نتیجه: زمان گیرش سیمان نه تنها تحت تأثیر مقدار آب مورد استفاده و دمای آن قرار دارد، بلکه دما و رطوبت هوا هم بر آن تأثیر نمی‌گذارد ولذا تعیین زمان گیرش تقریبی می‌باشد. در این آزمایش سیمان کیفیت استاندارد را ندارد.

آزمایش تعیین مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان

وسایل مورد نیاز: ترازو، قالب‌های ساخت نمونه به ابعاد ۵×۵×۵ سانتیمتر، الک۲۰(۱۶) و۳۰، تخماق

هدف آزمایش: این روش برای تعیین مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان و ملات‌های دیگر کاربرد دارد. در مورد استفاده از نتایج این آزمایش برای پیش بینی مقاومت بتن باید دقت کافی مبذول شود.

شرح آزمایش:

آماده کردن قالب: برای نچسبیدن دیوارهای قالب به نمونه‌ها قبل از ریختن مواد به داخل آن، به دیواره‌های قالب یک ماده لغزنده مانند روغن یا گریس لغزنده آغشته می‌کنیم(شکل روبرو). بعد از قرار دادن قالب صفحه پایه و محکم کردن آن به صفحه، روغن اضافه را با پارچه پاک می‌کنیم. برای هر سنی حداقل سه نمونه قالب لازم داریم.

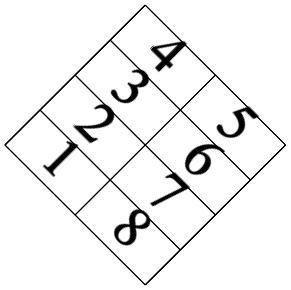
آماده کردن ملات: نسبت‌های مصالح در ملات استاندارد باید یک قست وزنی سیمان و ۲.۷۵ قسمت وزنی ماسه دانه‌بندی شده باشد. برای سیمان‌های پرتلند از نسبت آب به سیمان ۰.۴۸۵ و برای تمامی سیمان‌های پرتلند هوازا از نسبت آب به سیمان ۰.۴۶۰ استفاده می‌شود.

دانه بندی ماسه رد شده از الک ۲۰ و مانده روی الک ۳۰ می‌باشد.

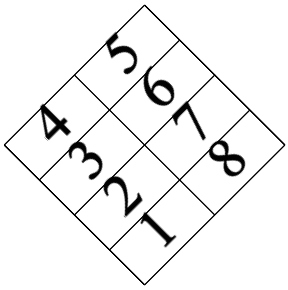
مقدار مصالحی که در یک مرحله برای ساخت تعداد ۶ و ۹ نمونه مورد نیاز است، به قرار زیر می‌باشد:

تعداد نمونه‌ها	سیمان(گرم)	ماسه(گرم)	آب(میلیمتر) (پرتلندمعمولی W/C=۰.۴۸۵)	آب(میلیمتر) (پرتلندهوازا ۰.۴۶۰ =W/C)	برای سیمان‌های دیگر
۹	۷۴۰	۲۰۳۵	۳۵۹	۳۴۰	سیلان(۱۱۰±۵)
۶	۵۰۰	۱۳۷۵	۲۴۲	۲۳۰	سیلان(۱۱۰±۵)

قالب گیری: قالب گیری نمونه‌ها باید حداکثر در مدت ۲ دقبقه و نهایتاً ۳۰ ثانیه بعد از ساخت ملات انجام شود. لایه‌ای از ملات با ضخامت حدود ۲۵ میلیمتر (تقریبا نصف ارتفاع قالب) را در قالب قرار می‌دهیم. ملات ریخته شده در هر بخش مکعبی قالب را ۳۲ مرتبه، در مدت ۱۰ ثانیه و طی ۴ دوره مطابق شکل می‌کوبیم. فشار کوبیدن فقط باید به حدی باشد که ملات، داخل قالب را پر کند. وقتی کوبیدن اولین لایه در همه قسمتهای مکعبی کامل شد، با باقیمانده ملات همه قسمتها را پر کنید و مانند لایه اول بکوبید. برای تراز کردن ملات لبه تخت ماله را در طول قالب کشیده و سرانجام با یک حرکت برشی توسط لبه مستقیم ماله(تیغه ماله تقریبا عمود بر قالب نگه داشته می‌شود) سطح ملات را به حالت صاف و هم سطح بالای قالب برش می‌دهیم.



ترتیب کوبیدن تخماق در دور ۱ و ۳



ترتیب کوبیدن تخماق در دور ۲ و ۴

تخماق به ابعاد۲۵×۱۳ میلیمتر وطول ۱۵۰-۱۲۰ میلیمتر به صورت سر تخت می‌باشد.

سپس به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها را در فضای مرطوب قرار می‌دهیم ونمونه‌ها را از غالب خارج می‌کنیم ودرون آب معمولی قرار می‌دهیم.

تعیین مقاومت فشاری: برای تعیین مقاومت فشاری از سن نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه استفاده می‌کنیم. برای آزمایش هر نمونه سطوح آن‌ها را پاک و خشک کرده و دانه‌های سنگی سست و ذرات روی آن را تمیز می‌کنیم. نمونه را با دقت زیر ماشین آزمایش و در وسط فک‌های آن

قرار می‌دهیم. بارگذاری بدون وقفه تا گسیخته شدن نمونه در مدتی بیش از ۲۰ ثانیه و کمتر از ۸۰ ثانیه از شروع بارگذاری ، خاتمه یابد. حداکثر بار مشخص شده توسط دستگاه آزمایش را یادداشت نموده و مقاومت فشاری نمونه را بر حسب پاسگال تعیین می‌کنیم. برای تعیین مقاومت نمونه‌ها از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$C = \frac{N(\text{نیرو}\ \mathbf{kg})}{A(\text{مساحت}\ cm)}$$

حداقل مقامت سیمان‌های پرتلند نوع ۲(سیمان مورد مصرف در این آزمایش) بر اساس آیین نامه برای نمونه ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب ۱۷.۵ و ۳۱.۵ نیوتون بر میلیمتر مربع است.

مقاومت نمونه های آزمایش شده در جدول زیر آمده است:

سن نمونه(روز)	شماره نمونه	مقاومت فشاری متوسط(N/mm^2)	مقاومت فشاری نمونه(N/mm^2)	میانگین	ملاحظات
۷	A۱	۱۷.۵	۱۵.۷	۱۸.۹۶	ok
	A۲	۱۷.۵	۱۹.۶۲		
	A۳	۱۷.۵	۲۱.۵۸		
۲۸	A۴	۳۱.۵	۳۵.۳۱	۳۴.۲۶	ok
	A۵	۳۱.۵	۳۳.۳۵		
	A۶	۳۱.۵	۳۴.۱۳		

نتیجه: بر اساس این آزمایش مشخص شد که سیمان و ملاتی که مورد آزمایش قرار گرفت طبق جدول دارای مشخصات استاندارد لازم هستند.

آزمایش سلامت سیمان

وسایل مورد نیاز: دستگاه Leachater lier، دو عدد شیشه، کولیس

هدف آزمایش: به دلیل نقش بالای سیمان در چسبندگی مصالح، باید سیمان مورد مصرفی دارای استانداردهای لازم باشد. از این رو با انجام این آزمایش به سالم بودن سیمان پی می بریم.

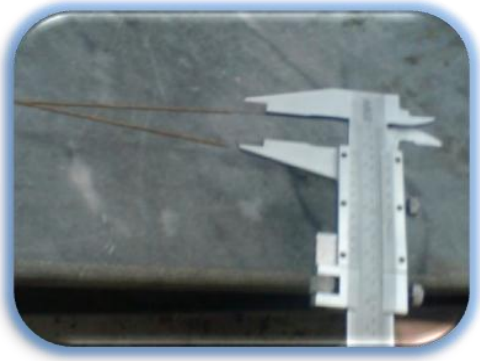
شرح آزمایش:

آماده کردن ملات: مقدار ۳۰۰ گرم سیمان را پس از وزن کردن با ترازو با ۹۰ گرم آب (۳۰٪ وزن سیمان) مخلوط می‌کنیم.

قالب گیری: ابتدا یک تکه از شیشه را زیر دستگاه leachater lier قرار می‌دهیم و سیمان را توسط قیف درون دستگاه ریخته و تکه دوم شیشه را روی دستگاه قرار می‌دهیم. یک عدد کش را دور قالب برای باز نشدن قالب قرار می‌دهیم.

دستگاه را به مدت ۲۴ ساعت در درون آب با دمای ۱±۲۰ قرار می‌دهیم. بعداز خارج کردن دستگاه از درون آب فاصله بین دو شاخک انتهایی دستگاه را با استفاده از کولیس اندازه می‌گیریم. سپس نمونه آزمایش را به مدت یک ساعت درون آب می‌جوشانیم و پس از خارج کردن از درون آب و سرد شدن، دوباره فاصله بین دو شاخک انتهایی دستگاه را با کولیس اندازه می‌گیریم.

نمونه آزمایش درون آب



اندازه گیری فاصله بین دو شاخک توسط کولیس

اختلاف بین اندازه‌گیری دو شاخک نباید از ۵ میلیمتر بیشتر باشد.

در مدت ۲۴ ساعت بعد از قالب گیری فاصله بین دو شاخک ۲۱.۵ میلیمتر اندازه گیری شد و پس از ۱ ساعت جوشاندن درون آب فاصله بین دو شاخک ۲۳ میلیمتر اندازه گیری شد.

۲۳- ۲۱.۵ = ۱.۵ ok

نتیجه: بر اساس این آزمایش نشان داده شد که سیمان مورد آزمایش مورد استفاده قرار گرفته به خوبی جواب داده است.

فصل دوم

آزمایش‌های مربوط به سنگدانه‌ها

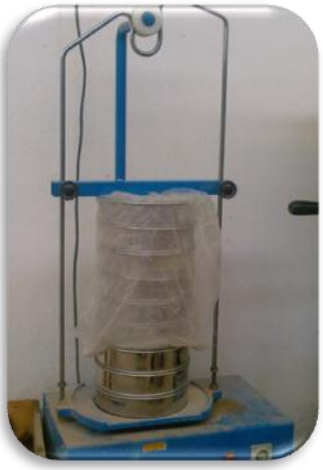
آزمایش دانه بندی مصالح به روش الک کردن

وسایل آزمایش: ترازو، الک‌های($\frac{3}{8}$"، ۴، ۸، ۲۰(به دلیل نبودن الک ۲۰ از الک ۱۶ استفاده می‌کنیم)، ۵۰، ۱۰۰) برای مصالح ریز دانه، الک‌های ($1\frac{1}{2}$، ۱، $\frac{1}{3}$، $\frac{1}{2}$، $\frac{3}{8}$، ۴) برای مصالح درشت دانه، دستگاه لرزاننده الک‌ها

منظور از الک ، اندازه سوراخ الک‌ها می‌باشدو الک نمره ۴ یعنی در هر اینچ مربع ۴ سوراخ قرار دارد.

هدف آزمایش: این روش برای تعیین دانه بندی مصالح سنگی (شن و ماسه) به کار می‌رود. نتایج این آزمایش به منظور تطبیق توزیع اندازه‌ی دانه‌ها با مشخصات لازم برای مصالح سنگی و همچنین تهیه اطلاعات لازم برای کنترل تولید سنگدانه‌های مختلف و مخلوطهایی که در آنها مصالح سنگی به کار می‌رود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات حاصل از این آزمایش را می‌توان برای تعمیم رابطه بین تخلخل و تراکم نیز مورد استفاده قرار داد.

شرح آزمایش:



نمونه برداری: مقدار ۲ کیلوگرم ماسه برای آزمایش مصالح ریز دانه و ۱۰ کیلوگرم برای آزمایش مصالح درشت دانه به عنوان نمونه از محل برداشته می‌شود. الک‌ها را به ترتیب شماره از بزرگ به کوچک و از بالا به پایین روی هم قرار داده و یک سینی زیر الک‌ها قرار می‌دهیم. سپس نمونه را روی الک بالایی می‌ریزیم و پس گذاشتن درپوشی روی الک‌ها، به کمک دستگاه لرزاننده به مدت ۳ الی ۴ دقیقه تکان می‌دهیم. (شکل روبرو)

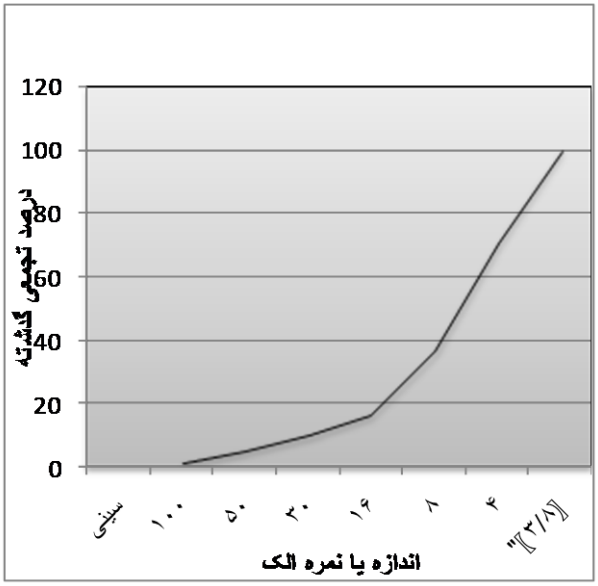
الک‌های مورد استفاده در این آزمایش براساس استاندارد **ASTM** می‌باشد.

محاسبات: پس از الک کردن وزن مصالح مانده روی هر الک را با ترازو به دقت وزن می‌کنیم. سپس با استفاده از فرمول زیر درصد مانده و عبوری از هر الک را حساب می‌کنیم:

$$\text{درصد مانده روی هر الک} = \frac{\text{وزن مانده روی هر الک}}{\text{وزن کل خاک}} \times 100 \qquad \text{درصد مانده-۱۰۰=درصد عبوری}$$

نمونه آزمایش مصالح ریزدانه انجام شده به صورت جدول و نمودار در زیر آمده است:

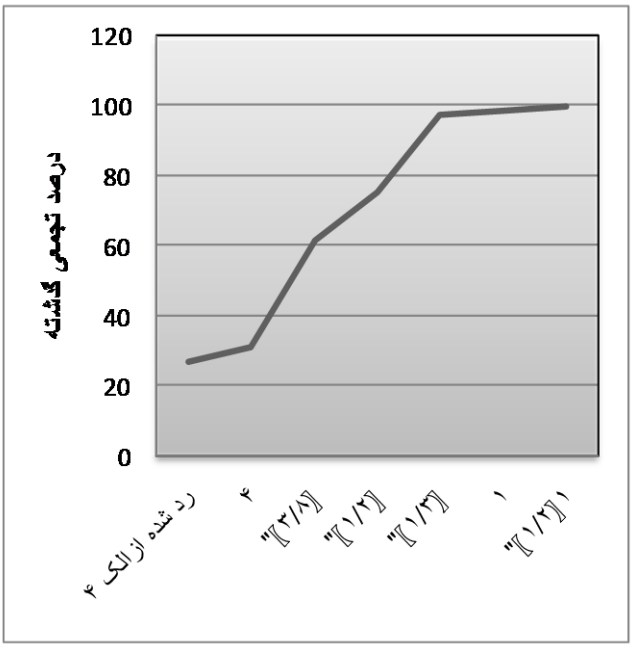
اندازه الک	وزن مانده روی هر الک (گرم)	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک	درصد تجمعی مانده روی الک
(۳/۸)"	۰	۰	۱۰۰	۰
۴	۵۸۶	۲۹.۳۵	۷۰.۶۵	۲۹.۳۵
۸	۶۸۵	۳۴.۳۱	۳۶.۳۴	۶۳.۳۳
۱۶	۳۹۳	۱۹.۶۸	۱۶.۶۶	۸۳.۳۴
۳۰	۱۳۵	۶.۷۶	۹.۹	۹۰.۱
۵۰	۹۴	۴.۷	۵.۲	۹۴.۸
۱۰۰	۷۹	۳.۹۵	۱.۲۵	۹۸.۷۵
سینی	۲۴	۱.۲	-	-
	کل=۱۹۹۶			کل=۴۶۰
				ضریب نرمی=۴.۶



بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ۱۰٪ وزنی سنگدانه‌ها روی آن باقی بماند که در این آزمایش الک نمره ۱۶ می‌باشد.

نمونه آزمایش مصالح درشت دانه انجام شده به صورت جدول و نمودار در زیر آمده است:

اندازه الک	وزن مانده روی هر الک (گرم)	درصد مانده روی الک	درصد تجمعی گذشته از الک	درصد تجمعی مانده روی الک
۱½	صفر	۰	۱۰۰	۰
۱	۱۳۶	۱.۳۶	۹۸.۶۴	۱.۳۶
¾	۱۰۱	۱.۰۱	۹۷.۶۳	۶.۳۷
⅜	۲۲۳۶	۲۲.۳۶	۷۵.۲۷	۲۸.۷۳
۳/۸	۱۳۳۱	۱۳.۳۱	۶۱.۹۶	۳۵.۶۷
۴	۳۰۹۵	۳۰.۹۵	۳۱.۰۱	۶۶.۶۲
رد شده ازالک ۴	۲۷۰۱	۲۷.۰۱	۲۷.۰۱	۹۳.۶۳
	کل=۹۶۰۰			کل=۲۳۱.۳۸
				ضریب نرمی=۲.۳۱



بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ۱۰٪ وزنی سنگدانه‌ها روی آن باقی بماند که در این آزمایش الک نمره ۴ می‌باشد.

نتیجه: بر اساس این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که ماسه و شن به کار رفته در این آزمایش دارای دانه‌بندی خوبی نمی‌باشد و بر اساس مدول نرمی که باید بین ۲.۳ تا ۳ باشد، نشان دهنده درشتی دانه‌ها می‌باشد.

آزمایش ارزش ماسه‌ای

وسایل آزمایش: ۵۰۰گرم ماسه، دو استوانه مدرج، مایع استوکس، دستگاه شیکر، سمبه

هدف آزمایش: بر اساس این آزمایش درصد سطح مخصوص مصالح ریزدانه بدست می‌آید. به استفاده زیاد از مصالح سنگی ریز مصرف آب و سیمان می‌گردد. ارزش ماسه‌ای مناسب باید بالای ۸۰٪ باشد.

شرح آزمایش:

ابتدا درداخل هر کدام از استوانه‌ها به اندازه ۴ اینچ از مایع استوکس می‌ریزیم (مایه استوکس ماده‌ای است که سبب جدایی ذرات ماسه می‌گردد). مقدار ۵۰۰ گرم ماسه‌ای که از الک نمره ۴ گذرانده‌ایم را درون هر کدام از استوانه‌ها تا ۸۰ میلی‌لیتر پر می‌کنیم. درپوش آن را گذاشته و پس از ۱۰ الی ۱۵ دقیقه که صبر کردیم، آن را با استفاده از دستگاه شیکر ۹۰ بار تکان می‌دهیم. دوباره استوانه‌ها را تا سقف ۱۵ اینچی از مایع استوکس پر می‌کنیم. در هنگام اضافه کردن مایع استوکس باید ماسه را خوب هم بزنیم تا ذرات از یکدیگر جدا شوند. به مدت ۲۰ دقیقه صبر می‌کنیم و پس از اینکه ذرات ماسه ته نشین شد، سطح رس و مایع استوکس را قرائت می‌کنیم. سمبه که ارتفاع آن از کف تا پلاستیک سفید رنگی که دارد ۲۵ سانتیمتر است را درون هر کدام از استوانه‌ها پس از رها کردن، نقطه‌ای که پلاستیک را نشان می‌دهد را قرائت می‌کنیم. عدد بدست آمده را از ارتفاع سمبه کسر می‌کنیم تا ارتفاع ماسه را بدست آوریم.

محاسبات:

با استفاده از فرمول زیر می‌توان مقدار درصد را حساب کرد:

$$SE = \frac{\text{ارتفاع ماسه}}{\text{ارتفاع کل}} \times 100$$

مقدار محاسبات دو استوانه به صورت جدول زدر می‌باشد:

	ارتفاع ماسه(cm)	ارتفاع کل(cm)	درصد ارزش ماسه‌ای	ملاحظات
استوانه اول	۱۱	۱۰.۲	۹۲.۷۲	OK
استوانه دوم	۱۱.۲	۱۰.۵	۹۵.۴۵	OK

نتیجه: بر اساس این آزمایش تعیین شد که ماسه‌ای که مورد آزمایش قرار گرفته دارای استانداردهای لازم می‌باشد.

آزمایش تعیین درصد رطوبت ماسه

وسایل آزمایش: ترازو، منبع گرما (اون)، ظرف نمونه

هدف آزمایش: این روش آزمایش برای اهداف معمولی مانند اصلاح نسبت اجزای مخلوط بتن، به اندازه کافی صحیح می‌باشد. این روش آزمایش برای تعیین درصد رطوبت قابل تبخیر در نمونه‌ای از سنگدانه به کار می‌رود. همچنین مقدار درصد رطوبت ماسه در بحث طرح اختلاط بتن برای تعیین مقدار آب مورد نیاز کاربرد دارد.

شرح آزمایش:

مقدار ۲ کیلوگرم ماسه را با دقت ۰.۱ درصد وزن می‌کنیم. با استفاده از منبع حرارتی (اون) ، نمونه را که در ظرف مناسب ریخته شده کاملا خشک می‌نماییم. به منظور تسریع در خشک شدن و جلوگیری از داغ شدن موضعی نمونه، آن را هر چند ساعت یکبار هم می‌زنیم. نمونه هنگامی کاملا خشک شده است که گرمادهی اضافی کمتر از ۰.۱ درصد وزن نمونه را کاهش دهد. بعد از اینکه نمونه خشک شده به اندازه کافی سرد شد، آن را با دقت ۰.۱ درصد وزن می‌نماییم.

بر اساس استاندارد **ASTM** درصد کلی رطوبت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{W-D}{D} \times 100$$

P= مقدار رطوبت کلی نمونه برحسب درصد

W= وزن اولیه نمونه برحسب گرم

D= وزن نمونه خشک شده بر حسب گرم

مقدار درصد رطوبت ماسه در انجام آزمایش مورد نظر در جدول شکل زیر آمده است:

تعداد دفعات آزمایش	وزن اولیه نمونه مرطوب (w) (gr)	وزن نمونه خشک شده (D) (gr)	مقدار رطوبت کلی نمونه $P = \frac{W - D}{D} \times 100$
۱	۲۰۰۰	۱۹۲۸	٪۳.۷
۲	۲۰۰۰	۱۹۱۸	٪۴.۲
۳	۲۰۰۰	۱۹۳۰	٪۳.۶
		میانگین	٪۳.۸

آزمایش وزن مخصوص توده‌ای شن و ماسه

وسایل آزمایش: ترازو با دقت ۰.۱ درصد، تخماق (یک میله فولادی به قطر ۱۶ میلیمتر وطول ۶۰۰ میلیمتر)، پیمانه ۱۴ لیتری

هدف آزمایش: این روش معمولا برای تعین وزن مخصوص به کار می‌رود. برای طرح اختلاط بتن برای تعیین نسبت‌های اجزاء از وزن مخصوص مصالح استفاده می‌شود.

همچنین در مواردی که لازم است کمیت‌های جرم و حجم به هم تبدیل شوند، وزن مخصوص مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش رابسه بین درجه تراکم مصالح سنگی در محل نگهداری یا دپو یا آنچه که بدست آورده شود، نا معلوم می‌باشد.

شرح آزمایش:

ابتدا مصالح را خشک می‌کنیم. یک سوم پیمانه را از مصالح خشک پر می‌کنیم و پس از صاف کردن سطح آن با انگشتان با ۲۵ ضربه توسط میله تمام سطح را به طور یکنواخت می‌کوبیم. (شکل مقابل)

این کار در سه مرحله و در هر مرحله مانند قبل انجام می‌دهیم تا پیمانه پر شود.

کوبیدن اولین لایه نباید به نحوی انجام شود که میاه به شدت با کف ظرف برخورد کند. در کوبیدن دومین و سومین لایه باید نیروی کافی اعمال شود، اما اعمال نیرو به اندازه‌ای نباشد که موجب نفوذ میله در لایه‌های زیرین شود.

جرم ظرف حاوی مصالح و جرم ظرف خالی را وزن کرده و وزن مصالح را بدست می‌آوریم.

سپس با استفاده از فرمول زیر وزن مخصوص توده‌ای مصالح را حساب می‌کنیم:

$$M_{SSD} = \frac{M}{V}$$

M_{SSD}: وزن مخصوص توده‌ای

M: وزن مخصوص مصالح سنگی برحسب کیلوگرم

V: حجم پیمانه برحسب متر مکعب

وزن مخصوص توده‌ای شن و ماسه در آزمایش انجام شده در جدول زیر آمده است:

نوع مصالح مورد نظر	وزن مخصوص مصالح(M) برحسب کیلوگرم	حجم پیمانه(V) برحسب متر مکعب	وزن مخصوص توده‌ای(M_{SSD})
شن	۲۴.۳۳	۰.۰۱۴	۱۷۳۷.۸۵
ماسه	۲۶.۸۷۱	۰.۰۱۴	۱۹۱۲.۹۴

نتیجه: بر اساس آزمایش انجام شده مشخص گردید شن دارای دانه‌بندی خوبی نمی‌باشد.

آزمایش وزن مخصوص ظاهری

وسایل آزمایش: ترازو، قالب مخروطی، تخماق، پیکنومتر

هدف آزمایش: چگالی فضایی مشخصه عمومی است که برای محاسبه حجم اشغال شده توسط دانه‌ها در مخلوط‌های مختلف (مانند بتن و مخلوط‌های دیگری که بر اساس حجم مطلق طرح می‌شوند)، به کار برده می‌شود. این کمیت همچنین برای محاسبه فضاهای خالی دانه‌ها (ASTM C۲۹) و تعیین رطوبت دانه‌ها بر اساس جابجایی سطح آب (ASTM C۷۰) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کمیت جذب آب برای محاسبه‌ی تغییرات وزن سنگدانه در اثر جذب آب در حفرات درونی (هنگامی که دانه‌ها به اندازه کافی در مجاورت آب قرار داده می‌شوند) و مقایسه با شرایط خشک، به کار می‌رود.

برای دانه‌ای که در تماس با آب است و روی سطح آن رطوبت آزاد وجود دارد، درصد رطوبت آزاد را می‌توان از کسرکردن مقدارجذب آب ازمقدار کل رطوبت (که با آزمایش ASTM C۵۶۶ تعیین می‌شود)، بدست آورد.

شرح آزمایش:

در ابتدا برای نمونه برداری مقدار ۰.۵ کیلوگرم ماسه غرقاب می‌کنیم و بعد از اینکه خوب آب جذب کرد، ماسه را بر روی سطح صاف پهن می‌کنیم تا خشک شود. برای فهمیدن خشک بودن ماسه به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

قالب را از طرف بزرگتر روی یک سطح صاف قرار می‌دهیم. قسمتی از ماسه را در قالب می‌ریزیم تا از سر قالب سر ریز شود. قالب را با دست نگه داشته و با تخماق ریزدانه داخل قالب را با ۲۵ ضربه می‌کوبیم. پس کوبیدن ماسه اضافه را از روی قالب کنار زده و قالب را به طور عمودی بالا می‌کشیم. اگر هنوز رطوبت سطحی وجود داشته باشد ماسه همچنان به شکل قالب باقی می‌ماند و هنگامی که ریزدانه کمی ریزش نماید، مشخص می‌شود که به شرایط

اشباع با سطح خشک رسیده است. برای این نمونه‌ها شرایط مطلوب هنگامی درنظر گرفته می‌شود که یک طرف توده‌ی ماسه هنگام خارج کردن قالب ریزش کند.

اگر ماسه به شکل قالب باقی ماند، هنوز مرطوب و باید دوباره ماسه را پهن کنیم و آزمایش را انجام دهیم تا هنگام خارج کردن قالب ماسه ریزش کند.

بعد از خشک کردن ماسه، پیکنومتر را تا ۹۰٪ از آب پر می‌کنیم. برای خارج شدن حباب‌های هوا پیکنومتر را تکان می‌دهیم. سپس سطح آب داخل پیکنومتر را تا نشانه مشخصه ظرفیت آن رسانده و وزن کل پیکنومتر حاوی آب را تعیین می‌کنیم.

آب درون پیکنومتر را خالی کرده و ۰.۵ کیلو ماسه را درون می‌ریزیم. سپس پیکنومتر را تا نشانه مشخصه ظرفیت از آب پرمی‌کنیم و نمونه

در تمام زمان انجام آزمایش دمای هوا آزمایشگاه باید ۲۳±۱.۷ درجه سانتیگراد باشد.

سپس با استفاده از فرمول زیر چگالی ظاهری راحساب می‌کنیم:

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{A}{B+A-C}$$

A: وزن نمونه خشک سنگدانه بر حسب گرم ⟸ ۵۰۰گرم

B: وزن پیکنومتر حاوی آب بر حسب گرم ⟸ ۱۴۵۷ گرم

C: وزن پیکنومتر حاوی نمونه و آب ⟸ ۱۸۴۴ گرم

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{500}{1457 + 500 - 1844} = 4.42$$

فصل سوم

آزمایش‌های مربوط به بتن

طرح اختلاط بتن

طرح اختلاط بتنی به این مفهوم است که به چه نسبتی اجزاء بتن (سیمان، آب، شن و ماسه) را مخلوط می‌کنیم تا بتن ساخته شده به خواص مشخصی دست یابد معمولا در طرح اختلاط بتن، سه مسأله مطرح است:

۱- رسیدن به مقاومت مورد نظر
۲- تأمین دوام کافی
۳- رسیدن به اسلامپ مورد نظر

مورد اول و دوم به بتن سخت شده و مورد سوم به بتن تازه مربوط می‌شود.

درمورد دوم باید توجه کرد که دوام کافی برای هر بتنی به شرایط محیطی که آن بتن در معرض آن قرار خواهد گرفت، بستگی دارد. در یک طرح مخلوط مناسب، تأثیر هر یک ازعوامل مخرب محیطی در جای مناسب در نظر گرفته شده و تدابیر مناسب جهت تأمین دوام کافی، اتخاذ خواهد گردید.

مراحل طرح مخلوط:

انتخاب اسلامپ:

انتخاب اسلامپ مناسب برای بتن تازه، در وهله اول بر اساس تجربه است بدین ترتیب که مهندس با توجه به تجربیات قبلی و براساس نوع عضو سازه‌ای که بتن ریزی خواهد شد، اسلامپ لازم را انتخاب می‌کند. در صورتی که چنین تجربه‌ای موجود نباشد، می‌توان از جدول زیر استفاده کرد. در این جدول بر اساس نوع عضو بتنی، مقدار حداکثر و حداقل اسلامپ پیشنهاد شده است.

نوع سازه	افت اسلامپ، mm	
	حداکثر	حداقل
پی‌ها و شالوده‌ی دیوارهای بتن آرمه	۸۰	۲۰
پی‌ها و دیوارهای غیر مسلح	۸۰	۲۰
تیرها دیوارهای بتن آرمه	۱۰۰	۲۰
ستون‌های سازه	۱۰۰	۲۰
روسازی‌ها و دال‌ها	۸۰	۲۰
بتن حجیم	۵۰	۲۰

برای مثال اسلامپ ۸۰ را انتخاب می‌کنیم.

انتخاب بزرگترین بُعد دانه‌ها:

بزرگترین بعد دانه شنی (D_{max}) مصرفی بر اساس تجربه مهندس طراح و نیز امکانات و شرایط موجود محلی تعیین می‌شود. در مجموع هرچه از دانه‌های درشت‌تری استفاده شود، بتن دارای اسکلت بندی قوی‌تری بوده و در ضمن سطح مخصوص آن کمتر می‌شود و آب کمتری برای مخلوط کردن لازم است و در نتیجه سیمان نیز کاهش می‌یابد.

تخمین مقدار آب لازم و میزان هوا:

مقادیر تقریبی آب لازم و میزان هوا را می‌توان از جدول زیر و بر اساس اسلامپ انتخاب شده و بزرگترین بعد دانه‌ها، تعیین کرد. نوع شرایط محیطی بسته به پیش‌بینی میزان حمله سولفات‌ها یا کلرورها و تر و خشک شدن‌های متوالی، ممکن است به صورت عادی، متوسط و یا شدید تعیین گردد.

اسلامپ	مقدار تقریبی آب بر حسب kg/m^3 بر اساس بزرگترین بعد دانه‌ها							
	۱۰	۱۲.۵	۲۰	۲۵	۴۰	۵۰	۷۰	۱۵۰
۲۰ تا ۵۰	۲۰۵	۲۰۰	۱۸۵	۱۸۰	۱۶۰	۱۵۵	۱۴۵	۱۲۵
۸۰ تا ۱۰۰	۲۲۵	۲۱۵	۲۰۰	۱۹۵	۱۷۵	۱۷۰	۱۶۰	۱۴۰
۱۵۰ تا ۱۸۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۰۵	۱۸۵	۱۸۰	۱۷۰	-
مقدار تقریبی هوای بتن (درصد)	۲/۰	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۰	۰/۵	۰/۳	۰/۲
۲۰ تا ۵۰	۱۸۰	۱۷۵	۱۶۵	۱۶۰	۱۴۵	۱۴۰	۱۳۵	۱۲۰
۸۰ تا ۱۰۰	۲۰۰	۱۹۰	۱۸۰	۱۷۵	۱۶۰	۱۵۵	۱۵۰	۱۳۵
۱۵۰ تا ۱۸۰	۲۱۵	۲۰۵	۱۹۰	۱۸۵	۱۷۰	۱۶۵	۱۶۰	-
مقادیر متوسط درصد هوای پیشنهادی بر اساس شرایط محیطی:								
شرایط عادی	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰	۲/۵	۲/.	۱/۵	۱/۰
شرایط متوسط	۶/۰	۵/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰
شرایط شدید	۷/۵	۷/۰	۶/۰	۶/۰	۵/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۰

با توجه به آزمایش دانه بندی درشت دانه اندازه اسمی سنگدانه ۹میلیمتر در آمده است که به دلیل نامرغوب بودن مصالح مورد آزمایش قرار گرفته اندازه اسمی سنگدانه در این طرح اختلاط ۲۰میلیمتر در نظر گرفته می‌شود و با توجه به اسلامپ ۸۰ به طبع مقدار آب ۲۰۰ گرفته می‌شود.

انتخاب نسبت آب به سیمان (W/C) :

در جدول زیر بر اساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن (نمونه استوانه‌ای) که در ساخت بتن مورد نظر است، عددی را برای نسبت آب به سیمان در بتن هوادار و بتن بدون هوا مشخص می‌شود. اعداد این جدول برای حالتی تنظیم شده که درصد هوا در بتن بدون هوا از ۲ درصد تجاوز نکند. (در غیر این صورت ممکن است با نسبت آب به سیمان انتخاب شده، مقاومت مورد نظر بدست نیاید) ملاحظه اعداد این جدول نشان می‌دهد که هرچه مقاومت بالاتری مورد نظر باشد، باید از نسبت آب به سیمان کمتری استفاده کرد.

مقاومت فشاری متوسط نمونه استوانه‌ای بتن f'_c (kg/cm^2)	حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان	
	بتن بدون حباب هوا	بتن با حباب هوا
۴۵۰	۰/۳۸	–
۴۰۰	۰/۴۳	–
۳۵۰	۰/۴۸	۰/۴۰
۳۰۰	۰/۵۵	۰/۴۶
۲۵۰	۰/۶۲	۰/۵۳
۲۰۰	۰/۷۰	۰/۶۱
۱۵۰	۰/۸۰	۰/۷۱

مقاومت فشاری انتخاب شده $۳۰۰\ kg/cm^2$ می‌باشد و طبق جدول روبرو حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ در

برای محاسبه مقدار سیمان با تقسیم وزن آب بر حسب کیلوگرم در واحد حجم بر نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان بر حسب کیلوگرم در واحد حجم بدست می‌آید.

$$\text{وزن سیمان} = \frac{200}{0/55} = 363.6\ kg/cm^2$$

تخمین مقدار دانه‌های درشت (CA):

حجم دانه‌های درشت به صورت خشک و میله‌خورده در واحد حجم بتن را می‌توان بر اساس جدول زیر و بر اساس بزرگترین اندازه اسمی دانه‌ها و مدول نرمی ماسه، تعیین کرد.از ضرب عدد بدست آمده در این قسمت، در وزن مخصوص ظاهری شن به صورت خشک و میله‌خورده، وزن شن در واحد حجم بتن (مثلا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب) بدست می‌آید. وزن مخصوص ظاهری شن خشک و میله‌خورده، معمولا در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

جدول زیر به صورت تجربی و برای رسیدن به یک درجه کارایی مناسب در ساختمان‌های بتن مسلح معمولی تنظیم شده است. در مواردی که به کارایی کمتری نیاز باشد (نظیر بتن ریزی در رویه بتنی)، می‌توان اعداد جدول را ۱۰ درصد افزایش داد تا بدین ترتیب مقدار شن، افزایش یافته و متناسب با آن مقدار ماسه کاهش یابد و بتن توپرتر و با کارایی کمتری حاصل شود. همچنین در مواردی که کارایی بیشتری نیاز باشد (نظیر مواردی که بتن ریزی با پمپ صورت گیرد و یا مواردی که آرماتور بندی انبوه و متراکم باشد) می‌توان اعداد جدول را ۱۰ درصد کاهش داد تا مخلوط روان‌تری حاصل شود.

اندازه حداکثر دانه‌ها (میلیمتر)	حجم شن خشک میله‌خورده (متر مکعب) در یک متر مکعب بتن برای مدول‌های نرمی مختلف ماسه			
	۲/۴۰	۲/۶۰	۲/۸۰	۳/۰۰
۱۰	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۴
۱۲/۵	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳
۲۰	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰
۲۵	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵
۴۰	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۷۰
۵۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
۷۰	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۵
۱۵۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۱
مدول نرمی مجموع نسبت‌های (تجمعی) سنگدانه‌های باقیمانده روی الک‌های ۰/۱۴۹، ۰/۲۹۷، ۰/۵۹۵، ۱/۱۹، ۲/۳۸، ۴.۶۷ میلیمتر				

برای مثال مدول نرمی ۳ انتخاب می‌کنیم. بر اساس این مدول نرمی و اندازه اسمی ۲۰ میلی‌متر(مطابق جدول) حجم خشک بیل خورده عدد ۰/۶۰ در متر مکعب می‌باشد.

وزن توده‌ای شن بر اساس آزمایش ۱۷۳۷.۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب

وزن شن: $W = \gamma v = 1737.5 \times 0.6 = 1042.71\ {}^{kg}/_{m^3}$

تعیین مقدار دانه‌های ریز (ماسه)،(FA):

د راین روش اساس کار براین اصل استوار است که جمع وزن کلیه‌ی بتن در یک متر مکعب باید برابر با وزن مخصوص بتن تازه شود. بنابراین اگر اوزان شن، آب در یک متر مکعب بتن از وزن مخصوص بتن تازه کم شود، وزن ماسه در یک متر مکعب بدست خواهد آمد.

برای تعیین وزن مخصوص بتن تازه، بهترین روش، تجربه است. مهندس طراح بتن، با توجه به تجربیات قبلی آزمایشگاهی که بر اساس ساخت بتن‌های با مصالح و شرایط مشابه حاصل شده‌اند، می‌تواند وزن مخصوص بتن تازه را پیش‌بینی کند. در صورتی که چنین تجربه‌ای وجود نداشته باشد می‌توان به عنوان یک تخمین مقدماتی از جدول زیر استفاده کرد. این جدول وزن مخصوص بتن تازه را بر اساس بزگترین بُعد اسمی دانه‌ها، در بتن هوادار و بدون هوا، به صورت یک تخمین اولیه، پیش‌بینی می‌کند.

اندازه حداکثر دانه‌ها (میلی‌متر)	تخمین اولیه وزن بتن (کیلوگرم بر متر مکعب بتن)	
	بتن بدون حباب هوا	بتن با حباب هوا
۱۰	۲۲۸۵	۲۱۹۰
۱۲/۵	۲۳۱۵	۲۲۳۵
۲۰	۲۳۵۵	۲۲۸۰
۲۵	۲۳۷۵	۲۳۱۵
۴۰	۲۴۲۰	۲۳۵۵
۵۰	۲۴۴۵	۲۳۷۵
۷۰	۲۴۶۵	۲۴۰۰
۱۵۰	۲۵۰۵	۲۴۳۵

مطابق جدول با اندازه اسمی ۲۰میلی‌متر وزن بتن در یک متر مکعب ۲۳۵۵ کیلوگرم بدست آمد.

با استفاده از رابطه زیر وزن ماسه در یک متر مکعب بدست می‌آید:

$$FA = U - (CA + W + C)$$

که **C** ، **W** ، **CA** به ترتیب اوزان سیمان، آب و شن در یک متر مکعب بتن هستند که در مراحل قبلی بدست آمده‌اند. همچنین **U** معرف وزن وخصوص بتن تازه است.

$$\text{وزن ماسه} = 2355 - (363.6 + 1042.71 + 200) = 748.6\ {}^{kg}/_{m^3}$$

میزان مصالح برای اختلاط ۸۰ کیلوگرم بتن:

برای بدست آوردن میزان و مقدار مصالح مصرفی در طرح اختلاط با وزن ۸۰ کیلوگرم در جدول زیر آمده است:

نوع مصالح	آب	سیمان تیپ II	شن	ماسه
مقدار (کیلوگرم)	۶.۷۹	۱۲.۳۳	۳۵.۳۶	۵.۷۸

- برای بدست آوردن مقدار مصالح میزان مصالح در یک متر مکعب را در $\frac{80}{2355}$ ضرب می‌کنیم.
- برای بدست آوردن وزن ماسه مقدار ۴٪ رطوبت ماسه که در آزمایش تعیین درصد رطوبت ماسه بدست آوردیم را حساب می‌کنیم.

اختلاط بتن:

برای اختلاط از دستگاه میکسر (شکل مقابل) استفاده گردید.

نکاتی در رابطه با مخلوط بتن و استفاده از میکسر که باید رعایت کنیم در زیر آمده است:

- تمامی وسایلی که برای مخلوط کردن و انتقال بتن به کار می‌روند باید تمیز شوند.
- رواداری دقت و حساسیت ترازوها و سایر قسمت‌های توزین باید ۰.۴ $\pm$ درصد کل ظرفیت دستگاه باشد.
- مصالح بنایی که در تماس با بتن خواهند بود باید به خوبی خیس شوند.
- بتن باید طوری مخلوط شود که تمامی مواد تشکیل دهنده آن به صورت همگن در مخلوط کن پخش شوند.
- مخلوط کن باید با سرعت توصیه شده از طرف کارخانه سازنده چرخانده شود.
- ترتیب ورود مواد متشکله بتن به مخلوط کن باید متناسب با نوع مخلوط کن و نوع بتن باشد.
- عمل اختلاط باید حداقل تا ۱.۵ دقیقه، پس از ریختن تمامی مواد تشکیل دهنده به داخل مخلوط کن ادمه یابد.
- پس از اتمام کار تمام وسایل باید خوب تمیز و شستشو شوند.

نمونه گیری

برای تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن نمونه قالب‌های زیر را از بتن پر می‌کنیم:

۱- نمونه مکعبی (۳ عدد): ابعاد این نمونه ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتر می‌باشد.

۲- نمونه استوانه‌ای (۲ عدد): ابعاد استوانه با شعاع ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر می‌باشد.

۳- نمونه مکعب مستطیل (یک عدد): با سطح مقطع ۱۰*۱۰ و طول ۴۶ سانتیمتر می‌باشد.

در هنگام بتن ریزی با ید به نکته‌های زیر عمل کرد:

- **قالب‌ها حتما قبل از بتن‌ریزی خوب روغن کاری شوند تا برای باز کردن قالب به مشکلی نخوریم.**
- **در هر نمونه بتن ریزی در سه لایه ریخته شود.**
- **هر لایه با ۲۵ ضربه میله کوبیده شود تا متراکم شود. تیر خمشی را با استفاده از میز ویبراتور نیز باید متراکم شود.**
- **در هنگام کوبیدن هر لایه باید عمق سقوط میله به لایه زیرین وارد نشود.**
- **در زمان بتن ریزی با استفاده از یک چکش نرم دیواره‌های خارجی قالب را می‌کوبیم تا بهتر متراکم شود.**
- **بعد از ریختن سه لایه و متراکم کردن آن سطح آن‌ها را صاف می‌کنیم.**

باید دقت شود که قالب‌ها را نباید تکان بدهیم. بعد از ۲۴ ساعت قالب‌هارا باز می‌کنیم (شکل روبرو) و نمونه‌ها را درون آب می‌گذاریم.

تعیین مقاومت بتن

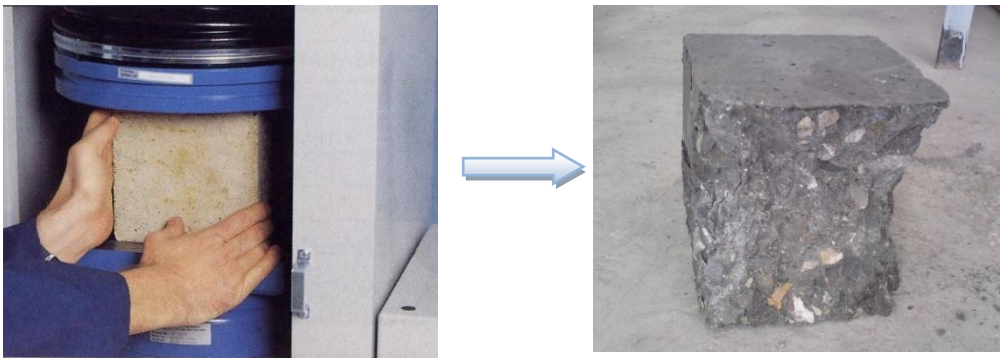
هر چه از عمر بتن می‌گذرد، مقاومت آن افزایش می‌یابد. لکن از افزایش مقاومت بتن بعد از ۲۸ روز بنا به علل ناچیز بودن آن و دلیل دوم پس از ۲۸ روز، معمولا امکان بارگذاری روی سازه وجود دارد. از طرفی هرچه از عمر بتن می‌گذرد ممکن است عوامل مخرب محیطی هم روی سازه اثر گذاشته از مقاومت آن بکاهد. پس از ۲۸ روز از اولین نمونه تحت اثر نیروی فشاری قرار داده می‌شود و با افزایش نیرو درنمونه شکست رخ می‌دهد.

نکاتی در رابطه در هنگام شکستن نمونه‌ها:

- نمونه‌ها را چند ساعت قبل از بارگذاری خارج می‌کنیم تا آبی روی آن نماند.
- قبل از گذاشتن نمونه‌ها در داخل دستگاه آن‌ها را کاملا تمیز می‌کنیم.
- نمونه‌ها را در داخل دستگاه طوری قرار می‌دهیم که مرکز نمونه با مرکز جک‌های بالایی و پایینی یکی باشد.
- سرعت بارگذاری باید در حد مناسب باشد. هرچقدر سرعت بارگذاری بیشتر باشد، مقاومت بالاتر می‌رود.

نمونه‌ها را ۵ گروه در سن‌های مختلف انجام دادیم. این نمونه‌ها را در سن‌های ۱۴، ۲۱، ۲۸ روزه شکستیم.

مقاومت فشاری:



مقاومت فشاری نمونه از حاصل تقسیم نیرویی که سبب شکست شده است به سطح مقطع نمونه می‌باشد. مقاومت فشاری نمونه مکعبی با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید:

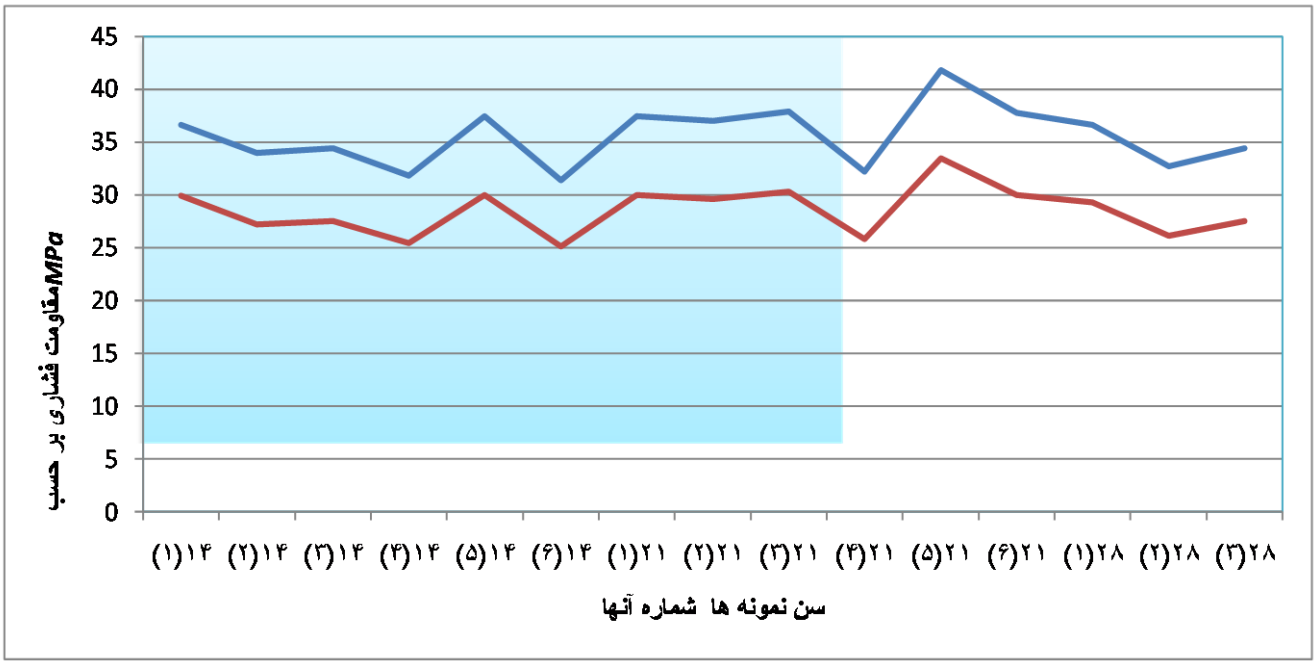
$$f_{cu} = \frac{P}{A}$$

که در آن f_{cu} مقاومت فشاری برحسب kg/cm^2 و P نیروی شکست بر حسب kg و A سطح مقطع نمونه بر حسب cm می‌باشد.

قابل ذکر است که مقاومت فشاری نمونه مکعبی و استوانه‌ای با هم متفاوت بوده، بطوریکه مقاومت نمونه استوانه‌ای حدود ۸۰٪ نمونه مکعبی است (روش تجربی): $f_c = 0.8 f_{cu}$

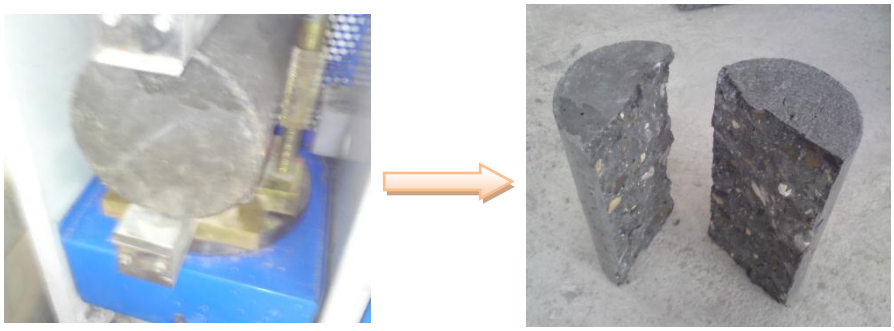
سن نمونه (روز)	شماره	سطح مقطع (cm)	نیروی شکست (ton)	مقاومت فشاری (f_{cu}) kg/cm^2	مقاومت فشاری (f_{cu}) MPa	مقاومت فشاری روش تجربی نمونه استوانه‌ای (f_c) kg/cm^2	مقاومت فشاری روش تجربی نمونه استوانه‌ای $Mpa(f_c)$
۱۴	۱	۱۵×۱۵	۸۴	۳۷۳.۳۳	۳۶.۶۲	۲۹۸.۶۶	۲۹.۲۹
	۲	۱۵×۱۵	۷۸	۳۴۶.۶۶	۳۴.۰۰۷	۲۷۷.۳۲	۲۷.۲
	۳	۱۵×۱۵	۷۹	۳۵۱.۱۱	۳۴.۴۴	۲۸۰.۸۸	۲۷.۵۵
	۴	۱۵×۱۵	۷۳	۳۲۴.۴۴	۳۱.۸۲	۲۵۹.۵۵	۲۵.۴۵
	۵	۱۵×۱۵	۸۶	۳۸۲.۲۲	۳۷.۴۹	۳۰۵.۷۷	۲۹.۹۹
	۶	۱۵×۱۵	۷۲	۳۲۰	۳۱.۳۹	۲۵۶	۲۵.۱۱
۲۱	۱	۱۵×۱۵	۸۶	۳۸۲.۲۲	۳۷.۴۹	۳۰۵.۷۷	۲۹.۹۹
	۲	۱۵×۱۵	۸۵	۳۷۷.۷۷	۳۷.۰۵	۳۰۲.۲۱	۲۹.۶۴
	۳	۱۵×۱۵	۸۷	۳۸۶.۶۶	۳۷.۹۳	۳۰۹.۳۲	۳۰.۳۴
	۴	۱۵×۱۵	۷۴	۳۲۸.۸۸	۳۲.۲۳	۲۶۳.۱	۲۵.۷۸
	۵	۱۵×۱۵	۹۶	۴۲۶.۶۶	۴۱.۸۵	۳۴۱.۴۸	۳۳.۴۸
	۶	۱۵×۱۵	۸۶	۳۸۲.۲۲	۳۷.۴۹	۳۰۵.۷۷	۲۹.۹۹
۲۸	۱	۱۵×۱۵	۸۴	۳۷۳.۳۳	۳۶.۶۲	۲۹۸.۶۶	۲۹.۲۹
	۲	۱۵×۱۵	۷۵	۳۳۳.۳۳	۳۲.۶۹	۲۶۶.۶۶	۲۶.۱۵
	۳	۱۵×۱۵	۷۹	۳۵۱.۱۱	۳۴.۴۴	۲۸۰.۸۸	۲۷.۵۵

بر اساس آیین نامه مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه برای سیمان تیپ دو، ۳۱.۵ مگاپاسگال



- در نمودار بالا خط آبی، مقاومت فشاری نمونه مکعبی و خط قرمز مقاومت فشاری روش تجربی نمونه استوانه‌ای را بیان می‌کند.
- منظور از ۱۴(۱)، سن نمونه ۱۴ روزه، شماره ۱ می‌باشد.

مقاومت کششی



مقاومت کششی بتن ناشی از کشش مستقیم را با f_{ct} نمایش داده و در اصطلاح به آن مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی گفته می‌شود.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن تحت کشش خالص، به صورت مستقیم آزمایش استانداردی وجود ندارد، اما به صورت غیر مستقیم می‌توان f_{ct} را با آزمایش‌های نظیر آزمایش شکافت یا تست برزیلی به دست آورد:

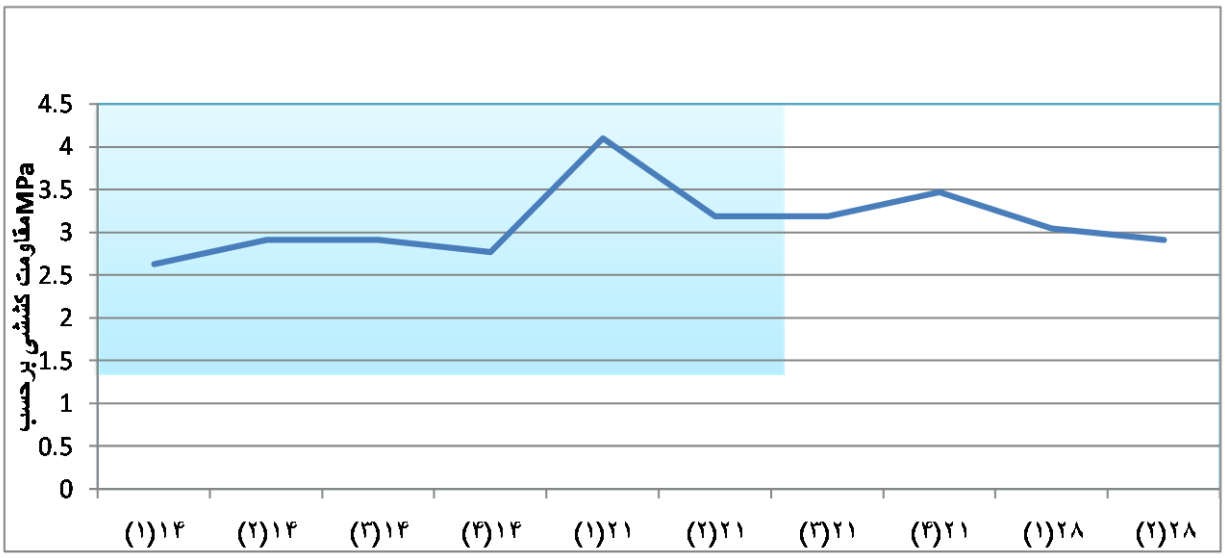
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi dL}$$

که در آن P نیروی شکست، d قطر استوانه و L ارتفاع استوانه می‌باشد.

تجربه نشان می‌دهد که مقاومت کششی بتن تحت کشش مستقیم بین ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری آن است (رابطه تجربی):

$$f_{ct} = 0.5\sqrt{f_c}$$

سن نمونه (روز)	شماره	سطح مقطع (cm)	نیروی شکست (ton)	مقاومت فشاری (f_{ct}) kg/cm^2	مقاومت فشاری (f_{ct}) MPa	مقاومت فشاری روش تجربی (f_{ct}) kg/cm^2	مقاومت فشاری روش تجربی (f_{ct}) Mpa
۱۴	۱	d =۱۰	۱۹	۲۶.۸۹	۲.۶۳	۸.۶۶	۰.۸۴
	۲	d =۱۰	۲۱	۲۹.۷۲	۲.۹۱	۸.۶۶	۰.۸۴
	۳	d =۱۰	۲۱	۲۹.۷۲	۲.۹۱	۸.۶۶	۰.۸۴
	۴	d =۱۰	۲۰	۲۸.۳	۲.۷۷	۸.۶۶	۰.۸۴
۲۱	۱	d =۱۰	۳۰	۴۲.۴۶	۴.۱	۸.۶۶	۰.۸۴
	۲	d =۱۰	۲۳	۳۲.۵۵	۳.۱۹	۸.۶۶	۰.۸۴
	۳	d =۱۰	۲۳	۳۲.۵۵	۳.۱۹	۸.۶۶	۰.۸۴
	۴	d =۱۰	۲۵	۳۵.۳۸	۳.۴۷	۸.۶۶	۰.۸۴
۲۸	۱	d =۱۰	۲۲	۳۱.۱۳	۳.۰۵	۸.۶۶	۰.۸۴
	۲	d =۱۰	۲۱	۲۹.۷۲	۲.۹۱	۸.۶۶	۰.۸۴



- منظور از ۱۴(۱)، سن نمونه ۱۴ روزه، شماره ۱ می‌باشد.

تعیین مقاومت خمشی بتن

مقاومت کششی ناشی از خمش را با f_r نمایش می‌دهند و در اصطلاح به آن مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی گفته می‌شود. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن در کشش ناشی از خمش در آزمایشگاه، آزمایش استاندارد ساده‌ای وجود دارد، به این ترتیب که یک تیر بتنی ساده را روی دو

تکیه گاه قرار داده و دو بار P به فاصله $L/3$ از تکیه گاه روی آن قرار داده و بار P را آنقدر زیاد می‌کنند تا قطعه ترک بخورد:

$$f_r = \delta = \frac{M_y}{I} \qquad M_{max} = \frac{PL}{4}$$

رابطه تجربی زیر را برای تعیین مدول گسیختگی بر اساس مقاومت فشاری بتن، بدست می‌آید:

$$f_r = 0.6\sqrt{f_c}$$

سن نمونه (روز)	شماره	سطح مقطع (cm)	نیروی شکست (kg)	مقاومت فشاری (f_{ct}) kg/cm^2	مقاومت فشاری (f_{ct}) MPa	مقاومت فشاری روش تجربی kg/cm^2 (f_{ct})	مقاومت فشاری روش تجربی Mpa (f_{ct})
۱۴	۱	۱۰×۱۰	۸۰۰	۵۵.۲	۵.۴۱	۱۰.۳۹	۱.۰۱

نتیجه: در آزمایش مورد نظر نمونه‌های بتن بنا به دلایل زیر دارای استاندارد و کیفیت لازم را نداشت:

- سنگدانه‌های مورد مصرف در بتن مقاومت کافی را نداشتند. در هنگام شکستن بتن ملاحظه شد که سنگدانه‌ها هم همراه بتن شکسته شد. در صورتی که مقاومت سنگدانه‌ها باید خیلی بیشتر از مقاومت بتن شود.
- در تخمین مقدار دانه‌های درشت مقدار وزن توده‌ای شن بر اساس آزمایش ۱۷۳۷.۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب تخمین زده شد. در صورتی که این عدد باید مابین ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ می‌شد. در این حالت مقدار سنگدانه‌های ریز بیشتر می‌شود و در نتیجه سطح مخصوص دانه‌ها بیشتر شده و سیمان بیشتری را لازم دارد.

آزمایش‌های مربوط به کارآیی مخلوط بتن تازه

تعریف کارآیی بتن:

برای تهیه بتن با حداکثر مقاومت و دوام تراکم مناسب ضرورت دارد. بتن باید کارآیی مناسب در ارتباط با روش تراکمی که اعمال می‌شود داشته باشد. هرچه ریختن بتن تازه و کارکردن با آن ساده‌تر باشد بتن از کارایی بالاتری برخوردار است و هرچه کارکردن با بتن سخت‌تر باشد کارآیی آن کمتر است. کارآیی بیشتر برای روانی و ویبره می‌باشد که اگر درست نباشد در دوام و مقاومت آن تأثیر دارد.

جدول زیر میزان کارایی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

درجه کارآیی	اسلامپ (mm)	فاکتور تراکم	کاربرد
خیلی پائین	۰-۲۵	۰.۸۷	برای راه هایی که با ماشین های قوی متراکم می شوند
پائین	۲۵- ۵۰	۰.۸۵	برای راه هایی که با وسایل دستی متراکم می شوند برای پی ها با بتن انبوه برای با مقاطع فولاد کم
متوسط	۵۰- ۱۰۰	۰.۹۲	برای دالها با تراکم دستی و برای مقاطع با فولاد زیاد که لرزاننده می شوند
بالا	۱۰۰- ۱۷۵	۰.۹۷	برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور معمولاً برای لرزاندن مناسب نیستند

دو نوع از آزمایش هایی که بیشتر در بحث کارایی بتن استفاده می‌شود را مورد آزمایش قرار دادیم:

الف) آزمایش اسلامپ

وسایل آزمایش: قالب مخروطی ناقص (قاعده کوچک، قاعده بزرگ و ارتفاع به ترتیب ۱۰، ۲۰و ۳۰ سانتیمتر)، صفحه زیر قالب، میله مخصوص ، ابزار و وسایل عمومی آزمایشگاه

آزمایش استانداردی که برای مشخص کردن درجه کارایی به کار گرفته می‌شود، آزمایش معروف اسلامپ است.

شرح آزمایش: قالب را مرطوب کرده و آن را روی یک سطح تخت، مرطوب نفوذ ناپذیر و صلب قرار می‌دهیم. با ایستادن روی دو جای پا، قالب را هنگام پر کردن محکم سر جایش نگه می‌داریم. از نمونه که طبق آزمایش فاکتور تراکم بدست آمده، قالب را در سه لایه که هرکدام $^1/_3$ حجم قالب می‌باشد، پر می‌کنیم. هر لایه را با ۲۵ ضربه میله می‌کوبیم. ضربه‌ها را بطور یکنواخت روی مقطع هر لایه توزیع می‌نماییم. برای لایه زیرین لازم است میله را کمی کج کرده و بقیه ضربه‌ها به صورت قائم و در مسیری مارپیچ به سمت مرکز، ادامه می‌دهیم. ضربه‌های لایه زیرین باید طوری باشد که میله در تمام عمق لایه نفوذ نماید. لایه دوم لایه بالایی را نیز طوری بزنید که میله فقط در تمام عمق لایه نفوذ نماید و به لایه زیرین نفوذ نکند.

در هنگان پر کردن لایه بالایی و قبل از آغاز ضربه‌ها، آنقدر بتن در داخل قالب می‌ریزیم تا به صورت برآمده از قالب بیرون بزند. پس از آنکه ضربه زدن لایه بالایی پایان یافت، با غلتادن میله روی قالب، بتن اضافی را بر می‌داریم. سپس بلافاصله قالب را با دقت و بطور قائم به طرف بالا کشیده و از روی بتن برمی‌داریم. آزمایش باید از آغاز پر کردن تا برداشتن قالب بدون هیچ وقفه‌ای انجام شود و زمان آن بیش از ۲.۵ دقیقه به طول نیانجامد.

بتن پس از بیرون آمدن از قالب مخروطی، مقداری افت می‌کند. میزان این افت بر حسب سانتیمتر را کارایی بتن می‌نامند. بلافاصله با اندازه‌گیری فاصله قائم بین بالای قالب و مرکز سطح بالای نمونه تغییر شکل یافته، اسلامپ را تعیین می‌نماییم. (شکل روبرو)

اگر ریزش یا لغزش معینی در یک طرف یا بخشی از نمونه رخ دهد، آزمایش مردود می‌باشد و لازم است آزمایش مجددی با استفاده از بخش دیگری از بتن انجام شود.

معمولا برای بتن آرمه اسلامپ باید در محدوده (۵-۱۰ cm) انتخاب شود. عدد اسلامپ برای کارهای عادی بتنی (بتن بدون آرماتور یا با آرماتور کم) در محدوده (۲-۵ cm) انتخاب شود. در حالت استثنایی که تراکم آرماتور زیاد باشد یا از پمپ برای بتن ریزی استفاده شود، اسلامپ (۱۰-۱۲ cm) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

میزان افت اسلامپ د رآزمایش انجام شده، ۴ سانتیمتر اندازه گیری شد.

نتیجه: بر اساس این آزمایش مشخص گردید درجه اسلامپ بتن مورد آزمایش قرار گرفته پایین است و برای راه هایی که با وسایل دستی متراکم می شوند و برای پی ها با بتن انبوه برای با مقاطع فولاد کم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب) آزمایش فاکتور تراکم

وسایل آزمایش: دستگاه آزمایش ضریب تراکم، سرطاس،ترازو

دستگاه آزمایش ضریب تراکم: دارای دو قیف به شکل مخروط ناقص با سطح صیقلی است که به صورت عمودی بالای استوانه فلزی قرار می‌گیرد. قالب استوانه‌ای با گیره به پایه متصل می‌گردد. استوانه ای فلزی درپایین دستگاه قرار می‌گیرد. (تصویر روبرو)

قبل از شروع آزمایش دریچه‌های هر دو قیف باید بسته باشد.

شرح آزمایش: قیف بالایی را از نمونه بتن که طبق فاکتور تراکم درست کرده‌ایم را با ملایمت و دقت با سرطاس از بتن پر می‌شود. باید دقت شود که بتن در حال خود باشد و نباید به هیچ عنوان آن را متراکم کرد. پس از پر شدن قیف، دریچه آن را باز می‌نماییم تا قیف زیرین که کوچکتر است به صورت لبریز پر شود.

با باز شدن دریچه قیف، بتن از فاصله استاندارد به درون قالب استوانه‌ای می‌ریزد تا قالب به صورت لبریز از بتن پر شود (تصویر مقابل). مقادیر اضافی بتن از لبه‌های استوانه را پاک می‌کنیم.بتن داخل قالب راوزن می‌کنیم(W_1). باردیگر استوانه را از چهار لایه بتن و هر لایه را با ۲۵ ضربه میله متراکم می‌کنیم ودوباره بتن درون استوانه راوزن می‌کنیم (W_2).

در این آزمایش میزان W_1 و W_2 به ترتیب ۱۱۱۸۵ و ۱۳۲۱۰ گرم اندازه گیری گردید.

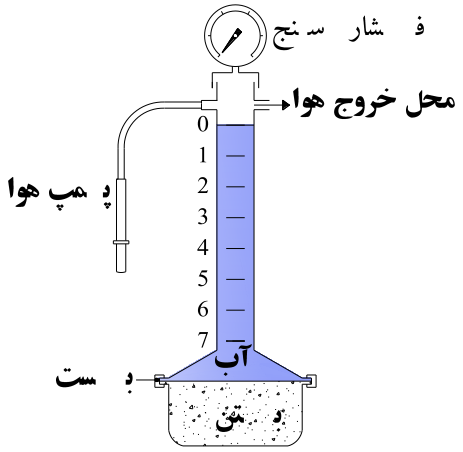
با استفاده از این رابطه میزان تراکم بتن بر حسب درصد تعیین می‌کنیم: $\frac{W_1}{W_2} \times 100$

$$\frac{11185}{13210} \times 100 = 84.67$$

نتیجه: بر اساس این آزمایش مشخص گردید که درجه کارایی بتن مورد آزمایش قرار گرفته کم است و برای راه هایی که با وسایل دستی متراکم می شوند و برای پی ها با بتن انبوه برای با مقاطع فولاد کم می‌باشد.

آزمایش تعیین مقدار هوای مخلوط بتن تازه به روش فشاری

وسایل آزمایش: دستگاه اندازه گیری حجم هوای بتن، میله مخصوص ضربه زدن، پمپ هوا



هدف آزمایش: این آزمایش روش تعیین مقدار هوای مخلوط بتن تازه را بر اساس تغییر حجم آن تحت اثر فشار، شرح می‌دهد. این آزمایش برای تعیین مقدار هوای بتن تازه به جز هوایی که می‌تواند در داخل حفرات درون ذرات وارد شود، طرح ریزی شده است. به همین لحاظ این روش برای بتنی که با مصالح سنگی توپر و سنگین ساخته می‌شود قابل استفاده است.

شرح آزمایش: نمونه بتن تهیه شده طبق طرح اختلاط یتن را در سه لایه با حجم تقریباً مساوی در ظرف اندازه گیری می‌ریزیم و هر لایه را با ۲۵ ضربه میله مخصوص که به طور یکنواخت روی تمام سطح بتن تازه توزیع گردیده، متراکم می‌کنیم. بعد از هر لایه، به وسیله چکش پلاستیکی به طور ملایم ۱۰ تا ۱۵ بار به پهلوی ظرف می‌زنیم تا حباب‌های هوا به وسیله میله زدن از آن خارج گردد و حباب‌های هوای بزرگ محبوس شده آزاد گردند. لایه زیرین را طوری میله می‌زنیم که میله در تمام عمق آن نفوذ کند، ولی شدت میله زدن نباید به نحوی باشد که میله به کف ظرف برخورد کند. میله زدن دومین لایه و آخرین لایه باید طوری باشد که میله فقط به عمق حدود یک اینچ (۲۵ میلیمتر) در لایه قبلی نفوذ کند. روی بتن را کاملا صاف و لبه‌های آن را

تمیز می‌کنیم. سپس دستگاه را روی آن سوار می‌کنیم. از طریق لوله‌ای که بالای دستگاه قرار دارد روی بتن آب اضافه می‌کنیم تا کمی بالاتر از علامت صفر پر بیاید. به درپوش و بدنه دستگاه آرام ضربه می‌زنیم تا همه حباب‌های محبوس بالای نمونه بتن خارج شود. دریچه بالای دستگاه را باز می‌کنیم تا تراز آب را به علامت صفر روی لوله مندرج برگردد.

به کمک یک پمپ دستی کوچک، فشاری کمتر از فشار مطلوب آزمایش (بیش از حدود ۰.۲ پوند بر اینچ مربع (۳۸۰ پاسکال)) به بتن اعمال کند. آب موجود درون دستگاه با فشار هوا داخل درزهای هوای بتن نفوذ می‌کند که در این زمان فشارسنج فشار واقعی را نشان می‌دهد، سطح آب را قرائت نموده و با دقت کوچکترین تقسیمات روی لوله ثبت می‌نماییم. به وسیله تهویه هوا از بالای ستون آب و زدن ضربات ملایم به مدت یک دقیقه به پهلوی ظرف، به تدریج فشار هوا را آزاد می‌کنیم. سطح تراز جدید آب را با دقت کوچکترین تقسیمات روی لوله ثبت می‌کنیم و مقدار آن را بر حسب PSI (پوند بر اینچ مربع) بدست می‌آوریم.