

جزوه آزمایشگاه تکنولوژی بتن

استاد: کیخایی

سنگدانه‌ها: سنگدانه‌ها در بتن تقریباً 3/4 حجم آنرا تشکیل می‌دهند. از این رو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگدانه‌ها نه تنها در مقاومت بتن بسیار موثرند بلکه دوام و پایداری بتن نیز تا حدود زیادی تحت اثر این ماده قرار می‌گیرد ابتدا تصور می‌شد سنگدانه‌ها مواد بی اثر و غیر قابل انبساط می‌باشند که در خمیری از سیمان پخش می‌شوند و حجم بزرگی از بتن را پدید می‌آورند. اما در حقیقت سنگدانه‌ها بی اثر نیستند و خواص فیزیکی - حرارتی و گاهی اوقات شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثال پایداری حجمی و دوام بتن تا حدودی از این مصالح می‌باشد از نقطه نظر اقتصادی مصرف هر چه بیشتر سنگدانه‌ها در بتن با صرفه خواهد بود و از نظر اقتصادی سعی در کم کردن مقدار سیمان سودمند می‌باشد البته با توجه به خواص خواسته شده بتن چه هنگامی که تازه است و چه بعد از سفت و سخت شدن دانه‌های سنگی طبیعی معمولاً بوسیله هوازگی و فرسایش و یا بطور مصنوعی با خرد کردن سنگهای مادر تشکیل می‌شود. بنابراین بسیاری از خواص سنگدانه‌ها نظیر ترکیبات شیمیایی و کانی‌های تشکیل دهنده - طبقه بندی - و مشخصات از نظر سنگ شناسی - توده ویژه - سختی - مقاومت - پایداری فیزیکی و شیمیایی - تخلخل - رنگ و بسیاری خصوصیات دیگر بستگی به سنگ مادر دارد. علاوه بر این خواص خصوصیات دیگری در سنگدانه‌ها وجود دارد که در سنگ مادر نیست مانند شکل و اندازه دانه‌ها - بافت سطحی - را می‌توان از این گونه خواص نام برد.

سنگها از تجمع کانی‌ها حاصل می‌شوند بعضی از سنگها از یک نوع و بعضی دیگر از چند نوع کانی تشکیل می‌شوند کانی‌ها مواد جامد، طبیعی، معمولاً متبلور، غیر آلی و همگن هستند که ترکیب شیمیایی نسبتاً ثابتی را دارند. کانی‌های تشکیل دهنده سنگها یا به اصطلاح کانی‌های سنگ ساز بر حسب انواع سنگها به سه گروه کانیهای 1- ماگمایی 2- رسوبی 3- دگرگونی تشکیل می‌شوند.

تاکنون بیش از 3000 نوع کانی در طبیعت شناخته شده است که تنها 24 کانی در سنگهای پوسته زمین فراوان هستند و آنها را کانی سنگ ساز می‌نامند. کانی‌ها را بر حسب سختی به 10 درجه تقسیم بندی کرده اند.

کانی با سختی یک که با فشار انگشت شست سائیده می‌شود مانند تالک - گرافیت - خاک چینی - کلوریت کانی با سختی دو که میشود با ناخن آنها را خراش داد مانند گوگرد - سنگ - گچ - پنبه کوهی - نمک بلوری - طلا

کانی با سختی سه که با فولاد به آسانی خراشانده می‌شود مانند سنگ آهک - دولومیت - گچین

کانی با سختی چهار با فولاد خراشیده می‌شود مانند منیزیت - فلواریت

کانی با سختی پنج با فولاد به سختی خراش بر می‌دارد مانند لیمونیت - من یتیت کرومیت

کانی با سختی شش با شیشه خراشیده می‌شود مانند فلدسپات - هماتیت - شاه مقصود - سنگ آتش زنه

کانی با سختی هفت شیشه را خراش می‌دهند مانند در کوهی - گرانیت - تورمالین

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

کانی با سختی هشت که کانیهای سیلیکاتی و سیلیسی را خراش می‌دهند مانند توپار و لعل
کانی با سختی نه که کانیهای سیلیسی را به آسانی خراش می‌دهند مانند یاقوت

کانی با سختی ده که تمام انواع کانیها را خراش می‌دهد مانند الماس

همانگونه که قبلا نیز ذکر گردید کانیها به سه گروه 1- ماگمایی 2- رسوبی و 3- دگرگونی تقسیم شده اند.
1- سنگهای آذرین (کانیهای ماگمایی) که از درون زمین به روی زمین رانده شده اند. سنگهای آذرین از
انجماد مواد مذاب درونی زمین به وجود می‌آیند مواد مذاب که خود از ذوب سنگهای پوسته و یا گوشته
زمین به وجود می‌آیند. ترکیبات سیلیکاتی دارند و ماگما نامیده می‌شوند. ترکیبات شیمیایی ماگما متنوع
است بعضی سیلیس زیاد (ماگمای اسیدی) بعضی سیلیس کمتر و در مقابل عناصر آهن منیزیم و کلسیم
بیشتری دارند (ماگمای بازی) دمای ماگما بیش از 7000 درجه سانتی گراد است سنگهای ماگمایی که به
سطح زمین رسیده باشد بیشتر گازهای خود را از دست می‌دهند و در این حالت به آن گدازه می‌گویند
بسته به سرعت سرد شدن این ماگما (گدازه) به سه دسته تقسیم می‌گردند.

1- سنگهای بلوری همه کانیهای سازنده سنگ بلوری هستند (بلور crystal جسمی است که مولکولهایش
منظم شده باشد) ماگمای این سنگها در لایه‌های درونی زمین و به کندی سرد شده است و زمان کافی
برای آرایش بلوری را داشته است مانند گرانیت - دیوریت - زینیت

2- سنگهای بلور دانه در این نوع سنگها دانه‌های کانی بلوری در خمیر ریزدانه یا خمیر بلور نشده جا
دارند. در این نوع سنگها ماگما در حال سرد شدن و بستن و بلوری شدن بوده که به جای سرد جابجا
شده است و در جای تازه افت گرما زیاد بوده از این رو بخشی از ماگما که بلوری نشده بود زود سرد
شده و به شکل خمیر ریزدانه یا خمیر غیر بلوری تبدیل شده است در این سنگها کانی‌های بلوری و سنگ
خمیری از یک جنسند و شکل آنها دوگونه است مانند پرفیرگرانیت - پرفیردیوریت - پرفیرزینیت.

3- سنگهای بلوری نشده در این نوع سنگها ماگما از درون زمین مستقیما به روی زمین ریخته شده است
این نوع سنگها چون زود سرد شده اند بلوری نشده و دارای کانی‌های بلوری ریز هستند مانند سنگهای
بازالتی

به جز 3 مورد فوق ماگما زمانی که به بیرون ریخته می‌شود در اثر متصاعد شدن گازها تولید به صورت
کف سنگ (کفسنگ) پوکه سنگ طبیعی درآمده.

سنگهای رسوبی (ته نشسته) در روی زمین از ته نشین شدن جسم‌های محلول یا شناور در آب دریا یا
گرد و غبار آتشفشان و یا ... بر روی یکدیگر و فشار لایه‌های بالایی و حرارت لایه‌های پائینی زمین به
سنگهای رسوبی تبدیل می‌شوند. سنگهای به کار رفته در بتن - آسفالت - نمای ساختمان اکثر از این
دسته سنگها می‌باشند.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

سنگهای دگرگونی این سنگها، ریشه اصلی این سنگها آذرین می باشد یا ته نشسته است (رسوبی) که در زیر فشار زیاد و یا گرمای زیاد و یا هر دو با هم دگرگون شده اند سنگهای آذرین دگرگون شده را ارتو و سنگهای رسوبی دگرگون شده را پارا می نامند.

اندازه دانه های سنگی که در بتن به کار می رود متفاوت است معمولاً الک شماره 4 (4/75 میلی متر 4/75) در استاندارد ASTM به عنوان حد فاصل شن و ماسه شناخته شده است (البته این تقسیم بندی نیز گاهی تغییرات جزئی دارد) به طور کلی دانه های درشتتر از 4/75 میلی متر را شن و دانه های کوچکتر از 4/75 میلی متر را ماسه می نامند. حد پائین ماسه عموماً 0/075 میلی متر (الک شماره 200) و حد بالای شن عموماً 37/5g میلی متر ($\frac{1}{2}$ اینچ) می باشد.

سنگها از لحاظ شکل و بافت ظاهری در رابطه با خواص بتن تازه و سخت شده از اهمیت بالایی برخوردارند. گرد گوشه بودن سنگ و یا تیز گوشه بودن سنگها برای پی بردن به خواص بتن مهم می باشد. از طرف دیگر درجه تراکم دانه های هم اندازه به شکل آنها وابسته است. از طرف دیگر شکل و بافت سطحی سنگدانه ها تاثیر عمده ای بر میزان آب لازم یک مخلوط دارد به عبارت علمی تر هنگامی که تخلخل و فضای خالی بین دانه های متراکم شده بیشتر باشد آب زیادتری مورد نیاز است.

به طور کلی شکل و بافت سطحی دانه های سنگی در مقاومت بتن تاثیر قابل ملاحظه ای دارند به خصوص در بتن با مقاومت بالا که مقاومت خمشی بیش از مقاومت کششی تحت تاثیر قرار می گیرد بافت زبرتر و خشن تر دانه ها سبب بالا بودن چسبندگی و پیوستگی بین آنها و خمیر سیمان را فراهم می آورد همینطور سطح جانبی بزرگتر دانه های تیز گوشه پیوستگی را افزایش می دهد. به طور کلی اگر بافت سنگدانه ها طوری باشد که دوغاب سیمان نتواند نفوذی از سطح آنها به داخل آنها داشته باشد پیوستگی مطلوب حاصل نخواهد شد بنابراین دانه های نرمتر و متخلخل تر که حاوی کانیهای ناهمگن باشند پیوستگی قابل توجهی ایجاد می کنند به طور کلی پیوستگی خوب زمانی است علاوه بر دانه های جدا شده از خمیر سیمان در نمونه بتنی شکسته شده تعداد دانه های سنگی نیز از میان شکسته شده باشند البته باید توجه داشت که اگر دانه های شکسته در نمونه بتنی شکسته شده زیاد باشند ممکن است نشان دهند وجود سنگدانه های ضعیف در بتن باشد واضح است که مقاومت فشاری بتن نمی تواند بطور قابل ملاحظه ای از مقاومت سنگدانه ها بیشتر گردد. بایستی توجه داشت که مقاومت لازم برای سنگدانه ها باید از مقاومت بتن بالاتر باشد و این به علت آن است که تنشهای وارده بر سطح تماس یک دانه ممکن است بسیار بالاتر از تنش فشاری وارد شده باشد اما از طرف دیگر سنگدانه ها با مقاومت و مدول الاستیسیته متوسط یا پائین از نطقه نظر سلامت بتن ممکن است با ارزش باشند این نوع سنگدانه ها به علت تراکم پذیری سبب ایجاد

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

تنش‌های کمتری در خمیر سیمان به علت تغییرات حجمی ناشی از رطوبت و حرارت شوند. حال آنکه سنگدانه‌های سخت ممکن است سبب بروز ترک‌هایی در خمیر سیمان اطراف خود شوند.

دانه بندی به جهت تاثیر در کارایی بتن اهمیت زیادی دارد. مقاومت بالا زمانی حاصل می‌شود که به ازای یک میزان کار معقول حداکثر تراکم در مخلوط بدست آید که این تنها با ساختن یک مخلوط با کارایی کافی میسر است در واقع به علت اندرکنش تاثیر عوامل موثر بر کارایی، دانه بندی ایده آلی وجود ندارد این فاکتورها شامل سطح مخصوص دانه‌ها که تعیین کننده میزان آب لازم برای تر نمودن دانه‌هاست - حجم نسبی که توسط دانه‌ها اشغال می‌شوند - تمایل به جدایی در دانه‌ها و میزان درصد ریزدانه در مخلوط می‌باشد.

دانه بندی مصالح سنگی یعنی انتخاب مناسب از شن و ماسه بقطرهای مختلف بطوریکه از مخلوط و تراکم آنها یک استخوان بندی با کمترین فضای خالی حاصل شود و یا بیشترین وزن فضایی را بدست آورد.

شناخت دانه بندی و تعیین دانه بندی مناسب در مورد کارهای ساختمانی بخصوص در ساختن بتن حائز اهمیت فراوان است زیرا در مقدار آب و سیمان و نسبت آنها هر چقدر هم دقت شود ولی دارای یک دانه بندی مناسب نباشد مقاومت چنین بتنی خوب نخواهد بود از اینرو بر حسب نوع کار - درشت ترین دانه سنگی - شکل ظاهری سنگدانه‌ها ... می‌توان یک دانه بندی ایده‌آل را بدست آورد. به طور کلی مصالح سنگی به دو نوع دانه بندی می‌شود. 1- پیوسته 2- غیر پیوسته

در دانه بندی پیوسته که بیشتر معمول است دانه‌های همه اندازه‌های ریز و درشت وجود دارد و ریز دانه‌ها فضای بین درشت دانه‌ها را پر می‌کند و استخوان بندی توپری تشکیل شود. در دانه بندی غیر پیوسته یک یا چند اندازه از سنگدانه‌ها موجود نمی‌باشد و ریز دانه‌ها و یا درشت دانه‌ها هر یک جداگانه دانه بندی می‌شوند.

بهتر است مصالح سنگی گرد گوشه با دانه بندی پیوسته مصرف شود و در دانه بندی سنگهای شکسته از دانه بندی غیر پیوسته استفاده شود.

شن و ماسه شکسته برای بتن سازی به سبب داشتن گوشه‌های تیز بسیار مناسب است ولی مخارج بیشتری نسبت به شن و ماسه‌ای رودخانه‌ای دارد (از لحاظ مصرف سیمان) در نتیجه مقاومت بتن با شن و ماسه شکسته بیشتر از شن و ماسه رودخانه‌ای است ولی دارای کارایی کمتری نسبت به بتن‌های ساخته شده با دانه‌های سنگی رودخانه‌ای است به طور کلی قیمت تمام شده بتن و مقاومت بتن به چگونگی دانه بندی مصالح بستگی دارد.

مقاومت سنگدانه‌ها در برابر فشار - ضربه - سایش از مهمترین خواص مکانیکی سنگها محسوب میشود. سنگدانه‌های مورد مصرف در بتن باید دارای مقاومت فشاری بیشتری نسبت به مقاومت فشاری بتن مورد نظر باشد. حداقل سختی سنگدانه‌های مورد مصرف در بتن باید برابر 3 باشد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

آزمایش شماره 1 روش دانه بندی شن به وسیله الک بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 302 و دت 206 و ASTM C 136-848

1- هدف: تعیین اندازه بزرگترین دانه شن و نحوه توزیع دانه‌های سنگی در اندازه‌های گوناگون جهت مقایسه و تطبیق با منحنی استاندارد.

2- اهمیت و کاربرد: دانه بندی و بزرگترین اندازه دانه، روی مقادیر نسبی دانه‌ها، همچنین روی مقادیر مورد نیاز سیمان و آب، کارایی، اقتصادی بودن، تخلخل، آبرفتگی، دوام و پوکی بتن اثر می‌گذارند و هر گونه تغییراتی در دانه بندی می‌تواند روی یکنواختی بتن در هر بار بتن سازی تاثیر گذارد.

استفاده از حداکثر اندازه دانه‌های شن تابع عوامل گوناگونی است که نسبت به شرایط عملی کار از محدودیتی که از طرف استاندارد ملی ایران تعیین گردیده برخوردار می‌گردد.

طبقه آئین نامه بتن ایران بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت نباید از هیچیک از مقادیر زیر بیشتر باشد.

(الف) یک پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب بتن.

(ب) سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها.

(پ) یک سوم ضخامت دال.

(ت) سه چهارم پوشش روی میلگردها.

از مواد دیگر کاربرد دانه بندی شن، می‌توان از نتایج آزمایش به منظور تطبیق توزیع اندازه دانه‌ها با مشخصات لازم برای مصالح سنگی و همچنین تهیه اطلاعات لازم برای کنترل و تصحیح دانه بندی سنگدانه‌های مختلف و مخلوطهایی که در آنها مصالح سنگی به کار می‌رود را نام برد و همچنین برای تعمیم رابطه بین تخلخل و تراکم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با انجام آزمایش دانه بندی و رسم منحنی دانه بندی شن لازم است این منحنی با منحنی استاندارد شن مقایسه گردد و افزایش و کاهش احتمالی آن معین شود تا برای تصحیح آن اقدامات لازم انجام گردد.

عمل دانه بندی به وسیله غربالها با سوراخ چهارگوش که از رشته‌های فلزی ساخته شده اند و یا غربالهایی با سوراخ گرد می‌باشند انجام می‌گیرد.

ابعاد سوراخهای غربالهایی با سوراخ گرد با یک تصاعد هندسی با قدر نسبت $\sqrt[10]{1/259}$ بالا می‌روند و برای ساده کردن عمل این ضریب را $1/25$ گرفته اند. واضح است که قطر سوراخ یک غربال با سوراخ گرد قابل مطابقت با ضلع سوراخ یک غربال با سوراخ چهارگوش نیست زیرا یک سوراخ مربع بر حسب قطرش اجازه عبور دانه‌های قدری درشت تر را می‌دهد. آزمایشهای متعدد نشان داده اند که الک کردن با غربال چهارگوش به ضلع a و الک کردن با غربال سوراخ گرد به قطر d وقتی معادل همدیگر می‌باشند که $d=1/25a$ باشد و $1/25$ همان قدر نسبت انتخابی پس قطر یا ضلع سوراخهای غربال با نسبت $1/25$

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

بزرگتر می‌شوند و ضمناً در مقابل هر غربال با سوراخ چهارگوش یک غربال با سوراخ گرد وجود دارد که قطرش 1/25 برابر ضلع غربال با سوراخ چهارگوش می‌باشد.

غربالها به وسیله عددی موسوم به مدول مشخص می‌شوند و هر مدول نشان دهنده قطر و یا ضلع سوراخ غربال می‌باشد. مدول یک غربال عبارت است از نزدیکترین عدد کامل به رقمی است که 10 برابر لگاریتم قطر سوراخ به میکرون را معین می‌کند. مثلاً اگر بخواهیم مدول مربوط به الک 100 میکرونی را بدانیم به این ترتیب عمل می‌کنیم. لگاریتم عدد 100 برابر 2 است و در نتیجه $10 \times 2 = 20$ و بنابراین 20 مدول الک 100 میکرونی می‌باشد. در جدول 1 الکهای مختلف بر حسب استانداردهای انگلستان (BS) - آمریکا (ASTM) و فرانسه (AFNOR) مشخص شده است.

در سیستم دانه بندی بر طبق استاندارد ASTM (آمریکا) و BS (انگلستان) در این دو سیستم غربالها به دو گونه نامگذاری می‌شوند.

غربالها با سوراخ بزرگ تا 5/16 اینچ نامگذاری مستقیماً با اندازه سوراخ متناسب است به عنوان مثال الک 1/2 یعنی اینکه ضلع هر سوراخ 1/2 اینچ است.

برای غربالهای با سوراخ کوچک (کوچکتر از 5/16 اینچ) نامگذاری بر حسب تعداد سوراخ در هر اینچ طول می‌باشد به عنوان مثال الک 30 یعنی اینکه در هر اینچ طول 30 سوراخ وجود دارد.

نوع مصالح	استاندارد فرانسه AFNOR			استاندارد آمریکا ASTM			استاندارد انگلیس		
	ضلع سوراخ amm	قطر سوراخ dmm	مدول	شماره الک	اینچ	میلی متر	شماره الک	اینچ	شماره اکر
قلوه سنگ برای مصالح گرد گوشه و تکه سنگ برای مصالح تیز گوشه	درشت دانه	-	100	50	4	4	100	-	-
		-	80	49	3	2/5	76/2	3	3
		-	63	48	2/5	2/5	63/5	2/5	۱- ۲- ۲
	متوسط دانه	-	50	47	2	2	50/8	-	-

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

		-	40	46	1/5	1/5	38/1	شن درشت	1/5	۱-۲	
		ریزدانه	-	375	45	-	-		-	-	-
		-	-	25	44	1	1		25/4	-	-
متوسط	درشت	-	20	43	3/4	3/4	19/05	شن متوسط	0/75	3/4	
		-	16	42	-	-	-		-	-	
	متوسط	-	12/5	41	1/2	1/2	12/7	شن ریز	0/5	1/2	
		-	10	40	3/8	3/8	9/51		0/375	3/8	
	ریز	-	8	39	5/16	0/312	8/0	شن ریز	0/312	5/16	
		5	6/3	38	4	0/187	4/75		0/187	3/16	
ماسه	درشت	4	5	37	5	0/157	4/0	ماسه درشت	-	-	
		3/15	4	36	6	0/132	3/36		0/132	5	
		2/5	3/15	35	7	0/111	2/83		/1107	6	
		-	-	-	8	/0937	2/38		/0949	7	
		2/0	2/5	34	10	/0787	2/00		/0810	8	
		1/6	2	33	12	/0661	1/68		/0666	10	
	متوسط	-	-	-	14	/0555	1/41	/0553	12		
		1/25	1/6	32	16	/0469	1/19	/0474	14		
		1/0	1/25	31	18	/0394	1/0	/0395	16		
		0/8	1/0	30	20	/0331	0/841	/0336	18		
		-	-	-	25	/0273	/707	/0275	22		
		0/63	0/8	29	30	/0234	/595	/0236	25		
	ریز	0/5	0/63	28	35	/0197	0/500	/0197	30		
		0/4	0/5	27	40	/0165	0/420	/0166	35		
		-	-	-	45	/0139	0/354	/0139	44		
		0/315	0/4	26	50	/0117	0/297	/0116	52		
		0/25	0/315	25	60	/0093	0/250	/0099	60		
		0/2	0/25	24	70	/0083	0/210	/0083	72		
	ماسه بسیار ریز	0/16	0/2	23	80	/0070	0/177	/0070	85		
		-	-	-	100	/0059	0/149	/0060	100		
		0/125	0/16	22	120	/0049	0/125	/0049	120		
		0/1	0/125	21	140	/0041	/105	/0041	150		
		/08	0/1	20	170	/0035	/088	/0035	170		
		0/07	0/08	19	200	/0029	/074	/003	200		

3- وسایل آزمایش: الکها - الکها باید طوری روی هم چیده شوند تا سنگدانه‌ها هنگام الک کردن، به بیرون

پرتاب نشوند - اندازه آنها از بالا به پایین باید بترتیب زیر باشند.

$$۱\frac{۱}{۲} - ۱'' - \frac{۳}{۴}'' - \frac{۱}{۲}'' - \frac{۳}{۸}'' - \frac{۳}{۸}''$$

و زیر الک و درب

دستگاه تقسیم کن

ترازو با دقت 0/5 گرم

لرزاننده مکانیکی الکها - لرزش باید بصورت قائم و افقی به الک منتقل شود بطوریکه دانه‌ها در روی الک به بالا و پایین پریده و بغلظند تا در جهات مختلف روی سطح الک قرار بگیرند.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

کوره - کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $100 \pm 5C^{\circ}$ باشد.

4- نمونه برداری: الف) نمونه باید از ارتفاع متوسط توده شن برداشته شود بطوریکه هنگام برداشت دانه‌ها از ظرف بیرون نریزد و باید از لحاظ توزیع دانه‌ها، نماینده کل دپوی شن باشد.

ب) مقدار تقریبی نمونه برداشتی از دپو، بر حسب اندازه بزرگترین دانه‌ها مطابق جدول «1» باشد.

مقدار تقریبی نمونه شن [gr]	اندازه بزرگترین دانه ها [mm]
500	5
1500	9/5
2000	12/5
3000	19/0
4000	25/0
6000	38/0
8000	50/0
13000	75/0

«جدول 1»

بر طبق تبصره 2 بند 3-4-4-4 آئین نامه بتن ایران آبا

به کار بردن سنگدانه‌های درشت تر از 38 میلی متر در ساخت قطعات بتن آرمه توصیه نمی شود ولی در هر صورت اندازه سنگدانه‌ها نباید از 63 میلی متر تجاوز کند.

5- روش آزمایش: نمونه برداشت شده از دپو بوسیله دستگاه تقسیم کن مجزا شود این عمل بدفعات تا کسب میزان مورد نیاز نمونه آزمایش انجام داده شود.

تذکر 1: کوشش شود حداقل دو برابر مقدار مورد نیاز آزمایش برداشته شود و آن را از تقسیم کن عبور داد.

نمونه آزمایش را تا دمای $110 \pm 5C^{\circ}$ خشک کنید.

الک‌ها را مطابق بخش دو (به ترتیب اندازه الک) بچینید و نمونه را روی الک بالایی بریزید و سپس روی دستگاه لرزاننده قرار دهید تا عمل الک کردن بصورت مکانیکی انجام گیرد. دور دستگاه را بر روی 150 دور در دقیقه تنظیم نمایید و دستگاه را به مدت 10 دقیقه بکار اندازید.

تذکر 2: الف) بر روی هر الک نباید به ضخامت بیش از 2cm دانه جمع شود و در صورت وجود دانه‌های زیاد می‌توان آزمایش را در چند مرحله انجام داد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

ب) مقدار دانه‌ها باید به اندازه‌ای باشد تا تمامی دانه‌ها امکان قرار گرفتن در برابر سوراخهای الک را تا چندین مرتبه داشته باشند همچنین در هیچ موردی نباید وزن مصالح روی الک به اندازه‌ای باشد که بافت الک تغییر شکل دائمی بدهد.

پ) دستگاه لرزاننده بطور آزاد بطوریکه هیچگونه تماس اضافی بجایی داشته باشد کار کند تا بتواند عمل لرزش را بطور دقیق انجام دهد.

ت) اگر عمل لرزاندن الکها بصورت مکانیکی انجام شود، برای اطمینان بیشتر توصیه می‌شود که قبل از توزین مصالح باقیمانده هر الک، با قرار دادن زیر الک و درپوش، مجدداً آنرا توسط دست در جهات گوناگون بلرزانید و آنگاه دانه‌های عبوری را در الک بعدی ریخته به ترتیب تا آخرین الک ادامه دهید.

مقدار باقیمانده روی هر یک از الکها را بطوریکه تمام سنگدانه‌های روی چشمه‌های الک نیز پاک شده باشد در یک ظرف ریخته و وزن نمائید. دقت شود که دانه‌ها از الک بیرون نریزد.

تذکر 3: الف) در مورد الکهای ریزتر می‌توانید قبلاً الک را وزن نموده تا پس از عمل الک کردن دانه‌ها را همراه با الک وزن نموده تا دچار اشتباه وزن کردن نشوید.

ب) برای خارج کردن دانه‌ها از چشمه‌های الک از فشار بیمورد با وسایل غیر مجاز خودداری کرده و حتی الامکان از بررسی سیمی استفاده نشود.

6- محاسبات: 1- وزن دانه‌های هر یک از الکها m_i را در جدول منحنی دانه بندی شن یادداشت کنید.

2- درصد باقیمانده نسبت به کل وزن دانه‌ها را حساب کنید.

$$b = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100$$

شمارنده الک - i در جاییکه

تعداد الکها - n

3- درصد باقیمانده انباشته الک شماره k را محاسبه نمایید.

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^k m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100$$

تذکر 4: با افزایش i ، اندازه سوراخهای الک کوچکتر می‌گردد بطوریکه $i=1$ مربوط به بزرگترین الک است.

4- درصد رد شده انباشته از الکها محاسبه شود.
 $d=100-C_k$

نتایج محاسبات را در جدول منحنی دانه بندی شن یادداشت نمایید و سپس نتایج را به صورت منحنی شکسته رسم نمایید.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

در صورتیکه منحنی در محدوده استاندارد قرار نگیرد و حتی قسمتی از آن از محدوده بیرون رود، باید پیشنهادات لازم جهت اصلاح دانه بندی ارائه شود.

آزمایش شماره 2 روش دانه بندی ماسه توسط الک و تعیین ضریب نرمی بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 300 و دت 206 و ASTM C 136-848

1- هدف: تعیین ویژگیهای مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) که در بتن مسلح بکار برده می‌شوند.

2- اهمیت و کاربرد: الف) دانه بندی ماسه: مناسبترین دانه بندی ماسه، به نوع مصرف و مقدار سیمان بتن و حداکثر درشتی مصالح درشت دانه بستگی دارد. اصولاً مقدار ذرات ریزتر از 0/6mm، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کارایی مخلوط دارند و شاخص نسبتاً مطمئنی برای کل سطح مخصوص ماسه می‌باشند. قاعدتاً مقدار ماسه در مخلوط بتن باید کم باشد زیرا افزایش 10 تا 15 درصد دانه‌های کوچکتر از 0/15 میلی متر در سنگدانه‌ها، باعث تقریباً 10٪ کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد.

از موارد دیگر کاربرد دانه بندی ماسه می‌توان از نتایج آزمایش به منظور تطبیق توزیع اندازه دانه‌ها با مشخصات لازم برای مصالح سنگی و همچنین تهیه اطلاعات لازم برای کنترل و تصحیح دانه بندی سنگدانه‌های مختلف نام برد.

ب) ضریب نرمی: ضریب نرمی معین نمی‌تواند معرف تعداد نامحدودی از توزیع اندازه‌های کاملاً متفاوت و یا منحنی‌های دانه بندی گوناگون باشد، بنابراین ضریب نرمی را نمی‌توان به تنهایی بعنوان توصیف دانه بندی سنگدانه‌ها بکار برد، اما جهت سنجش تغییرات جزئی در سنگدانه‌هایی که از یک منبع تولید می‌شوند با ارزش است.

با شناخت ضریب نرمی می‌توان در میزان شن لازم در طراحی مخلوط بتن استفاده کرد و با افزایش آن، مقدار شن لازم را کاهش داد.

تجربه نشان داده است که ماسه بسیار ریزدانه و ماسه بسیار درشت دانه مناسب بتن نمی‌باشد زیرا اولی با صرفه نیست و دومی مخلوطی می‌سازد که دارای کارایی نبوده و سطح بتن زیر در می‌آید در بتنهای کم سیمان و یا بتنهایی که شن آنها ریز است از نظر کارپذیری (کارایی) بتن، دانه بندی مصالح ریزدانه را چنان باید انتخاب کرد که درصد مواد رد شده از الک با حداکثر پیشنهادی آئین نامه بخواند (حد پائین محدود است) و در بتن‌های پر سیمان و یا بتنهایی با شن درشت دانه از نظر صرفه جویی در مصرف سیمان حدود بالای دانه بندی استاندارد برای ریزدانه مطلوب می‌باشد.

3- وسایل آزمایش:

دستگاه تقسیم کن ماسه

ترازو با دقت 0/5 گرم

الکهای استاندارد با طوری چیده شوند تا سنگدانه‌ها هنگام الک کردن به بیرون پرتاب نشود اندازه آنها از

بالا به پائین به ترتیب زیر باشد. $\frac{3}{8}$ - 4 - 8 - 16 - 30 - 50 - 100 - زیر الک و درب

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

لرزاننده مکانیکی الکها - لرزش باید بصورت قائم و افقی به الک منتقل شود بطوریکه دانه‌ها در روی الک به بالا و پایین پریده و بغلظند تا در جهات مختلف روی سطح الک قرار بگیرند.

کوره - کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $110 \pm 5^\circ\text{C}$ باشد.

4- نمونه برداری: الف) نمونه باید از ارتفاع متوسط توده ماسه برداشته شود بطوریکه هنگام برداشت دانه‌ها از ظرف بیرون نریزد و باید از لحاظ توزیع دانه‌ها، نماینده کل دیوی ماسه باشد.

ب) مقدار تقریبی نمونه مورد آزمایش یک کیلوگرم باشد.

5- روش آزمایش: نمونه برداشت شده از دیو بوسیله دستگاه تقسیم کن مجزا شود این عمل بدفعات تا کسب میزان مورد نیاز نمونه آزمایش انجام داده شود.

تذکر 1: کوشش شود حداقل دو برابر مقدار نیاز آزمایش برداشته شود و آن را از تقسیم کن عبور داد. نمونه آزمایش را تا دمای $105 \pm 5^\circ\text{C}$ خشک کنید.

بعد از تمیز نمودن الکها، هر الک را ابتدا وزن نموده و وزن آنرا یادداشت نمایید.

الکها را مطابق بخش دو (به ترتیب اندازه الک) بچینید و نمونه را روی الک بالایی بریزید و سپس روی دستگاه لرزاننده قرار دهید تا عمل الک کردن بصورت مکانیکی انجام گیرد. دور دستگاه را بر روی 150 دور در دقیقه تنظیم نمایید و دستگاه را به مدت 10 دقیقه بکار اندازید.

تذکر 2: الف) بر روی هر الک نباید به ضخامت بیش از 2cm دانه جمع شود و در صورت وجود دانه‌های زیاد می‌توان آزمایش را در چند مرحله انجام داد.

ب) مقدار دانه‌ها باید به اندازه‌ای باشد تا تمامی دانه‌ها امکان قرار گرفتن در برابر سوراخهای الک را تا چندین مرتبه داشته باشند همچنین در هیچ موردی نباید وزن مصالح روی الک به اندازه‌ای باشد که بافت الک تغییر شکل دائمی بدهد.

پ) دستگاه لرزاننده بطور آزاد بطوریکه هیچگونه تماس اضافی بجایی نداشته باشد کار کند تا بتواند عمل لرزش را بطور دقیق انجام دهد.

ت) اگر عمل لرزاندن الکها بصورت مکانیکی انجام شود، برای اطمینان بیشتر توصیه می‌شود که قبل از توزین مصالح باقیمانده هر الک، با قرار دادن زیر الک و درپوش، مجدداً آنرا توسط دست در جهات گوناگون بلرزانید و آنگاه دانه‌های عبوری را در الک بعدی ریخته به ترتیب تا آخرین الک ادامه دهید.

ث) باقیمانده مصالح بین هر دو الک متوالی نباید بیش از 45٪ وزن کل نمونه باشد.

ج) ضریب نرمی مصالح برای بتن و بتن آرمه نباید کمتر از $2/3$ و بیشتر از $3/1$ باشد. اگر ضریب نرمی به میزان $\pm 0/2$ اعداد داده شده تغییر یابد، در صورتی این مصالح قابل مصرف است که تغییراتی متناسب در دانه بندی مصالح سنگی بتن داده شود.

چ) آلودگی به ماده مضر - مقدار مواد مضر موجود در مصالح بتن و بتن مسلح باید طبق جدول 1-3 باشد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

جدول شماره (1-3) مقدار مواد مضر موجود در مصالح ریزدانه مطابق استاندارد ایران

مواد مضر	مواد کاربردی	حداکثر درصد وزنی مجاز
کلوخه گل رسی و دانه های سست	در تمام موارد کاربردی	3
مواد کوچکتر از 0/075mm	بتن هایی که در معرض فرسایش هستند	*3
مواد کوچکتر از 0/075mm	انواع دیگر بتن	5
ذغال و لیگنیت و سایر مصالح سبک	در مواردی که نمای ظاهری بتن حائز اهمیت است	0/5
ذغال و لیگنیت و سایر مصالح سبک	انواع دیگر بتن	1

* اگر ماسه از طریق شکستن مواد سنگی بدست آید بیشتر مواد رد شده از الک 0/075mm از جنس گرد سنگ خواهد بود و چون خاک رس در آن وجود نخواهد داشت، لذا می توان درصد مجاز را در این مورد 5 و 7 محسوب داشت.

هر الک به همراه مصالح باقیمانده روی آن را وزن نمایید.

تذکر 3: برای خارج کردن دانه ها از چشمه های الک از فشار بیمورد با وسایل غیر مجاز خودداری کرده و حتی برس سیمی نیز استفاده نشود.

6- محاسبات: 1- وزن دانه های هر یک از الکها m_i را در جدول 2 یادداشت کنید.

2- درصد باقیمانده نسبت به کل وزن دانه ها را حساب کنید.

$$b = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100$$

شمارنده الک - i در جاییکه

تعداد الکها - n

3- درصد باقیمانده انباشته روی الک شماره k را محاسبه نمایید.

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^k m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100$$

تذکر 4:

با افزایش i ، اندازه سوراخهای الک کوچکتر می گردد بطوریکه $i=1$ مربوط به بزرگترین الک است.

4- درصد رد شده انباشته از الکها محاسبه شود.
 $d=100-C_k$

5- ضریب نرمی ماسه مطابق رابطه زیر تعیین گردد.

$$KFM = \frac{\sum_{i=1}^n C_k}{100} \quad (\text{i شامل زیر الک نمی گردد})$$

نتایج محاسبات را در جدول یادداشت نمایید و سپس نتایج را به صورت منحنی شکسته در جدول شماره 3 رسم نمایید.

در صورتیکه منحنی در محدوده استاندارد (در جدول شماره 3 دیده می شود) قرار نگیرد و حتی قسمتی از آن از محدوده بیرون رود، و همچنین ضریب نرمی با مقادیر استاندارد ذکر شده مطابقت نداشته باشد. باید پیشنهادات لازم جهت اصلاح دانه بندی ارائه شود.

مدول نرمی یا ضریب نرمی (FM)

مدول نرمی ضریبی است که از دانه بندی بدست می آید و به ویژه در ایالات متحده به مقدار قابل توجهی استفاده می شود. مدول نرمی به مجموع درصدهای تجمعی باقی مانده روی الکها استاندارد (منهای زیر الک) تقسیم بر صد گفته می شود سری الکهای استاندارد شامل الکهای است که اندازه هر الک دو برابر اندازه الک قبلی باشد.

مدول نرمی تعیین کننده ریزی و درشتی دانه ها است هر چه دانه های سنگی درشت تر باشد مدول نرمی آنها بیشتر است همچنین ریزدانه ها مدول نرمی کمتری دارند.

آزمایش شماره 3 روش تعیین وزن واحد و فضای خالی سنگدانه‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 4981 و دت 209 و ASTM C29/C29-M90

1- هدف: تعیین وزن جامد سنگدانه‌ها نسبت به حجم کل اشغال شده

2- اهمیت و کاربرد: شناخت اثر مجموعه سنگدانه‌ها با اندازه گوناگون نسبت به کاهش حجم فضای بین دانه‌ها را می‌توان با اهمیت دانست، زیرا تولید بتن مطلوب و اقتصادی، مستلزم دانه‌ها با حجم فضای خالی کم است. همچنین در مخلوط‌های پزدانه، که کشش هیدرواستاتیکی به عنوان نیروی چسبنده اصلی بشمار می‌آید، مشخصاً منبسط شونده بوده و با افزایش حجم همراه است. از جمله کاربردهای وزن مخصوص انبوهی را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

الف) تعیین نسبت‌های اجزای طرح اختلاط - با توجه به اینکه بین سنگدانه‌های بتن، فضای خالی وجود دارد و این فضا توسط سنگدانه‌های ریزتر و دوغاب سیمان پر می‌شود. بنابراین نحوه قرارگیری سنگدانه‌ها در بتن را می‌توان به وضعیتی که سنگدانه‌ها در این آزمایش (تعیین وزن مخصوص انبوهی متراکم سنگدانه‌ها) دارا می‌باشند، شبیه دانست و نتایج آن را برای تعیین وزن ظاهری خشک درشت دانه در واحد حجم بتن بهره گرفت.

ب) تبدیل کمیت جرم به حجم و بر عکس - در این مورد باید رابطه‌ای مناسب بین درجه تراکم سنگدانه در محل نگهداری و نتایج آزمایش وجود داشته باشد چون ممکن است وزن مخصوص واحد، بصورتی که در آزمایشگاه تعیین می‌شود، مستقیماً برای تبدیل وزن سنگدانه‌ها به حجم آنها (بمنظور پیمانه کردن جمعی سنگدانه‌ها) جهت مخلوط بتن، مناسب نباشد زیرا احتمالاً درجه تراکم در آزمایشگاه و در کارگاه یکسان نخواهد بود.

پ) تعیین مقایسه‌ای نمونه از حیث فضای خالی بین سنگدانه‌ها - با بدست آوردن مقادیر وزن واحد چند نمونه مصالح سنگی می‌توان مشخص کرد کدام سنگدانه‌ها دارای بیشترین و یا کمترین فضای خالی می‌باشد و مسلماً این مقایسه می‌تواند موید میزان سیمان مصرفی، مقدار نسبی سنگدانه‌های ریزتر و سرانجام روانی بتن ساخته شده با هر یک از سنگدانه‌های مذکور باشد.

مقاومت فشاری بتن بستگی به نسبت سیمان و سنگدانه درشت و ریز و آب و افزودنیها دارد. در نگاه اول نسبت سیمان و نسبت آب به سیمان مهمترین عامل در مقاومت بتن به نظر می‌آید هر چه نسبت آب به سیمان کمتر باشد مقاومت فشاری بتن بیشتر خواهد شد برای انجام فعل و انفعال شیمیایی سیمان به مقدار مشخصی آب نیاز است. افزایش آب مصرفی (علاوه بر مقدار لازم برای هیدرتاسیون) در مخلوط بتن به منظور بالا بردن کارایی باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود عامل دیگری که باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد درجه پوکی تا تخلخل یا به عبارت دیگر وزن مخصوص فضایی (واحد) سنگدانه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر هر چه جسم توپرتر باشد مقاومت آن بیشتر می‌گردد. این آزمایش برای تعیین درصد

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

اختلاطی می‌باشد که دارای بیشترین وزن مخصوص و کمترین فضای خالی بین سنگدانه‌ها برای بهترین طرح اختلاط بتن می‌باشد.

وسایل آزمایش:

ترازو با دقت 1 گرم

میله فولادی - یک میله فولادی به قطر 16 میلی متر و طول تقریبی 600 میلی متر انتخاب شود بطوریکه سر آن بصورت نیم کره‌ای به قطر میله درآمده باشد.

کوره - کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $105 \pm 5C^0$ باشد.

پیمانہ - یک ظرف استوانه‌ای دسته دار طوریکه آب بندی شده و بتواند در مقابل ضربه‌های وارده بر مصالح سنگی مقاوم باشد، ارتفاع و قطر استوانه‌ها حدود یکدیگر باشد. بر حسب بزرگترین اندازه دانه‌های سنگی، حجم پیمانہ از جدول 1-4 تبعیت کند.

دماسنج بادقت 0/1 درجه سانتی گراد

بیله

بزرگترین اندازه اسمی دانه ها (mm)	حجم پیمانہ (Li)
12/5	2/8
25	9/3
37/5	14
75	28
112	70
150	100

جدول (1-9) - حجم پیمانہ

4- نمونه برداری: نمونه‌های برداشته شده باید معرف کل دپوی مورد آزمایش باشد و همواره مقدار بیشتری برداشته شده و به روش چهار قسمتی آنرا کم کرد و یا از وسیله تقسیم کن برای کم کردن مقدار نمونه استفاده کرد.

5- تعیین حجم پیمانہ: وزن پیمانہ خالی را با ترازو با دقت گرم تعیین کنید $M1 =$

پیمانہ را با آبی که دمای آن با دمای اتاق یکسان است پر کنید و با قرار دادن یک صفحه شیشه‌ای روی آن، حبابهای مواد آب اضافی را از پیمانہ خارج کنید $M2 =$

وزن آب موجود در پیمانہ را به کمک ترازو تعیین نماید. $M2-M1$ (kg)

با توجه به جدول (2-9) و دمای آب می‌توان وزن مخصوص آب را بدست آورد. $\gamma = (m3)$

حجم پیمانہ (V) از تقسیم وزن آب بر وزن مخصوص آن بدست می‌آید.

مقادیر عددی را در جدول (3-9) یادداشت نمایید.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

$$\gamma_w = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

6- روش آزمایش: این آزمایش به حالت متراکم و غیر متراکم صورت می‌گیرد، در اغلب موارد وزن واحد متراکم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نمونه برداشت شده از دیو بوسیله تقسیم کن مجزا می‌شود، وزن نمونه مورد آزمایش حداقل 1/5 برابر مقدار لازم برای آزمایش می‌باشد.

وزن مخصوص آب (Kg/m^3)	دما (C)
999/01	15/6
998/54	18/3
997/97	21/1
97/54	23
997/32	23/9
996/59	26/7
995/83	29/4

جدول (2-9) وزن مخصوص آب

نمونه مصالح سنگی را تا دمای $105 \pm 5^\circ\text{C}$ خشک کنید.

6-1- روش غیر متراکم:

پیمانه را به طور یک مرتبه از مصالح سنگی بصورت لبریز پر کنید، تخلیه مصالح از ارتفاعی کمتر از حدود 5cm از بالای ظرف صورت گیرد طوری که دانه بندی تغییری نکند، سطح مصالح را بوسیله یک تیغه هم تراز لبه پیمانه نمایید طوری که برآمدگیهای جزئی درشت دانه‌ها تقریباً هم اندازه فضاهای خالی موجود در سطح پیمانه باشد.

جرم پیمانه حاوی مصالح (M3) و جرم پیمانه خالی (M1) (تمیز شده) را با دقت یک گرم تعیین کنید. وزن واحد در حالت غیر متراکم از رابطه زیر بدست می‌آید.

6-2- روش متراکم (کوبیدن با میله)

یک سوم پیمانه را از مصالح پر نمایید، با 25 ضربه توسط میله تمام سطح را بطور یکنواخت بکوبید، آنگاه یک سوم دیگر از پیمانه را پر کرده و عمل کوبیدن را تکرار کنید و بالاخره همین عمل را در مورد بقیه ظرف انجام دهید، عمل صاف کردن سطح مصالح را مطابق وضعیت مذکور در بند (1-6) صورت دهید.

6-3- فقط در مواردی که به طور خاص قید شده باشد باید برای تعیین وزن واحد غیر متراکم از روش غیر متراکم استفاده شود. در موارد دیگر وزن واحد متراکم باید به وسیله کوبیدن و یا لرزندان مصالح سنگی تعیین شود. برای مصالحی که حداکثر اندازه اسمی دانه‌های آن 1/5 اینچ (میلی متر 37/5) یا کمتر

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

باشد از کوبیدن به وسیله میله تراکم و برای مصالحی که حداکثر اندازه اسمی دانه‌های آن بیش از 1/5 اینچ (37/5 میلی متر) و کمتر از 6 اینچ (150 میلی متر) باشد باید از لرزندان استفاده کرد. در روش لرزاندن مانند روش متراکم و در سه لایه پیمانانه را پر کرده و بعد برای هر لایه پیمانانه را بر روی یک سطح صاف و محکم مانند یک سطح بتنی قرار داده و طرفهای مقابل آنرا به طور متناوب به اندازه 5 سانتی متر از زمین بلند کنید و به طور آزاد آنرا رها کنید. این عمل را در هر سه لایه تکرار کنید و هر لایه را با 50 بار بلرزانید (هر طرف 25 بار) عمل صاف کردن سطح مصالح مانند حالت (1-6) صورت می‌گیرد.

تذکر 1: شدت کوبیدن هر مرحله بایستی به نحوی صورت گیرد که میله حداکثر در لایه مربوطه فرو رود همچنین در کوبیدن اولین لایه، میله بایستی به شدت به کف ظرف برخورد کند.

جرم پیمانانه حاوی مصالح و جرم پیمانانه خالی (تمیز شده) را با دقت یک گرم تعیین کنید.

در مورد سنگدانه‌های خیلی درشت به خصوص زاویه دار ممکن است عدم نفوذ میله مانع تراکم دانه‌ها گردد در این صورت باید ضربات محکمتری را وادار نمود.

7- محاسبات: وزن مخصوص واحد خشک - رابطه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (در هر سه حالت)

$\gamma =$ وزن مخصوص واحد مصالح سنگی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

$$\gamma_c = \frac{G - M_1}{V} \text{ kg / m}^3$$

$G =$ وزن مصالح و پیمانانه بر حسب کیلوگرم

$$\gamma_c = (G - M_1) \times F$$

$M_1 =$ وزن پیمانانه بر حسب کیلوگرم

$V =$ حجم پیمانانه بر حسب متر مکعب

$F =$ ضریب پیمانانه بر حسب یک متر مکعب (با تقسیم چگالی آب به مقدار وزن آب پیمانانه)

نتایج محاسبات را در جدول 4-9 یادداشت نمایید.

نتایج را با مقادیر رایج مصالح سنگی مقایسه نمایید و میزان فضای خالی بین دانه‌ها را در مقایسه با نمونه‌های دیگر بررسی کنید.

درصد فضای خالی را می‌توان با اضافه نمودن آب به مخلوط متراکم یا غیر متراکم شده تا لبریز شدن آب اضافی و سپس توزین آن طبق روابط زیر بدست آورد.

$$G_1 - G = W$$

$$\gamma_w = \frac{W}{V_1}$$

$G_1 =$ وزن مصالح و پیمانانه و آب اضافه شده بر حسب کیلوگرم

$W =$ وزن آب اضافه شده برای تعیین درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها

$$\text{درصد فضای خالی} = \frac{V_1}{V} \times 100$$

$V_1 =$ حجم آب اضافه شده

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

$\gamma_w =$ وزن مخصوص آب با توجه به دمای آب

$V =$ حجم پیمانته که در بند 5 محاسبه گردیده

سوال 1- همانگونه که قید شد وزن واحد خشک از رابطه $\gamma = \frac{G - M\backslash}{V}$ و یا $\gamma = (G - M\backslash) \times F$

حاصل می‌گردد. مطلوب است تعیین مقدار وزن واحد در حالت ssd

2- بجز روش ذکر شده برای تعیین درصد فضای خالی روش دیگری را برای تعیین درصد فضای خالی برای مقادیر 100 درصد شن و 100 درصد ماسه پیشنهاد کنید.

	M1	M2	γ_w	V	G	γ_w	G1	V1				
	وزن پیمانته	وزن پیمانته پر از آب	وزن مخصوص آب	حجم پیمانته	وزن مصالح + پیمانته	وزن مخصوص واحد	وزن پیمانته + مصالح + آب	حجم آب اضافه شده	درصد فضای خالی	درصد تراکم	وزن مصالح + پیمانته در حالت غیرمتراکم	وزن مخصوص دانه غیرمتراکم
درصد شن												
درصد ماسه												
درصد شن												
درصد ماسه												
درصد شن												
درصد ماسه												
درصد شن												
درصد ماسه												

آزمایش شماره 4 روش تعیین خاک رس لای و گرد و خاک در ماسه به روش SE

بر طبق استاندارد AASHTO T176 – ASTM D2419

1- هدف: تعیین مقدار ذرات ریزتر از 0/06mm در ماسه ای که در بتن بکار برده می شود.

2- اهمیت و کاربرد: اغلب، خاک رس بصورت پوشش بر روی سنگدانه ها موجود می باشد که سبب عدم چسبندگی بین خمیر و سیمان و سنگدانه ها می شود، لذا اثری جدی بر مقاومت و دوام بتن می گذارد که از این جهت شناخت میزان واقعی ذرات ریزتر از 0/06mm با اهمیت می باشد. دو نوع دیگر از مواد ریزدانه، لای و گرد و خاک می توانند همانند با خاک رس بر روی سنگدانه ها بصورت پوششی و یا به صورت آزاد وجود داشته باشد که کثرت آنها به علت ریزی ذرات و داشتن سطح زیاد سبب می شوند که مقدار آب لازم برای مرطوب ساختن کلیه ذرات در مخلوط بتن افزایش یابد.

با در نظر گرفتن مراتب بالا، لازم است که مقادیر خاک رس، لای و گرد و خاک (دانه های ریزتر از 0/075mm) در سنگدانه ها مطابق آئین نامه بتن ایران به مقادیر زیر محدود گردد.

الف) برای ماسه

- بتن تحت سایش حداکثر 3% وزن کل نمونه (5% برای ماسه شکسته)

- سایر بتن ها حداکثر 5% وزن کل نمونه (7% برای ماسه شکسته)

ب) برای شن

- برای کلیه بتن ها حداکثر 1% وزن کل نمونه (1.5% برای دانه های شکسته)

3- وسایل آزمایش: استوانه پلاستیکی مدرج با درب پلاستیکی

لوله لاستیکی

لوله مسی

میله وزنه دار و سیفون

منبع 4 لیتری (برای محلول استوک)

پیمانه نمونه گیر - استوانه فلزی بقطر داخلی 57mm و گنجایش 85 ± 5 cc

قیف دهن گشاد - بقطر 100mm

کرونومتر - با دقت 1 ثانیه

تکاندهنده نیمه اتوماتیکی - قادر به 100 تکان کامل در 45 ± 5 ثانیه

محلول استوک (Stoke) - شامل 454gr کلرور کلسیم خشک، 2050gr گلسیرین، 47gr آلدئید فرمیک

40 درصد حجمی

خط کش و کاردک - جهت صاف کردن ماسه در داخل پیمانه نمونه گیر

کوره - قادر به تولید دمای 105 ± 5 C° باشد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

4- نمونه برداری: حدود 2 کیلوگرم ماسه را از ارتفاع متوسط دپو برداشته و بوسیله دستگاه تقسیم کن به دو قسمت تقسیم نمائید.

یادآوری 1: نمونه گیری در این آزمایش بسیار حائز اهمیت است و چنانچه به روش چهار قسمتی یا به روشهای دیگر نمونه بطور صحیح تقسیم نگردد نتایج به دست آمده با واقعیت امر تطبیق نمی کند. بنابراین لازم است که کمال دقت هنگام تقسیم نمونه بعمل آید تا از بین رفتن مواد نرمه که اثر آنها در این آزمایش بسیار موثر است جلوگیری گردد.

5- روش آزمایش: با سیفون کردن، محلول استوک را به داخل استوانه پلاستیکی بریزید تا ارتفاع محلول در استوانه به $100\text{mm} \pm 2/5\text{mm}$ برسد. نمونه آماده شده را با استفاده از قیف به داخل استوانه پلاستیکی وارد کنید. جهت خارج کردن هوای موجود در استوانه، ته آنرا چندین بار به کف دست بزنید تا تمام حبابهای موجود خارج شود. استوانه با محتویاتش به مدت 10 ± 1 دقیقه بر روی میز به حال خود باقی بگذارید و در پایان 10 دقیقه که نمونه کاملا از محلول اشباع شد، سر لاستیکی استوانه را روی آن قرار دهید. در این هنگام با سر و ته کردن استوانه، نمونه درون آن کاملا شل و بهم می خورد.

استوانه در بسته را به وسیله پیچهای مربوطه در محل خود قرار دهید و کنتور شماره زن را بر روی صفر میزان کنید. سپس حرکت تناوبی را توسط دست به دستگاه بطور یکنواخت وارد کنید بطوریکه زمان رفت و برگشت استوانه برابر باشند. تکان دادن را تا 100 بار بطوریکه در کنتور نشان می دهد ادامه دهید.

پس از تکان دادن، استوانه را روی میز قرار داده و سر لاستیکی آن را بردارید. آنگاه لوله مسی را تا ته استوانه فرو برده و پس از باز کردن گیره اجازه دهید که محلول استوک از که حدود 100cm از سطح کار بالاتر می باشد، به داخل استوانه هدایت شود. با چرخاندن آرام و حرکت از بالا و پائین لوله مسی، کلیه مصالحی که به جدار استوانه چسبیده و همچنین ذرات ریز نمونه شسته و به طرف بالا رانده می شوند. البته در این هنگام مایع در داخل استوانه بالا می رود. این عمل باید طوری انجام گیرد که پس از خارج کردن لوله مسی از داخل محلول و بستن شیر مربوطه به حجم کل مایع دقیقا به 381mm برسد. استوانه محتوی محلول بر روی میز برای مدت 20 ± 15 ثانیه به حال خود باقی می ماند.

ابتدای زمان آزمایش، زمانی است که استوانه را بر روی میز قرار می دهید. در انتهای 20 دقیقه که نمونه بهم خورده به مرور رسوب نمود، سطح بالایی کلیه مصالح را یادداشت نمایید. این عدد بعنوان «عدد رس» خوانده می شود. چنانچه خط مشخصی پس از 20 دقیقه بدست نیامد استوانه و نمونه محتوی آن را مدت بیشتری به حالت سکون بگذارید تا چنین خط مشخصی بین مایع و نمونه نمایان گردد. پس از خواندن مقدار خاک رس برای تعیین مقدار ماسه به یکی از دو روش زیر عمل کنید:

الف) هنگامی که با میله نشانه دار کار می کنید، میله وزنه دار را به آرامی در حالیکه سر نشانه با بدنه داخلی استوانه تماس دارد بطرف پائین حرکت دهید. هنگامیکه میله نشانه دار به وسیله وزنه سر آن بر

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

روی ماسه نشست دقیقا ارتفاع نوک نشانه بر روی دیواره داخلی استوانه نشاندار را بخوانید. سپس مقدار 254mm از ارتفاع محل نشانه کم کنید تا مقدار ماسه مشخص شود.

ب) چنانچه ارتفاع قسمت رس یا ماسه تا 2/5mm درجه بندی استوانه پلاستیکی باشد، مقدار بزرگتر را بعنوان خاک رس یا ماسه یادداشت نمایید. (مانند 8 بجای 7/95 یا 3/3 بجای 3/22).

یادآوری 2: آزمایش باید در محلی که عاری از لرزش باشد انجام گیرد یعنی از هر حرکتی به میز و استوانه آزمایش جلوگیری شود.

6- محاسبات: مقدار ارزش ماسه‌ای (SE) تا 0/1 اعشار از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$SE = \frac{h}{H} \times 100$$

در حالیکه:

SE - نسبت درصد لای

h- سطح ارتفاع قشر ماسه در استوانه [mm]

H- سطح ارتفاع قشر رس در استوانه [mm]

یادآوری 3- چنانچه ماسه‌ای (SE) یک عدد کامل نبود، نزدیکترین عدد بزرگتر را به عنوان ارزش ماسه‌ای گزارش کنید. (مثال اگر SE=41/5 باشد باید SE=42 گزارش شود).

همچنین اگر 3 نمونه آزمایش شود باید به ترتیب بالا اعداد را کامل و سپس میانگین گرفته و مجددا عدد میانگین را نیز به نزدیکترین عدد بزرگتر تبدیل نمایید.

آزمایش شماره 5 تعیین درصد سائیدگی در مصالح سنگی به وسیله دستگاه لوس آنجلس بر مبنای استاندارد ASTM C131-89 و ASTM C 535 و دت 215 و استاندارد ملی ایران شماره 448

1- هدف: تعیین درصد سایش و مقایسه آن با استاندارد

2- اهمیت و کاربرد: یک نشانگر کلی از کیفیت مصالح سنگی بتن مقاومت آن در برابر سایش می باشد. زمانی که دانه های سنگی در بتن استفاده می گردد و بتن تحت سایش قرار می گیرد مانند کفهای پر تردد و کفهای ماشین رو تعیین مقاومت در برابر سایش ضروری است. مقاومت کم دانه ها در برابر سایش باعث می شود که مقدار دانه های ریز بتن در حین اختلاط بیشتر شود و بنابراین ممکن است آب مورد نیاز طراحی شده کارائی مطلوب را برای بتن ایجاد ننماید و همچنین در جاهائیکه بتن زیر اثر ضربات مکانیکی قرار می گیرد مانند بتن راهها و بخصوص بتن فرودگاهها باید تاب ضربه ای مصالح سنگی بتن زیاد باشد تا در اثر ضربه و سایش ناشی از نیروهای وارده دارای عمر مفید کافی باشد. بنابراین برای اینگونه موارد آزمایشات متعددی برای تعیین سایش و ضربه پذیری انجام می گیرد.

عمومی ترین این آزمایشات تعیین مقاومت سایش و ضربه پذیری آزمایش سایش لوس آنجلس است. در این آزمایش مقدار معینی از دانه ها را در یک استوانه فولادی قرار داده و پس از 500 دور گردش استوانه درصد سایش مصالح سنگی مشخص می گردد. آزمایش لوس آنجلس که برای سایش دانه ها به کار می رود، آزمایش مناسبی است که علاوه بر ارتباط با سختی مصالح سنگی به مقاومت فشاری و خمشی بتن ساخته شده با همان سنگدانه ها نیز مربوط است.

3- وسایل آزمایش:

1- الکهای دانه بندی برای انتخاب مواد اولیه.

2- ترازو با دقت 0/5 گرم.

3- گلوله های فولادی به قطر حدود $1\frac{7}{8}$ اینچ 46/8 میلی متر و وزن 390 الی 445 گرم.

4- دستگاه لوس آنجلس - ماشین لوس آنجلس دستگاهی است شامل یک استوانه فولادی تو خالی که قطر داخلی آن 711 ± 5 میلی متر (28 اینچ) و طول داخلی آن 508 ± 5 میلی متر (20 اینچ) می باشد که دو انتهای آن بسته است. این استوانه می تواند حول محور خود که به صورت افقی روی دستگاه نصب شده بچرخد. استوانه دارای دریچه ای است که مصالح سنگی را می توان بداخل استوانه ریخت. این دریچه باید پس از بسته شدن کاملاً بدون درز بوده و گرد حاصل از مصالح سنگی از آن خارج نشود. یک تیغه فولادی در داخل استوانه وجود دارد که عرض آن در امتداد شعاع استوانه 89 ± 2 میلی متر ($3\frac{1}{3}$ اینچ) و طول آن برابر طول استوانه 508 ± 5 میلی متر (20 اینچ) می باشد. پره باید در فاصله 127 سانتی متری از سوراخ قرار بگیرد. این فاصله در محیط خارجی استوانه و در جهت حرکت اندازه گیری می شود.

4- نمونه برداری:

مصالحی که برای آزمایش بکار می رود باید کاملاً تمیز بوده و در خشک کن در حرارت بین $105 \pm 5^\circ\text{C}$ درجه سانتی گراد خشک شود. درشتی دانه هائیکه برای آزمایش بکار می رود و مقدار آن در جدول ضمیمه داده شده است.

وزن نمونه به گرم				اندازه غربال به میلی متر	
D	C	B	A	مانده روی غربال	رد شده از غربال
---	---	---	1250±25	25	37/5
---	---	---	1250±25	19/1	25
---	---	2500±10	1250±10	12/5	19/1
---	---	2500±10	1250±10	9/5	12/5
---	2500±10	---	---	6/3	9/5
---	2500±10	---	---	4/75	6/3
5000±10		---	---	2/36	4/75

تعداد گلوله هائیکه برای انواع مصالح به کار می رود بایستی طبق جدول زیر باشد.

12 گلوله	دانه بندی گروه A
11 گلوله	دانه بندی گروه B
8 گلوله	دانه بندی گروه C
6 گلوله	دانه بندی گروه D

5- روش آزمایش:

مصالح سنگی و گلوله های فولادی را درون استوانه فولادی دستگاه لوس آنجلس قرار داده و درپچه آن را کاملاً ببندید. سپس با سرعت 30 تا 33 دور در دقیقه استوانه را بگردش درآورده و آن را 500 دور بگردانید. سپس مصالح را از استوانه خارج کرده و با الک مدول 32 (نمره 12 در سیستم ASTM) $1/68$ میلی متر آن را الک کرده مصالح روی الک را شسته و در خشک کن آن را خشک نمائید. درجه حرارت برای خشک کردن مصالح $105 \pm 5^\circ\text{C}$ درجه سانتی گراد باشد. پس از خشک کردن مصالح آن را با دقت گرم وزن کنید.

6- نتیجه آزمایش: تفاوت وزن اولیه مصالح و وزن آن پس از آزمایش بر حسب وزن اولیه آن درصد سائیدگی مصالح می باشد.

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

فصل دوم: سیمان

آزمایش شماره 4 روش تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 392 و دت 113 و ASTM C 191-82

- 1- هدف: تعیین زمان شروع گیرش خمیر سیمان و تغییر وضعیت آن به حالت جامد
- 2- اهمیت و کاربرد: زمان گیرش اولیه مدت زمان سپری شده از لحظه اختلاط آب و سیمان می باشد که از این بعد رشد کریستالهای ناشی از هیدراسیون سیمان به اندازه ای است که روانی خمیر رو به کاهش می گذارد. با توجه به این که غلظت مخلوط (میزان آب نسبت به سیمان) در سرعت گیرش سیمان و به عبارتی در سرعت کاهش روانی خمیر تاثیر می گذارد، آزمایش تعیین زمان گیرش اولیه بایستی با مقدار آب مشخص (غلظت نرمال) صورت گیرد تا اینکه نتایج این آزمایش برای نمونه های مختلف سیمان پرتلند قابل مقایسه با یکدیگر بوده و یا بتوان این آزمایش را برای یک نمونه سیمان مشخص نسبت به مقادیر قید شده در مشخصات کارخانه ای آن محک زد. در ارتباط با اهمیت این آزمایش، با توجه به اینکه قبل از زمان

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

گیرش اولیه، میزان گیرش سیمان غیر قابل ملاحظه است پس کلیه عملیات ساخت، حمل، ریختن، تراکم و پرداخت بتن بایستی 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 است و یا اینکه عملیات بتن ریزی با مشکلاتی روبرو می‌گردد حائز اهمیت است در هر صورت بایستی قبل از زمان گیرش اولیه بتن در محل نهایی خود قرار گیرد. کاربرد این آزمایش شناسایی زمان گیرش انواع سیمان پرتلند است. به عنوان مثال زمان گیرش اولیه سیمان دیرگیر بیش از سیمان زودگیر یا معمولی در شرایط یکسان می‌باشد، که مسلم بایستی برای آن نمونه نخست آزمایش تعیین غلظت نرمال (آزمایش شماره 3) انجام گیرد. همچنین این آزمایش جهت بررسی کیفیت سیمانهای مصرفی در کارگاه قابل استفاده است زیرا سیمانهای فاسد شده دارای زمان گیرش بیش از حد متعارف می‌باشند. زمان گیرش نهایی مدت زمان سپری شده از لحظه اختلاط آب و سیمان تا زمانی است که کارایی خمیر به کلی از بین می‌رود. بنابراین زمان گیرش نهایی می‌تواند به عنوان زمان شروع عملیات نهایی هیدراسیون سیمان و خاتمه عملیات گیرش سیمان تلقی گردد. زمان گیرش نهایی دارای کاربرد وسیعی نمی‌باشد ولی می‌تواند جهت تعیین حد زمانی عملیات پرداخت و ماله کاری نمای ظاهری بتن قابل استفاده باشد.

3- وسایل آزمایش: دستگاه ویکات - این دستگاه که طبق شکل شماره 1 آزمایش شماره (8) می‌باشد برای آزمایش ضروری است و اجزاء تشکیل شده دهنده آن در آزمایش شماره 3 شرح داده شده است. ترازو - حداقل ظرفیت 1 کیلوگرم با دقت 0/1 گرم یا کمتر. استوانه مدرج - حداقل ظرفیت 200 میلی لیتر.

4- دما و رطوبت: درجه حرارت سیمان، آب و اتاق آزمایش در حین تهیه خمیر سیمان و قالب گیری بایستی بین 17/7 و 23/3 درجه سانتی گراد باشد، آنگاه قالب سیمانی که برای آزمایش تهیه می‌شود بایستی در تمام مدت آزمایش در حرارت $18/9 \pm 1/1$ درجه سانتی گراد و در فضایی که دارای حداقل 90 درصد رطوبت نسبی باشد و از جریان هوا دور باشد نگهداری شود.

5- روش آزمایش: تهیه سیمان و آب: مقدار 500 گرم سیمان از نوع استفاده شده در آزمایش غلظت خمیر نرمال (آزمایش شماره 3) نمونه برداری کرده و مقدار آبی مطابق غلظت نرمال آزمایش مذکور توزین نمایید. بهتر است نمونه سیمان قبل از توزین، از الک 1/18 میلیمتر الک شماره 16 در سیستم ASTM عبور داده شود تا از عاری بودن سنگ ریزه یا کلوخه اطمینان حاصل شود.

تنظیم دستگاه ویکات: برای این منظور لازم است سوزن C به میله B وصل شده، آنگاه در حالیکه سوزن C روی صفحه دستگاه قرار دارد، عقربه متحرک روی عدد صفر پایین تنظیم گردد، در این صورت می‌توان فاصله سر سوزن C را از روی دستگاه (کف قالب حاوی نمونه) بوسیله عقربه تعیین نمود.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

تهیه خمیر سیمان: آب توزین شده در یک ظرفی با فضای کافی، با نمونه سیمان مخلوط می‌شود، زمان تهیه خمیر از لحظه افزودن آب به سیمان خشک تا آغاز ریختن خمیر در قالب باید $4 \pm 1/4$ دقیقه باشد و عمل تهیه خمیر باید قبل از شروع علائم گیرش پایان یابد. ظرف و دیگر وسائل مورد استفاده بایستی کاملاً تمیز و خشک بوده و تمام آب توزین شده با سیمان مخلوط گردد.

قالب گیری خمیر سیمان: پس از تهیه خمیر سیمان، قالب و یکات در حالیکه روی صفحه غیر متخلخلی قرار می‌گیرد باید بوسیله خمیر سیمان پر شود، قالب را باید یک باره با خمیر پر کرد و سطح قالب باید به سرعت از قسمت‌های اضافی خمیر پاک گردد، برای پر کردن قالب تنها دست کارگر و ماله مخصوص تهیه خمیر باید به کار رود و ماله به وزن تقریبی 213 گرم باشد. توسط ماله سطح خمیر کاملاً هم سطح قالب شده و صاف می‌گردد به طوری که روی سطح خمیر حفره‌ای به چشم نخورد. لازم است توجه شود که طی عملیات بریدن و صاف کردن، خمیر سیمان فشرده نشود.

تعیین زمان گیرش اولیه قالب خمیر را روی صفحه دستگاه زیر سوزن قرار دهید و سپس به آرامی سر سوزن را در تراز سطح خمیر قرار داده و بوسیله پیچ مربوط آنرا محکم کنید (در این حالت عقربه بایستی عدد 40 میلی متر را روی صفحه مدرج نشان دهد)، آنگاه دستگاه همراه با نمونه در داخل اتاق رطوبت قرار داده می‌شود، پس از 30 دقیقه، با بیرون آوردن نمونه از اتاق رطوبت پیچ نگهدارنده میله (B) را باز کرده تا سوزن در آن نفوذ کند. سوزن در مدت 30 ثانیه در داخل خمیر نفوذ کند و فاصله سر سوزن در فاصله 5 میلی متری کف قالب متوقف گردد. (در استاندارد ASTM سوزن باید در فاصله 15 میلی متری کف قالب متوقف گردد). بنابراین در صورت لزوم عمل نفوذ سوزن در خمیر بایستی هر 15 دقیقه تکرار گردد، در فواصل زمانی نمونه در اتاق رطوبت بایستی نگهداری گردد، در صورتیکه نتوان مستقیماً شرط آزمایش را ارضاء کرد لازم است تکرار نفوذ سوزن در خمیر سیمان در زمانهای متوالی به گونه‌ای باشد که سوزن در فاصله بیش از 5 میلی متر و کمتر از 5 میلی متر قرار گیرد نکته قابل توجه آن است که محل نفوذ سوزن در خمیر سیمان دارای حداقل فاصله‌ای با محل‌های نفوذ دیگر باشد و همچنین حداقل فاصله‌ای با لب قالب داشته باشد.

برای تعیین زمان گیرش نهایی باید به جای سوزن (C) از سوزن (F) با ضمیمه فلزی توخالی استفاده شود سیمان وقتی بطور نهایی خود را می‌گیرد که اگر سوزن (F) را در تراز خمیر سیمان روی قالب قرار داده و بوسیله باز کردن پیچ آنرا روی خمیر فرود آوریم فقط اثر کمی بر روی سیمان بگذارد در حالی که ضمیمه فلزی آن هیچ اثری بر روی سیمان نگذارد، اگر بر روی سطح فوقانی آزمودنی کف درست شده باشد باید سطح زیرین آن را برای تعیین زمان گیرش نهایی به کار برد. با توجه به اینکه زمان گیرش نهایی برای سیمانهای معمولی و زود سخت شونده حدود 10 ساعت است (مدت زمان بعد از اختلاط آب و سیمان) لذا در زمانهای متوالی بایستی آزمایش جهت تعیین زمان گیرش نهایی انجام گیرد تا شرط مذکور اثبات گردد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

6- محاسبات: چنانچه با تکرار نفوذ سوزن در خمیر سیمان، سوزن در فاصله 5 میلی متری از کف قالب متوقف شود در این صورت مدت زمان از اختلاط تا اثبات شرط آزمایش به عنوان زمان گیرش اولیه محسوب می‌شود، در غیر این صورت به وسیله رسم منحنی تغییرات «زمان نفوذ» بر حسب «فاصله سوزن از کف قالب» و بدست آوردن زمان نفوذ نظیر فاصله 5 میلی متر از روی منحنی، زمان گیرش اولیه تعیین می‌گردد. توجه شود که برای این منظور لازم است عمل نفوذ حداقل سه مرتبه در فواصل زمانی معین تکرار گردد طوریکه مقادیر فاصله سوزن از کف قالب، کمتر و بیشتر از 5 میلی متر باشد.

تذکر 1- نتایج آزمایش را در جدول (1) ثبت نمایید.

منحنی روی کاغذ میلی متری رسم شود تا زمان گیرش اولیه بطور دقیق تر بدست آید.

مرتبه آزمایش	مدت زمان سپری شده از اختلاط آب و سیمان (دقیقه)	فاصله سوزن C از کف قالب و یگات (میلی متر)
1		
2		
3		

سوالات

چنانچه زمان گیرش اولیه با استاندارد آن مطابقت نداشت علت را بیان کنید.

آزمایش شماره 3 روش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 319 و دت 116 و ASTM C 187-86

1- هدف: تعیین مقدار آب لازم جهت تهیه خمیر سیمان با غلظت نرمال

2- اهمیت و کاربرد: چون میزان آب خمیر نمی تواند اختیاری انتخاب گردد و از طرفی برای آنکه بتوان نتایج آزمایش زمان گیرش یا سلامت انواع سیمانها یا نمونه های ناشناخته سیمان را با یکدیگر مقایسه نمود از این جهت لازم است میزان روانی خمیر مورد آزمایش بوسیله ضابطه مشخصی مورد ارزیابی قرار گیرد که در صورت عدم جوابگویی با شرایط مطلوب و استاندارد که در زیر آمده، غلظت آن تغییر داده شود تا شرایط مورد نظر حاصل گردد.

همچنین برای تعیین زمانهای گیرش اولیه و نهایی و نیز آزمایش سلامت سیمان لازم است خمیر سیمانی با غلظت کنترل شده به کار برده شود.

مطابق استاندارد ایران چنانچه میله آب سنج در مدت 30 ثانیه با نفوذ در خمیر سیمان در فاصله 6 ± 1 میلی متری از کف قالب قرار گیرد. در این صورت غلظت خمیر، نرمال است، بر طبق استاندارد ASTM چنانچه میله آب سنج در مدت 30 ثانیه در فاصله 10 ± 1 میلی متر کف قالب قرار گیرد غلظت خمیر نرمال است. ضمناً مقدار آب خمیر نرمال عموماً بین 26-33 درصد وزن سیمان خشک می باشد.

3- وسایل آزمایش:

ترازو - حداقل ظرفیت 1 کیلوگرم با دقت 0/1 گرم یا کمتر

استوانه مدرج - حداقل ظرفیت 200 میلی متر

دستگاه ویکات - این دستگاه مطابق شکل زیر تشکیل شده از:

الف) پایه (D) که بر روی آن میله تحرک (B) قرار گرفته یک سر آن دارای سوزن متحرک به قطر $1/13 \pm 0/05$ میلی متر و به طول 50 میلی متر و سر دیگر این میله در طول 50 میلی متری دارای قطر $10 \pm 0/05$ میلی متر می باشد که به میله آب سنج (غوطه ور G) معروف است و جهت آزمایش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان بکار می رود. میله متحرک (B) دارای عقربه ای است که بر روی یک صفحه مدرج متصل به پایه (D) بالا و پایین می رود حرکت قائم میله (B) نسبت به پایه و حرکت قائم عقربه نسبت به میله (B) توسط پیچ جداگانه قابل کنترل می باشد، وزن کلی قسمت متحرک دستگاه ویکات در موقع استفاده همراه با سوزن C بایستی 300 ± 1 گرم باشد (سر دیگر میله بصورت میله آب سنج ساخته شده است)، وزن سوزن C باید $9 \pm 0/5$ گرم باشد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

ب) قالب ویکات از یک استوانه شکافدار با قطر داخلی 80 میلی متر و ارتفاع 40 میلی متر که بر روی صفحه غیر متخلخل قرار می‌گیرد تشکیل شده است، جدار خارجی استوانه دارای شیب دو درجه می‌باشد و بوسیله حلقه قیدی شکاف استوانه کاملاً بسته می‌شود.

4- روش آزمایش:

مقدار 500 گرم سیمان از نوع سیمان مورد نظر نمونه برداری کرده حدود 25٪ وزن سیمان آب مناسب برای اختلاط توزین نمایید.

میله آب سنج (G) را روی صفحه دستگاه قرار داده و عقربه متحرک روی صفحه مدرج دستگاه را روی عدد صفر پایین تنظیم کرده در این صورت می‌توان فاصله سر میله (G) را از صفحه دستگاه بوسیله عقربه تعیین نمود.

آب توزین شده را همراه با نمونه سیمان در یک ظرف با فضای کافی، توسط یک قاشق بهم زده و پس از اینکه آب با سیمان مخلوط شد (بطوریکه آب به صورت آزاد دیده نشود) توسط دستکش لاستیکی به خوبی مالش داده و پس از کسب روانی آن را به شکل گلوله‌ای درآورده و در فاصله تقریباً 15 سانتیمتری، 6 بار از یک دست به دست دیگر پرتاب نمایید. توجه داشته باشید زمان تهیه خمیر از لحاظ افزودن آب به سیمان تا آغاز ریختن خمیر در قالب نباید از $4 \pm 1/4$ دقیقه بیشتر شود.

پس از تهیه خمیر سیمان، آن را به آرامی وارد قالبی که در دست دیگر قرار دارد نموده بطوریکه هیچگونه فشاری به خمیر سیمان وارد نگردد، سپس قالب را از طرف دیگر به آرامی ولی با سرعت عمل بر روی صفحه کاملاً صاف قرار داده، بعد از تماس قالب با صفحه صاف قسمت اضافی خمیر را بریده و توسط ماله سطح آن را یکسان با سطح قالب نمایید. تمام این کارها باید حداکثر در مدت 30 ثانیه انجام شود.

قالب خمیردار را که بر روی صفحه صاف قرار داد در زیر میله آب سنج (G) قرار دهید و سپس به آرامی سر میله آب سنج را در تراز سطح خمیر قرار داده و بوسیله پیچ مربوطه آنرا محکم کنید (در این حالت عقربه بایستی عدد 40 میلی متر را روی صفحه مدرج نشان دهد)، با باز کردن پیچ به مدت 30 ثانیه میله (G) در خمیر نفوذ می‌کند که باید موقعیت آن را قرائت و یادداشت نمایید. هنگام آزمایش نباید هیچ لرزشی در دستگاه آزمایش ایجاد شود. اگر میله پس از آزاد شدن در مدت 30 ثانیه در فاصله 5 تا 7 میلی متری کف قالب قرار گیرد، غلظت خمیر نرمال بوده است. در غیر اینصورت برای رسیدن به چنین مخلوطی لازم است خمیرهای جدید سیمان با درصدهای مختلف آب ساخته شوند تا این شرایط اثبات گردد.

تذکر 1- ظروف و دیگر وسایل آزمایش باید کاملاً تمیز و خشک باشند و تمام آب توزین شده با سیمان مخلوط گردد.

عمل نفوذ میله در خمیر در فاصله زمانی کمی پس از وارد کردن خمیر در قالب صورت گیرد.

میله (G) تقریباً در وسط قالب به داخل خمیر سیمان نفوذ داده شود.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

درجه حرارت سیمان، آب و اطاق آزمایش در خلال تهیه خمیر و پر کردن قالب بایستی 17/7 تا 23/3 درجه سانتیگراد باشد.

5- محاسبات: چنانچه با تکرار آزمایش مقدار نفوذ میله (G) مطابق استاندارد بدست آید در این صورت میزان آب به کار رفته جهت تولید این خمیر می تواند مبنای محاسبه خمیر نرمال قرار گیرد:

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

در حالیکه:

g_c - غلظت خمیر نرمال

W_w - وزن آب در مخلوط

W_c - وزن سیمان در مخلوط

در غیر اینصورت بوسیله رسم منحنی تغییرات (غلظت خمیر) بر حسب «فاصله میله از کف قالب» مقدار نظیر فاصله 5 میلی متر بدست می آید که برابر غلظت نرمال خمیر سیمان است توجه شود که برای رسم منحنی، آزمایش بایستی حداقل سه مرتبه تکرار گردد.

تذکر 2- منحنی روی کاغذ میلی متری رسم شود تا بتوان دقیقاً غلظت نرمالی را بدست آورد.

سوالات

1- چرا باید خمیر سیمان را به مدت $4 \pm 1/4$ دقیقه مالش داد.

2- علت تفاوت در مقدار فرو رفتن میله آب سنج در خمیر نرمال در استاندارد ایران 6 ± 1 میلی متر و استاندارد ASTM آمریکا (10 ± 1) میلی متر در چیست؟

فصل 3 - بتن

بتن استخوان بندی است از مصالح سنگی دانه بندی شده با کمترین فضای خالی که دوغاب سیمان دور دانه های سنگی را اندود کرده و فضای خالی استخوان بندی سنگی را پر نموده و دانه های سنگی را به همدیگر چسبانده و به چسب یک پارچه تبدیل کرده باشد.

بتن از مخلوط کردن یک جسم چسبیده (دوغاب سیمان) و یک جسم پرکننده (شن و ماسه) و درصدی هوا ساخته می شود. مقاومت بتن به طور کلی بستگی به عوامل زیر دارد.

1- مقدار سیمان و جنس آن

2- آب و مقدار آن و یا نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$)

3- شن و ماسه از لحاظ جنس و دانه بندی و حداکثر اندازه مصالح

4- ساختن، ریختن، متراکم کردن بتن

5- نسبت مصالح سنگی به سیمان

6- عمل آوردن و عمر بتن

پنج پارامتر اولیه فوق مربوط به ساختن بتن می باشد و ممکن است آنها را تغییر داد و با مقاومت‌های مختلف بدست آورد ولی عامل ششم مربوط می شود به بعد از ریختن بتن در قالب بتن و معمولاً هر چه سن بالاتر رود مقاومت نیز افزوده می گردد.

بتن همواره باید مطابق دستور کار ساخته شود. در هنگام ساختن بتن باید پایداری بتن در برابر اثرات بیرونی (مکانیکی - جوی - شیمیایی) - مقاومت بتن - جلوگیری از زنگ زدن فولاد در بتن - دوغاب سیمان - افزودنی‌های بتن ... برابر دستور کار داده شده مخلوط گردد. بسته به میزان آب و نوع کار و کارائی بتن را سفت - خمیری یا شل می سازند.

در کارهای کوچک معمولاً بتن را با دست می سازند در موقع ساختن بتن باید قبلاً مصالح سنگی با سیمان خوب مخلوط شده باشد آنگاه آب به آن اضافه نمود و ضمناً مراقبت کرد کلیه آب محاسبه شده بکار رود و مقداری از آن ضمن مخلوط کردن به خارج نرود برای کارهای بتنی بزرگ بتن را با ماشین بتن ساز (بتونیر) می سازند. مدت حمل بتن در مواقع سرد و نمناک می تواند بیشتر از زمان گیرش اولیه باشد و در هوای گرم و خشک باید کمتر از زمان گیرش اولیه باشد. ذکر این نکته در همینجا لازم است که با استفاده از مصالح خوب هم می توان بتنی با مقاومت بسیار بالا ساخت و هم می توان بتنی با مقاومت پائین ساخت ولی هرگز با مصالح بد نمی توان بتن با مقاومت بسیار بالایی را طراحی نمود.

پس از ریختن بتن در قالب و متراکم کردن آن حفظ کردن و عمل آوردن بتن باید مد نظر قرار گیرد. بتن را باید از تابش آفتاب - وزش باد - گرمای هوا - یخ زدن - سولفات‌ها - مواد نفتی - فشارهای زودرس ... حفظ کرد تا همه دانه های سیمان بتن با آب ترکیب شود و فعل و انفعال شیمیایی هیدراتاسیون کامل گردد. در غیر اینصورت بتن می سوزد و تاب مقاومت آن کاهش می یابد حداقل دمای بتن ریزی 5 درجه سانتی

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

گرا و حداکثر 30 درجه سانتی گراد می باشد. در هوای بیشتر از 30 درجه سانتی گراد گیرش بتن سریع بوده و نیاز به اندیشیدن تدابیری خاص دارد و اگر در سرمای کمتر از 5 درجه تا صفر درجه ساخته شود.

گیرش سیمان بسیار طولانی شده و در دمای زیر صفر نباید بتن ریزی نمود. (در شرایط عادی) عمر بتن از دیگر مواردی است که در کارهای بتنی باید مد نظر قرار گیرد. معمولاً با گذشت زمان مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. بتنی که در جای نمناک بماند پس از گذشت 28 روز به 90 درصد تاب فشاری نهایی خود می رسد. البته با اندیشیدن تدابیری می توان به مقاومت 28 روزه بتن دسترسی پیدا کرد. مواقعی که قرار است بتن در زمان کم مقاومت اولیه خود را کسب کند برای عمل آوردن بتن از بخار آب استفاده می گردد دو روش عمل آوردن بتن با بخار عبارتند از

1- عمل آوردن بتن با بخار در فشار متعارف (1 اتمسفر)

2- عمل آوردن بتن با بخار تحت فشار زیاد

1- عمل آوردن بتن با بخار در فشار متعارف این روش برای سازه های بتنی در محیط های بسته یا قطعات پیش ساخته به کار می رود و با توجه به مشخصات سازه و شرایط محیط - عمل آوردن را با رعایت نکات ذیل انجام داد.

1- مرحله قبل از گرم کردن - ریختن متراکم کردن بتن و حفظ آن در هوای آزاد تا بتن سخت شود (زمان گیرش نهایی)

2- مرحله افزایش درجه حرارت - افزایش دمای محیط اطراف بتن تا رسیدن به دمای حداکثر این مرحله حداقل باید 2/5 ساعت طول بکشد (سرعت ازدیاد دما 20 درجه سانتی گراد در ساعت)

3- مرحله ثابت نگه داشتن درجه حرارت حداکثر - ثابت نگه داشتن درجه حرارت حداکثر مرحله دوم (مدت زمان این مرحله بین 3 الی 6 ساعت متفاوت است هر چه دما بالاتر باشد زمان کوتاhter و هر چه دما پایین باشد زمان بلندتر می گردد).

4- مرحله سرد کردن - کاهش تدریجی دما از دمای حداکثر به دمای مورد نظر در مدت حداقل 2 ساعت (کاهش دما در این مرحله 20 درجه سانتی گراد در ساعت باشد)

2- عمل آوردن بتن تحت فشار زیاد (عمل آوردن بتن با اتوکلاو)

برای عمل آوردن سریع بتن و دست یابی به مقاومت های مورد نظر و قالب برداری سریع استفاده از این روش توصیه می شود در این روش دما و بخار آب و فشار همراه با هم به عضو بتنی که درون اتوکلاو قرار گرفته است تزریق می شود. این فشار موجب می شود که گرما با سرعت بیشتری در عمق بتن نفوذ کند و گیرش سریع شود به دلیل اینکه فشار بخار در این حالت نسبت به فشار جو بیشتر است.

1- مقاومت بتن سریعاً افزایش می یابد.

2- مقاومت بتن در برابر عوامل جوی و حمله مواد شیمیایی بیشتر می شود.

3- جمع شرگی بتن کاهش می یابد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

روش عمل آوری توسط اتوکلاو به شرح زیر می باشد.

- 1- گیرش اولیه بتن در شرایط معمول تا زمان گیرش نهایی.
 - 2- قرار دادن قطعات در اتوکلاو و افزایش دما و افزایش فشار تا 180 درجه سانتی گراد به صورت تدریجی در یک دوره حداقل 3 ساعته (سرعت ازدیاد دما در هر ساعت 40 درجه سانتی گراد)
 - 3- نگه داری عضو مورد نظر در شرایط فوق به مدت 5 الی 12 ساعت
 - 4- کاهش فشار و حرارت و خنک کردن سریع عضو
- امروزه در سراسر جهان بتن به عنوان یکی از پرمصرف ترین مصالح ساختمانی شناخته شده است. برخی از این دلایل عبارتند از:

- 1- عمر بسیار طولانی ساختمانهای بتنی 2- مقاومت در مقابل آتش سوزی 3- فراوانی و در دسترس بودن مصالح 4- فرم پذیری 5- مقاومت فشاری بالا.
- در مقابل این مزایا سازه های بتنی دارای معایبی هستند. مانند 1- سنگین بودن این سازه ها 2- قدرت انتقال صوت و قدرت انتقال حرارت 3- نیاز به نظارت گسترده در مراحل مختلف مانند تهیه مصالح - اختلاط - نگهداری دارد.

بتن از نظر وزن مخصوص به دسته های زیر تقسیم می گردد.

- 1- بتن سبک با وزن مخصوص 350 الی 1500 کیلوگرم بر متر مکعب که در ساخت آن از مصالح سبک نظیر سنگ آتش فشانی متخلخل استفاده می گردد.
 - 2- بتن معمولی با وزن مخصوص 2100 الی 2600 کیلوگرم بر متر مکعب برای ساختمانهای معمولی - پلها - دالهای بتنی - تیر - ستون - پی ها استفاده می گردد.
 - 3- بتن سنگین این نوع بتن با وزن مخصوص 3000 الی 4000 کیلوگرم بر متر مکعب برای حفاظت در برابر تشعشعات گاما و ایکس در راکتورهای هسته های و پناهگاهها و نیروگاههای اتمی ... استفاده می شود.
- در تمام بتنهای ذکر شده نسبت آب به سیمان بیشترین تاثیر را بر مقاومت بتن دارد هر چه نسبت $\frac{W}{C}$ پائین تر باشد مقاومت فشاری بتن بیشتر می شود (به شرطی که حداقل آب هیدرتاسیون را ارضا کند)

شکل ظاهری و اندازه سنگدانه ها

استفاده از مصالح سنگی با اندازه بزرگ ممکن است موجب کاهش مقاومت بتن شود علت این امر ممکن است به دلیل کاهش کم سطح تماس این سنگدانه ها با خمیر سیمان باشد از طرف دیگر استفاده از مصالح سنگی درشت موجب می شود که برای دست یابی به کارایی مطلوب از آب کمتری استفاده شود در نتیجه مقاومت بتن بیشتر می شود. مصالح سنگی بزرگ در بتن های پر سیمان نسبت به بتن های کم سیمان اثر منفی بیشتری بر روی مقاومت آنها می گذارد و هر چه مقدار دانه های ریز بیشتر باشد به همان نسبت باید از سیمان بیشتری استفاده نمود.

دانه های ریز در مواد ترکیبی بتن به دانه های سیمان خوار معروفند.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

شکل و بافت سطحی دانه های سنگی تاثیر عمده ای بر میزان آب مورد لزوم یک مخلوط بتن دارد هر چه در بتن از مصالح تیز گوشه بیشتر استفاده شود روانی بتن کاهش می یابد ولی از طرف دیگر بافت ریزتر و خشن تر دانه های سنگی چسبندگی و پیوستگی بین آنها و خمیر سیمان را بیشتر می کند. شکل دانه ها در میزان کارایی موثر است و حال آنکه بافت سطحی در چسبندگی دانه ها و دوغاب سیمان و در نتیجه مقاومت بتن اثر دارد.

تراکم بتن از موارد دیگری است که بر روی مقاومت بتن اثر می گذارد خارج کردن هوای درون بتن و نزدیک تر کردن ذرات جامد به یکدیگر را تراکم می گویند متراکم کردن بتن باعث افزایش مقاومت بتن و به علاوه در برابر عوامل مخرب محیطی نیز مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد هر چه اسلامپ بتن کمتر باشد درصد هوای محبوس شده بیشتر می باشد و نیاز به ویبره شدیدتر می باشد و زمان ویبره طولانی تر می گردد.

معایب وجود حبابهای هوا در بتن

به ازای هر یک درصد هوای محبوس شده در بتن حدود 5 الی 6 درصد مقاومت بتن کاسته می گردد. وجود حبابهای هوا موجب می شود که نفوذپذیری بتن بیشتر شده و همچنین دوام بتن و قدرت دفاعی بتن در برابر تهاجم مایعات کاهش یابد.

حباب های هوا موجب می گردد سطح تماس بین بتن و آرماتورها کاهش یابد و پیوستگی مورد نیاز میان آنها برقرار نشود که در این صورت مقاومت بتن آرمه کاهش می یابد. (این مسئله در مورد بتنهای بدون حباب هوا صادق است و در مورد بتنهای با حباب هوا صادق نمی باشد).

ویبره زیاد بتن (برای خروج حبابهای هوا) موجب می شود که سنگدانه های درشت به پائین حرکت کنند و دوغاب سیمان و ریزدانه ها به طرف بالا بروند.

مقدار هوای محبوس شده در بتن متناسب با کارایی آن است (هر چه کارایی بتن بیشتر باشد نیاز به ویبره کمتر و هر چه کارایی بتن کمتر باشد نیاز به ویبره بیشتری دارد).

بتن ویبره شده تقریباً حالت مایعی به خود گرفته و باعث می شود اصطکاک داخلی ذرات سنگی کاهش یافته و در نتیجه درصد تراکم افزایش یافته و بتن توپری بدست آید و مقاومت آن نیز افزایش یابد در عمل زمانی تراکم حاصل می شود (پایان عملیات ویبره) که حبابهای هوا در سطح بتن مشاهده شود. هوای بین دانه های درشت و ریز سنگدانه ها به سطح بتن می آید و به صورت کفهای ریز روی بتن را می گیرد و اصطلاحاً آنرا شیره بتن گویند.

آب انداختن بتن در واقع نوعی جداسدگی در بتن است به این معنی که لایه ای نازک از آب آغشته به سیمان روی بتن جمع می شود (جداسدگی قسمتی از آب مخلوط) در حقیقت آب انداختن بتن در اثر عدم توانایی مواد جامد مخلوط در نگهداری کل آب موجود (در هنگام ته نشست شدن) صورت می گیرد بدین گونه که سنگ دانه های درشت در اثر وزن خود و همچنین مساعد بودن شرایط دیگر مانند اسلامپ - طرح اختلاط

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

– ویریه ته نشین شده (آب نسبت به دیگر اجزاء مخلوط وزن مخصوص کمتری دارند) در نتیجه نمی توانند آب اطراف خود را حفظ کنند. زمانی که خمیر سیمان به اندازه کافی سخت شود و مرحله ته نشین شده خاتمه یابد آب انداختن بتن متوقف می شود در اثر آب انداختن بتن قسمت بالای بتن پر آب شده (مقدار آب موجود از آبی که در طراحی در نظر گرفته شده بیشتر شده و به عکس در قسمت پائینی بتن مقدار آب کمتر می شود) و با ریختن لایه بعدی بتن روی آن و بر جای ماندن این آب اضافی لایه ای بسیار ضعیف از بتن بین این دو لایه به وجود می آید.

آبی که در سطح نهایی بتن جمع شده هنگام پرداخت سطح بتن (لایه فشاری بتن در اکثر موارد) لایه سطحی ضعیفی به وجود می آورد از طرف دیگر در هوای گرم اگر سرعت تبخیر آب سطحی بتن بیش از سرعت آب انداختن آب باشد ممکن است ترکهای جمع شدگی خمیری ایجاد شود علاوه بر جمع شدن آب در سطح بتن و تبخیر شدید آن مقداری از آب در بتن در اثر گرما به صورت بخار به طرف بالا صعود می کند که در زیر ذرات سنگ درشت و یا در زیر میلگردها محبوس شده و در این صورت ناحیه ای با چسبندگی بسیار ضعیف به وجود می آید. هر چه سیمانهای به کار رفته در بتن ریز دانه تر باشد (مراجعه کنید به فصل 1) آب انداختن بتن کاهش می یابد این امر به دلیل این است که ذرات ریزتر سیمان زودتر هیدراته شده و دیرتر ته نشین می شوند مصرف سیمان با خاصیت قلیایی زیاد یا سیمانی که دارای C3A زیاد باشد یا موقعی که کلرور کلسیم به مخلوط اضافه شود موجب می گردد که آب انداختگی کاهش یابد.

احتمال آب انداختن در مخلوط های پر عیار سیمان نسبت به مخلوط های کم عیار سیمان کمتر است اضافه کردن مواد پوزولانی یا مواد ریز دیگر یا پودر آلومینیوم به مخلوط بتن این خطر را کاهش می دهد (به منظور ایجاد حباب هوا) ایجاد حباب هوا و اضافه کردن مواد حباب زا در بتن خطر آب انداختن را کاهش می دهد.

اضافه نمودن کمی نمک طعام به بتن می تواند آب انداختن آن را کاهش دهد.

استفاده از بتن با اسلامپ پائین خطر آب انداختن را کاهش می دهد.

جمع شدگی و خزش – خزش بتن (وارفتگی بتن) به افزایش تدریجی تغییر شکل یک ماده که تحت اثر بار ثابت قرار دارد خزش یا وارفتگی می گویند. عوامل موثر بر خزش عبارتند از:

1- جنس و مقدار مصالح سنگی، هر چه در بتن نسبت مصالح سنگی به سیمان بیشتر باشد و سنگدانه ها سخت تر باشد مقدار خزش کمتر خواهد شد.

2- سن بتن در موقع بارگذاری، تاخیر در بارگذاری موجب کاهش خزش بتن می شود.

3- مقاومت فشاری بتن، خزش با مقاومت فشاری بتن رابطه معکوس دارد بنابر با نسبت آب به سیمان ارتباط مستقیم دارد.

4- رطوبت و دمای محیط، هر چه رطوبت نسبی هوا کمتر باشد مقدار خزش بیشتر می شود.

5- شدت تنش وارده بر بتن، هر چه تنش وارده کمتر باشد مقدار خزش کمتر است.

روشهای کاهش مقدار خزش

1- کم کردن عواملی که موجب تشدید خزش می گردد.

2- استفاده نمودن از حداکثر مقدار مجاز میلگرد (حداکثر آرماتور).

افت (انقباض)

تغییرات حجم بتن را که از زمان آغاز گیرش بتن شروع و در طول مدت سخت شدن ادامه پیدا می کند افت یا انقباض گویند. در واقع افت بتن کاهش حجمی است که در طول زمان ایجاد می شود. از دست رفتن آب بتن به سبب خشک شدن و تغییرات ناشی از کربناسیون در حجم بتن دو دلیل عمده افت بتن است. در شرایط معمولی افت بتن بین 0002/ تا 0008/ حجم است که 15 تا 35 درصد آن در دو هفته اول و 40 تا 80 درصد آن در سه ماهه اول و 65 الی 90 درصد آن در یک سال اول عمر بتن روی می دهد.

عوامل موثر در افت بتن

1- مقدار آب در بتن (نسبت $\frac{W}{C}$)، نسبت آب به سیمان با مقدار افت بتن رابطه مستقیم دارد.

2- رطوبت، محیط خشک موجب می شود که بتن به سرعت آب خود را از دست دهد و در این محیط افت بتن بیشتر است.

3- درصد دانه های سنگی، هر چه درصد دانه های سنگی در بتن بیشتر باشد افت بتن کمتر خواهد بود.

4- نوع سنگدانه ها، هر چه در بتن از مصالح سنگی مرغوب تری استفاده شود افت بتن کمتر است.

5- عمر بتن، بیشترین مقدار افت بتن (90%) در یک سال اول روی می دهد.

در قطعات بتن مسلح آرماتورها از جمع شدن قطعه بتنی جلوگیری می کند و نتیجه این عمل به وجود آوردن نیروهای فشاری در فولاد است.

آزمایش شماره 1 طرح اختلاط بتن بر اساس استاندارد BS882 و استاندارد ACI-318-83

1- هدف: تعیین اقتصادی ترین و مطمئن ترین مخلوط بتنی که ویژگیهای مانند کارایی و مقاومت و دوام را ... در هر شرایطی برآورده کند.

2- اهمیت و کاربرد: طرح اختلاط را می توان به این صورت تعویف نمود. روند انتخاب اجزاء مناسب برای بتن (تعیین شن - ماسه - سیمان - آب) و تعیین مقادیر نسبی آنها به منظور تولید بتنی اقتصادی که دارای خصوصیات مشخصی مانند کارایی - دوام - مقاومت باشد.

اساسا مسئله طرح مخلوط بتن شامل انتخاب مقادیر مناسب سیمان - دانه های ریز و درشت مصالح سنگی و آب است که برای ساختن بتنی با خواص معین به کار می رود و پاره ای از مواقع ماده پنجمی به عنوان مواد افزودنی نیز استفاده می شود. خواص زیادی برای بتن وجود دارد که می توان جزء مشخصه های بتن به حساب آیند نظیر کارایی - مقاومت - وزن مخصوص - خواص حرارتی - مدول الاستیسیته و دوام مورد نظر. از این میان خواص مهم عبارتند از:

1- کارایی بتن تازه 2- مقاومت فشاری در سن معین 3- دوام بتن با مشخص کردن حداقل سیمان مصرفی یا حداکثر آب به سیمان $\frac{W}{C}$

میزان کارایی بتن را با آزمایش اسلامپ به راحتی می توان مشخص نمود.

مقاومت فشاری بتن را با آزمایش می توان مشخص کرد. باید به این نکته توجه کرد که طرح مخلوط بتن باید طوری باشد که بتواند مقاومت متوسط بالاتری از مقاومت مورد نظر بدهد که آنرا مقاومت مشخصه می نامند اختلاف مابین مقاومت مشخصه و مقاومت متوسط هدف در حقیقت حاشیه مقاومت نام دارد.

آب آزاد یا نسبت $\frac{W}{C}$ ، آب آزاد مجموع آبی است که برای مرطوب کردن سطح سنگدانه ها

بعلاوه آب برای انجام هیدراتاسیون و همچنین آب لازم برای کارایی و روانی بتن به کار می رود.

شکل و بافت سطحی دانه ها از دیگر عوامل موثر در طرح اختلاط بتن می باشد شکل دانه ها (شکسته یا نشکسته بودن) در میزان کارایی بتن موثر خواهد بود و حال آنکه بافت سطحی در چسبندگی دانه ها و دوغاب سیمان و در نتیجه در مقاومت بتن اثر دارد عموما دانه های سنگی شکسته با سطح زبر کارایی پائین تر و مقاومت بالاتری در بتن نسبت به دانه های غیر شکسته به وجود می آورند. از دیگر عوامل موثر در طرح اختلاط بتن دانه بندی مصالح سنگی است (اندازه بزرگترین دانه سنگی) از دیگر عوامل وزن مخصوص بتن تازه است که این وزن مخصوص در مرحله اول به وزن مخصوص سنگدانه ها و بعد به میزان آب و تراکم بتن بستگی دارد.

لازم به توضیح است که طرح به مبنای دقیق آن امکان پذیر نمی باشد زیرا مصالح مورد استفاده از جنبه های مختلف متغیر می باشد و بعضی از خصوصیات آنها را می توان به صورت کمی ارزیابی نمود. لذا

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

همواره باید رضایتبخش بودن نسبتهای بدست آمده را با ساختن مخلوط های آزمایشی را کنترل نمود و در صورت لزوم تغییرات مناسبی در نسبتهای اجزا اعمال نمود تا به یک مخلوط رضایتبخش برسیم.

انتخاب مقادیر مناسب اجزاء بتن (سیمان، آب، سنگدانه ها) که برای ساخت بتن با ویژگی های معین بکار می روند از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا ویژگی های زیادی برای بتن وجود دارد که می تواند جزء مشخصه بتن به شمار آیند. نظیر کارایی، مقاومت، وزن مخصوص، خواص حرارتی، مدول الاستیسیته و دوام مورد نظر که با مشخص کردن حداقل مقدار سیمان مصرفی یا حداکثر میزان نسبت آب به سیمان در مخلوط و بعضی اوقات با محدود کردن نوع مصالح مصرفی کنترل می گردد.

اساسی ترین روش جهت طرح مخلوط باید مبتنی بر حجم های مطلق مصالح گوناگون در مخلوط بتن باشد، که بر پایه تهیه واحد حجم یک بتن متراکم، وزن مواد در مخلوط محاسبه شود. برای استفاده از این روش باید وزن مخصوص مصالح مصرفی را دانست. از آنجائیکه کیفیت بتن به مقدار نسبت آب به سیمان بستگی دارد و برای کاهش مقدار سیمان مورد نظر، مقدار آب در حداقل نگهداشته شود. لذا گامهایی برای حداقل رساندن مقادیر مورد لزوم سیمان و آب باید برداشته شوند که شامل:

1- استفاده از سفت ترین مخلوط ممکن.

2- بیشترین استفاده از بزرگترین اندازه دانه ها.

3- استفاده از بهترین نسبت دانه های ریز به درشت.

روشهای مختلفی توسط آئین نامه های مختلف برای تعیین مقادیر وزنی آب و سیمان و شن و ماسه (طرح اختلاط) پیشنهاد شده است که در این مرحله روش ACI و در مرحله بعد روش BS ارائه می گردد.

3- علائم اختصاری بکار رفته در طرح اختلاط بر اساس ACI

ρ - وزن واحد حجم بتن تازه kg/m^3

γ_f - وزن مخصوص ظاهری ماسه kg/m^3

γ_c - وزن مخصوص ظاهری شن kg/m^3

γ - وزن مخصوص سیمان kg/m^3

C - مقدار سیمان kg/m^3

Vsh - حجم فضایی شن m^3

Sh - مقدار شن kg

M - مقدار ماسه kg

W - مقدار آب kg/m^3

O - درصد هوا

N - ضریب نرمی ماسه

S - اسلامپ mm

D - قطر بزرگترین دانه mm

γ_s - وزن واحد شن در حالت غیر متراکم $\frac{kg}{m^3}$

$f'c$ - مقدار مقاومت فشاری نمونه 28 روزه استوانه ای که مهندس محاسب بر مبنای آن محاسبات را انجام

می دهد. $\frac{kg}{m^3}$

$f'cm$ - مقاومت فشاری لازم که مخلوط بتن بر مبنای آن طراحی می شود. همیشه از $f'c$ بزرگتر است.

k.s - حاشیه مقاومت

رده بندی بتن بر اساس مقاومت فشاری و موارد کاربرد آنها

در آئین نامه بتن ایران (آبا) رده بندی بتن بر اساس مقاومت مشخصه به ترتیب زیر است.

C50-C45-C40-C35-C30-C25-C20-C16-C12-C10-C8-C6

اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب N/mm^2 است. بتنهای رده C16 تا C30 در

ساختمانهای بتن مسلح معمولی استفاده می شود و در ساختمانهای بتن پیش تنیده رده های C25 تا C50

بیشتر معمول هستند. در حالات خیلی مخصوص مثلاً ستونهای طبقات پائین ساختمانهای مرتفع از بتنهایی

با مقاومت مشخصه C60 (60 مگاپاسگال) ($60 N/mm^2$) ($600 kg/cm^2$) استفاده می شود.

استفاده از بتن رده C12 در بتن آرمه تنها با داشتن توجیه کافی و رعایت شرایط لازم مجاز است.

4- روش محاسبه: تعیین مقاومت مشخصه

سازهای بتنی بر مبنای فرضیات مشخصی از خصوصیات بتن مانند مقاومت فشاری طرح می گردند اما

همواره مقاومت بتن ساخته شده در کارگاه با مقاومت بتن ساخته شده در آزمایشگاه متفاوت می باشد

(همواره مقاومت فشاری آزمایشگاهی باید بالاتر باشد).

تغییرات در اجزاء بتن - تغییرات در روش ساخت - تغییرات در شرایط نگهداری - تغییرات در روند نمونه

گیری - روش آزمایش از دلایل تفاوت مقاومت می باشد. بنابراین هنگام طرح یک مخلوط بتن باید مقاومت

متوسطی بالاتر از مقاومت لازم از نظر سازه ای در نظر بگیریم.

$$f'cm = f'c + k.s$$

مقدار $f'cm$ به دو طریقه بدست می آید.

1- هنگامی که نتایج ثبت شده مناسبی از آزمایشات در دسترس نباشد مقاومت متوسط لازم باید به اندازه

ای که متناسب با مقاومت فشاری نمونه 28 روزه استوانه ای می باشد از آن تجاوز کند مطابق جدول زیر.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

مقاومت فشاری متوسط لازم N/mm^2	مقاومت فشاری بتن (رده بتن) ACI-211-1-81
$f'_{cm} = f'_{c} + 6.0$	C12 و پائین تر
$f'_{cm} = f'_{c} + 7.5$	C16
$f'_{cm} = f'_{c} + 8.5$	C20
$f'_{cm} = f'_{c} + 9.5$	C25
$f'_{cm} = f'_{c} + 10.5$	C30 تا C35
$f'_{cm} = f'_{c} + 11.0$	C40 و بالاتر

برای مقاومتهای بین مقادیر داده شده از درون یا بی خطی استفاده می گردد.

2- هر گاه در یک کارگاه ساخت بتن پرونده ای از آزمایشات متوالی مقاومت (هر آزمایش عبارت است از متوسط مقاومت فشاری دو نمونه استوانه ای) برای مصالح و شرایط مورد نظر موجود باشد. خطای استاندارد (S) از رابطه زیر بدست می آید.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X)^2}{n-1}}$$

S انحراف استاندارد بر حسب N/mm^2

X نتیجه آزمایش بر حسب N/mm^2

\bar{X} متوسط نتایج آزمایش بر حسب N/mm^2

n تعداد نتایج آزمایش

با توجه به تعداد نتایج آزمایش (15 الی 29 آزمایش) متوالی باید مقدار S (انحراف استاندارد) را در ضرائب زیر ضرب نمود.

ضریب اصلاح	تعداد آزمایش
1/16	15
1/08	20
1/03	25
1/00	30 یا بیشتر

برای تعداد آزمایشات بین مقادیر داده شده از درون یا بی خطی استفاده می شود.

مقاومت فشاری متوسط لازم که به عنوان مبنای تعیین نسبتهای اختلاط بتن به کار می رود با توجه به بزرگترین دو مقدار زیر بدست می آید.

$$f'_{cm} = f'_{c} + (1.34S + 1.5)$$

$$f'_{cm} = f'_{c} + (2.33S - 4)$$

تعیین نسبت آب به سیمان

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

الف- چنانچه بتن در معرض مواد سولفاته و شرایط ویژه نباشد مقاومت فشاری بتن تنها عامل تعیین کننده نسبت وزنی آب به سیمان می باشد. بنابراین مقدار نسبت وزنی آب به سیمان کوچکترین مقدار بدست آمده از جدول 1-A و 1-B می باشد. نسبت آب به سیمان مهمترین عامل در مقاومت مخلوط بتن می باشد.

نسبت آب به سیمان		مقاومت فشاری مقرر $f'c$ ACI-318-83
بتن هوادار	بتن معمولی	
0/54	0/67	160
0/46	0/58	200
0/40	0/51	240
0/35	0/44	280
+	0/38	320
+	+	360

جدول 1-A

نسبت آب به سیمان		مقاومت فشاری مشخصه $f'cm$ (ACI-211.1-81)
بتن هوادار	بتن معمولی	
0/71	0/8	15
0/61	0/7	20
0/53	0/62	25
0/46	0/55	30
0/4	0/48	35
+	0/43	40
+	0/38	45

جدول 1-B

+ در این موارد نسبتهای اختلاط بتن باید بر اساس نمونه آزمایشی بدست آید.
ب) حداکثر نسبت آب به سیمان در بتنی که احتمال دارد در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب قرار گیرد و نیز در بتن آب بند طبق جدول (2) باشد. مقدار کل حبابهای هوا در اینگونه موارد نظیر شرایط محیطی شدید خواهد بود.

جدول 2- حداکثر مقدار مجاز آب به سیمان در بتن در شرایط محیطی ویژه

شرایط محیطی	حداکثر نسبت آب به سیمان $(\frac{W}{C})$
بتن آب بند:	

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

0/5	الف- بتن در معرض آب شیرین
0/45	ب- بتن در معرض آب شور یا آب دریا
	بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب:
0/45	الف- جداول، جوی های آب، مقاطع نازک
0/5	ب- سایر قطعات
0/045	پ- در حضور مواد شیمیایی یخ زا
0/4*	برای حفاظت در برابر خوردگی در سازه های بتن آرمه ای که در معرض آب شور یا آب دریا قرار دارند.

* در صورت افزایش پوشش بتن به اندازه 10mm، می توان نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) را به 0/45 افزایش داد.

تذکر 1- برای بتن های در معرض شرایط ویژه محیطی و مقاومت فشاری بالا، نسبت مطلق آب به سیمان مینیمم مقدار بدست آمده از جدول 1 و 2 می باشد.

تعیین مقدار آب مصرفی در بتن

پس از تعیین نسبت وزنی آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) بر حسب نوع بتن (معمولی یا هوادار) و مقدار اسلامپ مورد نیاز برای کارپذیری، مقدار آب آزاد مصرفی در بتن از جدول (3) با توجه به بزرگترین اندازه دانه های سنگی به دست می آید. جدول (3) بر این پایه قرار دارد که برای یک اندازه حداکثر دانه سنگی مشخص، قابلیت کارپذیری بتن توسط مقدار آب تعیین می شود و مستقل از سایر مواد موجود در مخلوط بتن می باشد.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

جدول (3) مقدار آب آزاد مورد نیاز بتن $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ برای اسلامپهای مختلف و حداکثر اندازه دانه های سنگی

بزرگترین اندازه دانه سنگی [mm]								اسلامپ
150	70	50	40	25	20	12.5	10	[mm]
بتن معمولی								
125	145	155	160	180	185	200	205	30 تا 50
140	160	170	175	195	200	215	225	80 تا 100
--	170	180	185	205	210	230	240	150 تا 180
0.2	0.3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	درصد تقریبی هوا
بتن هوادار								
120	135	140	145	160	165	175	180	30 تا 50
135	150	155	160	175	180	190	200	80 تا 100
--	160	165	170	185	190	205	215	150 تا 180
3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	درصد هوای پیشنهادی

توجه: مقادیر اسلامپ برای بتنهای با دانه های سنگی بزرگتر از 40mm بر مبنای آزمایش اسلامپ بعد از جدا کردن دانه های بزرگتر از 40mm بوسیله الک می باشد.

تعیین مقدار سیمان بتن

برای تعیین مقدار سیمان می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\frac{W}{C} = (2) \text{ یا } (1) \text{ از جدول (1) یا (2)} \quad (16-1)$$

و از آنجائیکه مقدار آب مصرفی از جدول (3) تعیین گردیده، لذا

$$C = \frac{W}{\left[\frac{g}{n^3}\right]} \quad (16-2)$$

مقدار نسبت آب به سیمان

تعیین مقدار شن

برای تعیین مقدار شن، نیاز به تعیین حجم فضایی شن برای واحد حجم مخلوط بتن بر حسب بزرگترین اندازه شن (D) و ضریب نرمی (N) از جدول (4) می باشد.

جدول (4) حجم فضایی شن اشباع با سطح خشک V_{sh} برای حجم مخلوط بتن $[m^3]$

ضریب نرمی ماسه				بزرگترین اندازه [mm]D
3/00	2/8	2/6	2/4	
0/44	0/46	0/48	0/5	10
0/53	0/55	0/57	0/59	12/5
0/60	0/67	0/64	0/66	20
0/65	0/67	0/69	0/71	25
0/69	0/71	0/73	0/75	40
0/72	0/74	0/76	0/78	50
0/76	0/78	0/80	0/82	70
0/81	0/83	0/85	0/87	150

سپس از رابطه زیر مقدار شن اشباع با سطح خشک را می توان بدست آورد.

$$Sh = V_{sh} \cdot \gamma_s \quad [Kg] \quad (16-3)$$

تعیین مقدار ماسه:

با داشتن مقادیر آب، سیمان و شن، می توان حجم آنها را بدست آورد.

$$\text{حجم آب} = \frac{W}{1000kg} [m^3] \quad (16-4)$$

$$\text{حجم سیمان} = C / \gamma [m^3] \quad (16-5)$$

$$\text{حجم شن} = Sh / \gamma_c [m^3] \quad (16-6)$$

$$[m^3] \text{ (حجم هوا + حجم شن + حجم سیمان + حجم آب)} = 1 - \text{حجم ماسه} \quad (16-7)$$

$$M = \text{حجم ماسه} \times \gamma_f [kg] \quad (16-8)$$

تذکر 2: برای وضعیت مشخص رطوبتی مصالح مصرفی (شن و ماسه) لازم است در صورت نیاز مقدار آب آزاد و یا وزن شن و ماسه خشک اصلاح گردد تا وزن مصالح مصرفی برای ساخت یک متر مکعب بتن تعیین گردد.

$$\left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ تعیین وزن واحد حجم تازه بتن}$$

میزان وزن واحد حجم بتن را می توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$(16-9) \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ وزن شن مصرفی} + \text{وزن ماسه مصرفی} + \text{وزن سیمان مصرفی} + \text{وزن آب مصرفی} = \text{وزن}$$

یک متر مکعب بتن تازه

3- علائم اختصاری به کار رفته در طرح اختلاط به روش BS-882-86

ρ وزن واحد حجم بتن تازه kg/m^3

f_f وزن مخصوص ظاهری ماسه kg/m^3

γ_c وزن مخصوص ظاهری شن kg/m^3

C وزن سیمان در یک متر مکعب (عیار سیمان) kg/m^3

Sn وزن شن در یک متر مکعب kg/m^3

M وزن ماسه در یک متر مکعب kg/m^3

W وزن آب در یک متر مکعب kg/m^3

S اسلامپ بتن mm

D قطر بزرگترین دانه شن mm

f'_c وزن مقاومت فشاری نمونه 28 روزه استوانه ای N/mm^2

f'_{cm} مقاومت فشاری مشخصه که مخلوط بتن بر اساس آن طراحی می گردد. N/mm^2

K.S حاشیه مقاومت

N تعداد نمونه آزمایشی

نکته قابل ذکر اینکه در روش BS دانه های سنگی شن با قطرهای 10 و 20 و 40 میلی متر در بتن به کار می رود و دانه های سنگی ماسه بر طبق درصد رد شده از الک شماره 30 در سیستم ASTM یا 600 میکرونی (25 در سیستم BS) به چهار نوع بر طبق گراف زیر تقسیم بندی می شوند.

4- روش محاسبه: تعیین مقاومت مشخصه

بعلت تغییرات حاصل در درصد مواد اولیه و نوع مواد اولیه بتن لازم است مخلوط بتن طوری طرح شود که مقاومت متوسطی بزرگتر از مقاومت مشخصه ایجاد کند.

$$f'_{cm} = f'_c + k.s$$

S = انحراف از معیار

k = ضریب ثابت

مقدار K با استفاده از منحنی توزیع نرمال بر اساس سطح های مختلف مقاومت های پائین تر از مقاومت مشخصه بصورت زیر انتخاب می شود.

K برای 17 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=1$ خطر ریسک 1 در 6 - 16/7%

برای 10 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=1/48$ خطر ریسک 1 در 10 - 10%

برای 5 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=1/64$ خطر ریسک 1 در 20 - 5%

برای 2/5 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=1/96$ خطر ریسک 1 در 40 - 2/5%

برای 1 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=2/33$ خطر ریسک 1 در 100 - 1%

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

برای 0/15 درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه $k=3$ خطر ریسک 1 در 700 - 14% مقدار S انحراف معیار به کار رفته جهت محاسبه حاشیه مقاومت بایستی بر اساس نتایج مقاومت برای یک سیستم بتن سازی و مصالح و نظارت خاص خود محاسبه گردد. انحراف معیار محاسبه شده برای n نمونه تنها تخمینی از انحراف معیار واقعی همه نتایج است با بزرگتر شدن n (تعداد نمونه های آزمایشی) خطا در محاسبه انحراف از معیار کاهش می یابد طبق آئین نامه BS حداقل 20 نمونه را بر طبق شکل 1 بدست آورد. در صورت کمتر بودن از 20 نمونه آزمایشی از منحنی مربوطه در شکل 1 استفاده می گردد.

گام 2- تعیین نسبت آب به سیمان

با استفاده از جدول (1) مقاومت بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان 0/5 در سن مشخص و برای انواع سیمان و شن و ماسه مصرفی بدست می آید.

نوع سیمان	نوع شن	مقاومت فشاری N/mm ²			
		روزه 3	روزه 7	روزه 28	روزه 91
سیمان معمولی یا سیمان ضد سولفات	نشکسته	22	30	42	49
	شکسته	27	36	49	56
سیمان زودگیر	نشکسته	29	37	48	54
	شکسته	34	43	55	61

جدول (1) مقاومت فشاری تقریب N/mm² بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان 0/5 ($\frac{W}{C}=0/5$) در مرحله دوم گام 2 مقدار مقاومت بدست آمده از جدول 1 را بر روی شکل 2 منتقل می کنیم و از نقطه بدست آمده یک منحنی به موازات منحنی های موجود در شکل رسم می گردد سپس محل برخورد منحنی فوق با خط افقی رسم شده از مقاومت متوسط هدف تعیین می شود حال مقدار نظیر آب به سیمان برای این نقطه در روی محور افقی قرائت می گردد. این مقدار آب به سیمان باید با میزان حداکثر مقدار آب به سیمان مشخص شده مقایسه گردد و مقدار کوچکتر به عنوان نسبت آب به سیمان مخلوط انتخاب گردد.

گام 3- تعیین مقدار آب آزاد مخلوط

در این مرحله مقدار آب لازم برای ساخت بتن با سنگدانه های حالت s.s.d از جدول 2 بر اساس نوع و حداکثر قطر دانه های سنگی برای ساختن بتنی با اسلامپ خواسته شده به آسانی بدست می آید.

اسلامپ		0-10	10-30	30-60	60-180
حداکثر قطر دانه	نوع دانه				
10	نشکسته	150	180	205	225
	شکسته	180	205	230	250
20	نشکسته	130	160	180	195

	شکسته	170	190	210	225
40	نشکسته	115	140	160	175
	شکسته	155	175	190	205

گام 4- تعیین مقدار سیمان

مقدار سیمان مورد نیاز برای طرح اختلاط از فرمول زیر بدست می آید.

$$\text{مقدار سیمان (c)} = \frac{\text{میزان آب آزاد (W)}}{\text{نسبت آب آزاد به سیمان}}$$

مقدار محاسبه شده سیمان در این قسمت می باید با حداقل یا حداکثر سیمان مشخص شده در طرح (یا آئین نامه) کنترل گردد.

حالت اول اگر مقدار سیمان محاسبه شده (از فرمول بالا) کمتر از سیمان مشخص شده در طرح باشد در این حالت باید مقدار حداقل به جای سیمان محاسبه شده در نظر گرفته می شود در این حالت یا نسبت آب سیمان در مخلوط که در گام 2 (شکل 2) بدست آمده کمتر می شود و در نتیجه بتنی با مقاومت متوسط بالاتر نسبت به مقاومت هدف بدست می آید و راه حل دیگر اینکه مقدار آب آزاد محاسبه شده از جدول (2) را افزایش داد و با توجه به ثابت بودن نسبت $\frac{W}{C}$ مقدار سیمان افزایش و به مقدار حداقل طرح برسد در نتیجه بتنی با کارایی بزرگتری از مقدار خواسته شده در طرح بدست می آید.

حالت دوم مقدار سیمان محاسبه شده بیشتر از حداکثر مقدار سیمان مشخص شده باشد. در این حالت مقدار حداکثر سیمان به جای سیمان محاسبه شده در نظر گرفته می شود در صورت این انتخاب یا نسبت آب سیمان در مخلوط که در (شکل 2) بدست آمده بیشتر می گردد که در نتیجه بتنی با مقاومت متوسط پائین تری نسبت به مقاومت هدف بدست می آید و راه حل دیگر اینکه مقدار آب آزاد محاسبه شده در جدول 2 کاهش یابد و با توجه به ثابت بودن $\frac{W}{C}$ مقدار سیمان کاهش و به مقدار حداکثر طرح برسد و در نتیجه بتنی با کارایی کمتری از مقدار خواسته شده در طرح بدست آید. بنابراین در هر دو حالت احتمال اینکه همزمان مقاومت و کارایی خواسته شده با مصالح انتخابی بدست آید کم است. در این حالت باید تغییراتی در نوع سیمان - نوع سنگدانه ها - حداکثر اندازه سنگدانه ها و یا اسلایم (کارایی) خواسته شده بتن به عمل آید و یا از مواد افزودنی مانند روان کننده ها و فوق روان کننده ها استفاده گردد.

گام 5- تعیین وزن مخصوص بتن تازه

در این مرحله با استفاده از شکل (3) با داشتن وزن مخصوص ویژه (توده ویژه) مجموعه سنگدانه ها و میزان آب آزاد (محاسبه شده از گام 3) می توان وزن مخصوص بتن تازه (با تراکم کافی) را تعیین کرد در

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

صورت در اختیار نداشتن توده ویژه سنگدانه ها می توان به طور تقریبی برای مصالح شکسته عدد 2/6 و برای مصالح شکسته عدد 2/7 را اختیار نمود.

گام 6- تعیین وزن کل دانه های سنگی

با توجه به مشخص بودن وزن یک متر مکعب بتن و وزن سیمان موجود در یک متر مکعب بتن و مقدار (وزن) آب آزاد در یک متر مکعب بتن و با استفاده از فرمول زیر وزن کل دانه های سنگی را بدست آورد.

$D - W_c - W_w =$ وزن کل دانه های سنگی در حالت اشباع با سطح خشک

D وزن یک متر مکعب بتن تازه (وزن مخصوص) Kg/m^3

W_c وزن سیمان در یک متر مکعب بتن Kg/m^3

W_w وزن آب آزاد در یک متر مکعب بتن Kg/m^3

گام 7- انتخاب میزان دانه های سنگی ریز و درشت بطور جداگانه

مقادیر پیشنهادی ریزدانه (ماسه) به صورت دو حد در شکل (4) و با توجه به داشتن حداکثر قطر دانه های سنگی درشت دانه (شن) و سطح کارایی بتن (میزان اسلامپ بتن) و نسبت آب آزاد به سیمان تعیین نمود. البته بهترین درصد مواد ریزدانه مخلوط بتنی به شکل دانه های سنگی و دانه بندی مصالح و نوع استفاده از بتن بستگی دارد لازم به ذکر است حدود پیشنهادی در شکل 4 به عنوان اولین مخلوط آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرد و سپس با اصلاحاتی میزان دقیق ماسه محاسبه می گردد.

میزان وزنی ماسه و شن به طور جداگانه بر طبق فرمول زیر بدست می آید.

نسبت درصد ریزدانه از شکل (6) \times وزن کل مصالح سنگی = وزن ریزدانه (ماسه) در مخلوط

وزن ریزدانه (ماسه) - وزن کل مصالح سنگی = وزن درشت دانه (ماسه) در مخلوط

آزمایش شماره 2 روش تعیین کارایی بتن توسط آزمایش نشست (Stump test) برای بتن های خمیری

و چسبنده با سنگدانه های تا قطر 40mm بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 3203 و 492 و دت 505

و ASTM C143-56 و ISO 4109-80

1- هدف: سنجش درجه شلی خمیر بتن و اطمینان از درست بودن اجزاء مخلوط

اندازه گیری کارایی بتن (کلمه کارایی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم و سهولت در پرداخت بتن اطلاق می گردد)

2- اهمیت و کاربرد: از آنجاییکه مهمترین عامل در مقاومت بتن نسبت آب به سیمان می باشد و هر قدر

نسبت آب به سیمان کمتر باشد، مقاومت فشاری بتن بیشتر خواهد شد. لذا افزایش آب مصرفی در مخلوط

بتن به منظور بالا بردن قابلیت کارپذیری (روان نمودن بتن)، سبب کاهش مقاومت فشاری می شود.

همچنین نسبت بالای حجمی سنگدانه های درشت به ریز، باعث جدایی دانه ها و کاهش کارایی شده و مخلوط

بدست آمده خشن و پرداختن آن دشوار می باشد ولی چنانچه مصالح ریزدانه را در مخلوط افزایش دهیم

آنگاه سبب افزایش کارایی خواهد شد که نتیجتاً مخلوط حاصل از دوام کمتری برخوردار خواهد شد. در

ضمن دو پارامتر دیگری که در کارایی مؤثر هستند عبارتند از درجه حرارت و زمان. بتن با گذشت زمان

سفت می شود، البته نه به علت گیرش سیمان بلکه به خاطر

الف) جذب آب توسط سنگدانه ها

ب) بخار آب بویژه در معرض باد و آفتاب

ج) کاهش آب در اثر واکنشهای اولیه شیمیایی

به هر حال این آزمایش از دو جنبه مفید است:

1- در صورت یکنواختی جنس و دانه بندی سنگدانه ها، آزمایش نشان دهنده تغییرات در مقدار آب موجود و نسبت آب به سیمان است.

2- در صورت ثابت بودن میزان آب مخلوط و رطوبت موجود در سنگدانه ها، آزمایش نشان دهنده تغییرات دانه بندی شن و ماسه و یا غلط بودن میزان وزنی سیمان و شن و ماسه است.

ضریب شلی بتنی که در ساختمانهای معمولی بکار می روند حدود 5cm-7cm می باشد و اگر از ویراتور استفاده گردد، 3cm مناسب است.

بتن سفت اسلالمپ (10-30mm) این بتن را می توان با دشواری با خرطوم ارزنده (ویبره) از درون لرزاند و متراکم کرد. در موقع کار با بتن سفت می توان از افزودنیهای بتن (روان کننده ها و فوق روان کننده ها) که تا حدود زیادی در تراکم بتن مؤثر است استفاده کرد. بتن سفت پس از خشک شدن کمتر جمع شده و اگر به درستی ویبره گردد دارای خلل و فرج کمی خواهد بود و تاب فشاری بالایی خواهد داشت.

بتن خمیری اسلالمپ (5-7cm) این نوع بتن حالت خمیری دارد و می توان به راحتی آنرا با ویبره یا کوبیدن متراکم نمود اگر از روان کننده استفاده گردد نیاز به لرزاندن زیاد و یا کوبیدن زیاد ندارد و معمولاً در کارهای ساختمانی از بتن با این اسلالمپ استفاده می گردد.

بتن شل اسلالمپ بزرگتر از 10cm این نوع بتن نیازی به لرزاندن ندارد و در کارهای سازه ای که نیاز به مقاومت بالا باشد از این نوع بتن استفاده نمی گردد. پرداخت کاری آن آسان و کارایی زیادی دارد.

اصولاً مصرف آب در بتن به دو هدف انجام می گیرد.

1- آب لازم برای گیرش سیمان و انجام عملیات هیدراتاسیون

2- آب لازم برای ایجاد کارایی بتن

مجموع این دو مقدار معمولاً بین 40 الی 70 درصد وزن سیمان می باشد. ($\frac{W}{C} = 0/4$ الی $0/7$)

مزایای ناشی از کاهش مقدار آب در بتن را می توان چنین بیان کرد.

1- افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن

2- افزایش خاصیت آبدی در بتن

3- کاهش جذب آب

4- افزایش مقاومت در برابر عوامل جوی

5- پیوستگی بهتر میان لایه های متوالی بتن

6- کاهش تغییرات حجمی در اثر خشک شدن

7- چسبندگی بهتر بین آرماتور و بتن

8- کاهش مقدار افت و خزش

با افزایش آب آزاد در یک بتن مشخص روانی آن افزایش یافته ولی از مقاومت فشاری آن به شدت کاسته می شود. البته برای هیدراتاسیون سیمان یک مقدار آب مورد نیاز است آب مازاد بر نیاز بتن به مرور زمان تبخیر شده و جای آن به صورت سوراخهای مویین متصل به یکدیگر باقی می ماند و بتن را پوک می کند و مقاومت بتن را کاهش می دهد.

هر چه بتن سفت تر باشد مقاومت فشاری بیشتری دارد ولی کارایی و روانی آن کاهش می یابد در نتیجه ساختن و ریختن و متراکم کردن آن در قالب همواره مشکل تر است لذا استفاده از مواد افزودنی الزامی می باشد.

(کارایی یعنی سهولت در ریختن بتن تازه ساخته شده، قابلیت تراکم آن در قالب و سهولت در پرداخت سطح بتن تازه)

کارایی بتن به عواملی از قبیل:

1- مقدار آب مصرفی در بتن ($\frac{W}{C}$)

2- نوع سنگدانه های موجود در بتن

3- دانه بندی سنگدانه ها

4- نسبت سنگدانه به سیمان

5- نوع و نرمی سیمان

7- مدت زمان ساخت و ریختن بتن

8- افزودنیها بستگی دارد.

علاوه بر روش اسلامپ برای تعیین میزان کارایی بتن روشهای دیگری نیز وجود دارد مانند درجه تراکم و ضریب تراکم که در آزمایش 20 و 19 شرح داده می شود.

ضریب تراکم	درجه تراکم	اسلامپ به میلی متر	طبقه بندی
0/78 تا 0/85	بزرگتر یا مساوی 1/46	40-10	S ₁
0/85 تا 0/92	1/26 تا 1/46	90-50	S ₂
0/92 تا 0/97	1/11 تا 1/25	150-100	S ₃
0/97 تا 1/0	1/04 تا 1/10	بزرگتر از 16	S ₄

3- وسایل آزمایش:

مخلوط ناقص اسلامپ به ارتفاع 300mm قطر پایین 200mm و قطر بالایی 100mm

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

میله کوبنده به قطر 16mm و طول 600mm که یک سر آن به صورت نیمکره به قطر 16 میلی متری می باشد.

یک صفحه غیر قابل نفوذ آب - مربعی به ضلع 45cm

بیلچه

ماله فلزی

خط کش

پارچه جهت تمیز کردن

4- نمونه برداری:

نمونه باید به نحوی برداشت شود که کاملاً بیانگر مخلوط بتن مورد آزمایش باشد. نمونه می تواند فقط شامل یک برداشت باشد - آنگاه بلافاصله نمونه را در محل یا ظرف مناسبی که خاصیت جذب آب نداشته باشد ریخته و توسط بیلچه آن را کاملاً مخلوط کرده تا نمونه یکنواختی بدست آید. عمل برداشت نمونه، 15 دقیقه پس از شروع اختلاط مصالح صورت گیرد. (آزمایش اسلامپ در این زمان انجام گیرد)

5- روش آزمایش:

پس از اطمینان تمیزی داخل مخروط آن را مرطوب و سپس بر روی صفحه فولادی قرار دهید. پاهای خود را بر روی پاشنه های تعبیه شده در دو طرف قالب مخروطی شده قرار دهید. با استفاده از بیلچه $\frac{1}{3}$ ارتفاع مخروط را پر کرده و با میله کوبنده 25 ضربه در نقاط مختلف بتن وارد کرده تا متراکم گردد. دو لایه دیگر را نیز هر بار با 25 ضربه متراکم و در آخرین لایه توجه داشته باشید که میزان بتن در مخروط اندکی از لبه فوقانی آن بیرون زده باشد. با استفاده از ماله فلزی قسمت اضافی بتن را کاملاً صاف کنید. مادامیکه پاهای خود را بر روی پاشنه های قالب قرار دارند، اطراف مخلوط و صفحه کار را کاملاً پاک کنید. دسته های مخروط را بگیرید و در حالی که به طرف پائین فشار می دهید پاهای خود را از روی پاشنه های مخروط بردارید. آنگاه در مدت زمان 5 تا 10 ثانیه مخروط را به سمت بالا بکشید. دقت کنید هیچگونه حرکت جانبی و یا چرخشی به قالب و بتن وارد نشود.

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

خط کش را که قبلا در سطح قالب تنظیم گردیده بود بر روی خمیر مخروط گذاشته و میزان نشست را اندازه گیری نمایید.

این آزمایش از شروع تا پایان نباید بیش از 1/5 دقیقه طول بکشد.

در لایه اول در موقع ضربه زدن میله باید در کل عمق لایه نفوذ کند و برای لایه های بعدی ضربه به گونه ای زده شود که اندکی در عمق لایه قبلی نفوذ کند.

پس از برداشتن قالب مقدار افت و نشست بتن به یکی از صورتهای زیر (مطابق شکل 1) است.

1- افت طبیعی یا اسلامپ صحیح این بتن دارای کارایی خوب تا عالی بوده

2- افت برشی با کاهش ارتفاع بتن و بریده شدن کناره بتنی و ریزش آن (تقریباً نیمی از مخروط در امتداد سطح شیبدار می لغزد). در این حالت نتیجه آزمایش را مردود شماره و باید دوباره آزمایشی را از بخش دیگری از بتن انجام داد چنانچه در آزمایش دوم نیز ریزش یا لغزش بخشی از نمونه رخ دهد (این مورد در مخلوط های خشن روی می دهد) احتمالاً بتن فاقد شکل پذیری و چسبندگی لازم برای انجام آزمایش اسلامپ است. (این بتن در هنگام جا دادن در قالب رضایت بخش نیستند)

3- افت ریزشی یا افت فروریختگی مقدار درصد افت زیاد بوده و به دلیل وارفتن و پخش شدن بتن ایجاد می شود. این حالت مربوط به مخلوط های فوق العاده خیس یا خشن یا کم عیار است.

تذکر 1- ضربه ها باید به صورت یکنواخت در سطح لایه پخش شود برای لایه های زیرین لازم است قدری کوبه را به سمت داخل کج کرد و نیمی از ضربه ها را به صورت مارپیچی از محیط به سمت مرکز وارد نمائید.

تذکر 2- اگر اسلامپ برشی بدست آید آنگاه آزمایش دوباره تکرار شود تا حتی المقدور شکلی نزدیک به اسلامپ واقعی حاصل شود. در صورت وقوع مجدد اسلامپ برشی، احتمالاً نقاط ضعفی در تهیه طرح مخلوط وجود داشته و این موضوع باید در گزارش ثبت گردد.

تذکر 3- در صورت فرو ریختگی بتن (بدون وارد شدن نیرو به مخروط بتن) باید تجدید نظر کلی در محاسبات و تناسب اجزاء اختلاط انجام پذیرد.

تذکر 4- این آزمایش برای بتنهایی استفاده می شود که حداکثر قطر سنگدانه های مصرف شده در آن برابر 38 میلی متر باشد.

6- نتیجه آزمایش:

اسلامپ بتن در این آزمایش با استفاده از فرمول زیر تعیین و به نزدیکترین مضرب 5mm گرد می شود.

$$S = h_m - h_s [\text{mm}]$$

S - اسلامپ (نشست) بتن [mm]

h_m - ارتفاع قالب [mm]

h_s - ارتفاع بتن [mm]

درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن

تذکر 5- چنانچه اسلامپ کمتر از 10mm باشد چنین نتیجه گرفته می شود که بتن مورد آزمایش دارای روانی مناسب برای انجام آزمایش اسلامپ نمی باشد.

تفاوتهای استاندارد 492 و 3203 موسسه استاندارد صنعتی ایران

1- در استاندارد 492 به سه لایه حجمی تقسیم نموده است (ارتفاع لایه اول 6/5cm ارتفاع لایه دوم 15cm ارتفاع لایه سوم کل مخروط) در حالی که در استاندارد 3203 به سه لایه مساوی و 1/3 ارتفاع تقسیم نموده است.

2- در استاندارد 492 کل آزمایش در 1/5 دقیقه در حالی که در استاندارد 3203 زمان مشخص نشده است.