A-PDF WORD TO PDF DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

دستورالعمل آزمایشگاه تکنولوژی بتن

مطابق با استاندارد ایران

و ذکر استانداردهای DIN – BS – ASTM – ACI

قابل استفاده دانشجویان مهندسی عمران و ساختمان

در مقاطع کارشناسی و کاردانی

مولف

مهندس فرهاد مصباح ایراندوست

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

مقدمه
فصل اول – خمیر سیمان
آزمایش شماره ۱ روش تعیین جرم حجمی سیمان
آزمایش شماره ۲ روش تعیین درجه نرمی سیمان
آزمایش شماره ۳ روش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان
آزمایش شماره ۴ روش تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان
آزمایش شماره ۵ روش تعیین انبساط سیمان (سلامت سیمان)
فصل ۲ – سنگدانه‌ها
آزمایش شماره ۶ روش دانه بندی شن به وسیله الک
آزمایش شماره ۷ روش تعیین درصد رطوبت کلی سنگدانه‌ها و درصد جذب آب

آزمایش شماره ۸ روش دانه بندی ماسه توسط الک و تعیین ضریب نرمی
آزمایش شماره ۹ روش تعیین وزن واحد و فضای خالی سنگدانه‌ها
آزمایش شماره ۱۰ روش تعیین وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص انبوهی شن و ماسه
آزمایش شماره ۱۱ روش تعیین خاک رس لای و گرد و خاک در ماسه به روش SE
آزمایش شماره ۱۲ روش آزمون کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده در سنگدانه‌ها
آزمایش شماره ۱۳ روش تعیین مصالح ریزتر از ۷۵ میکرون
آزمایش شماره ۱۴ روش تعیین درصد سائیدگی در مصالح سنگی به وسیله دستگاه لوس آنجلس
آزمایش شماره ۱۵ روش تعیین ضریب تطویل و تورق سنگدانه‌ها
فصل ۳ – بتن
آزمایش شماره ۱۶ طرح اختلاط بتن بر اساس ACI-318-83 -BS-882
آزمایش شماره ۱۷ روش نمونه برداری از بتن تازه
آزمایش شماره ۱۸ روش تعیین ضریب شلی (اسلامپ) برای بتنهای خمیری
آزمایش شماره ۱۹ روش تعیین کارایی بتن تازه (درجه تراکم) برای بتنهای با سنگدانه تا قطر ۴۰ میلی متر
آزمایش شماره ۲۰ روش تعیین کارایی بتن تازه (ضریب تراکم) برای بتنهایی با سنگدانه تا قطر ۴۰ میلی متر
آزمایش شماره ۲۱ استاندارد قالبهای آزمایشی بتن
آزمایش شماره ۲۲ ساختن و عمل آوردن نمونه‌های آزمایشی در آزمایشگاه برای آزمونه‌های فشاری – خمشی – کششی
آزمایش شماره ۲۳ روش تعیین درصد فضای خالی (هوا) در بتن خمیری
آزمایش شماره ۲۴ روش تجزیه بتن تازه

پیشگفتار

هدف از تألیف این مجموعه آشنایی دانشجویان دانشگاهها (در مقطع کاردانی و کارشناسی) و دیگر مراکز آموزش عالی و با تکنولوژی بتن نگاشته شده است. گسیختگی و خرابی تعداد زیادی از سازه‌های بتنی در زلزله‌های اخیر ایران زلزله‌های ویرانگری مانند طبس – منجیل – رودبار – بیرجند – قائنات – بم ... روشنگر این واقعیت است که مهندسین به اندازه کافی با بتن آشنا نمی باشند. در نتیجه این ناآگاهی در ارتباط صحیح اجزاء بتن برای رسیدن به مخلوط مناسب و همچنین اجرای صحیح کارهای بتنی دقت کافی صورت نمی گیرد. به نظر می‌رسد که گاهی اثرات آب، هوا، دما و شرایط محیطی به حساب آورده نمی شود و لذا اطمینانی در مورد پایایی و دوام سازه‌های بتنی به وجود نمی آید.

هم اکنون تولید سالیانه سیمان در کشور به ۳۲ میلیون تن رسیده است (سرانه هر نفر تقریبا ۵۰۰ کیلوگرم) و در نظر است تا پایان برنامه چهارم اقتصادی این میزان تولید به ۸۰ میلیون تن برسد (سرانه هر نفر تقریبا ۱۰۰۰ کیلوگرم) این میزان تولید سیمان که بخش عمده آن در تولید بتن و فرآورده‌های بتنی مصرف می‌شود نشانگر

اهمیت بتن به عنوان مصالح ساختمانی برتر قرن می‌باشد. در این راستا اجباری شدن تعدادی از استانداردهای مصالح ساختمانی از جمله سیمان – شن – ماسه – بتن آماده ... به بهبود کیفیت سیمان و فرآورده‌های بتنی کمک فراوانی نموده است ولی متاسفانه هنوز تا رسیدن به مرحله بهره گیری کامل از کیفیت کامل بتن‌های تولید شده و مصرف شده در کشور فاصله زیادی وجود دارد. سریعترین راه رسیدن به این هدف ارتقاء سطح دانش و فرهنگ عمومی استفاده از بتن به عنوان مصالح ساختمانی ممتاز می‌باشد. از این روست که تقریبا در تمامی دانشگاههای کشور مسابقات متعددی در زمینه بتن صورت می‌گیرد و به علاوه دو انجمن بزرگ بتن ICI (انجمن بتن ایران) و ACI (انجمن بتن امریکا) همه ساله به منظور آگاهی و آموزش و ترغیب مهندسین نسل‌های آینده اقدام برگزاری مسابقات متعددی می‌نماید گرچه اذعان دارم که هنوز برای کم کردن فاصله خود با استانداردهای جهانی در زمینه تولید علم راه طولانی در پیش داریم ولی در خصوص امر پژوهش و تحقیقات در زمینه بتن فعالیتهای خوب و چشمگیری در چند سال اخیر توسط اساتید و دانشجویان علاقه مند صورت گرفته است و دانشجویان دانشگاه آزاد اسلامی موفق به کسب رتبه‌های مناسبی در مسابقات کشوری و جهانی شده اند.

نگارش این مجموعه بر اساس سر فصلهای تعیین شده از طرف وزارت علوم تحقیقات و فن آوری صورت گرفته است در هر آزمایش ابتدا شرح مختصری از نکات و مزایای و اهمیت و کاربرد آزمایش داده شده و سپس روش آزمایش و استانداردهای آن قید شده است. در این مجموعه به استانداردهای آمریکا (ASTM , ACI) انگلستان (BS) ایران (استاندارد ملی ایران و دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (دت) توجه شده است.

تقسیم بندی نمرات آزمایشگاه تکنولوژی بتن

نمره درس آزمایشگاه تکنولوژی بتن بر مبنای ۲۰ نمره محاسبه می‌گردد و شامل چهار قسمت می‌باشد. ۱- امتحان کتبی پایان ترم که شامل سوال و مسئله می‌باشد (۶ نمره) ۲- کار عملی که به صورت مسابقه‌ای بین تمام دانشجویان آن ترم برقرار می‌گردد. آئین نامه هر مسابقه در ابتدای هر ترم به اطلاع دانشجویان رسانیده می‌شود (۶ نمره) ۳- گزارش کار:

گزارش کار مطابق با الگوی ذیل می‌باشد.

مقدمه – هدف – وسایل و مصالح مورد نظر – شرح آزمایش – ثبت برداشتها و انجام محاسبات – ثبت استانداردها و مقایسه با استانداردها – پاسخ به سوالات – نتیجه گیری نمرات این قسمت به ترتیب ذیل می‌باشد (هر آزمایش بر مبنای ۲۰ در نظر گرفته می‌شود)

گزارش کار در سه فصل جداگانه نگارش می‌گردد.

فصل اول خمیر سیمان – فصل دوم پرکننده‌ها – فصل سوم بتن

در ابتدای هر فصل مقدمه‌ای کامل و جامع در مورد تمامی آزمایشات آن فصل و اهمیت و کاربرد آن و استانداردهای مختلف کشورهای مختلف در آن مورد را می‌باید بیان نمود که ۶ نمره را از ۲۰ نمره گزارش کار را به خود اختصاص می‌دهد.

هدف از انجام آزمایش و لوازم و مصالح مورد نیاز برای انجام آزمایش جمعا ۱ نمره

شرح آزمایش و عملیات انجام شده به ترتیب انجام عملیات ۲ نمره

ثبت نتایج و انجام محاسبات شامل کلیه پارامترهای بدست آمده از آزمایش ونحوه و تحلیل و روابط مورد استفاده همراه با محاسبات و ذکر واحدهای مورد استفاده شامل N یا kg یا متر یا سانتی متر و درجه سانتی گراد ... ۲ نمره

مقایسه اعداد بدست آمده با استانداردهای داده شده در جزوه و علت خطا یا اشتباه و تفاوت نتایج ۱ نمره

پاسخ به سوالات که در حین آزمایشات از دانشجویان پرسیده می‌شود ۳ نمره

نتیجه گیری با توجه به تعداد تمام آزمایشات صورت گرفته در هر فصل یک نتیجه گیری کلی در مورد مصالح مورد آزمایش جمعاً ۴ نمره

ذکر منابع و مراجع مورد استفاده در تدوین گزارش کار با ذکر شماره صفحه کتاب ۱ نمره

۴- حضور غیاب و نظم در جلسه کلاسی (۲ نمره)

۱- کلیه دانشجویان موظفند قبلا آزمایش هر هفته را مطالعه نموده و اطلاعاتی در مورد تئوری آزمایش داشته باشند.

۲- عملیات آزمایشگاهی به صورت گروهی انجام می‌گیرد و هر گروه بایستی عملیات آزمایشی را به نحوه مناسبی فی مابین خود تقسیم نمایند.

۳- مهلت تحویل گزارش کار دو هفته پس از پایان هر فصل آزمایشی می‌باشد. (تکنولوژی بتن شامل سه فصل می‌باشد ۱- فصل خمیر سیمان ۲- فصل سنگدانه‌ها ۳- فصل بتن) در صورت برخورد با تعطیلی اولین روز پس از تعطیلی روز تحویل گزارش کار خواهد بود.
۴- در جلسات آزمایشگاه به صورت مرتب حضور داشته باشید و همراه در جلسات آزمایشگاهی دستور کار را به همراه داشته باشد. درب آزمایشگاه در زمان شروع کلاسها بسته خواهد شد.
حضور نامرتب – عدم مطالعه دستور کار – نداشتن دقت علمی و عملی در آزمایشگاه در نظر گرفته می‌شود.
۵- در هنگام استفاده از وسایل در حفظ آن بکوشید و پس از انجام آزمایش لوازم آزمایش را تمیز و مرتب کنید.

مقدمه

مبحث تکنولوژی بتن برای اکثر اشخاص در ابتدا همانند دروس حفظ کردنی به نظر می‌رسد لیکن با اندکی تامل وتوجه عمیق تر به مطالب مختلف از جمله اجزای متشکله بتن و نحوه تاثیر آنها روی یکدیگر و نهایتا روی خواص بتن تازه و خواص بتن سخت شده مشخص می‌گردد که فقط با درک صحیح مبحث تکنولوژی بتن می‌توان به بتنی با کارایی و پایایی مناسب دست یافت. نظر به کاربردی بودن این تکنولوژی سوالات و مشکلات عمدتا در حین کار مطرح می‌شوند و لذا لازم است پاسخ این سوالات توسط مسئولین آزمایشگاههای بتن و یا کنترل کنندگان کیفیت بتن در کارگاه و یا مهندسین ناظر ... و یا به طور کلی توسط تکنولوژیست‌های بتن پاسخ داده شود. مطالب این کتاب برگرفته شده از آئین نامه بتن ایران (آبا) و استاندارد ملی ایران می‌باشد.

بتن سنگ دج ساختگی است که از درهم آمیختن و بهم زدن مخلوط متناسبی از سیمان – شن – ماسه – آب و درصدی هوا که خواسته یا ناخواسته وارد بتن می‌گردد تشکیل شده است (امروزه برای کسب کارایی بهتر و پایایی بیشتر از انواع مواد افزودنی بتن استفاده می‌گردد)

توده اصلی بتن را سنگدانه‌های درشت و ریز (پرکننده‌ها) تشکیل می‌دهد. فعل و انفعال شیمیایی بین سیمان و آب (خمیر سیمان) که به صورت غشاء غلیظ اطراف سنگدانه‌ها را پوشانده باعث یکپارچه شدن و چسبیدن سنگدانه‌ها به یکدیگر می‌گردد که سنگ حاصله بتن نامیده می‌شود.

در این کتاب (آزمایشگاه تکنولوژی بتن) به ترتیب در هر قسمت مطابق با آئین نامه بتن ایران آزمایشاتی انجام می‌گردد و مطالب گسترده‌ای در مورد هر کدام از آزمایشات بیان می‌گردد.

بنابر مطالب گفته شده این کتاب به سه فصل کلی تبدیل می‌گردد.

فصل ۱- خمیر سیمان (مخلوط آب و سیمان)

فصل ۲- پر کننده‌ها مخلوط شن (درشت دانه) و ماسه (ریزدانه)

فصل ۳ – بتن (خصوصیات بتن تازه و سخت شده)

با انتخاب تناسبات مختلفی از مصالح تشکیل دهنده بتن طیف وسیعی از مقاومتهای مختلف بتن به دست می‌آید. امروزه تولید انواع مختلف سیمان – انواع سنگدانه‌های خاص – روشهای مختلف نگهداری و عمل آوری بتن باعث کشف خواص گوناگونی از بتن شده است. در کنار خواص مکانیک مصالح مصرفی مهارت اجرا و نظارت دقیق عامل بسیار مهمی در کسب مقاومت بتن به شمار می‌آید عواملی که باعث مقبولیت عمومی در استفاده از بتن گردیده است عبارتند از:

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

۲- مقاومت خوب در برابر آتش سوزی و عوامل جوی

۳- دسترس بودن مصالح آن

۴- مقاومت فشاری خوب آن

در مقابل مزایای فوق عیب عمده بتن ضعف آن در مقابل کشش می‌باشد که این ضعف توسط میلگرد (بتن آرمه) برطرف گردیده است.

فصل اول - خمیر سیمان

در اثر واکنش شیمیایی که بین سیمان و آب (دوغاب سیمان) صورت می‌گردد. موجب سخت و محکم شدن بتن می‌گردد و باعث چسبندگی دانه‌های شن و ماسه (پرکننده‌ها) به یکدیگر می‌گردد.

خمیر سیمان عموما ۲۰ الی ۳۵ درصد کل حجم بتن را تشکیل می‌دهد و حجم سیمان معمولا ۷ الی ۱۵ درصد حجم بتن را تشکیل می‌دهد مطابق گراف زیر

همانگونه که بیان شده بین سیمان و آب فعل و انفعال شیمیایی صورت می‌گیرد که به آن هیدراتاسیون گویند و برای انجام هیدرتاسیون مقدار آب محدودی لازم است لیکن آب مصرفی در ترکیب بتن همیشه مقداری به مراتب بزرگتر از آن است (بین ۳ الی ۴ برابر) این آب اضافی به منظور ایجاد کارایی لازم در بتن برای پر کردن کامل کلیه زوایای قالب و گرفتن دور کلیه میلگردهای مسلح کننده بتن می‌باشد.

کمترین مقدار خمیر سیمان در بتن مقداری است که دوغاب سیمان دور تمام سنگدانه‌های مخلوط را اندود کند و اگر کمتر از این مقدار سیمان مصرف گردد دانه‌های سنگها به یکدیگر نچسبیده و باعث کاهش شدت مقاومت بتن می‌گردد و بیشترین مقدار خمیر سیمان در بتن به اندازه‌ای می‌باشد که علاوه بر اینکه دور دانه‌های سنگی را اندود کرده فضای خالی استخوان بندی سنگدانه‌ها را نیز پر کند. اگر چنانچه در ساختن بتن بیش از مقدار فوق (مقدار ماکزیمم) خمیر سیمان مصرف گردد گذشته از اینکه به نسبت افزوده شدن سیمان تاب بتن زیاد نمی شود. جنس گران قیمت و کم مقاومت سیمان جانشین جنس ارزان قیمت و پر مقاومت سنگ می‌گردد در نتیجه بتن گران تر و کم مقاومتر می‌گردد.

یکی از مهمترین عوامل در کیفیت بتن نسبت آب به سیمان می‌باشد. برخی از مزایای کاهش نسبت آب به سیمان به شرح زیر می‌باشد.

۱- افزایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی

۲- افزایش قابلیت آب بندی

۳- کاهش جذب آب بتن

۴- افزایش مقاومت نسبت به عوامل جوی

۵- پیوستگی بهتر بین لایه‌های متوالی

۶- چسبندگی بهتر میان فولاد و بتن

۷- کاهش تغییرات حجمی در اثر خشک شدن (نشست)
مقدار آب لازم برای ساختن بتن بستگی به عوامل متعددی دارد مانند غلظت بتن (کارایی یا اسلامپ بتن) – درشتی دانه‌های مصالح سنگی – زبری مصالح سنگدانه‌ها – گرما – رطوبت هوا در هنگام ساخت بتن به طور کلی هر چه بتن غلیظ تر (اسلامپ کمتر) و دانه‌های سنگ درشت تر و هوا خنک تر و مطبوع تر و سطح دانه‌ها صاف تر و شکلشان کروی تر باشد برای ساختن بتن آب کمتری نیاز است.
ذکر این نکته در همینجا لازم است که سیمان به سه طریق بر روی مقاومت بتن اثر می‌گذارد.
۱- مقدار سیمان در مخلوط بتن
۲- نوع سیمان
۳- کیفیت سیمان

سیمان

سیمان یک واژه یونانی است پرتلند نام جزیره‌ای واقع در انگلستان می‌باشد و به جهت اینکه سیمان پس از پختن به رنگ سبز شبیه جزیره پرتلند در می‌آید در تمام دنیا به نام سیمان پرتلند شناخته شده است.
در سال ۱۸۲۴ میلادی شخصی به نام ژوزف آسپدین (سنگ کار و معمار و بنای شهر لیدز) سیمان پرتلند را به ثبت رساند و نخستین نمونه سیمان پرتلند در سال ۱۸۴۵ (۲۱ سال بعد) توسط ایزاک جانسون با حرات دادن مخلوط خاک رس و سنگ آهک تا مرز ذوب شدن و انجام واکنشهای لازم برای تشکیل ترکیبات چسباننده پر قدرت تهیه شد. نخستین سیمان پرتلند در ایران ۱۵۳ سال بعد در سال ۱۳۱۲ با بهره برداری از کارخانه سیمان ری در جنوب تهران تولید شد.
البته در ایران زمین در زمان باستان با گرد آهک شکفته و گرد خاکستر ساروج می‌ساختند و برای اندود و رومالی و بدنه آبگیرها مصرف می‌گردند با گرد آهک شکفته و گرد آجر ملات سرخ رنگی می‌ساختند و کف درونی ساختمانها را با آن روکش می‌کردند کف قسمتهایی از کف تخت جمشید و کاخ شوش با این ملات سرخ رنگ روکش شده است و بعد از گذشت ۲۶۰۰ سال هنوز پابرجا می‌باشد. بعلاوه با گرد آهک زنده و سفیده تخم مرغ ملاتی می‌ساختند و برای درزگیری ساختمانهای آبی (سازهای هیدرولیکی) ترک خورده و بند زدن ظروف چینی شکسته مصرف می‌کردند.

انواع سیمانها

انواع گوناگون سیمانها تولید می‌شود تا شرایط فیزیکی و شیمیایی معینی را برای هدفهای خاص لازم است برآورد نماید. سیمانهای معمولی در ایران به شرح زیر است.
سیمان پرتلند نوع ۱: مصارف عمومی دارد و برای هر کاری که مستلزم ویژگیهای خاص نباشد مناسب است.
سیمان پرتلند نوع ۲: در مواردی مصرف می‌گردد که اقدام احتیاطی برای جلوگیری از گزند سولفاتها لازم باشد همچنین هنگامی که مسئله پایایی بتن در مقابل سولفاتها و حفاظت میلگردهای آرماتور در مقابل حمله نمکهای کلر به طور همزمان مطرح باشد استفاده می‌گردد.

سیمان پرتلند نوع ۳: سیمانی با مقاومت زودرس است و معمولا در مواردی به کار می‌رود که قالبها باید زودتر از موعد باز شوند.
سیمان پرتلند نوع ۴: یک سیمان با حرارت زایی کم است و در جایی که آهنگ تولید حرارت و مقدار حرارت تولید شده باید حداقل باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد.
سیمان پرتلند نوع ۵: یک سیمان مقاوم در برابر سولفاتهاست و در بتنی که مورد حمله شدید سولفاتها قرار می‌گیرند به کار می‌رود. مصرف این نوع سیمان در محیطهایی که علاوه بر سولفاتها به املاح کلر هم آلوده باشند از لحاظ حفاظت میلگردها نامناسب است.
سیمان پرتلند پوزلانی: این سیمان‌ها از آسیاب کردن و مخلوط کردن پوزلانها (خاکهای طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می‌شود. پوزولانها به مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینیومی اتلاق می‌گردد که به تنهایی خاصیت گیرش و سیمانی شدن را ندارند ولی به صورت ذرات ریز در مجاورت رطوبت با آهک آزاد شده از هیدراتاسیون سیمان و درجه حرارت محیط ترکیباتی با خاصیت سیمانی تشکیل می‌دهند درصد جایگزینی پوزلانها بین ۱۵ تا ۴۰ درصد متغیر است. کاربرد عمده این سیمانها در بتن ریزیهای حجیم می‌باشد و در مقابل سولفاتها مقاومتی بهتر از سیمان پرتلند نوع ۱ دارند.
سیمان پرتلند روباره‌ای: این سیمان از آسیاب و مخلوط کردن سیمان پرتلند و سرباره کوره آهنگذاری به دست می‌آید. درصد سرباره مخلوط بین ۲۵ تا ۷۰ درصد متغیر است.
به غیر از سیمانهای معمول گفته شده سیمانهای دیگری نیز وجود دارند مانند:
سیمان پرتلند ممتاز: دارای مقاومت فشاری بیشتری در روزهای نخست نسبت به سیمان پرتلند نوع ۱ است.
سیمان برقی (نسوز) یا سیمان آلومینیومی: این نوع سیمان علاوه بر کسب مقاومت شدید در روزهای اولیه دارای خاصیت ویژه دیگری نیز هستند. این نوع سیمان در برابر اثر آب دریا و سولفاتهای آب و زمین پایدار می‌باشد.
سیمانهای پرتلند سفید و رنگی: سیمان پرتلند سفید مانند سیمان پرتلند معمولی ساخته می‌شود. اگر در مواد خام سیمان پرتلند آهن موجود نباشد رنگ سیمان پرتلند سفید می‌شود حداکثر آهن در سیمان سفید ۰/۸ درصد (۸ در هزار) وزن کل می‌باشد.
برای ساخت سیمانهای رنگی به لینکر سیمان سفید ۵ تا ۱۰ درصد وزنش مواد معدنی با نرمه سنگهای رنگی آسیاب می‌کنند.
اضافه کردن اکسید آهن برای رنگ قرمز – زرد – قهوه‌ای – سیاه
اضافه کردن اکسید منگنز برای رنگ سیاه – قهوه ای
اضافه کردن اکسید کرم برای رنگ سبز
اضافه کردن اکسید آبی کبالت برای رنگ آبی
اضافه کردن کربن (دوده) برای رنگ سیاه

سیمان حباب زا (سیمان هوازا): در بتن هایی که با این نوع سیمان ساخته می‌شوند نسبت به یخ زدن و ذوب شدن متوالی مقاومت بالایی دارند و همچنین در بتنی که تازه ساخته شده از جدایی دانه‌های سنگی جلوگیری می‌کنند. مواد حباب زای مناسب عبارتند از اسیدهای چرب و صابونهای آنها – رزین‌های چوب – لیگنوسولفونیت‌ها

سیمان ممتاز: مانند سیمان نوع ۱ ساخته می‌شود ولی ریزتر آسیاب شده و دو بار پخته می‌گردد. این نوع سیمان در موقع هیدراته شدن گرمای بیشتری در روزهای اولیه تولید می‌کند.

سیمانهای سوپرسولفات: که در برابر آب دریا بسیار مقاوم است و قادر است بالاترین غلظت سولفاتها را در آب و خاک تحمل کند.

سیمانهای منبسط شونده: این سیمان دارای مقدار زیادی C_3A (سه کلسیم آلومینات) و سولفات کلسیم است.

از مهمترین انواع دیگر سیمانها می توان سیمان چاه کنی – سیمان پرتلند ضد آب – سیمانهای خمیری ... را نام برد.

سیمان پرتلند بر طبق تعریف استاندارد ملی ایران: سیمان پرتلند چسباننده ای است آبی که از پودر نمودن توام کلینکر همراه با مقدار مناسبی سنگ گچ به منظور تنظیم زمان گیرش اولیه بدست می‌آید. کلینکر فراورده‌ای است مرکب که عمدا از سیلیکاتهای کلسیم و آلومیناتها تشکیل شده است و از واکنش حرارتی – شیمیایی مواد آهکی و رسی در کوره سیمان تا دمای معین بدست می‌آید.

فرایند سخت شدن سیمان در مجاورت آب را هیدراتاسیون نامند محصول واکنش همانگونه که گفته شد سیلیکاتهای کلسیم آبدار است ترکیبات شیمیایی دیگر نظیر آلومیناتها نیز در این عمل موثرند. ذکر این نکته در همینجا لازم است که در مواقعی که سیمان با آب مخلوط میشود واکنش شیمیایی آغاز می‌شود و بر روی سطح هر دانه سیمان محصولات حاصل از هیدراته شدن پدید می‌آید که به سبب متصل شدن این محصولات به یکدیگر و تمام دانه‌ها به یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. این واکنش شیمیایی (هیدراتاسیون) همواره با تولید حرارت همراه می‌باشد و هر چه کسب مقاومت سریع تر باشد تولید گرما در واحد زمان بیشتر خواهد شد.

۱- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (www.isiri.ir) تنها مرجع رسمی کشور است که عهده دار وظیفه تهیه و تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) می‌باشد. در تهیه و تدوین این استانداردها سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه حتی المقدور بین استانداردهای ایران و استانداردهای کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

۲- در ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان مصوب اسفند ماه ۱۳۷۴ مجموعه اصول و قوانین فنی و آئین نامه کنترل و اجرای آنها به نام مقررات ملی ساختمان و طبق شماره گذاری دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (دت) تدوین نموده است و رعایت این اصول را الزامی اعلام کرده است.

لذا در این کتاب هـر دو آزمـایش «اسـتاندارد ملـی ایـران و (دت)» و اسـتانداردهای دیگـر کشـورهای صـنعتی و پیشرفته شرح داده شده است و در تمام موارد شماره های استاندارد برای پی گیری و کنترل بیشتر درج گردیده است.

آزمایش شماره ۱ روش تعیین جرم حجمی سیمان بر اساس استاندارد ASTM C188-89

۱- هدف: تعیین جرم حجمی سیمان

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

در کلیه مصالح ساختمانی از جمله سیمان وزن مخصوص در حالتهای مختلف بدست می‌آید از جمله وزن مخصوص ویژه gr/cm^3. وزن مخصوص ویژه جسم جامد برابر است با وزن جسم جامد آن بخش بر حجم جسم جامدش جسم جامد را حداقل ۲۴ ساعت در گرمخانه در دمای ۵±۱۰۵ درجه سانتی گراد نگهداری نموده تا کاملا خشک شود جسم جامد خشک شده را وزن کنید و سپس حجم آنرا بدون فضای خالی بدست می‌آوریم و از تقسیم وزن جسم جامد بر حجم آن می‌توان وزن مخصوص ویژه آنرا مشخص نمود. در مورد سیمان یا مصالح دیگر ساختمانی پودر شده می‌بایست از پودر رد شده از الک ۲۰۰ استفاده نمود.

وزن مخصوص سیمان مطابق با استاندارد ایران به شرح ذیل می‌باشد.

وزن مخصوص ویژه سیمان پرتلند gr/cm^3 ۳-۳/۲۵

وزن فضایی کیسه نلرزیده gr/cm^3 ۱-۱/۲۵

وزن فضایی سیمان لرزیده gr/cm^3 ۱/۵-۱/۸

وزن فضایی سیمان فله gr/cm^3 ۱-۱/۳

وزن مخصوص ویژه سیمان پوزولانی gr/cm^3 ۳-۲/۹

۳- وسایل مصالح مورد نیاز:

ترازو با دقت ۰/۱ گرم

قیف پایه بلند و کوتاه هر کدام یک عدد

نفت سفید یا الکل یا هر مایع دیگری که مناسب باشد.

پودر سیمان رد شده از الک ۲۰۰ که به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵±۱۰۰ درجه سانتی گراد نگهداری شده است

بالن لوشاتلیه – این وسیله بالن استانداردی با مقطع دایره‌ای است که شکل و ابعاد آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل کلیه مشخصات بالن در ارتباط با نوشته‌ها – فاصله‌ها – فضاها و درجه بندی‌ها مشاهده می‌شود.

نفت سفید یا الکل یا بنزین یا هر مایع شیمیایی دیگر که بر روی سیمان واکنش انجام ندهد و وزن حجمی آن کمتر از gr/cm^3 ۰/۶۲ باشد.

۴- شرح آزمایش:

بالن را با نفت یا الکل یا هر مایع دیگری تا نقطه‌ای بین علامتهای ۰ تا ۱ میلی متر در ساقه بالن پرنمائید. برای ریختن مایع از قیف پایه بلند استفاده کنید. چنانچه قسمت داخلی لوله آغشته شده باشد قسمت بالای لوله را خشک کنید. در این موقع مقدار مایع را در بالن را قرائت کنید و آنرا یادداشت نمائید (V0)

مقداری سیمان (گرم۶۴) را با دقت ۰/۱ گرم وزن نموده (m_1) (مشخصات سیمان قبلا ذکر شده است) و تمام سیمان را با دقت در داخل بالن بریزید باید دقت نمود که از مسدود شدن لوله بالن جلوگیری شود برای این

منظور می‌توان از یک وسیله لرزاننده استفاده نمود. پس از آنکه تمام سیمان در داخل بالن ریخته شد. در پوش بالن را گذاشته و آنرا به صورت مایل تکان دهید یا به آهستگی در مسیر یک دایره افقی بچرخانید طوری که مطمئن شوید هوای بین دانه‌های سیمان خارج شود.

در این مرحله مجددا سطح مایع را قرائت نمائید (V1) و یادداشت کنید.

تذکر ۱- وسیله آزمایش قبل از انجام آزمایش باید کاملا تمیز و خشک باشد و تمام سیمان توزین شده در لوله ریخته شود.

تذکر ۲- به علت خاصیت موئینگی لوله باید روی قرائت اول و دوم دقت کافی را مبذول داشت.

تذکر ۳- درجه حرارت مایع (الکل – نفت – بنزین و ...) و پودر سیمان و بالن و محل آزمایش در خلال آزمایش ۱۷/۷ الی ۲۳/۳ درجه سانتی گراد باشد.

۵- محاسبات:

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

سوالات

چرا باید سیمان مورد آزمایش را قبل از آزمایش ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵±۵ درجه نگهداری نمود و چرا باید سیمان را با الک شماره ۲۰۰ الک نمود.

آزمایش شماره ۲ روش تعیین درجه نرمی سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۰ و دت ۱۰۹ و ASTM C204-89 و DIN-1164-85

۱- هدف: تعیین درجه نرمی سیمان پرتلند

۲- اهمیت و کاربرد: یکی از عوامل موثر بر میزان هیدراتاسیون ریزی دانه‌های سیمان می‌باشد. هر قدر که ذرات سیمان ریزتر باشد میزان هیدرتاسیون افزایش می‌یابد و بنابراین روند کسب مقاومت و گیرش زودتر انجام می‌گیرد. بطور کلی دانه‌های ۱۰ الی ۲۴ میکرون مقاومت سیمان را تامین می‌کنند و لی برای تامین درجه خمیری لازم به دانه‌های ریزتر از ۱۰ میکرون نیز نیاز هست زیرا عامل پلاستیکی – نفوذناپذیری و اخذ مقاومت زیاد و سریع بتن دانه‌های کوچکتر از ۱۰ میکرون می‌باشد. همچنین ابعاد دانه‌ها نباید از ۵ میکرون کوچکتر باشد زیرا سب گیرش بسیار سریع و احتمالا گیرش کاذب می‌شود.

ذکر این نکته در همینجا ضروری است که تولید حرارت هیدراتاسیون تنها در واحد زمان افزایش می‌یابد (به علت کاهش زمان گیرش) ولی کل حرارت هیدراتاسیون تولیدی از زمان اختلاط به بعد تغییری نمی یابد از این رو چنانچه مقاومت نهایی خمیر یا بتن مد نظر باشد نرمی سیمان یکی از عوامل بسیار مهم می‌باشد ولی مهمتر از ترکیب شیمیایی سیمان نمی باشد. قابل ذکر است که افزایش ریزی سیمان باعث افزایش زمان آسیاب نمودن و سیمان مصرف گچ زیادتر و کاهش سریعتر کارایی بتن می‌گردد. هیدراتاسیون سیمان از سطح دانه‌های آن آغاز می‌شود و سرعت واکنش شیمیایی آب و سیمان به ریزی سیمان مربوط بوده و لذا هیدراتاسیون سریع و افزایش مقاومت سریع سیمانی با ریزی بالا مورد نیاز است. عملا دانه‌های بزرگتر از ۰/۱ میلی متر ۱۰۰ میکرون در آبگیری شرکت نکرده و دانه‌های بزرگتر از ۲۰ میکرون پس از یک هفته می‌تواند به افزایش مقاومت کمک کنند.

این آزمایش به دو روش انجام می‌گردید.

الف- تعیین درجه نرمی سیمان از طریق بتن باقی مانده سیمان بر روی الک

ب- تعیین درجه نرمی سیمان از طریق دستگاه هوا تراوی (نفوذپذیری)

ابتدا به روش اول آزمایش را شرح می‌دهیم و سپس به طریقه دوم.

۳- وسایل آزمایش:

الک ۹۰ میکرون شماره ۱۷۷ در سیستم ASTM

ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم

دستگاه لرزاننده (شیکر)

اون دستگاه گرم کن که قادر به تولید گرما یکنواخت تا ۵±۱۰۵ درجه سلسیوس باشد.

۴- نمونه برداری: برای هر بار آزمایش نیاز به ۱۰۰/۰۰ گرم سیمان می‌باشد.

۵- روش آزمایش: این روش آزمایش کاملا اختیاری است و برای این منظور از الکهای ۹۰ میکرونی استفاده می گردد. برای انجام این آزمایش ۱۰۰/۰۰ گرم سیمان را که در اون در دمای ۵±۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده ایم توزین می‌نمایم سیمان را در محیط خشک و بدور از رطوبت تا درجه حرارت اتاق خنک می‌کنیم و سپس تمام

آنرا در داخل الک ۹۰ میکرونی (همراه با زیر الک ودرب) ریخته و سپس آنرا به مدت ۲۵ دقیقه مطابق شرح زیر الک می‌کنیم.
الک کردن بدین طریق انجام می‌گردد که با یک دست الک را محکم و به صورت کمی مایل نگه می‌دارند و سپس به وسیله دست دیگر ضربه‌هایی به الک وارد نموده و این ضربات را به میزان ۱۲۵ بار در دقیقه تکرار کنید و بعد از هر ۲۵ بار یکدفعه آنرا به صورت افقی نگه دارید و با گرداندن ۹۰ درجه چند ضربه ملایم به قید الک بزنید بعد از هر ۱۰ تا ۲۰ دقیقه یک بار سطح زیرین الک را با برس نرم برای باز کردن چشمه‌های الک پاک کنید. بعد از ۲۵ دقیقه الک کردن باقیمانده روی الک را با کج کردن و ضربه زدن روی ظرفی جمع آوری و توزین کنید.
پس از خاتمه کار الک کردن باقی مانده را مجددا الک کنید تا اینکه مطمئن شوید در عرض ۲ دقیقه الک کردن کمتر از ۰/۱ گرم از آن الک می‌گذرد.
وزن باقی مانده روی الک برحسب درصد وزنی زبری وتا حدود ۰/۵ تقریب گزارش شود.
برای کنترل صحت آزمایش یک بار دیگر آزمایش را با ۱۰۰/۰۰ گرم سیمان تجدید کنید. نتیجه آزمایش دوم نباید بیش از ۱ درصد با نتیجه آزمایش اول فرق داشته باشد. در صورت اختلاف بیشتر بود برای سومین بار آزمایش را تکرار کنید و متوسط نتیجه سه آزمایش را گزارش کنید.
محاسبات درصد نرمی سیمان به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$Z = \frac{R}{W} \times ۱۰۰$$

Z درصد وزنی زبری سیمان

$$N = 100 - Z$$

R وزن باقی مانده سیمان روی الک ۹۰ میکرونی gr
W وزن کل نمونه اولیه سیمان gr
N درصد وزنی نرمی سیمان

ب- تعیین درجه نرمی سیمان پرتلند از طریق دستگاه هواتراوی (نفوذپذیری) بلن

هدف- منظور از این آزمایش تعیین سطح مخصوص سیمان می‌باشد.

اهمیت و کاربرد: سطح مخصوص سیمان عبارت است از سطح جانبی دانه‌های موجود در واحد وزن بنابراین واحد سطح مخصوص سانتی متر مربع بر گرم می‌باشد.
مقادیر تقریبی سطح مخصوص سیمانها به قرار زیر می‌باشد.
سیمانهای ریزدانه حدود $۴۵۰۰ cm^2/gr$
سیمانها با دانه حدود $۳۰۰۰ cm^2/gr$
سیمانهای درشت دانه حدود $۲۰۰۰ cm^2/gr$
مطابق استاندارد ایران سطح مخصوص کلیه سیمانها پرتلند شامل نوع ۱ و ۲ و ۴ و ۵ برابر $۲۶۰۰ cm^2/gr$ و سیمان پرتلند نوع ۳ تقریبا $۴۰۰۰ cm^2/gr$ می‌باشد.
همانگونه که قبلا هم بیان شد سیمانهای ریزدانه دارای گیرش سریع بوده این نوع سیمان تاب مقاومت فشاری آن به ویژه در روزهای نخست پس از گیرش سیمان از انواع دیگر سیمان پرتلند بیشتر می‌باشد. معمولا مواد اولیه و

درصد اختلاط سیمانهای ریزدانه سیمانهای ممتاز مانند سیمان پرتلند نوع ۱ است تنها در ساخت آن دقت بیشتری صورت می‌گیرد و اینکه آن را ریزتر آسیاب می‌کنند و در بعضی موارد بعد از آسیاب کردن دوباره می‌پزند.

نگهداری سیمان فله فقط در سیلو مجاز است نگه داری و ذخیره سازی نباید در کیسه‌ها که لایه کاغذی در شرایط مناسب بیش از ۶ هفته و در سیلوهای مناسب از ۳ ماه تجاوز کند در صورت تجاوز مقاومت سیمان حدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد و سطح مخصوص آنها حدود ۲۰۰۰ سانتی متر مربع بر گرم کاهش می‌یابد. در صورت تجاوز از مهلت های یاد شده سیمان باید قبل از مصرف آزمایش شود و یا در قسمتهای غیر سازه‌ای مصرف می شود. به طور کلی رعایت شرایط استاندارد ملی ایران شماره ۲۷۶۱ الزامی است (آئین نامه کاربرد حفاظت و انبار کردن سیمان در کارگاه ساختمان)

وسایل آزمایش:

ترازو با دقت ۰۱/ گرم

دماسنج – زمان سنج

دستگاه بلن

این روش آزمون به وسیله دستگاه هواتراوی (نفوذ هوا) موسوم به دستگاه بلن (Blaine) انجام می‌گیرد و نرمی سیمان پرتلند را به طریق سطح مخصوص آن یعنی مجموع سطح اشغالی بر حسب سانتی متر مربع بر یک گرم سیمان تعیین می‌کند.

شرح دستگاه بلن

دستگاه بلن شامل وسیله کشش یک مقدار معینی هواست که از میان یک بستر سیمان که با تخلخل معینی تهیه شده باشد عبور نماید. اندازه حفرها در بستر سیمان با تخلخل معین با اندازه دانه‌های سیمان رابطه دارد و مبین میزان جریان هوا در داخل بستر است این دستگاه چنانچه در شکل ۱ نشان داده شده است دارای قسمتهای مختلف زیر است.

استوانه تراوایی (سلول):

این استوانه معمولا از شیشه یا فلز سخت و ضد زنگ ساخته می‌شود و قطر داخلی آن ۱/۲۷±۰/۱ سانتی متر می‌باشد.سطح فوقانی محفظه نسبت به محور استوانه باید یک زاویه قائمه تشکیل دهد ضمنا یک برآمدگی به عرض ۱/۲–۱ میلی متر در خود ساختمان محفظه و یا در داخل استوانه دورا دور (۱/۵±۵ سانتی متر سطح فوقانی) برای نگهداری صفحه مشبک منظور می‌کنند.

صفحه مشبک:

صفحه باید از فلز ضد زنگ ساخته شود و دارای ضخامت ۰/۱±۰/۹ میلی متر و تعداد ۳۰ الی ۴۰ سوراخ به قطر حداکثر یک میلی متر باشد. به طوری که فواصل آنها به طور مساوی روی صفحه مشبک تقسیم گردیده باشد. صفحه باید به خوبی در داخل محفظه قرار گیرد و به آسانی در داخل استوانه جای گیرد.

سمبه (پیستون):

سمبه باید از لامینات فنولیک ساخته شده باشد و داخل استوانه را با یک فاصله حداکر ۰/۱ میلی متری پر کند کف سمبه باید لبه تیز و نسبت به محور سمبه ۹۰ درجه باشد. خروج هوای اضافی باید از مرکز و یا یکی از طرفین سمبه تامین شود قسمت بالای سمبه باید دارای کلاهک باشد به طوری که وقتی سمبه کاملا داخل استوانه می‌شود و کلاهک سمبه به بالای استوانه می‌چسبد یک فاصله ۱/۵±۰/۱ سانتی متری کف سمبه و قسمت بالای صفحه مشبک باقی بماند.

کاغذ صافی:

کاغذ صافی باید از نوع متوسط باشد (نوع ۱ درجه B) کاغذ صافی باید مدور و دارای لبه نرم و قطری برابر قطر داخلی محفظه باشد برای هر آزمایش باید از کاغذ صافی نو استفاده شود. لوله فشار سنج (لوله مانومتریک): لوله u شکلی برابر مشخصات داده شده در شکل می‌باشد.

قطر خارجی لوله ۹ میلی متر و در قسمت بالای لوله که استوانه تراوایی (سلول) روی آن قرار می‌گیرد. باید کاملا آببندی شود که هوا نتواند از آن عبور کند. قسمتی از لوله U شکل که به استوانه مربوط می‌شود باید با یک خط نشانه‌ای در فاصله ۱۲/۵ الی ۱۴/۵ سانتی متری زیر شیر خروجی هوا ساخته شود و ضمنا فواصل ۱/۵ و ۷ و ۱۱ سانتی متری همین خط فاصله برابر شکل با خط نشانه مشخص می‌گردد.

طول لوله فشارسنج از کف تا زیر شیر هوا باید ۲۵ تا ۳۰/۵ سانتی متر باشد در فاصله حداکثر ۵ سانتی متری لوله U یک شیر آببندی شده باید نصب شود و خود لوله U روی پایه‌ای باید به خوبی مستقر شود و کاملا به شکل عمودی قرار گیرد.

محلول فشارسنج:

لوله U شکل باید تا پائین ترین خط نشانه با محلول غیر فواری پر شود که رطوبت را جذب نکند و دارای ناروایی و وزن مخصوص کم باشد مانند دی بوتیل فتالات – دی بوتیل ۱ بنزن – دی بوتیل ۲ بنزن – دی کربوکسیلات – یا هر نوع روغن معدنی سبک

زمان سنج:

زمان سنج باید دارای دکمه قطع و وصل باشد و دقت خواندن آن تا نزدیک ۰/۵ ثانیه و یا کمتر باشد.

حجم استوانه تراوایی (سلول):

حجم بستر فشرده شده سیمان در داخل استوانه تراوایی (سلول) باید به وسیله جانشین کردن جیوه انجام شود. حجم سلول که در این آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱/۸۱۲Cm3 به وسیله جیوه اندازه گیری شده است.

تهیه نمونه:

نمونه سیمان مورد آزمایش را در یک شیشه درب دار کوچک ۱۰۰ سانتی متر مکعب بریزید و برای مدت دو دقیقه آنرا به شدت به هم بزنید تا ذرات به هم چسبیده آن از یکدیگر باز شود.

وزن نمونه:

مقدار سیمان استاندارد که برای میزان کردن دستگاه به کار می‌رود مقداری است که یک بستر سیمان با تخلخل ۰/۵±/۰۰۵ تشکیل دهد و به طریقه زیر محاسبه می‌گردد.

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

W وزن نمونه لازم برای آزمایش بر حسب گرم

ρ = تکاشف نسبی (وزن مخصوص نسبی) نمونه آزمونه (برای سیمان پرتلند gr/cm^3 ۳-۳/۲۵)

V حجم (استوانه تراوایی) بستر سیمان

شرح آزمایش: در این آزمایش سطح مخصوص سیمان از روی زمان عبور حجم ثابتی از هوا تحت فشار معین و درجه حرارت معلوم از میان قشر فشرده شده سیمان در شرایط مشخص محاسبه می‌گردد.

ابتدا صفحه مشبک را در داخل سلول (استوانه تراوایی) در محل خودش قرار گیرد یک کاغذ صافی در داخل محفظه بگذارید و با کمک مداد آنرا روی صفحه مشبک فشار دهید مقدار معین سیمان وزن شده از رابطه ۱ بدست آمده را با دقت ۰۱/ گرم توزین شده است در محفظه بریزید آنگاه سطح سیمان را با ضربه‌های ملایمی که به محفظه می‌زنید صاف کنید. یک کاغذ صافی روی سطح سیمان قرار دهید و سمبه را داخل کنید تا آنجایی که کلاهک آن به سطح استوانه برسد بستر سیمان را کاملا فشار دهید و سپس سمبه را به آرامی از بستر سیمان خارج کنید. محفظه تراوایی (سلول) را روی لوله U شکل قرار دهید و مطمئن گردید که محفظه روی لوله به خوبی آبندی شده است (برای اطمینان از این امر سطح تماس لوله مانومتریک و جداره خارجی سلول را با روغن کمی چرب کنید دقت کنید به کاغذ صافی و بستر سیمان اختلالی وارد نشود).

هوای موجود در یک بازوی لوله U شکل را به آهستگی تخلیه کنید به طوری که محلول به بالاترین نشانه لوله برسد در این موقع شیر را ببندید و زمان سنج را حاضر کنید و همینکه مایع سنج به نشانه دوم لوله (از بالا) رسید آن را به کار اندازید و زمانی که به نشانه سوم لوله U شکل رسید آنرا متوقف سازید و فاصله زمانی بین این دو نشانه را با دقت ۰/۵ ثانیه بدست آورید. درجه حرارت محیط آزمایشگاه را با دماسنج برحسب درجه سیلسیوس (سانتی گراد) مشخص نمائید.

تذکر به علت خاصیت موئینگی در داخل لوله مانومتریک در موقع قرائت بین دو نقطه ۲ و ۳ باید با دقت عمل نمود.

سطح مخصوص سیمان از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$S = \frac{S_s \rho_s (۱-e_s)\sqrt{n_s}\sqrt{e^۳}\sqrt{T}}{\rho(۱-e)\sqrt{e^۳_s}\sqrt{T_s}\sqrt{n}}$$

S سطح مخصوص برحسب سانتی متر مربع بر گرم برای نمونه مورد آزمایش

Ss سطح مخصوص بر حسب سانتی متر مربع بر گرم از نمونه استاندارد برای میزان کردن دستگاه

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

Ts فاصله زمانی اندازه گیری شده در لوله مانومتریک برحسب ثانیه برای نمونه استاندارد برای میزان کردن دستگاه

e تخلخل بستر نمونه مورد آزمایش که در اینجا برابر ۰/۵±۰/۰۰۵ می‌باشد.

es تخلخل بستر نمونه سیمان استاندارد برای میزان کردن دستگاه

ρ تکاشف نسبی (وزن مخصوص نسبی) نمونه مورد آزمایش

ρs وزن مخصوص نسبی (تکاشف) نمونه سیمان استاندارد برای میزان کردن دستگاه

n ناروایی (لزجت دینامیکی) هوا بر حسب پواز poises برای نمونه مورد آزمایش

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

چنانچه رابطه را ساده نمایم به صورت زیر خواهد بود.

$$S = \frac{S_s \rho_s (۱ - e_s)\sqrt{n_s}}{\sqrt{e^{۳}}_s \sqrt{T_s}} \times \frac{\sqrt{e^{۳}}\sqrt{T}}{\rho(۱-e)\sqrt{n}}$$

در این آزمایشگاه نمونه استاندارد در دمای ۲۵ درجه انجام گرفته است و به جای قسمت اول فرمول می‌توان ضریب ۲۱ را جایگزین نمود.

$$S = ۲۱ \frac{\sqrt{e^{۳}}\sqrt{T}}{\rho(۱-e)\sqrt{n}}$$

لزجت دینامیکی هوا (ناروایی) بر حسب پواز بر طبق جدول زیر می‌باشد.

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

این آزمایش را حداقل ۲ بار انجام داده و سطح مخصوص عبارت است از حد متوسط نتیجه دو آزمایش و این دو آزمایش با اختلاف ۲ درصد نسبت به یکدیگر قابل قبول است.

سوالات

۱- روشهای دیگری که بتوان اندازه ریزی ذرات را مشخص کرد را شرح مختصری دهید.

۲- چرا بعد از بیرون آوردن نمونه از استوانه (سلول) نمونه دو رنگ شده است.

آزمایش شماره ۳ روش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۱۹ و دت ۱۱۶ و ASTM C 187-86

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

۲- **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 نمونه‌های 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 ۳۰ ثانیه با نفوذ در خمیر سیمان در فاصله ۱±۶ میلی متری از کف قالب قرار گیرد. در این صورت غلظت خمیر، نرمال است، بر طبق استاندارد ASTM چنانچه میله آب سنج در مدت ۳۰ ثانیه در فاصله ۱±۱۰ میلی متر کف قالب قرار گیرد غلظت خمیر نرمال است. ضمنا مقدار آب خمیر نرمال عموما بین ۳۳-۲۶ درصد وزن سیمان خشک می‌باشد.

۳- **وسایل آزمایش:**

ترازو – حداقل ظرفیت ۱ کیلوگرم با دقت ۰/۱ گرم یا کمتر

استوانه مدرج – حداقل ظرفیت ۲۰۰ 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 ۰/۰۵±۱/۱۳ میلی متر و به طول ۵۰ میلی متر و سر دیگر این میله در طول ۵۰ میلی متری دارای قطر ۰/۰۵±۱۰ میلی متر می‌باشد که به میله آب سنج (غوطه ور G) معروف است و جهت آزمایش تعیین غلظت خمیر نرمال سیمان بکار می‌رود. میله متحرک (B) دارای عقربه‌ای است که بر روی یک صفحه مدرج متصل به پایه (D) بالا و پایین می‌رود حرکت قائم میله (B) نسبت به پایه و حرکت قائم عقربه نسبت به میله (B) توسط پیچ جداگانه قابل کنترل می‌باشد، وزن کلی قسمت متحرک دستگاه ویکات در موقع استفاده همراه با سوزن C بایستی ۱±۳۰۰ گرم باشد (سر دیگر میله بصورت میله آب سنج ساخته شده است)، وزن سوزن C باید ۰/۵±۹ گرم باشد.

ب) قالب ویکات از یک استوانه شکافدار با قطر داخلی ۸۰ میلی متر و ارتفاع ۴۰ 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 کاملا بسته می‌شود.

۴- **روش آزمایش:**

مقدار ۵۰۰ گرم سیمان از نوع سیمان مورد نظر نمونه برداری کرده حدود ٪۲۵ 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 تقریبا ۱۵ سانتیمتری، ۶ 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 ۴±۱/۴ 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 کاملا 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 ۳۰ 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 ۴۰ میلی متر را روی صفحه مدرج نشان دهد)، با باز کردن پیچ به مدت ۳۰ 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 ۳۰ ثانیه در فاصله ۵ تا ۷ 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 ۱- ظروف و دیگر وسایل آزمایش باید کاملا 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) تقریبا در وسط قالب به داخل خمیر سیمان نفوذ داده شود.

درجه حرارت سیمان، آب و اطاق آزمایش در خلال تهیه خمیر و پر کردن قالب بایستی ۱۷/۷ تا ۲۳/۳ درجه سانتیگراد باشد.

۵- 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 می‌تواند مبنای محاسبه خمیر نرمال قرار گیرد:

$$gc = \frac{Ww}{Wc}$$

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 ۵ میلی متر بدست می‌آید که برابر غلظت نرمال خمیر سیمان است توجه شود که برای رسم منحنی، آزمایش بایستی حداقل سه مرتبه تکرار گردد.

تذکر ۲- منحنی روی کاغذ میلی متری رسم شود تا بتوان دقیقا غلظت نرمالی را بدست آورد.

سوالات

۱- چرا باید خمیر سیمان را به مدت ۱/۴±۴ دقیقه مالش داد.

۲- علت تفاوت در مقدار فرو رفتن میله آب سنج در خمیر نرمال در استاندارد ایران ۱±۶ میلی متر و استاندارد ASTM آمریکا (۱±۱۰) میلی متر در چیست؟

آزمایش شماره ۴ روش تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۲ و دت ۱۱۳ و ASTM C 191-82

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

۲- **اهمیت و کاربرد**: زمان گیرش اولیه مدت زمان سپری شده از لحظه اختلاط آب و سیمان می‌باشد که از این بعد رشد کریستالهای ناشی از هیدارسیون سیمان به اندازه‌ای است که روانی خمیر رو به کاهش می‌گذارد. 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 می‌گذارد، آزمایش تعیین زمان گیرش اولیه بایستی با مقدار آب مشخص (غلظت نرمال) صورت گیرد تا اینکه نتایج این آزمایش برای نمونه‌های 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 کارخانه‌ای آن محک زد. در ارتباط با اهمیت این آزمایش، با توجه به اینکه قبل از زمان 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 پایایی 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 ۳) 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 نمی باشد ولی می‌تواند جهت تعیین حد زمانی عملیات پرداخت و مالـه کاری نمای ظاهری بتن قابل استفاده باشد.

۳- **وسایل آزمایش**: دستگاه ویکات – این دستگاه که طبق شکل شماره ۱ آزمایش شماره (۸) می‌باشد برای آزمایش ضروری است و اجزاء تشکیل شده دهنده آن در آزمایش شماره ۳ شرح داده شده است.

ترازو – حداقل ظرفیت ۱ کیلوگرم با دقت ۰/۱ گرم یا کمتر.

استوانه مدرج – حداقل ظرفیت ۲۰۰ میلی لیتر.

۴- **دما و رطوبت**: درجه حرارت سیمان، آب و اتاق آزمایش در حین تهیه خمیر سیمان و قالب گیری بایستی بین ۱۷/۷ و ۲۳/۳ درجه سانتی گراد باشد، آنگاه قالب سیمانی که برای آزمایش تهیه می‌شود بایستی در تمام مدت آزمایش در حرارت ۱/۱±۱۸/۹ درجه سانتی گراد و در فضایی که دارای حداقل ۹۰ درصد رطوبت نسبی باشد و از جریان هوا دور باشد نگهداری شود.

۵- روش آزمایش: تهیه سیمان وآب: مقدار ۵۰۰ گرم سیمان از نوع استفاده شده در آزمایش غلظت خمیر نرمال (آزمایش شماره ۳) نمونه برداری کرده و مقدار آبی مطابق غلظت نرمال آزمایش مذکور توزین نمایید. بهتر است نمونه سیمان قبل از توزین، از الک ۱/۱۸ میلیمتر الک شماره ۱۶ 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.

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 ۱/۴±۴ دقیقه باشد و عمل تهیه خمیر باید قبل از شروع علائم گیرش پایان یابد. ظرف و دیگر وسائل مورد استفاده بایستی کاملا تمیز و خشک بوده و تمام آب توزین شده با سیمان مخلوط گردد.

قالب گیری خمیر سیمان: پس از تهیه خمیر سیمان، قالب ویکات 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 ۲۱۳ گرم باشد. توسط ماله سطح خمیر کاملا 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 ۴۰ میلی متر را روی صفحه مدرج نشان دهد)، آنگاه دستگاه همراه با نمونه در داخل اتاق رطوبت قرار داده می‌شود، پس از ۳۰ دقیقه، با بیرون آوردن نمونه از اتاق رطوبت پیچ نگهدارنده میله (B) را باز کرده تا سوزن در آن نفوذ کند. سوزن در مدت ۳۰ ثانیه در داخل خمیر نفوذ کند و فاصله سر سوزن در فاصله ۵ میلی متری کف قالب متوقف گردد. (در استاندارد ASTM سوزن باید در فاصله ۱۵ میلی متری کف قالب متوقف گردد.) بنابراین در صورت لزوم عمل نفوذ سوزن در خمیر بایستی هر ۱۵ دقیقه تکرار گردد، در فواصل زمانی نمونه در اتاق رطوبت بایستی نگهداری گردد، در صورتیکه نتوان مستقیما 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 ۵ میلی متر و کمتر از ۵ 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 ا ستفاده 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 ۱۰ 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.

۶- محاسبات: چنانچه با تکرار نفوذ سوزن در خمیر سیمان، سوزن در فاصله ۵ 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 ۵ 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 ۵ میلی متر باشد.

تذکر ۱- نتایج آزمایش را در جدول(۱) 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 ویکات (میلی متر)
۱		
۲		
۳		

سوالات

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

آزمایش شماره ۵ روش تعیین انبساط سیمان (سلامت سیمان) بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۱ و دت ۱۲۳ و ASTM C151-84

۱- **هدف:** سلامت سیمان

۲- **اهمیت و کاربرد:** سلامت سیمان به ثبات حجم خمیر سیمان سخت شده بعد از گیرش اطلاق می‌شود معمولا عدم سلامت سیمان یا انبساط مخرب معوق به علت مقادیر بیش از اندازه آهک آزاد خوب پخته نشده است در این صورت در خمیر سیمان پس از حصول گیرش تغییرات حجمی زیادی رخ می‌دهد اگر مواد خام تغذیه شده بداخل کوره حاوی مقداری آهک بیش از آنچه می‌تواند با اکسیدهای اسیدی ترکیب شود باشد مقدار اضافی به حالت آزاد باقی خواهد ماند.

آهک آزاد که در کلینکر موجود است به آرامی هیدراته شده و حجمی به مراتب بیشتر از حجم اولیه اکسید کلسیم پیدا می‌کند و این نکته مهم است که خمیر سیمان پس گیرش اولیه و سخت شدن تغییر حجم عمده‌ای پیدا نکند علت این محدودیت خرابی و ترکی است که خمیر سیمان در صورت انبساط (در محلی که امکان این انبساط نیست) پیدا می‌کند چنین انبساطی غالبا ناشی از فعل و انفعالات آهک و منیزیم آزاد و سولفات کلسیم می‌باشد. سیمانی که خاصیت چنین انبساطی را دارد سیمانی ناسالم است و همانگونه که در ابتدا بیان شد آهک آزاد که در کلینکر موجود است به آرامی هیدراته شده و حجمی به مراتب بیشتر از حجم اولیه اکسید کلسیم پیدا می‌کند و با روشهای تجزیه شیمیایی نمی توان مقدار آهک آزاد را تعیین نمود و این بدان علت است که بین CaO هیدراته نشده و $Ca(OH)_2$ تولید شده از هیدراتاسیون سیلیکاتها (زمان که در مجاورت هواست) نمی توان تفاوتی قائل شد دومین مورد اینکه اکسید منیزیم در مجاورت آب شبیه Cao عمل کرده و با کریستالی شدن حجم بیشتری را اشغال و سلامت سیمان را به مخاطره می‌آندازد. سومین عامل انبساط سولفات کلسیم می‌باشد که با تشکیل سولفوآلومینات کلسیم از گچ اضافی که با C3A ترکیب نشده سیمان را خراب می‌کند.

این آزمایش در استاندارد ایران به دو روش صورت می‌گیرد.

الف- روش لوشاتلیه

ب- روش اتوکلاو

ابتدا روش اول و سپس روش دوم را شرح می‌دهیم.

۳- **مصالح و وسایل مورد نیاز:**

پودر سیمان

ترازو با دقت ۰/۱ گرم – مزور با دقت ۱cc

انبرک لوشاتلیه – دستگاه لوشاتلیه همانگونه که در شکل دیده می‌شود عبارت است از یک استوانه شکاف دار از جنس فلز برنج و یا فلز مناسب دیگری که ضخامت آن ۰/۵ میلی متر باشد و قطر داخلی این استوانه ۳۰ میلی متر و ارتفاع آن نیز ۳۰ میلی متر می‌باشد (و در طی آزمایش از این استوانه به جای قالب استفاده می‌گردد) در دو سمت شکاف دو سوزن عقربه مانند نوک تیز (AA) قرار دارد و فاصله دونوک این سوزنها تا مرکز استوانه ۱۶۵ میلی متر خواهد بود.

۴- شرح آزمایش: ابتدا ۲۰۰ گرم سیمان را با ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن می‌نمایم و سپس با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش شماره ۳ خمیر نرمال را تهیه می‌کنیم.
(نحوه ساخت خمیر نرمال سیمان و میزان استاندارد فرو رفتن میله ویکات در اخل خمیر و دستگاه ویکات در آزمایش شماره ۳ شرح داده شده است)
برای تعیین انبساط سیمان پرتلند استوانه لوشاتلیه را روی یک صفحه شیشه‌ای قرار دهید و آنرا از خمیر سیمان استانداردی (نرمالی) که تهیه نموده اید پر کنید.
(تذکر ۱ هنگام پر کردن خمیر در استوانه باید دقت شود که شکاف استوانه بسته باشد)
طرف دیگر استوانه (صفحه فوقانی انبرک لوشاتلیه) را باید با یک صفحه شیشه‌ای پوشاند و روی آن وزنه کوچکی قرار داد (یک کیلوگرم) و فورا آن را در داخل محفظه آبی که دارای حرارت ۱/۱±۱۸/۹ درجه سانتی گراد باشد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری نمود. پس از طی ۲۴ ساعت فاصله سوزن دو سر انبرک لوشاتلیه را با کولیس بادقت ۰۲/ میلی متر اندازه گیری نمود و در مرحله بعد مجددا قالب را در زیر آب با همان درجه حرارت مذکور قرار داد و در مدت ۲۵ الی ۳۰ دقیقه آنرا به نقطه جوش رسانید و عمل جوشاندن را یک ساعت ادامه داد بعدا آنرا خارج کرده و گذاشت تا سرد شود (با درجه حرارت محیط یکنواخت گردد).
و مجددا برای دومین مرتبه فاصله دو سر سوزن‌ها را اندازه گیری کرد و اختلاف دو بار اندازه گیری معرف انبساط سیمان است.

روش دوم – تعیین پایداری خمیر سیمان پرتلند به وسیله اتوکلاو

۳- وسایل و مصالح آزمایش:

پودر سیمان
ترازو با دقت ۰/۱ گرم – مزور با دقت ۱cc
قالب خمشی ملات نرمال به ابعاد ۱۶×۴×۴ سانتی متر
کاردک به عرض ۱۰ الی ۱۵ سانتی متر

اتوکلاو: اتوکلاو شامل دستگاه تهیه بخار با فشار زیاد و مجهز به حرارت سنج می‌باشد. اتوکلاو باید با دستگاه خودکار کنترل فشار بخار و سوپاپ اطمینان با تحمل فشار ٪۵±۲۲ مجهز باشد. در شرایطی که به کار بردن سوپاپ ا طمینان مجاز نیست دستگاه باید به شیر اطمینان مجهز باشد و ضمنا دستگاه باید برای خروج هوا در لحظات اولیه گرم شدن و همچنین خارج کردن بخار اضافی هنگام خنک کردن دارای یک شیر هوا نیز باشد. فشار سنج باید دارای قطر ۱۱۲ میلی متر و از صفر تا ۴۲ اتمسفر تقسیم بندی شده باشد و فواصل هر تقسیم بندی نباید بیشتر از ۰/۳۵ اتمسفر باشد. در فشار ۴۲ اتمسفر خطای عقربه فشارسنج نباید زیادتر از ۰/۲ اتمسفر باشد. قدرت دستگاه گرم کننده باید طوری باشد که با داشتن حداکثر بار (آب و قالبهای سیمان) فشار بخار ایجاد شده در اتوکلاو بتواند در مدت ۴۵ تا ۷۵ دقیقه از زمانی که دستگاه روشن می‌شود به ۲۱ اتمسفر برسد.
دستگاه کنترل فشار باید قادر باشد که فشار بخار ۰/۷±۱ اتمسفر را حداقل در مدت ۳ ساعت نگاه دارد و فشار بخار ۰/۷±۲۱ اتمسفر دارای حرارت ۱/۷±۲۱۵/۷ درجه سانتی گراد می‌باشد.

اتوکلاو باید طوری ساخته شود که بتواند فشار ۲۱ اتمسفر را در مدت ۱/۵ ساعت به کمتر از ۰/۷ اتمسفر برساند (بعد از خاموش کردن دستگاه)

جهت تغییرات اندازه گیری طول باید یکی از روشهای زیرا را مد نظر قرار داد.

۱- وسیله موثری برای تماس با پیچهای شاخص که در داخل قالبهای سیمان تعبیه شده به منظور اندازه گیری طول.

۲- میکرومتر صفحه‌ای دقیق یا وسیله اندازه گیری مدرج دیگری که بتواند تا ۰۰۲۵/ میلی متر را نشان دهد.

۳- دستگاه اندازه گیری که به اندازه کافی مدرج باشد تا بتواند تغییرات کوچک طولی قالب را نشان دهد.

تذکر ۱- حرارت اتاق آزمایش و وسایل و قالب و مواد خشک نباید کمتر از ۲۰ و بیشتر از ۲۷/۵ درجه سانتی گراد باشد. حرارت آب اختلاط و محفظه مرطوب نباید در ۲۳ درجه سانتی گراد بیش از ۱/۷± درجه تغییر کند.

تذکر ۲- رطوبت نسبی آزمایشگاه نباید کمتر از ۵۰ درصد باشد. محفظه مرطوب باید طوری ساخته شود که امکانات لازم برای نگهداری قالبها در رطوبت نسبی که کمتر از ۹۰ درصد نباشد فراهم کند.

شرح آزمایش: ابتدا قالبها را باید با یک لایه نازک روغن معدنی آغشته نمود و بعدا پیچهای شاخص به وسیله موم مخصوص در جای خود نصب گردند و باید دقت شود پیچها عاری از روغن و تمیز باشد.

مقدار ۱۰۰ گرم پودر سیمان را با ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن نموده و با آب نرمال که در آزمایش شماره ۳ مشخص گردید به مدت ۱/۴±۴ دقیقه مالش داده (مطابق دستورالعمل داده شده در آزمایش شماره ۳)

پر کردن قالبهای سیمان – برای هر خانه قالب ۳۱۰ گرم از خمیر سیمان را وزن کنید و به طور مساوی در سطح هر قالب بریزید خمیر سیمان را در هر خانه با ۲۰ ضربه ملات کوب که ۷۰۰ گرم وزن دارد فشرده کنید. عمل ضربه زدن باید در هر دو طرف دیواره قالبها انجام گیرد بعد از فشردن طبقه اول مجددا ۳۱۰ گرم خمیر سیمان را وزن کنید و با ۲۰ ضربه دیگر آنرا فشرده کنید. بعدا کلاهک قالب را بردارید و سطح قالبها را با ۲ تا ۳ بار حرکت یک کاردک یا خط کش فلزی صاف کنید بعدا قالبها را در محفظه‌ای که دارای هوای مرطوب باشد قرار دهید و بعد از دو ساعت سطح قالبها را با خط کش صاف کنید و بعد قالبها را در یک سطح افقی در محفظه هوای مرطوب قرار دهید و حداقل ۲۰ ساعت در داخل قالب در محفظه و اتاق مرطوب نگهداشت و چنانچه پیش از ۲۴ ساعت از قالب خارج شد باید آنرا تا موقع آزمایش در محفظه یا اتاق مرطوب نگهداری کرد.

بعد از ۲۴ ساعت که از پر کردن قالبها گذشت آنها را از محلظه مرطوب خارج کنید و فورا طول آن را اندازه گیری نمائید و بلافاصله آنرا در اتوکلاو روی پایه مخصوص خود در حرارت اتاق قرار دهید به طوری که تمام سطوح قالبها با بخار اشباع شده تماس حاصل کند اتوکلاو باید به اندازه کافی آب با حرارت ۲۰ الی ۲۷/۵ درجه سانتی گراد داشته باشد که بتواند در تمام طول آزمایش بخار اشباع شده کافی تهیه کند (معمولا ۷ الی ۱۰درصد حجم اتوکلاو باید به وسیله آب اشغال شود) برای خروج هوا از اتوکلاو در ابتدای گرم کردن باید شیر هوا باز باشد تا موقعی که بخار شروع به خارج شدن کند در این موقع شیر هوا را ببندید و در درجه حرارت اتوکلاو را تا آن اندازه بالا ببرید تا عقربه فشارسنج بخار به۲۲ اتمسفر برسد. ۴۵ تا ۷۵ دقیقه پس از روشن کردن اتوکلاو فشار را به ۰/۷±۲۲ اتمسفر برساند و آنرا برای ۳ ساعت نگه دارید بعد از گذشت ۳ ساعت دستگاه حرارتی اتوکلاو را

خاموش کنید و اتوکلاو را طوری سرد کنید که فشار بخار در مدت ۲۴ ساعت به کمتر از ۰/۷ اتمسفر برسد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت هرگونه فشار داخلی اتوکلاو را با باز کردن شیر هوا از میان ببرید و سپس اتوکلاو را باز کنید و فورا قالبها را خارج کنید و در آبی که دارای حرارت ۹۰ درجه باشد قرار دهید و به وسیله آب سرد اطراف ظرف قالبها را سرد کنید به طوری که پس از ۱۵ دقیقه حرارت آب محتوی قالبها از ۲۳ درجه سانتی گراد کمتر شود و سعی کنید در مدت ۱۵ دقیقه این حرارت ۲۳ درجه را ثابت نگه دارید سپس قالبها را خارج کنید و خشک کنید و آنها را دوباره اندازه بگیرد.

اختلاف اندازه گیری قبل و بعد از قرار گرفتن در اتوکلاو بر مبنای درصد با تقریب ۰/۰۱ درصد باید گزارش شود. افزایش طول باید به عنوان انبساط حجم اتوکلاو گزارش شود و کاهش طول با علامت منفی مشخص گردد و بر مبنای درجه منعکس گردد.

سوالات

آزمایش را انجام داده و با استاندارد مقایسه نمائید و نسبت به وضعیت سیمان اظهار نظر فرمائید.

فصل ۲ – سنگدانه ها

سنگدانه‌ها: سنگدانه‌ها در بتن تقریبا ۳/۴ حجم آنـرا تشـکیل مـی‌دهنـد. از ایـن رو کیفیـت آنهـا از اهمیـت خاصـی برخوردار است. سنگدانه‌ها نه تنها در مقاومت بتن بسیار موثرند بلکه دوام وپایداری 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 نیسـتند و خـواص فیزیکی – حرارتی و گاهی اوقات شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثـال پایـداری حجمـی و دوام بتن تا حدودی از این مصالح می‌باشد از نقطه نظر اقتصادی مصرف هر چه بیشـتر سـنگدانه‌هـا در بـتن بـا صرفه خواهد بود و از نظر اقتصادی سعی در کم کردن مقدار سیمان سودمند می‌باشد البته با توجه بـه خـواص خواسته شده بتن چه هنگامی که تازه است و چه بعد از سفت و سخت شدن دانه‌های سنگی طبیعی معمولا بوسیله هوازدگی و فرسایش و یا بطور مصنوعی با خرد کـردن سـنگهای مـادر تشـکیل مـی‌شـود. بنـابراین بسـیاری از خواص سنگدانه‌ها نظیر ترکیبات شیمیایی وکانی‌های تشکیل دهنده – طبقـه بنـدی – و مشخصـات از نظـر سـنگ شناسی – توده ویژه – سختی – مقاومت – پایداری فیزیکی و شیمیایی – تخلخل – رنگ و بسیاری خصوصـیات دیگر بستگی به سنگ مادر دارد. علاوه بر این خواص خصوصیات دیگری در سنگدانه‌ها وجود دارد که در سـنگ 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 نـوع و بعضـی دیگـر از چنـد نـوع کـانی تشـکیل می‌شوند کانی‌ها مواد جامد، طبیعی، معمولا متبلور، غیر آلی و همگن هستند که ترکیـب شـیمیایی نسـبتا ثـابتی را دارند. کانی‌های تشکیل دهنده سنگها یا به اصطلاح کانی‌های سنگ سـاز بـر حسـب انـواع سـنگها بـه سـه گـروه کانیهای ۱- ماگمایی ۲- رسوبی ۳- دگرگونی تشکیل می‌شوند.

تاکنون بیش از ۳۰۰۰ نوع کانی در طبیعت شناخته شده است که تنها ۲۴ کانی در سـنگهای پوسـته زمـین فـراوان هستند و آنها را کانی سنگ ساز می‌نامند. کانی‌ها را بر حسب سختی به ۱۰ 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 دوکه میشود با ناخن آنها را خراش داد مانند گوگرد – سنگ – گچ – پنبه کوهی – نمـک بلـوری – طلا

کانی با سختی سه که با فولاد به آسانی خراشانده می‌شود مانند سنگ آهک – دلومیت – 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

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 ۱- ماگمایی ۲- رسوبی و ۳- دگرگونی تقسیم شده اند.
۱- 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 ۷۰۰۰ 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.
۱- 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
۲- 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.
۳- 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 ۳ 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.
سنگهای دگرگونی این سنگها، ریشه اصلی این سنگها آذرین می‌باشد 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 می‌نامند.
اندازه دانه‌های سنگی که در بتن به کار می‌رود متفاوت است معمولا الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلی متر ۴/۷۵) در استاندارد ASTM به عنوان حد فاصل شن و ماسه شناخته شده است (البته این تقسیم بندی نیز گاهی تغییرات جزیی دارد) به طور کلی دانه‌های درشتر از ۴/۷۵ میلی متر را شن و دانه‌های کوچکتر از ۴/۷۵ میلی متر را ماسه

می‌نامند. حد پائین ماسه عموما ۰۷۵/ میلی متر (الک شماره ۲۰۰) و حد بالای شن عموما ۳۷/۵g میلی متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ) می‌باشد.

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 می‌باشد. از طرف دیگر درجه تراکم دانه‌های هم اندازه به شکل آنها وابسته است.

از طرف دیگر شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها تاثیر عمده‌ای بر میزان آب لازم یک مخلوط دارد به عبارت علمی تر هنگامی که تخلخل و فضای خالی بین دانه‌های متراکم شده بیشتر باشد آب زیادتری مورد نیاز است.

به طور کلی شکل و بافت سطحی دانه‌های سنگی در مقاومت بتن تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارند به خصوص در بتنها با مقاومت بالا که مقاومت خمشی بیش از مقاومت کششی تحت تاثیر قرار می‌گیرد بافت زبرتر و خشن تر دانه‌ها سبب بالا بودن چسبندگی و پیوستگی بین آنها و خمیر سیمان را فراهم می‌آورد همینطور سطح جانبی بزرگتر دانه‌های تیز گوشه پیوستگی را افزایش می‌دهد. به طور کلی اگر بافت سنگدانه‌ها طوری باشد که دوغاب سیمان نتواند نفوذی از سطح آنها به داخل آنها داشته باشد پیوستگی مطلوب حاصل نخواهد شد بنابراین دانه‌های نرمتر و متخلخل تر که حاوی کانیهای ناهمگن باشند پیوستگی قابل توجهی ایجاد می‌کنند به طور کلی پیوستگی خوب زمانی است علاوه بر دانه‌های جدا شده از خمیر سیمان در نمونه بتنی شکسته شده تعداد دانه‌های سنگی نیز از میان شکسته شده باشند البته باید توجه داشت که اگر دانه‌های شکسته در نمونه بتنی شکسته شده زیاد باشند ممکن است نشان دهند وجود سنگدانه‌های ضعیف در بتن باشد واضح است که مقاومت فشاری بتن نمی تواند بطور قابل ملاحظه‌ای از مقاومت سنگدانه‌ها بیشتر گردد. بایستی توجه داشت که مقاومت لازم برای سنگدانه‌ها 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 سنگدانه‌ها با مقاومت و مدول الاستیسیته متوسط یا پائین از نطقه نظر سلامت بتن ممکن است با ارزش باشند این نوع سنگدانه‌ها به علت تراکم پذیری سبب ایجاد 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. ۱- پیوسته ۲- غیر پیوسته

در دانه بندی پیوسته که بیشتر معمول است دانه‌های همه اندازه های 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 سنگدانه ها موجود نمی باشد و ریز دانه‌ها و یا درشت دانه‌ها هر یک جداگانه دانه بندی می‌شوند.

بهترا ست 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 وماسه 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 ۳ باشد.

آزمایش شماره ۶ روش دانه بندی شن به وسیله الک بر اساس استاندارد ملی ایـران شـماره ۳۰۲ و دت ۲۰۶ و ASTM C 136-848

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

۲- **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 هـر گونـه تغییراتـی 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 مشخصـات لازم برای مصالح سنگی و همچنین تهیه اطلاعات لازم برای کنترل و تصحیح دانه بندی سـنگدانه‌هـای مختلـف و مخلوطهایی که در آنها مصالح سنگی به کار می‌رود را نام برد و همچنین برای تعمیم رابطه بین تخلخـل و تـراکم نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

با انجام آزمایش دانه بندی و رسم منحنی دانه بندی شن لازم است این منحنی با منحنی اسـتاندارد شـن مقایسـه 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 انـد و یـا غربالهـایی بـا سوراخ گرد می‌باشند انجام می‌گیرد.

ابعاد سوراخهای غربالهایی با سوراخ گرد با یک تصاعد هندسی با قدر نسبت ۱/۲۵۹=$\sqrt[3]{10}$ بالا می‌روند و بـرای ساده کردن عمل این ضریب را ۱/۲۵ 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 برحسب قطرش اجازه عبور دانه‌های قدری درشت تر را می‌دهد. آزمایشهای متعدد نشان داده اند که الک کردن با غربال چهارگوش به ضـلع a و الـک کردن با غربال سوراخ گرد به قطر d وقتی معادل همدیگر می‌باشند که d=۱/۲۵a باشد و ۱/۲۵ همـان قـدر نسـبت انتخابی پس قطر یا ضلع سوراخهای غربال با نسبت ۱/۲۵ بزرگتر می‌شوند و ضمنا در مقابل هر غربال با سوراخ چهارگوش یک غربال با سوراخ گرد وجود دارد که قطرش ۱/۲۵ 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 ۱۰ برابر لگاریتم قطر سوراخ بـه

میکرون را معین می‌کند. مثلا اگر بخواهیم مدول مربوط به الک ۱۰۰ میکرونی را بدانیم به این ترتیب عمل می‌کنم. لگاریتم عدد ۱۰۰ برابر ۲ است و در نتیجه ۲۰=۲×۱۰ و بنابراین ۲۰ مدول الک ۱۰۰ میکرونی می‌باشد. در جدول ۱ 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 ۵/۱۶ اینچ نامگذاری مستقیما با اندازه سوراخ متناسب است به عنوان مثال الک ۱/۲ یعنی اینکه ضلع هر سوراخ ۱/۲ اینچ است.

برای غربالهای با سوراخ کوچک (کوچکتر از ۵/۱۶ اینچ) نامگذاری بر حسب تعداد سوراخ در هر اینچ طول می‌باشد به عنوان مثال الک ۳۰ یعنی اینکه در هر اینچ طول ۳۰ سوراخ وجود دارد.

استاندارد انگلیس			استاندارد آمریکا ASTM			استاندارد فرانسه AFNOR			نوع مصالح	
شماره اکر	اینچ	شماره الک	میلی متر	اینچ	شماره الک	مدول	قطر سوراخ dmm	ضلع سوراخ amm		
–	–	۴	۱۰۰	۴	۴	۵۰	۱۰۰	–	درشت دانه	
۳	۳	۴	۷۶/۲	۲/۵	۳	۴۹	۸۰	–		

۲ ۱/۲	۲/۵		۶۳/۵	۲/۵	۲/۵	۴۸	۶۳	–		
–	–		۵۰/۸	۲	۲	۴۷	۵۰	–	متوسط دانه	
۱ ۱/۲	۱/۵	شن درشت	۳۸/۱	۱/۵	۱/۵	۴۶	۴۰	–		
–	–		–	–	–	۴۵	۳۷۵	–	ریزدانه	
–	–		۲۵/۴	۱	۱	۴۴	۲۵	–		
۳/۴	۰/۷۵	شن متوسط	۱۹/۰۵	۳/۴	۳/۴	۴۳	۲۰	–	درشت	شن
–	–		–	–	–	۴۲	۱۶	–		
۱/۲	۰/۵		۱۲/۷	۱/۲	۱/۲	۴۱	۱۲/۵	–	متوسط	
۳/۸	۰/۳۷۵		۹/۵۱	۳/۸	۳/۸	۴۰	۱۰	–		
۵/۱۶	۰/۳۱۲	شن ریز	۸/۰	۰/۳۱۲	۵/۱۶	۳۹	۸	–	ریز	
۳/۱۶	۰/۱۸۷		۴/۷۵	۰/۱۸۷	۴	۳۸	۶/۳	۵		
–	–	ماسه درشت	۴/۰	۰/۱۵۷	۵	۳۷	۵	۴	درشت	ماسه
۵	۰/۱۳۲		۳/۳۶	۰/۱۳۲	۶	۳۶	۴	۳/۱۵		
۶	/۱۱۰۷		۲/۸۳	۰/۱۱۱	۷	۳۵	۳/۱۵	۲/۵		
۷	/۰۹۴۹		۲/۳۸	/۰۹۳۷	۸	–	–	–		
۸	/۰۸۱۰	ماسه متوسط	۲/۰۰	/۰۷۸۷	۱۰	۳۴	۲/۵	۲/۰		
۱۰	/۰۶۶۶		۱/۶۸	/۰۶۶۱	۱۲	۳۳	۲	۱/۶		
۱۲	/۰۵۵۳		۱/۴۱	/۰۵۵۵	۱۴	–	–	–		
۱۴	/۰۴۷۴		۱/۱۹	/۰۴۶۹	۱۶	۳۲	۱/۶	۱/۲۵	متوسط	
۱۶	/۰۳۹۵		۱/۰	/۰۳۹۴	۱۸	۳۱	۱/۲۵	۱/۰		
۱۸	/۰۳۳۶		۰/۸۴۱	/۰۳۳۱	۲۰	۳۰	۱/۰	۰/۸		
۲۲	/۰۲۷۵	ماسه ریز	/۷۰۷	/۰۲۷۳	۲۵	–	–	–		ماسه
۲۵	/۰۲۳۶		/۵۹۵	/۰۲۳۴	۳۰	۲۹	۰/۸	۰/۶۳		
۳۰	/۰۱۹۷		۰/۵۰۰	/۰۱۹۷	۳۵	۲۸	۰/۶۳	۰/۵		
۳۵	/۰۱۶۶		۰/۴۲۰	/۰۱۶۵	۴۰	۲۷	۰/۵	۰/۴		
۴۴	/۰۱۳۹		۰/۳۵۴	/۰۱۳۹	۴۵	–	–	–		
۵۲	/۰۱۱۶		۰/۲۹۷	۰/۰۱۱۷	۵۰	۲۶	۰/۴	۰/۳۱۵		
۶۰	/۰۰۹۹	ماسه بسیار ریز	۰/۲۵۰	/۰۰۹۳	۶۰	۲۵	۰/۳۱۵	۰/۲۵		
۷۲	/۰۰۸۳		۰/۲۱۰	/۰۰۸۳	۷۰	۲۴	۰/۲۵	۰/۲		
۸۵	/۰۰۷۰		۰/۱۷۷	/۰۰۷۰	۸۰	۲۳	۰/۲	۰/۱۶	ریز	
۱۰۰	/۰۰۶۰		۰/۱۴۹	/۰۰۵۹	۱۰۰	–	–	–		
۱۲۰	/۰۰۴۹		۰/۱۲۵	/۰۰۴۹	۱۲۰	۲۲	۰/۱۶	۰/۱۲۵		
۱۵۰	/۰۰۴۱		/۱۰۵	/۰۰۴۱	۱۴۰	۲۱	۰/۱۲۵	۰/۱		
۱۷۰	/۰۰۳۵		/۰۸۸	/۰۰۳۵	۱۷۰	۲۰	۰/۱	/۰۸		
۲۰۰	/۰۰۳		/۰۷۴	/۰۰۲۹	۲۰۰	۱۹	۰/۰۸	۰/۰۷		

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

و زیر الک و درب

دستگاه تقسیم کن

ترازو با دقت ۰/۵ 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 بغلطند تا در جهات مختلف روی سطح الک قرار بگیرند.
کوره – کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $۱۰۰\pm۵C^{o}$ باشد.
۴- **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 «۱» باشد.

مقدار تقریبی نمونه شن [gr]	اندازه بزرگترین دانه ها [mm]
۵۰۰	۵
۱۵۰۰	۹/۵
۲۰۰۰	۱۲/۵
۳۰۰۰	۱۹/۰
۴۰۰۰	۲۵/۰
۶۰۰۰	۳۸/۰
۸۰۰۰	۵۰/۰
۱۳۰۰۰	۷۵/۰

«جدول ۱»

بر طبق تبصره ۲ بند ۳-۴-۴- آئین نامه بتن ایران آبا

به کار بردن سنگدانه‌های درشت تر از ۳۸ میلی متر در ساخت قطعات بتن آرمه توصیه نمی شود ولی در هر صورت اندازه سنگدانه‌ها نباید از ۶۳ میلی متر تجاوز کند.
۵- **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 ۱: کوشش شود حداقل دو برابر مقدار مورد نیاز آزمایش برداشته شود و آن را از تقسیم کن عبور داد.
نمونه آزمایش را تا دمای $۱۱۰\pm۵C^{o}$ 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 ۱۵۰ دور در دقیقه تنظیم نمایید و دستگاه را به مدت ۱۰ دقیقه بکار اندازید.
تذکر ۲: الف) بر روی هر الک نباید به ضخامت بیش از ۲cm 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 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، مجددا 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 ۳: الف) در مورد الکهای ریزتر می‌توانید قبلا 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 برسی سیمی استفاده نشود.

۶- **محاسبات:** ۱- وزن دانه‌های هر یک از الکها m_i را در جدول منحنی دانه بندی شن یادداشت کنید.

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

$$b = \frac{mi}{\sum_{i=1}^{n} mi} \times ۱۰۰$$

شمارنده الک – i در جائیکه

تعداد الکها – n

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

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{k} mi}{\sum_{i=1}^{n} mi} \times ۱۰۰$$

تذکر ۴: با افزایش i، اندازه سوراخهای الک کوچکتر می‌گردد بطوریکه i=۱ مربوط به بزرگترین الک است.

۴- 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.

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 ۷ روش تعیین درصد رطوبت کلی سنگدانه‌ها و درصد جذب آب بر اساس دت ۲۰۷ و دت ۲۱۰ و ASTM C127-88 – ASTM C566-89

۱- **هدف**: الف) تعیین میزان آبی که در حالت طبیعی، با توجه به شرایط محیطی در سنگدانه‌ها موجود است. ب) تعیین درصد رطوبت دانه‌ها بر پایه حالت «داخل اشباع و سطح بیرونی خشک (s.s.d)»

۲- **اهمیت و کاربرد**: از آنجاییکه رطوبت سنگدانه‌ها متناسب با دگرگونی جوی و وضعیت قرارگیری آنها در انباشته‌ها است، لذا نیاز به اندازه گیری مداوم رطوبت سنگدانه‌ها می‌باشد.

هنگامیکه سنگدانه‌ها در معرض باران قرار می‌گیرد، آب زیادی بر روی سنگدانه‌ها جمع می‌شوند، و بجز ذراتیکه در نزدیک سطح بیرونی توده سنگدانه‌ها قرار گرفته باشند این آب اضافی برای مدت طولانی بر روی آنها، بویژه در سنگدانه‌ای کوچکتر از ۵۰mm پایدار می‌ماند (بجز آبی که در حالت s.s.d وجود دارد). لذا میزان آب نامبرده را باید در محاسبات مقادیر مواد متشکله مخلوط بتن محسوب داشت، چنانچه سنگدانه‌ها رطوبت ظاهری داشته باشد لازم است که وزن آب اضافه شده به مخلوط کاهش، و وزن سنگدانه‌ها به میزان معادل رطوبت ظاهری آنها افزایش یابد.

ب) درصد جذب آب:

شناخت میزان واقعی جذب آب دانه‌ها در کنترل آب مورد نیاز مخلوط و نسبت ثابت آب به سیمان (W/C) که در مقاومت و کارائی بتن تاثیر زیادی دارد بسیار با اهمیت می‌باشد. ساختمان داخلی دانه‌ها از مواد جامد و فضاهای خالی تشکیل شده، که این فضاها ممکن است دارای آب یا فاقد آب باشند، که این مقدار آب جذب شده توسط دانه‌ها اولا به فرم نگهداری دانه‌ها در شرایط جوی و ثانیا به نحوه یا ترتیب ریختن مواد در بتونیر و پوشش دوغاب سیمان روی دانه‌های درشت بستگی دارد. باید توجه داشت که جذب آب سنگدانه‌ها باعث کم شدن کارائی بتن به مرور زمان می‌گردد، ولی بعد از حدود ۱۵ دقیقه این افت در کارایی کم خواهد شد.

عموما مقدار جذب آب سنگدانه‌ها متناسب با اندازه و جنس آنها در حالت (s.s.d) بین ۰/۲۰ تا ۴/۵ درصد می‌باشد.

۳- **وسایل آزمایش**:

ترازو – ترازو با دقت ۰/۱ گرم باشد.

کوره – کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $۱۱۰\pm۵C^{o}$ باشد. هنگامیکه امکان کنترل دما در یک فضای بسته نباشد می‌توان از اجاق‌های برقی، گازی، لامپ‌های گرمازای برقی و یا مشابه آنها استفاده کرد.

ظرف نمونه – ظرف باید از جنسی باشد که در اثر گرما تغییر شکل ندهد و گنجایش آن نسبت به حجم نمونه زیادتر بوده تا از بیرون ریختن سنگدانه‌ها جلوگیری شود. همچنین ضخامت نمونه نباید از ۲۰ درصد بعد جانبی ظرف تجاوز کند.

همزن – یک قاشق فلزی یا کاردک با اندازه مناسب

۴- **نمونه برداری**: نمونه برداری باید به نحوی انجام شود که نمایشگر مقدار رطوبت در دپوی مورد نظر باشد و مقدار آنها نباید از آنچه در جدول ۱-۲ داده شده کمتر باشد.

تذکر ۱: قبل از وزن کردن نمونه باید از کاهش رطوبت آن جلوگیری شود.

بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه [mm]	وزن نمونه (حداقل) [kg]
۳۷/۵	۶
۲۵/۰	۴
۱۹/۰	۳
۱۲/۵	۲
۹/۵	۱/۵
۴/۷۵	۰/۵

جدول ۱-۲ میزان نمونه برای سنگدانه‌های معمولی

۵- **روش آزمایش**: ظرف مناسبی انتخاب نموده و آن را با دقت وزن کرده و یادداشت نمایید. با دقت ۰/۱ گرم نمونه را در حالت طبیعی در ظرف ریخته با دقت وزن کنید. با دقت ۰/۱ گرم
نمونه را با استفاده از منبع گرمایی منتخب کاملا خشک کنید و سپس وزن کنید با دقت ۰/۱ گرم
نمونه را بعد از خشک کردن و وزن کردن در محیط آزمایشگاه قرار داده تا با دمای محیط یکسان شود. سپس به مدت ۲۴ ساعت در حوضچه آب قرار داده و بعد از گذشت ۲۴ ساعت نمونه را خارج کرده و با سشوار خشک کرده تا به حالت ssd (اشباع با سطح خشک) برسد در این حالت مجددا با دقت ۰/۱ گرم وزن کنید.
تذکر ۱: الف) هنگام خشک کردن نمونه، باید دقت شود تا ذرات نمونه از ظرف بیرون نپرند.
ب) گرمادهی باید بصورت متعادل و کنترل شده داده شود زیرا ممکن است گرمای شدید باعث خرد شدن دانه‌ها و یا دگرگونی ویژگی سنگدانه‌ها شود.
پ) در صورت امکان برای تسریع در کار می‌توان نمونه را هنگام خشک کردن به هم زد.
ت) زمانی نمونه را خشک می‌نامیم که افزایش گرما نتواند بیش از ٪۰/۱ وزن نمونه را کاهش دهد.
پس از خشک و سرد شدن نمونه آنها را همراه با ظرف با دقت وزن می‌کنیم.

۶- **محاسبات**: با استفاده از فرمول زیر (۱-۲)، درصد رطوبت را به صورت زیر محاسبه نمایید.

$$P = \frac{(B-C)}{(C-A)} \times ۱۰۰ \qquad (۲-۱)$$

$$E = \frac{(D-C)}{(C-A)} \times ۱۰۰$$

در جاییکه:

P- مقدار رطوبت کلی نمونه بر حسب درصد

B- وزن ظرف و نمونه در حالت مرطوب (طبیعی)

C- وزن ظرف و نمونه خشک شده

A- وزن ظرف

D- وزن ظرف و نمونه در حالت ssd (اشباع با سطح خشک)

E- مقدار درصد جذب آب نمونه بر حسب درصد

تعیین رطوبت سطحی و مقدار جذب آب بتن از آن نظر لازم است که مقدار آب مصرفی در بتن کنترل شده و وزن صحیح مصالح و نسبت آب به سیمان در موقع ساختن بتن مشخص باشد مصالح سنگی از لحاظ رطوبت می‌تواند به یکی از چهار صورت زیر باشند.

۱- خشک شده در کوره: دارای قابلیت جذب آب کامل می‌باشد.

۲- خشک شده در هوا: سطح دانه خشک ولی دارای مقداری رطوبت داخلی است.

۳- اشباع با سطح خشک (ssd): نه از بتن آب جذب می‌کند و نه به بتن آب می‌دهد.

۴- خیس یا مرطوب: دانه‌ها دارای آب زیادی در روی سطح خود می‌باشند و این مقدار آب اضافی به آب بتن اضافه می‌شود.

آزمایش شماره ۸ روش دانه بندی ماسه توسط الک و تعیین ضریب نرمی بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۰ و دت ۲۰۶ و ASTM C 136-848

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

۲- **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. اصولا مقدار ذرات ریزتر از ۰/۶mm، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کارایی مخلوط دارند و شاخص نسبتا مطمئنی برای کل سطح مخصوص ماسه می‌باشند.

قاعدتا مقدار ماسه در مخلوط بتن باید کم باشد زیرا افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصد دانه‌های کوچکتر از ۰/۱۵ میلی متر در سنگدانه‌ها، باعث تقریبا ۱۰٪ 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 نمی تواند معرف تعداد نامحدودی از توزیع اندازه‌های کاملا متفاوت و یا منحنی‌های دانه بندی گوناگون باشد، بنابراین ضریب نرمی را نمی توان به تنهایی بعنوان توصیف دانه بندی سنگدانه‌ها بکار برد، اما جهت سنجش تغییرات جزیی 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 نمی باشد زیرا اولی با صرفه نیست و دومی مخلوطی می‌سازد که دارای کارایی نبوده و سطح بتن زبر 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 محدوده استاندارد) 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.

۳- **وسایل آزمایش**:

دستگاه تقسیم کن ماسه

ترازو با دقت ۰/۵ گرم

الکهای استاندارد با طوری چیده شوند تا سنگدانه‌ها هنگام الک کردن به بیرون پرتاب نشود اندازه آنها از بالا به پائیین به ترتیب زیر باشد. $\frac{3}{8}$ – ۴ – ۸- ۱۶- ۳۰- ۵۰- ۱۰۰ – زیر الک و درب

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

کوره – کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $110\pm5C^{o}$ باشد.

۴- 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 دپوی ماسه باشد.

ب) مقدار تقریبی نمونه مورد آزمایش یک کیلوگرم باشد.

۵- 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 ۱: کوشش شود حداقل دو برابر مقدار نیاز آزمایش برداشته شود و آن را از تقسیم کن عبور داد.

نمونه آزمایش را تا دمای $105\pm5C^{o}$ 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 ۱۵۰ دور در دقیقه تنظیم نمایید و دستگاه را به مدت ۱۰ دقیقه بکار اندازید.

تذکر ۲: الف) بر روی هر الک نباید به ضخامت بیش از ۲cm 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 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، مجددا 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 ۴۵٪ وزن کل نمونه باشد.

ج) ضریب نرمی مصالح برای بتن و بتن آرمه نباید کمتر از ۲/۳ و بیشتر از ۳/۱ باشد. اگر ضریب نرمی به میزان $\pm0/2$ 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 ۱-۳ باشد.

جدول شماره (۱-۳) 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	۳
مواد کوچکتر از ۰/۰۷۵mm	بتن هایی که در معرض فرسایش هستند	۳*

مواد کوچکتر از ۰/۰۷۵mm	انواع دیگر بتن	۵
ذغال و لیگنیت و سایر مصالح سبک	در مواردی که نمای ظاهری بتن حائز اهمیت است	۰/۵
ذغال و لیگنیت و سایر مصالح سبک	انواع دیگر بتن	۱

* اگر ماسه از طریق شکستن مواد سنگی بدست آید بیشتر مواد رد شده از الک ۰/۰۷۵mm از جنس گرد سنگ خواهد بود و چون خاک رس در آن وجود نخواهد داشت، لذا می‌توان درصد مجاز را در این مورد ۵ و ۷ محسوب داشت.

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

تذکر ۳: برای خارج کردن دانه‌ها از چشمه‌های الک از فشار بیمورد با وسایل غیر مجاز خودداری کرده و حتی برس سیمی نیز استفاده نشود.

۶- **محاسبات**: ۱- وزن دانه‌های هر یک از الکها mi را در جدول ۲ یادداشت کنید.

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

$$b = \frac{mi}{\sum_{i=1}^{n} mi} \times ۱۰۰$$

شمارنده الک – i در جائیکه

تعداد الکها – n

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

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{k} mi}{\sum_{i=1}^{n} mi} \times ۱۰۰$$

تذکر ۴:

با افزایش i، اندازه سوراخهای الک کوچکتر می‌گردد بطوریکه i=۱ مربوط به بزرگترین الک است.

۴- درصد رد شده انباشته از الکها محاسبه شود. d=100-Ck

۵- ضریب نرمی ماسه مطابق رابطه زیر تعیین گردد.

$$KFM = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_k}{۱۰۰}$$

(i شامل زیر الک نمی گردد)

نتایج محاسبات را در جدول یادداشت نمایید و سپس نتایج را به صورت منحنی شکسته در جدول شماره ۳ رسم نمایید.

در صورتیکه منحنی در محدوده استاندارد (در جدول شماره ۳ دیده می‌شود) 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 می‌آید و به ویژه در ایالات متحده به مقدار قابل توجهی استفاده می‌شود. مدول نرمی به مجموع درصدهای تجمعی باقی مانده روی الکها استاندارد (منهای زیر الک) تقسیم بر صد گفته می‌شود سری الکهای استاندارد شامل الکهای است که اندازه هر الک دو برابر اندازه الک قبلی باشد.

مدول نرمی تعیین کننده ریزی و درشتی دانه‌ها است هر چه دانه‌های سنگی درشت تر باشد مدول نرمی آنها بیشتر است همچنین ریزدانه‌ها مدول نرمی کمتری دارند.

آزمایش شماره ۹ روش تعیین وزن واحد و فضای خالی سنگدانه‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۸۱ و دت ۲۰۹ و ASTM C29/C29 -M90

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

۲- **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 پردانه، که کشش هیدرواستاتیکی به عنوان نیروی چسبنده اصلی بشمار می‌آید، مشخصا 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، مستقیما برای تبدیل وزن سنگدانه‌ها به حجم آنها (بمنظور پیمانه کردن جمعی سنگدانه‌ها) جهت مخلوط بتن، مناسب نباشد زیرا احتمالا 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 مسلما 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 اختلاطی می‌باشد که دارای بیشترین وزن مخصوص و کمترین فضای خالی بین سنگدانه‌ها برای بهترین طرح اختلاط بتن می‌باشد.

وسایل آزمایش:

ترازو با دقت ۱ گرم

میله فولادی – یک میله فولادی به قطر ۱۶ میلی متر و طول تقریبی ۶۰۰ میلی متر انتخاب شود بطوریکه سر آن بصورت نیم کره‌ای به قطر میله درآمده باشد.

کوره – کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $۱۰۵\pm۵C^{o}$ باشد.

پیمانه – 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 پیمانه از جدول ۱-۴ تبعیت کند.

دماسنج بادقت ۰/۱ درجه سانتی گراد

بیلچه

بزرگترین اندازه اسمی دانه ها (mm)	حجم پیمانه (Li)
۱۲/۵	۲/۸
۲۵	۹/۳
۳۷/۵	۱۴
۷۵	۲۸
۱۱۲	۷۰
۱۵۰	۱۰۰

جدول (۱-۹) – حجم پیمانه

۴- **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.

۵- **تعیین حجم پیمانه**: وزن پیمانه خالی را با ترازو با دقت گرم تعیین کنید = M1

پیمانه 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 پیمانه خارج کنید = M2

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

با توجه به جدول (۲-۹) و دمای آب می‌توان وزن مخصوص آب را بدست آورد. (m3)= γ

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

مقادیر عددی را در جدول (۳-۹) یادداشت نمایید.

$$\gamma_{W} = \frac{M۲ - M۱}{V}$$

۶- **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 دپو بوسیله تقسیم کن مجزا می‌شود، وزن نمونه مورد آزمایش حداقل ۱/۵ برابر مقدار لازم برای آزمایش می‌باشد.

دما (C)	وزن مخصوص آب (Kg/m^3)
۱۵/۶	۹۹۹/۰۱
۱۸/۳	۹۹۸/۵۴
۲۱/۱	۹۹۷/۹۷
۲۳	۹۷/۵۴
۲۳/۹	۹۹۷/۳۲
۲۶/۷	۹۹۶/۵۹
۲۹/۴	۹۹۵/۸۳

جدول (۲-۹) وزن مخصوص آب

نمونه مصالح سنگی را تا دمای $105\pm5C^o$ خشک کنید.

۱-۶- 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 طوریکه دانه بندی تغییری نکند، سطح مصالح را بوسیله یک تیغه هم تراز لبه پیمانه نمایید طوریکه برآمدگیهای جزیی درشت دانه‌ها تقریبا 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.

۲-۶- روش متراکم (کوبیدن با میله)

یک سوم پیمانه را از مصالح پر نمایید، با ۲۵ 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 (۱-۶) صورت دهید.

۳-۶- 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 ۱/۵ اینچ (میلی متر ۳۷/۵) یا کمتر باشد از کوبیدن به وسیله میله تراکم و برای مصالحی که حداکثر اندازه اسمی دانه‌های آن بیش از ۱/۵ اینچ (۳۷/۵ میلی متر) و کمتر از ۶ اینچ (۱۵۰ میلی متر) باشد باید از لرزندان استفاده کرد. در روش لرزاندن مانند روش متراکم و در سه لایه پیمانه را پر کرده و بعد برای هر لایه پیمانه را بر روی یک سطح صاف و محکم مانند یک سطح بتنی قرار داده و طرفهای مقابل آنرا به طور متناوب به اندازه ۵ 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 ۵۰ بار بلرزانید (هر طرف ۲۵ بار) عمل صاف کردن سطح مصالح مانند حالت (۱-۶) صورت می‌گیرد.

تذکر ۱: شدت کوبیدن هر مرحله بایستی به نحوی صورت گیرد که میله حداکثر در لایه مربوطه فرو رود همچنین در کوبیدن اولین لایه، میله نبایستی به شدت به کف ظرف برخورد کند.

جرم پیمانه حاوی مصالح و جرم پیمانه 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.

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

γ = وزن مخصوص واحد مصالح سنگی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

$$\gamma c = \frac{G - M۱}{V} kg / m^۳$$

G = وزن مصالح و پیمانه بر حسب کیلوگرم

$$\gamma c = (G - M۱) \times F$$

M1 = وزن پیمانه بر حسب کیلوگرم

V= حجم پیمانه بر حسب متر مکعب

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

نتایج محاسبات را در جدول ۴-۹ 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.

$$G۱ - G = W$$

$$\gamma w = \frac{W}{V۱}$$

G1 = وزن مصالح و پیمانه و آب اضافه شده بر حسب کیلوگرم

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

V۱= حجم آب اضافه شده

درصد فضای خالی = $\frac{V۱}{V} \times ۱۰۰$

γw = وزن مخصوص آب با توجه به دمای آب

V= حجم پیمانه که در بند ۵ محاسبه گردیده

سوال ۱- همانگونه که قید شد وزن واحد خشک از رابطه $\gamma = \frac{G - M۱}{V}$ و یا $\gamma = (G - M۱) \times F$ حاصل می‌گردد. مطلوب است تعیین مقدار وزن واحد در حالت ssd

۲- بجز روش ذکر شده برای تعیین درصد فضای خالی روش دیگری را برای تعیین درصد فضـای خـالی بـرای مقادیر ۱۰۰ درصد شن و ۱۰۰ درصد ماسه پیشنهاد کنید.

	M۱	M۲	γw	V	G	γw	G۱	V۱				
	وزن پیمانه خالی	وزن پیمانه پر از آب	مخصوص وزن آب	حجم پیمانه	وزن مصالح + پیمانه	مخصوص وزن واحد	وزن پیمانه + مصالح + آب	حجم آب اضافه شده	درصد فضای خالی	درصد تراکم	وزن مصالح + پیمانه 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 ۱۰ روش تعیین وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص انبوهی شن و ماسه بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۸۰ و ۴۹۸۲ و دت ۲۱۰ و دت ۲۰۹ و
ASTM C 128-88 و ASTM C127-88

۱- **هدف**: تعیین وزن سنگدانه‌ها نسبت به حجم مواد، به نحوی که شامل منافذ غیر قابل نفوذ نیز گردد.

۲- **اهمیت و کاربرد**: این آزمایش وزن مخصوص انبوهی و ظاهری را بر اساس وزن سنگدانه‌های اشباع شده به مدت ۲۴ ساعت در آب با سطح خشک ssd تعیین می‌کند. وزن مخصوص انبوهی عموما در طرح اختلاط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وزن مخصوص ظاهری ناخالص – وزن مخصوص ظاهری سنگدانه‌ها به وزن مخصوص کانیهائی که سنگدانه‌ها از آن ساخته شده اند و مقدار منافذ داخل آنها بستگی دارد.

بطور کلی مقادیر وزن مخصوص سنگدانه‌ها در محاسبات طرح اختلاط کاربرد دارد و نه در سنجش کیفیت آنها، معمولا محاسبات در رابطه با بتن بر اساس اشباع با سطح خشک سنگدانه‌ها (s.s.d) صورت می‌گیرد. چون رطوبت موجود در تمام منافذ سنگدانه‌ها در واکنشهای شیمیایی شرکت ندارند. لذا می‌توان آن را نیز جزئی از سنگدانه‌ها در نظر گرفت و بر این پایه مقدار بدست آمده وزن مخصوص ظاهری ناخالص می‌تواند برای محاسبات بازدهی بتن و مقدار سنگدانه‌های لازم برای حجم معینی از بتن به کار می‌رود.

سنگدانه‌ها طبیعی دارای وزن مخصوصی بین [kg/m3] ۲۴۰۰ تا [kg/m3] ۳۰۰۰ دارند.

وزن مخصوص = نسبت جرم (یا وزن در هوا) واحد حجم یک ماده به جرم همان حجم از آب در یک دمای معین

وزن مخصوص نامیده می‌شود این کمیت بدون واحد می‌باشد.

وزن مخصوص ظاهری = نسبت وزن واحد حجم قسمت نفوذناپذیر سنگدانه در دمای معین به وزن همان حجم آب فقط در همان دما

وزن مخصوص انبوهی = نسبت وزن واحد حجم سنگدانه در هوا (شامل منافذ نفوذپذیر و نفوذناپذیر در ذرات است اما منافذ بین دانه‌ها را شامل نمی شود) در دمای معین به وزن آب فقط هم حجم آن در همان دما.

وزن مخصوص انبوهی در حالت اشباع با سطح خشک = نسبت وزن واحد حجم سنگدانه‌ها در هوا که به مدت ۲۴ ساعت از آب اشباع شده است (شامل فضای خالی بین ذرات نمی شود) در دمای معین به وزن آب فقط هم حجم در همان دما.

۳- **وسایل آزمایش**: ترازو – حداقل ظرفیت ۱ کیلوگرم با دقت ۰/۱ گرم یا کمتر

پیکنومتر – یک استوانه یک لیتری (شیشه ای) با سر مخروطی فلزی که در رأس آن سوراخ ریزی قرار دارد.

کوره – کوره باید قادر به تولید دمای یکنواخت $۱۰۵\pm۵C^{o}$ باشد.

سشوار – دستگاه خشک کن بطوریکه از جریان هوای گرم برخوردار باشد.

دستگاه چگالی سنج – این دستگاه شامل سبد سیمی که ظرفی است استوانه‌ای مشبک سیمی که دارای چشمه‌های ۳/۲۵mm می‌باشد، مخزن آب بطوریکه آب بندی شده و جهت توزین سبد حاوی سنگدانه‌ها در آب بکار می‌رود. برای دانه‌های با حداکثر اندازه اسمی ۳۷/۵ میلی متر یا کوچکتر

الک – الک نمره ۴ و یا کوچکتر

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

مقدار تقریبی نمونه شن مورد آزمایش بر حسب اندازه بزرگترین دانه‌ها مطابق جدول (۱-۱۰) باشد.

حداکثر اندازه اسمی دانه ها [mm]	حداقل وزن نمونه [gr]
۱۲/۵ یا کمتر	۲
۱۹	۳
۲۵	۴
۳۷/۵	۵
۵۰	۸

جدول (۱-۱۰)

۵- روش آزمایش: الف) برای ماسه

نمونه‌ای به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم با استفاده از روش تقسیم کردن جدا نمائید.

نمونه را تا رسیدن به وزن ثابت در دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ در کوره قرار داده تا خشک شود (به مدت ۲۴ ساعت). سپس آن را به مدت کافی در دمای اطاق قرار داده تا سرد بشود (تا زمانیکه بتوان سنگدانه‌ها را با دست جابجا کرد) و آنگاه وزن نمائید.

نمونه‌ها را در ظرفی محتوی آب با درجه حرارت طبیعی به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا کاملا خیس (اشباع با سطح مرطوب) شود.

نمونه را با دقت کامل از آب خارج نموده بطوریکه هیچ دانه‌ای به هدر نرود سطح آن را توسط سشوار خشک کرده و وزن نمائید (وزن در حالت اشباع با سطح خشک).

بخشی از پیکنومتر را با آب پر کرده، نمونه ماسه را درون آن بریزید و سپس تا ۹۰٪ حجم ظرف به آن آب اضافه نمائید. برای خارج شدن حباب‌های هوا آنرا تکان دهید و سپس پیکنومتر را کاملا از آب پر کرده و وزن کل آنرا (با مصالح و آب) تعیین نمائید.

وزن پیکنومتر در حالت پر از آب را با دمای حدود $۲۳C^{o}$ تعیین نمایید.

سنگدانه‌های ریز را از پیکنومتر بیرون آورده و آنرا در دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ درجه خشک نموده تا به وزن ثابت برسد. آنگاه به مدت ۱±۰/۵ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده تا کاملا خنک گردد و آنرا وزن نمائید.

یادآوری ۱: الف) دمای آب بایستی در حدود $۲۳\pm۱/۷C^{o}$ باشد.

ب) همه وزنها باید با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری و ثبت شوند.

۶- الف) محاسبات: برای ماسه

وزن مخصوص انبوهی ماسه‌ها را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمائید.

$$\text{وزن مخصوص انبوهی} = \frac{A}{B-C+D} \times ۱۰۰۰ KG/M^{۳}$$

که در آن:

A- وزن سنگدانه‌های خشک شده در گرمخانه بر حسب گرم

D- وزن ماسه‌های در حال اشباع با سطح خشک [gr]

C- وزن پیکنومتر پر از آب وماسه [gr]

B- وزن پیکنومتر پر از آب [gr]

وزن مخصوص انبوهی در حالت اشباع با سطح خشک از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{وزن مخصوص انبوهی در حالت ssd} = \frac{B}{B-C+D}$$

وزن مخصوص ظاهری از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{وزن مخصوص ظاهری ماسه} = \frac{A}{A+B-C}$$

ب) برای شن:

پس از تقسیم بندی نمونه برداشت شده به روش ۴ قسمتی از دپو، آنرا در الک ۴/۷۵ میلی متر با آب شستشو داده تا خاک و دیگر موادی که سطوح دانه‌ها را پوشانده اند از آنها جدا شوند.

وزن نمونه مورد آزمایش مطابق مقادیر وزنی داده شده در جدول (۱-۱۰)

یادآوری ۲: اگر سنگدانه‌ها دارای مقدار زیادی دانه‌های ریزتر از ۴/۷۵ میلی متر باشند باید از الک ۲/۳۶ میلی متر استفاده شود.

نمونه را تا رسیدن به وزن ثابت در دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ خشک کنید. سپس آنرا به مدت کافی در دمای اتاق قرار داده تا سرد بشود. آنگاه وزن نمائید.

نمونه را به مدت ۲۴ ساعت در ظرف پر از آب در دمای طبیعی نگهدارید.

نمونه را از درون آب بیرون آورده و آنرا روی پارچه جاذب رطوبت پهن کرده تا سطح دانه‌ها خشک شوند. می‌توان برای خشک کردن دانه‌ها از سشوار کمک گرفت و نمونه‌ها را وزن کنید.

نمونه‌ها را پس از توزین در حالت ssd بلافاصله داخل سبد سیمی قرار داده و سپس توسط قلابی که به ترازو وصل است آویزان کرده و به آرامی در مخزن آب که در زیر سبد قرار دارد (دمای آب $۲۳\pm۱/۷C^{o}$ وزن مخصوص $۹۹۷\pm۲kg/m3$ باشد) فرو برید و سپس وزن کنید. قبل از توزین نمونه باید دقت کنید که هنگام فرو بردن سبد سیمی در آب، با تکان دادن آن هوای محبوس بین دانه‌ها خارج شده باشد.

سبد سیمی در آب را نیز وزن نمائید.

ظرف محتوی نمونه در حین وزن کردن باید در عمقی قرار گیرد که کاملا از آب پوشیده شود.

۶- ب) **محاسبات:** الف) وزن مخصوص ظاهری ناخالص شن را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمائید.

وزن مخصوص انبوهی شن در حالت ssd $= \frac{G}{G-(E-F)} \times ۱۰۰۰$

که در آن:

H- وزن سنگدانه‌های خشک شده [gr] در هوا

G- جرم شن‌های اشباع با سطح خشک [gr] در هوا

E- جرم سبد سیمی حاوی شن در حالت (s.s.d) در آب [gr]

F- وزن سبد سیمی خالی در آب [gr]

وزن مخصوص ظاهری شن $= \frac{H}{H-(E-F)}$

وزن مخصوص انبوهی شن $= \frac{H}{G-(E-F)}$

سوال- همانگونه که در متن آزمایش قید گردیده است این آزمایش در حالت ssd (اشباع با سطح خشک) صورت می‌گیرد. روش آزمایشی تعیین ssd بودن ماسه را بیان کنید.

آزمایش شماره ۱۱ روش تعیین خاک رس لای و گرد و خاک در ماسه به روش SE

بر طبق استاندارد AASHTO T176 – ASTM D2419

۱- **هدف:** تعیین مقدار ذرات ریزتر از ۰/۰۶mm در ماسه ایکه در بتن بکار برده می‌شود.

۲- **اهمیت و کاربرد:** اغلب، خاک رس بصورت پوشش بر روی سنگدانه‌ها موجود می‌باشد که سبب عدم چسبندگی بین خمیر و سیمان و سنگدانه‌ها می‌شود، لذا اثری جدی بر مقاومت و دوام بتن می‌گذارد که از این جهت شناخت میزان واقعی ذرات ریزتر از ۰/۰۶mm بااهمیت می‌باشد. دو نوع دیگر از مواد ریزدانه، لای و گرد و خاک می‌توانند همانند با خاک رس بر روی سنگدانه‌ها بصورت پوششی و یا به صورت آزاد وجود داشته باشد که کثرت آنها به علت ریزی ذرات و داشتن سطح زیاد سبب می‌شوند 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 (دانه‌های ریزتر از ۰/۰۷۵mm) در سنگدانه‌ها مطابق آئین نامه بتن ایران به مقادیر زیر محدود گردد.

الف) برای ماسه

- بتن تحت سایش حداکثر3% وزن کل نمونه (5% برای ماسه شکسته)
- سایر بتن‌ها حداکثر5% وزن کل نمونه (7% برای ماسه شکسته)

ب) برای شن

- برای کلیه بتن‌ها حداکثر1% وزن کل نمونه (1.5% برای دانه‌های شکسته)

۳- **وسایل آزمایش:** استوانه پلاستیکی مدرج با درب پلاستیکی

لوله لاستیکی

لوله مسی

میله وزنه دار و سیفون

منبع ۴ لیتری (برای محلول استوک)

پیمانه نمونه گیر – استوانه فلزی بقطر داخلی ۵۷mm و گنجایش ۸۵±۵cc

قیف دهن گشاد – بقطر ۱۰۰mm

کرونومتر – با دقت ۱ ثانیه

تکاندهنده نیمه اتوماتیکی – قادر به ۱۰۰ تکان کامل در ۴۵±۵ ثانیه

محلول استوک (Stoke) – شامل .۴۵۴gr کلرور کلسیم خشک، .۲۰۵۰gr گلسیرین، ۴۷gr آلدئید فرمیک ۴۰ درصد حجمی

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

کوره – قادر به تولید دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ باشد.

۴- **نمونه برداری**: حدود ۲ کیلوگرم ماسه را از ارتفاع متوسط دپو برداشته و بوسیله دستگاه تقسیم کن به دو قسمت تقسیم نمائید.

یادآوری ۱: 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.

۵- **روش آزمایش**: با سیفون کردن، محلول استوک را به داخل استوانه پلاستیکی بریزید تا ارتفاع محلول در استوانه به ۱۰۰mm ±۲/۵mm 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 ۱±۱۰ دقیقه بر روی میز به حال خود باقی بگذارید و در پایان ۱۰ 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 می‌خورد.

استوانه دربسته 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 ۱۰۰ بار بطوریکه در کنتور نشان می‌دهد 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 ۱۰۰cm از سطح کار بالاتر می‌باشد، 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 می‌شوند. البته در این هنگام مایع در داخل استوانه بالا می‌رود. 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 ۳۸۱mm برسد. استوانه محتوی محلول بر روی میز برای مدت ۲۰ دقیقه± ۱۵ ثانیه به حال خود باقی می‌ماند.

ابتدای زمان آزمایش، زمانی است که استوانه را بر روی میز قرار می‌دهید. در انتهای ۲۰ دقیقه که نمونه بهم خورده به مرور رسوب نمود، سطح بالایی کلیه مصالح را یادداشت نمایید. این عدد بعنوان «عدد رس» خوانده می‌شود. چنانچه خط مشخصی پس از ۲۰ 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 می‌کنید، 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 روی ماسه نشست دقیقا ارتفاع نوک نشانه بر روی دیواره داخلی استوانه نشاندار را بخوانید. سپس مقدار ۲۵۴mm از ارتفاع محل نشانه کم کنید تا مقدار ماسه مشخص شود.

ب) چنانچه ارتفاع قسمت رس یا ماسه تا ۲/۵mm درجه بندی استوانه پلاستیکی باشد، مقدار بزرگتر را بعنوان خاک رس یا ماسه یادداشت نمایید. (مانند ۸ بجای ۷/۹۵ یا ۳/۳ بجای ۳/۲۲).

یادآوری ۲: آزمایش باید در محلی که عاری از لرزش باید انجام گیرد یعنی از هر حرکتی به میز و استوانه آزمایش جلوگیری شود.

۶- **محاسبات**: مقدار ارزش ماسه‌ای (SE) تا ۰/۱ اعشار از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$SE = \frac{h}{H} \times ۱۰۰$$

در حالیکه:

SE – نسبت درصد لای

h- سطح ارتفاع قشر ماسه در استوانه [mm]

H- سطح ارتفاع قشر رس در استوانه [mm]

یادآوری ۳- چنانچه ماسه‌ای (SE) یک عدد کامل نبود، نزدیکترین عدد بزرگتر را به عنوان ارزش ماسه‌ای گزارش کنید. (مثال اگر SE=۴۱/۵ باشد باید SE=۴۲ گزارش شود).

همچنین اگر ۳ 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 ۱۲ روش آزمون کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده در سنگدانه‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران ۴۹۷۸ و دت ۲۲۱ و ASTM C142-90

۱- **هدف**: تعیین مقادیر وزنی سنگدانه‌های خرد شونده و سست در بتن

۲- **اهمیت و کاربرد**: سنگدانه‌های ریز و درشت مصرفی در بتن باید سخت و پایا باشند و مواد زیان آور موجود در آنها نباید از مقادیر حداکثر مجاز تجاوز کند وجود مواد زیان آور در بتن در بعضی از شرایط محیطی می‌تواند موجب تغییرات حجمی زیاد و در نتیجه گسیختگی سطح بتن شود و یا در اثر ایجاد تنشهای داخلی زیاد باعث ترک خوردگی شود و به انسجام سازه‌ای بتن آسیب برساند سنگدانه‌ها نباید از خود واکنش قلیایی نشان دهند زیرا این امر می‌تواند موجب انبساط غیر عادی ایجاد ترکهای ریز سطحی و بیرون پریدگی در بتن شود. در صورت استفاده از سنگدانه‌های مستعد واکنش قلیایی بررسی دقیق عملکرد آنها در شرایطی محیطی مشابه و قضاوت درست مهندسی الزامی است.

کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست در سنگدانه‌های ریز و درشت بر طبق آئین نامه بتن ایران (آبا) به مقادیر زیر محدود می‌باشد.

کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست برای سنگدانه‌های ریز بتن (کوچکتر از ۴/۷۵ میلی متر) حداکثر ۳ درصد وزنی

کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست برای سنگدانه‌های درشت بتن (بزرگتر از ۴/۷۵ میلی متر) حداکثر ۰/۲۵ درصد وزنی

۳- **وسایل مورد نیاز**:

ترازو با دقت ۱ گرم

ظرف ضد زنگ به اندازه‌ای که بتوان نمونه را به صورت لایه نازکی پخش کرد.

الکهای استاندارد مطابق جدول داده شده در شرح آزمایش

گرمخانه که قادر باشد دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ درجه تولید کنید.

۴- **نمونه مورد آزمون**:

تمامی سنگدانه‌هایی که برای این آزمون استفاده می‌گردند باید بر روی آنها قبلا آزمایش ۱۳ (آزمون اندازه گیری دانه‌های ریزتر از ۰۷۵/ میلی متر) بر روی آنها انجام گرفته باشد بدین معنی که تمام سنگدانه‌ها باید قبلا با الک ۲۰۰ شسته شده باشند.

وزن نمونه مورد آزمون مطابق جدول زیر می‌باشد.

اندازه ذرات نمونه مورد ازمون	حداقل وزن نمونه مورد ازمون به گرم
۱/۱۸ تا ۴/۷۵ میلی متر	۲۵۰
۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر	۱۰۰۰
۹/۵ تا ۱۹ میلی متر	۲۰۰۰
۱۹ تا ۳۷/۵ میلی متر	۳۰۰۰
بزرگتر از ۳۷/۵ میلی متر	۵۰۰۰

ابتدا سنگدانه‌ها را الک کرده و بعد در گرمخانه در دمای ۱۰۵ ± ۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت نگه داری می‌نمایم و پس از ثابت شدن وزن (معمولا سنگدانه‌ها بعد از ۲۴ ساعت به وزن ثابت می‌رسند) آنها را با

ترازو با دقت ۱ گرم وزن می‌نمائیم و به صورت لایه نازکی در کف ظرف پخش گردد سپس در ظرف آب مقطر ریخته تا تمام سنگدانه‌ها را بپوشاند و آنرا به مدت ۴±۲۴ ساعت در آن حالت بگذارید تا آب بمکد و سپس با دست دانه‌ها را به هم بغلطانید که حتی الامکان به ذرات کوچکتری خرد شود.

تذکر ۱- استفاده از ناخن برای شکستن ذرات و یا فشار دادن ذرات روی سطح سخت با یکدیگر مجاز نمی باشند هر دانه‌ای که بتوان آنرا با انگشت شکست و به دانه‌های ریز قابل خروج از الک تبدیل نمود باید آنرا جزء کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده طبقه بندی کرد. سپس تمام سنگدانه‌ها را با الکهایی که در زیر ذکر شده است الک می‌نمائیم.

اندازه ذرات تشکیل دهنده نمونه مورد آزمون	اندازه الکی که برای جداسازی کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده استفاده می‌گردد.
سنگدانه‌های ۱/۱۸ تا ۴/۷۵ میلی متر	الک نمره ۲۰ (۸۵۰ میکرون)
سنگدانه‌های ۴/۷۵ تا ۹/۵ میلی متر	الک نمره ۸ (۲/۳۶ میلی متر)
سنگدانه‌های ۹/۵ تا ۱۹/۰ میلی متر	الک نمره ۴ (۴/۷۵ میلی متر)
سنگدانه‌های ۱۹/۰ تا ۳۷/۵ میلی متر	الک نمره ۴ (۴/۷۵ میلی متر)

در حالیکه الک با دست تکان داده می‌شود با عبور آب بر روی نمونه‌ها در سرتاسر الک (الک کردن به روش تر) تمام مواد ریزدانه خارج می‌گردد.

در مرحله بعد سنگدانه‌های شسته شده را به ظرف مناسبی منتقل کرده و آنرا در گرمخانه در دمای $۱۰۵\pm۵C^{o}$ درجه تا رسیدن به وزن ثابت نگه داری می‌نمائیم و پس از خشک شدن آنرا با دقت گرم وزن می‌نمائیم درصد کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده طبق فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد.

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

P درصد کلوخه‌های رسی خرد شونده

W وزن اولیه نمونه مورد آزمون

R وزن نهایی نمونه مورد آزمون

آزمایش شماره ۱۳ روش تعیین خاک رس لای و گرد خاک ذرات کوچکتر از ۷۵ میکرون بر طبق استاندارد ASTM C117-69 و دت ۲۱۸ استاندارد ملی ایران شماره ۴۴۶

۱- **هدف**: تعیین خاک رس لای و گرد و خاک (ذرات کوچکتر از ۰/۰۷۵ میکرون)

۲- **اهمیت کاربرد**: سنگدانه ها به عنوان پر کننده در بتن در نظر گرفته می شود و معمولا ۶۰ الی ۸۵ درصد حجم بتن را تشکیل می دهند ولی باید دارای یک سری خصوصیاتی باشند که بر روی کارایی و مقاومت بتن تولیدی اثر منفی به جای نگذارند در حالت کلی پر کننده ها باید از دانه های تمیز و سخت و مقاومی تشکیل شده باشند عاری از مواد شیمیایی باشند و سطح سنگدانه ها از رس – لای – گرد خاک که در چسبندگی دانه ها با خمیر سیمان تأثر منفی دارد پوشیده نشده باشد مواد زایدی که غالبا در مصالح سنگی وجود دارند عبارتند از خاک – رس – لای – املاح معدنی مانند گچ و آهک – مواد آلی که این مواد می تواند روی دانه ها را بپوشانند و یا به صورت ذرات ریز در بین آنها قرار گیرند بسیاری از این مواد را می توان با شستن خارج کرد (اگر ماسه مواد آلی داشته باشد با شستن نمی توان آنها را خارج کرد) شیست یا سنگهای شیست دار به ویژه بیشتر سنگهای دارای سیلیس فعال برای بتن سازی نامناسب است اغلب خاک رس بصورت پوششی بر روی سطح سنگدانه ها موجود می باشد که سبب عدم چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه ها می شود لذا اثری جدی بر روی مقاومت و دوام بتن می گذارد. دو نوع دیگر مواد ریزدانه مانند لای و گرد و خاک می توانند مانند خاک رس بر روی سنگدانه ها بصورت پوششی و یا به صورت آزاد وجود داشته باشند که کثرت آنها به علت ریزی ذرات و داشتن سطح زیاد سبب می شود که مقدار آب لازم برای ساختن بتن و اسلامپ مناسب افزایش یابد که این مسئله به نوعی باعث کاهش مقاومت بین می گردد. از طرف دیگر اینگونه مواد زیان آور در بتن در بعضی شرایط محیطی موجب تغییرات حجمی زیاد و در نتیجه گسیختگی سطح بتن می شوند و یا در اثر ایجاد تنشهای داخلی زیاد باعث ترک خوردگی بتن تازه می شود.

حداکثر مقدار مجاز برای مواد زیان آور در سنگدانه های ریز بتن طبق آئین نامه بتن ایران (آبا)

الف- برای ماسه

دانه های گذشته از الک ۲۰۰ در سیستم ASTM (۰۷۵/ میلی متر) برای بتن تحت سایش ۳ درصد (۵٪ برای ماسه شکسته)

دانه های گذشته از الک ۲۰۰ در سیستم ASTM (۰۷۵/ میلی متر) برای سایر بتنها ۵ درصد (۷٪ برای ماسه شکسته)

حداکثر مقدار مجاز مواد زیان آور در سنگدانه های درشت دانه بتن طبق آئین نامه بتن ایران (آبا)

ب- برای شن

دانه های گذشته از الک ۲۰۰ در سیستم ASTM (۰۷۵/ میلی متر) برای کلیه بتنها ۱ درصد (۱/۵ درصد برای دانه های شکسته) زیاد باعث ترک خوردگی بتن تازه می شود.

چنانچه مواد خارجی (خاک رس – لای – گرد و خاک) موجود در مواد ترکیبی شن و ماسه ۵ درصد باشد مقدار افت بتن تا ۲۵ درصد افزایش می یابد.

۳- وسایل آزمایش:

ترازو با دقت ۰/۱ گرم

الک به شماره های ۲۰۰ و ۱۶ در سیستم ASTM (۰/۰۷۵ و ۱/۱۹ میلی متر)

ظرف یا پیمانه – یک ظرف یا پیمانه با گنجایش کافی برای قرار دادن نمونه در داخل آن به طوری که آب بتواند روی نمونه را بپوشاند و در موقع تکان دادن محتویات آن خارج نگردد.

خشک کن (اون) با حرارت $105\pm5C^{o}$ درجه سانتی گراد

۴- نمونه برداری: نمونه باید طوری انتخاب گردد که نماینده تمام مواد مورد آزمایش باشد و وزن آن پس از خشک شدن کمتر از وزن مورد نیاز در جدول زیر نباشد.

حداقل وزنه نمونه به kg	حداکثر اندازه اسمی چشمه الک
۰/۱	۲/۳۶ میلی متر
۰/۵	۴/۷۵ میلی متر
۲/۰	۹/۵ میلی متر
۲/۵	۱۹ میلی متر
۵/۰	۳۸ میلی متر

تذکر ۱- نمونه گیری در این آزمایش بسیار حائز اهمیت است و چنانچه به روش چهار قسمتی یا به روشهای دیگر (استفاده از دستگاه تقسیم کن) نمونه به طور صحیح تقسیم نگردد نتایج بدست آمده با واقعیت امر تطبیق نمی کند بنابراین لازم است کمال دقت هنگام تقسیم نمونه بعمل آید تا از بین رفتن مواد نرمه که اثر آنها در این آزمایش بسیار مؤثر است جلوگیری نمود.

۵- روش آزمایش: نمونه آزمایشی را در حرارت 105 ± 5 درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک کنید و وزن آنرا با ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن کنید دقت کنید مقادیر نمونه از مقادیر داده شده در جدول قبلی کمتر نباشد پس از توزین نمودن نمونه مورد آزمایش را در ظرف قرار دهید و به آن آنقدر آب اضافه کنید که تا سطح آنرا کاملا آب بپوشاند و سپس به شدت ظرف را تکان دهید و سپس بلافاصله آب شستشو را روی الک ۱۶ و ۲۰۰ (که قبلا روی هم نصب کرده اید) سرریز کنید.

تمام مخلوط را در زیر آب به هم بزنید تا دانه های درشت (درشت از ۱/۱۹ میلی متر الک شماره ۱۶ در سیستم ASTM) و دانه های ریز (دانه های کوچکتر از ۱/۱۹ و بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر) و دانه های کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی متر از یکدیگر جدا گردند تا آنجا که امکان دارد در موقع آزمایش دانه های درشت از ظرف خارج نگردد. عمل را تا موقعی که آب شستشو صاف گردد را تکرار نمائید. مخلوط دانه ها را تا وزن ثابت در حرارت $105\pm5C^{o}$ درجه سانتی گراد خشک کنید و پس از خشک شدن وزن آنرا با دقت ۰/۱ گرم وزن کنید.

۶- محاسبات: نتیجه به صورت زیر محاسبه می گردد.

A درصد مواد کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی متر $A=\frac{B-C}{B}\times 100$

B وزن خشک شده اولیه

C وزن سنگدانه های خشک شده پس از شستشو

سوال- چگونه می توان کنترل کرد که در حین آزمایش دانه های درشت تر از ۰۷۵/ میلی متـر بـه بیـرون پرتـاب نشده باشد.

آزمایش شماره ۱۴ تعیین درصد سائیدگی در مصالح سنگی به وسیله دستگاه لوس آنجلس بر مبنای استاندارد ASTM C131-89 و ASTM C 535 و دت ۲۱۵ و استاندارد ملی ایران شماره ۴۴۸

۱- **هدف**: تعیین درصد سایش و مقایسه آن با استاندارد

۲- **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 ۵۰۰ 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.

۳- **وسایل آزمایش**:

۱- الکهای دانه بندی برای انتخاب مواد اولیه.

۲- ترازو با دقت ۰/۵ گرم.

۳- گلوله های فولادی به قطر حدود $۱\frac{۷}{۸}$ اینچ ۴۶/۸ میلی متر و وزن ۳۹۰ الی ۴۴۵ گرم.

۴- دستگاه لوس آنجلس – ماشین لوس آنجلس دستگاهی است شامل یک استوانه فولادی تو خالی که قطر داخلی آن ۵±۷۱۱ میلی متر (۲۸ اینچ) و طول داخلی آن ۵±۵۰۸ میلی متر (۲۰ اینچ) می باشد که دو انتهای آن بسته است. این استوانه می تواند حول محور خود که به صورت ا فقی 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 کاملا 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 ۲±۸۹ میلی متر ($۳\frac{۱}{۳}$ اینچ) و طول آن برابر طول استوانه ۵±۵۰۸ میلی متر (۲۰ اینچ) می باشد. پره باید در فاصله ۱۲۷ سانتی متری از سوراخ قرار بگیرد. این فاصله در محیط خارجی استوانه و در جهت حرکت اندازه گیری می شود.

۴- **نمونه برداری**:

مصالحی که برای آزمایش بکار می رود باید کاملا تمیز بوده و در خشک کن در حرارت بین $105\pm5C^{o}$ درجه سانتی گراد خشک شود. درشتی دانه هائیکه برای آزمایش بکار می رود و مقدار آن در جدول ضمیمه داده شده است.

اندازه غربال به میلی متر		وزن نمونه به گرم			
رد شده از غربال	مانده روی غربال	A	B	C	D
۳۷/۵	۲۵	۱۲۵۰±۲۵	---	---	---
۲۵	۱۹/۱	۱۲۵۰±۲۵	---	---	---
۱۹/۱	۱۲/۵	۱۲۵۰±۱۰	۲۵۰۰±۱۰	---	---
۱۲/۵	۹/۵	۱۲۵۰±۱۰	۲۵۰۰±۱۰	---	---
۹/۵	۶/۳	---	---	۲۵۰۰±۱۰	---
۶/۳	۴/۷۵	---	---	۲۵۰۰±۱۰	---
۴/۷۵	۲/۳۶	---	---		۵۰۰۰±۱۰

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

دانه بندی گروه A	۱۲ گلوله
دانه بندی گروه B	۱۱ گلوله
دانه بندی گروه C	۸ گلوله
دانه بندی گروه D	۶ گلوله

۵- روش آزمایش:

مصالح سنگی و گلوله های فولادی را درون استوانه فولادی دستگاه لوس آنجلس قرار داده و دریچه آن را کاملا ببندید. سپس با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه استوانه را بگردش درآورده و آن را ۵۰۰ دور بگردانید. سپس مصالح را از استوانه خارج کرده و با الک مدول ۳۲ (نمره ۱۲ در سیستم ASTM) ۱/۶۸ 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 $105\pm5C^{o}$ درجه سانتی گراد باشد. پس از خشک کردن مصالح آن را با دقت گرم وزن کنید.

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

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن نهایی}} \times ۱۰۰$$

آزمایش شماره ۱۵ تعیین ضریب تطویل و تورق سنگدانه ها طبق استاندارد BS812-75 و دت ۲۲۰

۱- **هدف:** تعیین درصد وزنی سنگدانه های معیوب در پر کننده ها (سوزنی یا پولکی بودن)

۲- **اهمیت کاربرد:** دانه های سنگی معمولا ۶۰ الی ۷۵ درصد حجم بتن را اشغال می کنند و روی خواص بتن، نسبتهای اختلاط، اقتصادی بودن بسیار مؤثر هستند. سنگی که در بتن مصرف می گردد باید سالم باشد، پوسیده نباشد، پوسیدگی هم نداشته باشد، وزن فضائی اش بیش از ۱/۵t/m3 باشد، مقاومت فشاری بالاتر از ۸۰۰kg/cm۲ داشته باشد، درصد جذب آب کمی داشته باشد، در آب حل نشود، با آب ترکیب فیزیکی و شیمیایی نداشته باشد، سختی آن کمتر از ۳ نباشد. در ساختن بتن نباید از سنگدانه های پولکی و سوزنی استفاده کرد. اگر در ازای سنگ نسبت به پهنا و ضخامت آن زیاد باشد سنگ سوزنی شکل است و چنانچه درازا و پهنای سنگ نسبت به ضخامت آن زیاد باشد سنگ پولکی شکل است. مصالح سنگی باید نسبتا عاری از سنگدانه های پولکی و سوزنی شکل باشند. مقدار این سنگدانه های پولکی و سوزنی در شن و ماسه مجموعا باید در حد ۱۵ درصد وزنی کل دانه ها محدود گردد. این ضابطه برای دانه های ریز شکسته و برای دانه های درشت از اهمیت یکسانی برخوردار است. ماسه شکسته، که از شکستن سنگ دانه های درشت تر بدست می آیند حاوی دانه های سوزنی و پولکی است. دانه های سوزنی و پولکی به آب ا ختلاط بیشتری نیاز دارند. بنابراین دانه های پولکی و سوزنی روی مقاومت بتن بویژه در خمش اثر می گذارند.

در این آزمایش روی شکل و بافت سطحی دانه ها مطالعاتی صورت می گیرد، شکل و بافت سطحی یک دانه روی خواص بتن تازه بیشتر از بتن سخت شده اثر دارد. دانه های زبر – گوشه ای – سوزنی – در مقایسه با دانه های صاف و گرد و کروی آب بیشتری را برای تولید بتن نیاز دارند. بنابراین دانه های گوشه ای و زبر و پولکی و سوزنی برای همان مقدار نسبت آب به سیمان، به سیمان بیشتری نیاز دارند. چسبندگی بین خمیر سیمان و یک دانه داده شده عموما با تغییر حالت دانه از نرم و گرد و به گوشه ای و زبر افزایش می یابد. این افزایش در چسبندگی در انتخاب دانه های بتنی که مقاومت خمشی آنها مهم بوده یا به مقاومت فشاری بالا نیاز بوده از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

همانطور که ذکر شد سنگدانه ها باید دارای چندین خصوصیت باشند که مهمترین آنها عبارتند از:

۱- مقاومت فشاری و خمشی
۲- نوع جنس و مواد متشکله سنگدانه ها
۳- وزن مخصوص ویژه
۴- وزن مخصوص ظاهری
۵- دانه بندی
۶- شکل دانه و بافت سطحی
۷- درصد جذب آب و رطوبت سطحی
۸- مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن
۹- مقاومت در برابر سولفاتها

۱۰- مقاومت در برابر سایش و ضربه

۳- وسایل آزمایش:

ترازو با دقت ۰/۱ گرم

الکهای دانه بندی شن $1\frac{1}{2}'' - 1'' - \frac{3}{4}'' - \frac{1}{2}'' - \frac{3}{8}'' - 4 - 8$ در سیستم ASTM

۴- اصول آزمایش: برحسب تعریف ضریب تورق سنگدانه ها عبارت است از درصد وزنی دانه هایی که ضخامت آنها کمتر از ۰/۶ اندازه متوسط دانه ها باشد و ضریب تطویل مصالح عبارت است از درصد وزنی دانه هایی که طول آنها بیشتر از ۱/۸ اندازه متوسط دانه ها باشد منظور از اندازه متوسط دانه ها در تعریف بالا میانگین اندازه سوراخ دو الک متوالی است که توسط آنها مصالح را دانه بندی نموده اند به عنوان مثال اندازه متوسط مصالحی که از الک $\frac{3}{4}$ اینچ رد شده و روی الک $\frac{1}{2}$ اینچ باقی مانده است چنین بدست می آید.

$$(3.4+\frac{1}{2}):2=0.625in=1.59cm$$

حال چنانچه طبق تعریف ضخامت دانه ها کمتر از $0.625\times0.6=0.375in=9.5cm$ باشد دانه های مورد آزمایش متورق محسوب می گردد.

و حال چنانچه طبق تعریف طول همان دانه ها بیشتر از $0.625\times1.8=1.125in=2.86cm$ باشد دانه های مورد آزمایش طویل محسوب می گردد.

لازم به ذکر است این روش آزمایش شامل دانه های کوچکتر از ۱/۴ اینچ یا۶/۳۵ میلی متر نمی گردد.

۵- روش آزمایش:

ابتدا به وسیله الک مقدار مناسبی از نمونه مورد آزمایش را الک نموده و دانه بندی می نمائیم سپس مانده روی هر الک را به طور جداگانه مورد آزمایش قرار می دهیم حداقل وزن نمونه در این آزمایش معادل وزن ۲۰۰ دانه برای هر اندازه متوسط می باشد که با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری می نمائیم.

ابتدا با استفاده از دستگاه تورق و دقت در انتخاب شیار مورد آزمایش با توجه به نوع دانه بندی سنگدانه ها هر کدام از سنگدانه ها را به تفکیک و دانه دانه از شیار مخصوص به خود عبور داده و دانه هایی که عبور نمی کنند به طور جداگانه جمع آوری می شوند و وزن دانه های رد شده از شیار را با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری می کنیم.

برای استفاده از دستگاه تطویل همانند دستگاه تورق ابتدا با توجه به نوع دانه های دانه بندی شده فاصله دو میله را از روی دستگاه انتخاب کرده و سپس هر کدام از سنگدانه ها را به تفکیک و دانه دانه از میان میله ها عبور داده و دانه هایی که عبور نمی کنند به طور جداگانه جمع آوری نموده و با دقت گرم وزن می کنیم.

۶- محاسبات:

ضریب تورق و ضریب تطویل طبق فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$\text{ضریب تورق} = \frac{\text{وزن دانه های رد شده از شیارها}}{\text{وزن کل نمونه}} \times ۱۰۰$$

$$\text{ضریب تطویل} = \frac{\text{وزن دانه های رد نشده از میان لوله ها}}{\text{وزن کل نمونه}} \times ۱۰۰$$

تذکر تعیین ضریب تطویل و تورق برای دانه های ریز شکسته (ماسه) و برای دانه های درشت (شن) از اهمیت یکسانی برخوردار است زیرا ماسه تهیه شده از شکستن سنگها اغلب حاوی دانه های سوزنی و پولکی است.

فصل ۳ – 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 چسم یک پارچه تبدیل کرده باشد.

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

۱– مقدار سیمان و جنس آن

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

۳– شن و ماسه از لحاظ جنس و دانه بندی و حداکثر اندازه مصالح

۴– ساختن، ریخت، متراکم کردن بتن

۵– نسبت مصالح سنگی به سیمان

۶– 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 معمولا 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 – دوغا ب 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 معمولا بتن را با دست می سازند در موقع ساختن بتن باید قبلا مصالح سنگی با سیمان خوب مخلوط شده باشد آنگاه آب به آن اضافه نمود و ضمنا 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 ۵ درجه سانتی گراد و حداکثر ۳۰ درجه

سانتی گراد می باشد. در هوای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی گراد گیرش بتن سریع بوده و نیاز به اندیشیدن تدابیری خاص دارد و اگر در سرمای کمتر از ۵ 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 کارها ی بتنی باید مد نظر قرار گیرد. معمولا با گذشت زمان مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. بتنی که در جای نمناک بماند پس از گذشت ۲۸ روز به ۹۰درصد تاب فشاری نهایی خود می رسد. البته با اندیشیدن تدابیری می توان به مقاومت ۲۸ 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

۱- عمل آوردن بتن با بخار در فشار متعارف (۱ اتمسفر)

۲- عمل آوردن بتن با بخار تحت فشار زیاد

۱- 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 ا نجام داد.

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

۲- مرحله افزایش درجه حرارت – افزایش دمای محیط اطراف بتن تا رسیدن به دمای حداکثر این مرحله حداقل باید ۲/۵ ساعت طول بکشد (سرعت ازدیاد دما ۲۰ درجه سانتی گراد در ساعت)

۳- مرحله ثابت نگه داشتن درجه حرارت حداکثر – ثابت نگه داشتن درجه حرارت حداکثر مرحله دوم (مدت زمان این مرحله بین ۳ الی ۶ ساعت متفاوت است هر چه دما بالاتر باشد زمان کوتاهتر و هر چه دما پایین باشد زمان بلندتر می گردد.)

۴- مرحله سرد کردن – کاهش تدریجی دما از دمای حداکثر به دمای مورد نظر در مدت حداقل ۲ ساعت (کاهش دما در این مرحله ۲۰ درجه سانتی گراد در ساعت باشد)

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

برای عمل آوردن سریع بتن و دست یابی به مقاومتهای 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.

۱- مقاومت بتن سریعا افزایش می یابد.

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

۳- جمع شرگی بتن کاهش می یابد.

روش عمل آوری توسط اتوکلاو به شرح زیر می باشد.

۱- گیرش اولیه بتن در شرایط معمول تا زمان گیرش نهایی.
۲- قرار دادن قطعات در اتوکلاو و افزایش دما و افزایش فشار تا ۱۸۰ درجه سانتی گراد به صورت تدریجی در یک دوره حداقل ۳ ساعته (سرعت ازدیاد دما در هر ساعت ۴۰ درجه سانتی گراد)
۳- نگه داری عضو مورد نظر در شرایط فوق به مدت ۵ الی ۱۲ ساعت
۴- 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:
۱- عمر بسیار طولانی ساختمانهای بتنی ۲- مقاومت در مقابل آتش سوزی ۳- فراوانی و در دسترس بودن مصالح ۴- فرم پذیری ۵- مقاومت فشاری بالا.
در مقابل این مزایا سازهای بتنی دارای معایبی هستند. مانند ۱- سنگین بودن این سازها ۲- قدرت انتقال صوت و قدرت انتقال حرارت ۳- 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.
۱- بتن سبک با وزن مخصوص ۳۵۰ الی ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب که در ساخت آن از مصالح سبک نظیر سنگ آتش فشانی متخلخل استفاده می گردد.
۲- بتن معمولی با وزن مخصوص ۲۱۰۰ الی ۲۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای ساختمانهای معمولی - پلها – دالهای بتنی – تیر – ستون - پی ها استفاده می گردد.
۳- بتن سنگین این نوع بتن با وزن مخصوص ۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ 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.
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 ۵ الی ۶ 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 تقریبا 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 اصطلاحا آنرا شیره بتن گویند.
آب انداختن بتن در واقع نوعی جداشدگی در بتن است به این معنی که لایه ای نازک از آب آغشته به سیمان روی بتن جمع می شود (جداشدگی 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 – ویبره 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 ۱) 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 ایجاب 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:

۱- 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.

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

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

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

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

روشهای کاهش مقدار خزش

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

۲- 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 ۰۰۰۲/ تا ۰۰۰۸/ حجم است که ۱۵ تا ۳۵ درصد آن در دو هفته اول و ۴۰ تا ۸۰ درصد آن در سه ماهه اول و ۶۵ الی ۹۰ درصد آن در یک سال اول عمر بتن روی می دهد.

عوامل موثر در افت بتن

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

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

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

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

۵- عمر بتن، بیشترین مقدار افت بتن (۹۰٪) 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 ۱۶ طرح اختلاط بتن بر اساس استاندارد BS882 و استاندارد ACI-318-83

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

۲- **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:

۱- کارایی بتن تازه ۲- مقاومت فشاری در سن معین ۳- 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 همواره باید رضایتبخش بودن نسبتهای بدست آمده را با سا ختن 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.ز یرا 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:

۱- استفاده از سفت ترین مخلوط ممکن.

۲- بیشترین استفاده از بزرزگترین اندازه دانه ها.

۳- 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.

۳- 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 kg/m^3

$f'c$ - مقدار مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه استوانه ای که مهندس محاسب بر مبنای آن محاسبات را انجام می دهد. kg/m^3

fcm- 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 مثلا ستونهای طبقات پائین ساختمانهای مرتفع از بتنهایی با مقاومت مشخصه C60 (60 مگاپاسگال) ($60\ N/mm^2$) ($600kg/cm^2$) استفاده می شود.

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

۴- 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 گیر ی- 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.

۱- هنگامی که نتایج ثبت شده مناسبی از آزمایشات در دسترس نباشد مقاومت متوسط لازم باید به اندازه ای که متناسب با مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه استوانه ای می باشد از آن تجاوز کند مطابق جدول زیر.

مقاومت فشاری بتن (رده بتن) ACI-211-1-81	مقاومت فشاری متوسط لازم N/mm^2
C12 و پائین تر	$f'cm = f'c + 6.0$

C16	$f'cm = f'c + 7.5$
C20	$f'cm = f'c + 8.5$
C25	$f'cm = f'c + 9.5$
C30 تا C35	$f'cm = f'c + 10.5$
C40 و بالاتر	$f'cm = f'c + 11.0$

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

۲- 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.

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(\overline{X} - X)}{n-1}}$$

S انحراف استاندارد بر حسب N/mm^2

X نتیجه آزمایش بر حسب N/mm^2

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

n تعداد نتایج آزمایش

با توجه به تعداد نتایج آزمایش (۱۵ الی ۲۹ آزمایش) متوالی باید مقدار S (انحراف استاندارد) را در ضرائب زیر ضرب نمود.

تعداد آزمایش	ضریب اصلاح
۱۵	۱/۱۶
۲۰	۱/۰۸
۲۵	۱/۰۳
۳۰ یا بیشتر	۱/۰۰

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

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 مقامت مخلوط بتن می باشد.

مقاومت فشاری مقرر $f'c$ ACI-۳۱۸-۸۳	نسبت آب به سیمان	
	بتن معمولی	بتن هوادار
۱۶۰	۰/۶۷	۰/۵۴
۲۰۰	۰/۵۸	۰/۴۶
۲۴۰	۰/۵۱	۰/۴۰
۲۸۰	۰/۴۴	۰/۳۵
۳۲۰	۰/۳۸	+
۳۶۰	+	+

جدول A-۱

مقاومت فشاری مشخصه $f'cm$ (ACI-۲۱۱.۱-۸۱)	نسبت آب به سیمان	
	بتن معمولی	بتن هوادار
۱۵	۰/۸	۰/۷۱
۲۰	۰/۷	۰/۶۱
۲۵	۰/۶۲	۰/۵۳
۳۰	۰/۵۵	۰/۴۶
۳۵	۰/۴۸	۰/۴
۴۰	۰/۴۳	+
۴۵	۰/۳۸	+

جدول B-۱

+ 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 باید طبق جدول (۲) باشد. مقدار کل حبابهای هوا در اینگونه موارد نظیر شرایط محیطی شدید خواهد بود.

جدول ۲- 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:	
الف- بتن در معرض آب شیرین	۰/۵
ب- بتن در معرض آب شور یا آب دریا	۰/۴۵
بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب:	
الف- جداول، جوی های آب، مقاطع نازک	۰/۴۵

ب- سایر قطعات	۰/۵
پ- در حضور مواد شیمیایی یخ زا	۰/۰۴۵
برای حفاظت در برابر خوردگی در سازه های بتن آرمه ای که در معرض آب شور یا آب دریا قرار دارند.	۰/۴*

* در صورت افزایش پوشش بتن به اندازه 10mm، می توان نسبت آب به سیمان $(\frac{W}{C})$ را به ۰/۴۵ افزایش داد.

تذکر ۱- برای بتن های در معرض شرایط ویژه محیطی و مقاومت فشاری بالا، نسبت مطلق آب به سیمان مینیمم مقدار بدست آمده از جدول ۱ و ۲ 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 (۳) با توجه به بزرگترین اندازه دانه های سنگی به دست می آید. جدول (۳) 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.

جدول (۳) مقدار آب آزاد مورد نیاز بتن $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ برای اسلامپهای مختلف و حداکثر انداز ه دانه های سنگی

اسلامپ	بزرگترین اندازه دانه سنگی [mm]							
[mm]	۱۰	۱۲.۵	۲۰	۲۵	۴۰	۵۰	۷۰	۱۵۰
بتن معمولی								
۳۰ تا ۵۰	۲۰۵	۲۰۰	۱۸۵	۱۸۰	۱۶۰	۱۵۵	۱۴۵	۱۲۵
۸۰ تا ۱۰۰	۲۲۵	۲۱۵	۲۰۰	۱۹۵	۱۷۵	۱۷۰	۱۶۰	۱۴۰
۱۵۰ تا ۱۸۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۰۵	۱۸۵	۱۸۰	۱۷۰	--
درصد تقریبی هوا	۳	۲.۵	۲	۱.۵	۱	۰.۵	۰.۳	۰.۲
بتن هوادار								
۳۰ تا ۵۰	۱۸۰	۱۷۵	۱۶۵	۱۶۰	۱۴۵	۱۴۰	۱۳۵	۱۲۰
۸۰ تا ۱۰۰	۲۰۰	۱۹۰	۱۸۰	۱۷۵	۱۶۰	۱۵۵	۱۵۰	۱۳۵
۱۵۰ تا ۱۸۰	۲۱۵	۲۰۵	۱۹۰	۱۸۵	۱۷۰	۱۶۵	۱۶۰	--
درصد هوای پیشنهادی	۸	۷	۶	۵	۴.۵	۴	۳.۵	۳

توجه: مقادیر اسلامپ برای بتنهای با دانه های سنگی بزرگتر از ۴۰mm بر مبنای آزمایش اسلامپ بعد از جدا کردن دانه های بزرگتر از ۴۰mm بوسیله الک می باشد.

تعیین مقدار سیمان بتن

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

$$\frac{W}{C} = \text{مقدار تعیین شده از جدول (۱) یا (۲)} \qquad (۱۶-۱)$$

و از آنجائیکه مقدار آب مصرفی از جدول (۳) تعیین گردیده، لذا

$$C = \frac{W}{\text{مقدار نسبت آب به سیمان}} \quad \left[\frac{kg}{m^3}\right] \qquad (۱۶-۲)$$

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 (۴) می باشد.

جدول (۴) حجم فضایی شن اشباع با سطح خشک Vsh برای حجم مخلوط بتن [m^3]

بزرگترین اندازه	ضریب نرمی ماسه			
[mm]D	۲/۴	۲/۶	۲/۸	۳/۰۰
۱۰	۰/۵	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۴
۱۲/۵	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳
۲۰	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۶۰
۲۵	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵
۴۰	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۹
۵۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
۷۰	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶
۱۵۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۱

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

$$Sh = Vsh.\gamma s \qquad [Kg] \qquad (۱۶-۳)$$

تعیین مقدار ماسه:

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

$$\text{حجم آب} = \frac{W}{1000kg}[m^3] \qquad (۱۶-۴)$$

$$\text{حجم سیمان} = C/\gamma[m^3] \qquad (۱۶-۵)$$

$$\text{حجم شن} = Sh/\gamma_c[m^3] \qquad (۱۶-۶)$$

$$\text{حجم ماسه} = ۱ - (\text{حجم هوا} + \text{حجم شن} + \text{حجم سیمان} + \text{حجم آب})\ [m^3] \qquad (۱۶-۷)$$

$$\text{مقدار ماسه M} = \text{حجم ماسه} \times \gamma f[kg] \qquad (۱۶-۸)$$

تذکر ۲: 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.

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

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

$$\left[\frac{kg}{m^3}\right] \text{وزن یک متر مکعب بتن تازه} = \text{وزن آب مصرفی} + \text{وزن سیمان مصرفی} + \text{وزن ماسه مصرفی} + \text{وزن شن مصرفی} \qquad (۱۶-۹)$$

۳- علائم اختصاری به کار رفته در طرح اختلاط به روش BS-۸۸۲-۸۶

ρ وزن واحد حجم بتن تازه kg/m^3

γf وزن مخصوص ظاهری ماسه kg/m^3

γc 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 ۲۸ 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 ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ میلی متر در بتن به کار می رود و دانه های سنگی ماسه بر طبق درصد رد شده از الک شماره ۳۰ در سیستم ASTM یا ۶۰۰ میکرونی (۲۵ در سیستم BS) به چهار نوع بر طبق گراف زیر تقسیم بندی می شوند.

۴- 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 مقاومتهای پائین تر از مقاومت مشخصه بصورت زیر انتخاب می شود.

K برای ۱۷ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۱ خطر ریسک ۱ در ۶ - ٪۱۶/۷

برای ۱۰ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۱/۴۸ خطر ریسک ۱ در ۱۰ - ٪۱۰

برای ۵ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۱/۶۴ خطر ریسک ۱ در ۲۰ - ٪۵

برای ۲/۵ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۱/۹۶ خطر ریسک ۱ در ۴۰ - ٪۲/۵

برای ۱ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۲/۳۳ خطر ریسک ۱ در ۱۰۰ - ٪۱

برای ۰/۱۵ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه k=۳ خطر ریسک ۱ در ۷۰۰ - ٪۱۴

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 ۲۰ نمونه را بر طبق شکل ۱ بدست آورد. در صورت کمتر بودن از ۲۰ نمونه آزمایشی از منحنی مربوطه در شکل ۱ استفاده می گردد.

گام ۲ – تعیین نسبت آب به سیمان

با استفاده از جدول (۱) مقاومت بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵ در سن مشخص و برای انواع سیمان و شن و ماسه مصرفی بدست می آید.

نوع سیمان	نوع شن	مقاومت فشاری N/mm2			
		روزه ۳	روزه ۷	روزه ۲۸	روزه ۹۱
سیمان معمولی یا	نشکسته	۲۲	۳۰	۴۲	۴۹
سیمان ضد سولفات	شکسته	۲۷	۳۶	۴۹	۵۶
سیمان زودگیر	نشکسته	۲۹	۳۷	۴۸	۵۴
	شکسته	۳۴	۴۳	۵۵	۶۱

جدول (۱) مقاومت فشاری تقریب N/mm^2 بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵ ($\frac{W}{C}$=۰/۵)

در مرحله دوم گام ۲ مقدار مقاومت بدست آمده از جدول ۱ را بر روی شکل ۲ 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 ۳ – تعیین مقدار آب آزاد مخلوط

در این مرحله مقدار آب لازم برای ساخت بتن با سنگدانه های حالت s.s.d از جدول ۲ بر اساس نوع و حداکثر قطر دانه های سنگی برای ساختن بتنی با اسلامپ خواسته شده به آسانی بدست می آید.

اسلامپ		۰–۱۰	۱۰–۳۰	۳۰–۶۰	۶۰–۱۸۰

				نوع دانه	حداکثر قطر دانه
۲۲۵	۲۰۵	۱۸۰	۱۵۰	نشکسته	۱۰
۲۵۰	۲۳۰	۲۰۵	۱۸۰	شکسته	
۱۹۵	۱۸۰	۱۶۰	۱۳۰	نشکسته	۲۰
۲۲۵	۲۱۰	۱۹۰	۱۷۰	شکسته	
۱۷۵	۱۶۰	۱۴۰	۱۱۵	نشکسته	۴۰
۲۰۵	۱۹۰	۱۷۵	۱۵۵	شکسته	

گام ۴- 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 ۲ (شکل ۲) 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 (۲) 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 ۲) 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 ۲ 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 اسلامپ (کارایی) خواسته شده بتن به عمل آید و یا از مواد افزودنی مانند روان کننده ها و فوق روان کننده ها استفاده گردد.

گام ۵ – تعیین وزن مخصوص بتن تازه

در این مرحله با استفاده از شکل (۳) با داشتن وزن مخصوص ویژه (توده ویژه) مجموعه سنگدانه ها و میزان آب آزاد (محاسبه شده از گام ۳) می توان وزن مخصوص بتن تازه (با تراکم کافی) را تعیین کرد در صورت در اختیار نداشتن توده ویژه سنگدانه ها می توان به طور تقریبی برای مصالح نشکسته عدد ۲/۶ و برای مصالح شکسته عدد ۲/۷ را اختیار نمود.

گام ۶- 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

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

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

گام ۷- انتخاب میزان دانه های سنگی ریز و درشت بطور جداگانه

مقادیر پیشنهادی ریزدانه (ماسه) به صورت دو حد در شکل (۴) 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 ۴ 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 (۶) × وزن کل مصالح سنگی = وزن ریزدانه (ماسه) در مخلوط

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

آزمایش شماره ۱۷ روش نمونه برداری از بتن تازه بر اساس استاندارد ASTM C172-71 و استاندارد ملی ایران شماره ۴۸۹ و استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۱ و ISO 2736-1-86

۱- **هدف:** تعیین روش نمونه برداری از بتن تازه به منظور تهیه آزمونه های لازم برای کنترل کیفیت بتن

۲- **اهمیت و کاربرد:** در تمام آزمایشات که بر روی بتن تازه و یا بتن سخت شده صورت می گردد. نمونه آزمایشی باید معرف کل بتن مصرفی باشد بنابراین نمونه بتن نماینده کیفیت حالت بتنی است که در ساختمان مصرف می شود لذا باید دستورات این استاندارد همواره در نمونه برداری رعایت گردد.

در نمونه برداری اصطلاحات زیر به کار برده می شود.

۱- بتن تازه – بتنی است که مرحله اختلاط را پشت سر گذاشته ولی گیرش اولیه آن آغاز نشده است.

۲- بچ (batch) – مقدار بتن تازه تولید شده در یک مرحله

۳- نمونه – مقدار بتنی است که از یک بچ تولید شده و شامل چند برداشت جزء باشد.

۴- برداشت – مقدار بتنی است که توسط بیلچه از نقاط مختلف بچ برداشته می شود.

۵- آزمونه قسمتی از یک نمونه که به شکل و ابعاد مشخص قالب گیری شده است و مورد آزمایش قرار می گیرد.

۳- شرح آزمایش:

۱- نمونه برداری از بتن محتوی مخلوط کننده های ساکن (باستثناء مخلوط کننده های جاده سازی)

در این نمونه برداری هنگامی که بتن از مخلوط کننده خارج می گردد باید ظرف را طوری در جلوی آن قرار داد که بتن به راحتی در داخل آن ریخته شود و این عمل نباید به روشی انجام گیرد که دانه های مشخصی از بتن در داخل ظرف ریخته شود این احتیاطات در مودر هر دو نوع مخلوط کننده های که کج می شوند و یا نمی شوند ضروری می باشد.

تذکر ۱- با توجه به احتمال عدم یکنواختی بتن ابتدا و انتهای مخلوط کن برداشتها را نباید از ابتدا و انتهای مخلوط کن تهیه نمود.

نمونه برداری از بتن محتوی مخلوط کننده ای مکانیکی و ماشینی باید در طی ۳ الی ۴ مرحله متناوب انجام پذیرد. با توجه به اینکه ظرف نباید در مرحله اول یا دوم پر شود (حداقل ۳ مرحله)

تذکر ۲- در صورتی که نمونه برای آزمایش مقاومت برداشته شود نباید کمتر از ۳۰ لیتر باشد نمونه های کمتر از مقدار فوق برار تعیین درصد هوا و روانی بتن (اسلامپ) برداشته می شود (در استاندارد ۲۳۰۱ ایران مقدار ۲۰ لیتر و ۱/۸ برابر حجم آزمونه قید شده است) طرز پر کردن ظرف نمونه بدین شکل است که ظرف را هنگام ریزش بتن از مخلوط کننده طوری بداخل آن فرو می برند که بتن در ظرف سرازیر شود.

نمونه برداری از بتنهایی که قطر مواد درشت دانه آنها زیاد است. اگر بتن حاوی مواد سنگی درشت تر از اندازه مناسب برای مطابقت با قطر قالب و یا وسایل مورد استفاده در آزمایش باشد نمونه را به طریقه مرطوب الک نمائید (عمل جدا کردن مواد درشت تر از یک اندازه معین از بتن تازه را الک کردن به طریقه مرطوب گویند).

تذکر ۳- بعد از حمل نمونه به محل آزمایش و قبل از ریختن در قالب دوباره آنرا با بیلچه مخلوط کنید تا حتی المقدور یکنواخت گردد فاصله زمانی بین نمونه برداری تا پایان زمان ریختن در قالب نباید بیش از ۱۵ دقیقه طول بکشد.

و همچنین نمونه باید شرایط بتن تازه را دارا باشد در تمام مراحل نمونه برداری و حمل و نقل نمونه ها باید به صورتی نگهداری شود که آب خود را از دست ندهد و جداشدگی صورت نگیرد و در معرض سرما – گرما و وزش باد و تابش آفتاب قرار نگیرد.

در مورد هر نمونه باید اطلاعات زیر ثبت شود.

۱- تاریخ – زمان – جزئیات نمونه برداری نظیر تعداد – فواصل زمانی تهیه برداشتها

۲- مشخصات نمونه و شرایط مخلوط کردن

۳- محل و موقعیت بتن نمونه گیری شده در سازه یا در توده بتن

آزمایش شماره ۱۸ روش تعیین کارایی بتن توسط آزمایش نشست (Stump test) برای بتن های خمیری و چسبنده با سنگدانه های تا قطر ۴۰mm بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۳ و ۴۹۲ و دت ۵۰۵ و ASTM C143-56 و ISO 4109-80

۱- **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)

۲- **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 کارآیی 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 نتیجتا مخلوط حاصل از دوام کمتری برخوردار خواهد شد. در ضمن دو پارامتر دیگری که در کارآیی 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:

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

۲- 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 وماسه است.

ضریب شلی بتنی که در ساختمانهای معمولی بکار می روند حدود ۵cm-۷cm می باشد و اگر از ویبراتور استفاده گردد، ۳cm مناسب است.

بتن سفت اسلامپ (۱۰-۳۰mm) 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 اسلامپ (۵-۷cm) 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 معمولا در کارهای ساختمانی از بتن با این اسلامپ استفاده می گردد.

بتن شل اسلامپ بزرگتر از ۱۰cm این نوع بتن نیازی به لرزندان 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.

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

۱- آب لازم برای گیرش سیمان و انجام عملیات هیدراتاسیون

۲- آب لازم برای ایجاد کارایی بتن

مجموع این دو مقدار معمولا بین ۴۰ الی ۷۰ درصد وزن سیمان می باشد. (۰/۷ الی ۰/۴ = $\frac{W}{C}$)

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

۱- افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن

۲- افزایش خاصیت آبندی در بتن

۳- کاهش جذب آب

۴- افزایش مقاومت در برابر عوامل جوی

۵- پیوستگی بهتر میان لایه های متوالی بتن

۶- کاهش تغییرات حجمی در اثر خشک شدن

۷- چسبندگی بهتر بین آرماتور و بتن

۸- 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 هیدارتاسیون 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

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

۲- نوع سنگدانه های موجود در بتن

۳- دانه بندی سنگدانه ها

۴- نسبت سنگدانه به سیمان

۵- نوع و نرمی سیمان

۷-مدت زمان ساخت و ریختن بتن

۸- 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 ۲۰ و ۱۹ شرح داده می شود.

طبقه بندی	اسلامپ به میلی متر	درجه تراکم	ضریب تراکم
S_1	۴۰-۱۰	بزرگتر یا مساوی ۱/۴۶	۰/۸۵ تا ۰/۷۸
S_2	۹۰-۵۰	۱/۴۶ تا ۱/۲۶	۰/۹۲ تا ۰/۸۵
S_3	۱۵۰-۱۰۰	۱/۲۵ تا ۱/۱۱	۰/۹۷ تا ۰/۹۲
S_4	بزرگتر از ۱۶	۱/۱۰ تا ۱/۰۴	۱/۰ تا ۰/۹۷

۳- وسایل آزمایش:

مخلوط ناقص اسلامپ به ارتفاع ۳۰۰mm قطر پایین ۲۰۰mm و قطر بالایی ۱۰۰mm

میله کوبنده به قطر ۱۶mm و طول ۶۰۰mm که یک سر آن به صورت نیمکره به قطر ۱۶ میلی متری می باشد.

یک صفحه غیر قابل نفوذ آب – مربعی به ضلع ۴۵cm

بیلچه

ماله فلزی

خط کش

پارچه جهت تمیز کردن

۴- نمونه برداری:

نمونه باید به نحوی برداشت شود که کاملا 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 کاملا مخلوط کرده تا نمونه یکنواختی بدست آید. عمل برداشت نمونه، ۱۵ دقیقه پس از شروع اختلاط مصالح صورت گیرد. (آزمایش اسلامپ در این زمان انجام گیرد)

۵- 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 $\frac{۱}{۳}$ ارتفاع مخروط را پر کرده و با میله کوبنده ۲۵ ضربه در نقاط مختلف بتن وارد کرده تا متراکم گردد.

دو لایه دیگر را نیز هر بار با ۲۵ 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 کاملا صاف کنید.
مادامیکه پاها روی پاشنه های قالب قرار دارند، اطراف مخلوط و صفحه کار را کاملا 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 ۵ تا ۱۰ ثانیه مخروط را به سمت بالا بکشید.
دقت کنید هیچگونه حرکت جانبی و یا چرخشی به قالب و بتن وارد نشود.
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 ۱/۵ 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 ۱) است.
۱- افت طبیعی یا اسلامپ صحیح این بتن دارایی کارایی خوب تا عالی بوده
۲- افت برشی با کاهش ارتفاع بتن و بریده شدن کناره بتنی و ریزش آن (تقریبا نیمی از مخروط در امتداد سطح شیبدار می لغزد). در این حالت نتیجه آزمایش را مردود شمارده 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) احتمالا بتن فاقد شکل پذیری و چسبندگی لازم برای انجام آزمایش اسلامپ است. (این بتن در هنگام جا دادن در قالب رضایت بخش نیستند)
۳- 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 ۱- 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 ۲- 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، احتمالا نقاط ضعفی در تهیه طرح مخلوط وجود داشته و این موضوع باید در گزارش ثبت گردد.
تذکر ۳- در صورت فرو ریختگی بتن (بدون وارد شدن نیرو به مخروط بتن) باید تجدید نظر کلی در محاسبات و تناسب اجزاء ا ختلاط انجام پذیرد.
تذکر ۴- این آزمایش برای بتنهایی استفاده می شود که حداکثر قطر سنگدانه های مصرف شده در آن برابر ۳۸ میلی متر باشد.

۶- نتیجه آزمایش:

اسلامپ بتن در این آزمایش با استفاده از فرمول زیر تعیین و به نزدیکترین مضرب ۵mm گرد می شود.

$S=h_m-h_s[mm]$

S - اسلامپ (نشست) بتن [mm]

h_m – ارتفاع قالب [mm]

h_s – ارتفاع بتن [mm]

تذکر ۵- چنانچه اسلامپ کمتر از ۱۰mm باشد چنین نتیجه گرفته می شود که بتن مورد آزمایش دارای روانی مناسب برای انجام آزمایش اسلامپ نمی باشد.

تفاوتهای استاندارد ۴۹۲ و ۳۲۰۳ موسسه استاندارد صنعتی ایران

۱- در استاندارد ۴۹۲ به سه لایه حجمی تقسیم نموده است (ارتفاع لایه اول ۶/۵cm ارتفاع لایه دوم ۱۵cm ارتفاع لایه سوم کل مخروط) در حالی که در استاندارد ۳۲۰۳ به سه لایه مساوی و ۱/۳ ارتفاع تقسیم نموده است.
۲- در استاندارد ۴۹۲ کل آزمایش در ۱/۵ دقیقه در حالی که در استاندارد ۳۲۰۳ زمان مشخص نشده است.

آزمایش شماره ۱۹ روش تعیین کارایی بتن تازه – درجه تراکم برای بتنهایی با سنگدانه هایی به قطر حداکثر ۴۰ میلی متر بر اساس استاندارد ISO 4117-79 و ISO 4103-79 و استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۴ و ۳۵۱۹

۱- **هدف**: تعیین روانی بتن تازه از طریق قابلیت تراکم آن

۲- **اهمیت و کاربرد**: در آزمایش شماره ۱۸ به تفضیل در مورد خصوصیات کارایی بتن و عوامل موثر در آن صحبت شده است لذا از تکرار آن خودداری می گردد.

این آزمایش هم مانند آزمایش شماره ۱۸ (اسلامپ) برای تعیین اندازه گیری کارایی بتن به کار می رود. در این روش برای تعیین روانی بتن تازه از قابلیت تراکم آن استفاده می گردد. این آزمایش برای انواع بتنهای تازه به جزء بتنهای بسیار روان کاربرد دارد. همچنین برای بتنهایی با سنگدانه های بزرگتر از ۴۰ میلی متر کاربرد ندارد.

۳- **وسایل آزمایش**: ظرف مخصوص آزمایش: شکل این ظرف مکعب مستطیل با قاعده مربع به قطر ۲۰۰ میلی متر و ارتفاع ۴۰۰ میلی متر با رواداری ابعاد ۲ میلی متر می باشد در صورت اجبار می توان به جای ظرف مخصوص از دو قالب مکعب به بعد ۲۰۰ میلی متر که با دقت بر روی یکدیگر قرار می گیرند استفاده کرد به نحوی که ارتفاع ۴۰۰ میلی متری بدست آید.

کمچه – کمچه بنایی وسیله ای برای پرکردن قالب

ابزار برای تراکم بتن شامل میز ویبره (میز لرزان) و یا کوبه به قطر حداکثر ۴۰ میلی متر

۴- **مصالح مورد نیاز**: بتن تازه بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۴۸۹ و استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۱ (آزمایش شماره ۱۶)

۵- **روش آزمایش**: سطح داخلی ظرف باید کاملا تمیز شود و در صورتیکه در نظر باشد از بتن مورد آزمایش مجددا استفاده شود باید جداره داخلی ظرف با آب مرطوب گردد در غیر اینصورت با قشر نازکی از روغن پوشیده شود.

ظرف را از بتن پر کنید (دقت کنید هیچگونه تراکمی صورت نگیرد) برای این منظور با استفاده از کمچه بتن را از چهار دیواری ظرف به نوبت فرو بریزید تا ظرف به طور کامل پر شود سپس بتن واقع شده در بالای لبه فوقانی ظرف را با حرکت اره ای بردارید به نحوی که بتن داخلی ظرف متراکم نشود.

با استفاده از میز لرزان و یا کوبه بتن را متراکم کنید تراکم بتن باید تا آنجا ادامه یابد که دیگر تغییر حجمی در بتن کوبیده شده مشاهده نشود باید دقت کرد که در هنگام تراکم، بتن از هیچ طریقی به خارج از ظرف ریخته نشود و یا شیره آن خارج نگردد.

پس از تراکم، مقدار میانگین تغییر ارتفاع را اندازه گیری کنید اندازه گیری باید با دقت میلی متر صورت گیرد و برای تعیین میانگین فوق باید اندازه گیری در چهار گوشه ظرف انجام شود. چنانچه سطح فوقانی بتن در ظرف ناهموار باشد بهتر است با ضربه زدن کافی آنرا صاف و هموار کرد.

۶- **نتیجه آزمایش**: درجه تراکم با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$\frac{\text{ارتفاع داخلی ظرف (کل ارتفاع داخلی ظرف)}}{\text{ارتفاع بتن متراکم شده}}$$

درجه تراکم =

$$\text{درجه تراکم} = \frac{\text{ارتفاع داخلی ظرف (کل ارتفاع داخلی ظرف)}}{\text{(میانگین نشست بتن) – (ارتفاع داخلی ظرف)}}$$

طبقه بندی	درجه تراکم	اسلامپ به میلی متر	ضریب تراکم
C_0	بزرگتر یا مساوی ۱/۴۶	۱۰–۴۰	۰/۷۸ تا ۰/۸۵
C_1	۱/۲۶ تا ۱/۴۶	۵۰–۹۰	۰/۸۵ تا ۰/۹۲
C_2	۱/۲۵ تا ۱/۱۱	۱۰۰–۱۵۰	۰/۹۲ تا ۰/۹۷
C_3	۱/۱۰ تا ۱/۰۴	بزرگتر از ۱۶۰	۱/۰ تا ۰/۹۷

آزمایش شماره ۲۰ روش تعیین کارایی بتن تازه – ضریب تراکم بر اساس استاندارد دت ۵۰۸ و ACI ۲۱۱/۳/۷۵ و BS-۱۸۸۱

۱- **هدف**: تعیین روانی بتن تازه از طریق ضریب تراکم آن

۲- **اهمیت و کاربرد**: در آزمایش شماره ۱۸ به تفضیل در مورد خصوصیات کارایی بتن و عوامل موثر در آن صحبت شده است لذا از تکرار آن خودداری می گردد.

این آزمایش همانند آزمایش شماره ۱۸ (اسلامپ) و (۱۹) (درجه تراکم) برای تعیین اندازه گیری کارایی بتن به کار می رود. در این روش برای تعیین روانی بتن تازه از قابلیت ضریب تراکم آن استفاده می گردد. این آزمایش برای انواع بتنهای تازه به جزء بتنهای بسیار روان کاربرد دارد و برای بتنهایی با سنگدانه های بزرگتر از ۴۰ میلی متر کارایی ندارد. اگرچه تاکنون روش پذیرفته شده ای جهت اندازه گیری مستقیم کارایی که در واقع میزان کار لازم برای رسیدن به تراکم کامل شناخته نشده است لیکن آزمایش ضریب تراکم روشی است که به طور معکوس با اعمال کار مشخصی درجه تراکم مخلوط را اندازه گرفته و از این جهت آزمایش مناسبی است.

در این آزمایش کار اعمال شده شامل شامل کار غلبه کننده بر اصطکاک مصالح نیز بوده است اما اگرچه اصطکاک واقعی با کارایی مخلوط تغییر می کند سعی می شود این میزان کار به حداقل ممکن برسد ضریب تراکم از تعیین نسبت بین وزن مخصوص بتن مورد آزمایش در شرایط آزمایش به وزن مخصوص همان بتن با تراکم کامل نتیجه می شود.

۳- **وسایل مصالح آزمایش**:

دستگاه فاکتور تراکم: دستگاه شامل دو مخروط ناقص و یک استوانه می باشد که به صورت عمودی بر روی یکدیگر قرار گرفته اند دو مخروط در انتها دارای دو درب مفصلی بازشو می باشند و جهت کاهش اصطکاک سطوح داخلی مخروط صیقلی شده است – ترازو با دقت ۱ گرم

بتن مصرفی مطابق با نتایج بدست آمده از آزمایش شماره ۱۷

شرح آزمایش:

ابتدا وزن استوانه خالی دستگاه ضریب تراکم را با ترازو با دقت ۱ گرم اندازه گیری نمود (A) و سپس حجم استوانه را با کولیس با دقت یک میلی متر مشخص می کنیم (V)

سپس مخروط بالایی را به آرامی از بتن پر کنید سعی کنید عملی برای متراکم کردن نمونه صورت نپذیرد. اضافی بین روی مخروط اول را با تیغه پاک کنید و از تراکم نمونه خودداری کنید. سپس دریچه انتهای مخروط بالایی را باز کنید تا بتن به طور یکپارچه در مخروط دوم که کمی کوچکتر از مخروط اولی است بریزد در این حالت بتن اضافی از سر مخروط به بیرون می ریزد و همواره یک مقداری بتن مطابق استاندارد (از لحاظ وزن و حجم و تراکم) در مخروط دوم باقی می ماند. با این روش خطای ناشی از ریختن بتن توسط اشخاص مختلف در مخروط بالایی حذف می گردد. در این مرحله بدون اینکه به نمونه بتن داخل مخروط فشاری وارد شود بتن اضافی روی مخروط را با یک تیغه پاک کنید.

سپس دریچه پائینی مخروط دوم را به یک باره باز کنید و اجازه دهید بتن به داخل استوانه ریخته شود. در این مرحله نیز مانند دو مرحله قبلی بتن اضافی روی استوانه با تیغه پاک شود و دقت شود هیچگونه فشار اضافی بر بتن وارد نگردد.

وزن استوانه و بتن داخل آن را با ترازو به دقت ۱ گرم وزن کنید (B).

با داشتن حجم استوانه و وزن بتن داخل استوانه می توان وزن مخصوص بتن آزمایشی را در شرایط آزمایش از طریق فرمول زیر محاسبه نمود.

$$P_1 \text{ وزن مخصوص بتن آزمایشی} = \frac{B - A}{V}$$

در مرحله بعد نمونه را از ظرف استوانه ای خارج کرده و ظرف را کاملا شسته و خشک می کنیم و سپس حداقل در چهار لایه بتن را در داخل ظرف ریخته و هر لایه را با لرزاندن و کوبیدن کاملا متراکم می کنیم به طوری که در اثر کوبیدن و یا لرزاندن حجم بتن کاهش نیابد.

در این مرحله مجددا استوانه و بتن داخل آن را با ترازو با دقت ۱ گرم وزن نموده (C) و مجددا وزن مخصوص بتن را در حالت تراکم کامل مطابق فرمول زیر محاسبه می کنیم.

$$P_2 = \text{وزن مخصوص بتن متراکم} = \frac{C - A}{V}$$

ضریب تراکم از نسبت وزن مخصوص بتن در حالت آزمایش به وزن مخصوص بتن در حالت متراکم بدست می آید.

$$\text{ضریب تراکم} = \frac{P_۲}{P_۱}$$

در جدول ذیل ارتباط بین کارایی و ضریب تراکم و اسلامپ و موارد استفاده بتن در شرایط مختلف نشان داده شده است.

ردیف	درجه کارائی	اسلامپmm	درجه تراکم	ضریب تراکم	استفاده بتن در مکانهای مختلف
۱	خیلی پایین	۰-۲۵	۱/۴۶	۰/۷۸	برای راههایی که با غلطک های سنگین متراکم می شوند.
۲	پایین	۲۵-۵۰	۱/۴۶	۰/۸۵	برای راههایی که غلطک های دستی متراکم می شوند. برای پی های با بتن انبوه و برای مقاطع با فولاد کم
۳	متوسط	۵۰-۱۰۰	۱/۴۶ تا ۱/۲۴	۰/۹۲	درحد پائین کارایی این گروه برای دالهای تخت و با تراکم دستی و با استفاده از سنگ شکسته هم چنین برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و برای مقاطع با فولاد زیاد که لرزانده می شود.
۴	بالا	۱۰۰-۱۷۵	۱/۰۴ تا ۱/۲۵	۰/۹۷	برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور و معمولا برای لرزاندن مناسب نیست.

همانگونه که از جدول مشخص است آزمایش فاکتور تراکم بر خلاف آزمایش اسلامپ و درجه تراکم در کارایی پائین (اسلامپ ۲۵-۰) حساسیت بیشتری داشته و تغییرات کارایی در بتن های نسبتا خشک را دقیقتر نشان می دهد.

تذکر ۱- گاهی در بتنهای با کارایی پائین (مخلوط خشک) بتن به جداره مخروط می چسبد. در این حالت باید با چکش لاستیکی به جداره قالب ضربه زده تا بتنها از جداره جدا شوند.
در بتن ها با کارایی پائین مقدار واقعی کار لازم برای تراکم کامل به عیار مخلوط وابسته است در حالی که در آزمایش ضریب تراکم بتنهای کم عیار کار بیشتری نسبت به بتنهای پر عیار دارند این به معنی رد فرضیه «در همه مخروط ها با ضریب تراکم یکسان کار یکسانی لازم است» می باشد.

آزمایش شماره ۲۱ استاندارد قالبهای آزمایشی بتن بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۰۸ و ۳۲۰۲ ISO-1920-76

۱- **هدف:** تعیین ابعاد و رواداریهای و کاربرد نمونه های آزمایشی بتن

هدف از این آزمایش آشنایی با قالبهای مختلف بتن و ابعاد و رواداریهای آنها و کاربرد آنها که به اشکال مکعب – استوانه قائم – منشورهای قائم با مقطع مربع و کاربرد هر یک از آنها را بیان می کند.

ابعاد مبنای نمونه آزمایشی d (نمونه های مکعبی) باید با اختلاف (رواداری) ±۱۰ درصد اندازه اسمی که در زیر داده شده است مطابقت داده شده باشد. اندازه مبنای d در مورد هر یک از انواع نمونه های آزمایشی باید حداقل ۴ برابر اندازه بیشینه اسمی دانه های سنگی مصالح مصرفی در بتن باشد.

مکعب ها به ابعاد ۳۰۰ یا ۲۵۰ یا ۲۰۰ یا (۱۵۰) یا ۱۰۰=d

میلی متر قالب استاندارد می باشد (نمونه های مکعب ۵۰ میلی متری برای ساخت ملات مورد استفاده قرار می گیرد نه بتن).

استوانه ها به قطر d و ارتفاع ۲d (ابعاد به میلی متر می باشد).

۳۰۰ یا ۲۵۰ یا ۲۰۰ یا (۱۵۰) یا ۱۰۰=d

منشورها با مقطع مربع شکل به ضلع d و طول L

۳۰۰ یا ۲۵۰ یا ۲۰۰ یا (۱۵۰) یا ۱۰۰ = d

۵ D یا (۴d)=L

تذکر ۱- در جداول این استانداردها ارقامی که داخل پرانتز نوشته شده است بر دیگر ارقام ارجحیت دارد.

رواداری مستوی بودن سطح باربری مکعب ها و منشورها در تمام آزمایشات و برای استوانه در مورد آزمایش فشاری برابر ۰/۰۰۰۵d می باشد و در آزمایش کششی ۰/۰۰۰۰۱d می باشد.

و رواداری زاویه ها در وجوه مجاور مکعب ها و منشورها و نیز زاویه بین سطوح بالایی و پائینی و مولد استوانه ها برابر ۹۰±۰/۵ درجه باشد.

مکعب ها برای آزمایش فشاری و کششی (کشش غیر مستقیم به روش برزیلی) مورد استفاده قرار می گیرد.

استوانه ها برای آزمایشهای فشار سه محوری – کشش مستقیم و کشش غیر مستقیم (به روش برزیلی) مورد استفاده قرار می گیرد.

منشورها در مرحله نخست برای آزمایش خمشی مورد استفاده قرار می گیرد و سپس قطعاتی که بعد از انجام آزمایش خمش باقی می مانند می توان برای آزمایش فشاری یا کششی غیر مستقیم (روش برزیلی) بکار روند.

اگر ابعاد حقیقی نمونه آزمایشی در حدود ±۱ درصد با اندازه مبنا اختلاف داشته باشد می توان مقاومت را بازاء اندازه های مبنا محاسبه کرد اگر ابعاد حقیقی از حدود این رواداری خارج باشند مقاومت باید بر مبنای اندازه های حقیقی نمونه های آزمایشی که با دقت میلیمتر اندازه گیری شده اند محاسبه شود.

آزمایش شماره ۲۲ ساختن و عمل آوری نمونه های بتنی در آزمایشگاه برای آزمونه های فشاری و خمشی و کششی و تعیین مقاومت آنها بر اساس استاندارد

۱- **هدف:** طرز ساخت و نگهداری نمونه های بتنی

۲- **اهمیت و کاربرد:** پذیرش بتن در کارگاه بر اساس نتایج آزمایش فشاری نمونه های برداشته شده از بتن مصرفی صورت می گیرد. دفعات نمونه برداری از بتن باید به نحوه یکنواختی در طول مدت تهیه و مصرف بتن توزیع گردند و نمونه ها باید از محل نهایی مصرف برداشته شود (آزمایش ۱۶) مقصود از هر نمونه برداری از بتن تهیه دو نمونه آزمایشی از آن است که آزمایش فشاری آنها در سن ۲۸ روزگی یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می پذیرد و متوسط مقاومت فشاری بدست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می توان یک نمونه آزمایشی دیگر هم به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد.

بر طبق آئین نامه بتن ایران (آبا) تمامی ضوابط مربوط به مقاومت فشاری مشخصه بتن بر اساس آزمایش آزمونه های استوانه ای به ابعاد ۳۰۰*۱۵۰ میلی متر استوار است. در صورت استفاده از آزمونه های مکعبی باید مقاومت آنها به مقاومت نظیر استوانه ای تبدیل گردد.

آزمایشهای مقاومت کشش بتن نباید مبنای پذیرش بتن در کارگاه باشد مگر آنکه در مشخصات فنی خصوصی پروژه از آزمایش مقاومت کششی بعنوان معیاری برای پذیرش بتن ذکر گردد.

برای بتنهای رده C12 و پائین تر می توان نسبتهای اختلاط را بر اساس تجارب قبلی و بدون مطالعه آزمایشگاهی تعیین کرد.

برای بتنهای C۱۶ تا C۲۵ می توان نسبتهای اختلاط را مطابقت دفترچه مشخصات فنی عمومی را ملاک قرار داده مشروط بر آنکه مصالح مصرفی استاندارد باشند.

برای بتنهای رده C30 به بالا نسبت های بهینه طرح اختلاط باید از طریق مطالعات آزمایشگاهی باشد در صورتی که حجم هوا اختلاط بتن بیشتر از یک متر مکعب باشد تواتر نمونه برداری باید به ترتیب زیر باشد.

الف- برای دالها و دیوارها یک نمونه (۲ آزمونه) از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا ۱۵۰ متر مربع سطح

ب- برای تیرها و کلافها در صورتی که جدا از قطعات دیگر بتن ریزی شوند یک نمونه برداری از هر ۱۰۰ متر طول

پ- برای ستونها یک نمونه برداری از هر ۵۰ متر طول

ت- در صورتی که حجم هر اختلاط بتن کمتر از یک متر مکعب باشد می توان مقادیر مذکور را به همان نسبت تقلیل داد.

ث- حداقل یک نمونه برداری از هر رده بتن در هر روز الزامی است.

ج- حداقل ۶ نمونه برداری از کل هر سازه الزامی است.

چ- در صورتی که کل حجم بتن ریخته شده در کارگاه از ۳۰ متر مکعب کمتر باشد می توان از نمونه برداری و آزمایش مقاومت صرف نظر کرد مشروط بر آنکه به تشخیص دستگاه نظارت دلیلی بر رضایت بخش بودن

کیفیت بتن موجود باشد. مشخصات بتن در صورتی منطبق بر رده مورد نظر و قابل قبول تلقی می گردد که یکی از شرایط زیر برقرار باشد.

الف- در آزمایش سه نمونه برداری متوالی مقاومت هیچکدام کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.

$$X_{1,2,3} \geq fc$$

ب- مقاومت متوسط نمونه ها حداقل ۱/۵ مگاپاسکال (نیوتن بر میلی متر مربع) (۱۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بیشتر از مقاومت مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ مگاپاسکال کمتر نباشد.

$$\overline{X} \geq fc + 1.5 \quad \text{و} \quad X_{Mln} \geq fc - 4$$

پ- مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول است که متوسط مقاومتهای نمونه ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ مگاپاسکال کمتر باشد.

$$\overline{X}_{Min} \prec fc - 4 \quad \text{یا} \quad \overline{X}_3 \prec fc$$

مشخصات بتنی که با توجه به شرایط الف و ب غیر قابل قبول نباشد ولی مطابق شرط پ قابل قبول هم به شمار نیابد می توان به تشخیص طراح بدون بررسی بیشتر از نظر سازه ای قابل قبول تلقی گردد.

مراقبت از بتن به مجموعه تدابیری گفته می شود که باعث شود سیمان موجود در بتن به مدت کافی مرطوب بماند به طوری که حداکثر میزان آب گیری آن چه در لایه های سطحی دانه ها و چه در حجم آنها میسر باشد.

محافظت از بتن به مجموعه تدابیری اطلاق می شود که به موجب آنها از اثر نامطلوب عوامل بیرونی مانند شسته شدن به وسیله باران یا آب جاری اثر بادهای گرم و خشک و سرد شدن سریع یا یخ بندان یا لرزش و ضربه خوردن بتن جوان جلوگیری شود.

پروراندن بتن به مجموعه تدابیری اطلاق می گردد که باعث سرعت بخشیدن به گرفتن و سخت شدن آن به کمک حرارت می گردد.

۳- وسایل آزمایش:

۱- قالبهای فشاری – خمشی – کششی (بر اساس آزمایش ۲۱)

۲- ترازو با دقت گرم

۳- حوضچه آب یا دستگاه کیورینگ برای عمل آوری (پروراندن بتن)

۴- میله تراکم (فولادی به قطر ۱۶ میلی متر و طول ۶۰ سانتی متر که یک سر آن به صورت نیمکره می باشد.)

۵- ظرف مناسب برای اختلاط بتن

۶- بیلچه یا کمچه برای مخلوط کردن بتن

۷- چکش لاستیکی

۸- پرس هیدرولیکی

مصالح مصرفی شامل بتن با استفاده از آزمایش شماره ۱۶ و یا نمونه برداری بر اساس آزمایش شماره ۱۷

شرح آزمایش بر طبق آئین نامه بتن ایران (آبا) در موارد استثنایی و کم اهمیت برای ساختن بتن از رده C16 به پائین و برای هر بار ساخت حداکثر ۳۰۰ لیتر مجاز است که اختلاط با دست صورت گیرد.
مصالح مصرفی شامل شن و ماسه و آب و سیمان را تهیه و با دقت ۱ گرم توزین نمائید. مصالح سنگی شامل شن و ماسه باید به حالت اشباع با سطح خشک توزین شوند مصالح توزین شده باید حدود ۱۰-۵ درصد زیادتر از میزان بتن مورد لزوم برای قالب باشد مخلوط کردن بتن در آزمایشگاه با وسایل دستی و یا ماشینی صورت می گیرد.
تذکر ۱- مخلوط کردن با دست برای بتنهای هوادار (بتن با حباب هوا) مناسب نیست.
مخلوط کردن با دست: بتن باید در ظرف فلزی نفوذناپذیر تمیز و نم دار با کمچه یا بیلچه یا هر وسیله مناسب دیگر به ترتیب زیر مخلوط گردد.
الف- سیمان و ماسه باید بطور یکنواخت مخلوط گردد.
ب- به مخلوط ماسه و سیمان مخلوط شده شن اضافه گردد و دوباره به صورت یکنواخت مخلوط گردد.
پ- آب به تدریج به این مخلوط بیفزائید و آنرا به هم بزنید تا گرانروانی (کارایی) مطلوب بدست آید و حداق ۱/۴±۴ دقیقه مخلوط نمود.
قالب گیری نمونه ها کششی و فشاری بتون ساخته شده را در سه لایه مساوی در قالب بریزید و در ریختن هر لایه با گردش بیلچه بتن را چنان در اطراف قالب جای دهید که به طور یکنواخت پخش شود و هر لایه را با ۲۵ ضربه میله تراکم بکوبید و سعی کنید میله تراکم کمی در سطح لایه زیرین نفوذ کند و در کوبیدن لایه زیرین میله تراکم باید در تمام ضخامت لایه نفوذ کند.
برای از بین بردن فضای خالی در حین کوبیدن بتن به دیواره خارجی قالب تعدادی ضربه به وسیله چکش لاستیکی زده شود و بعد از اینکه لایه آخری ریخته شد (لایه سوم) و ۲۵ ضربه نیز خاتمه یافت و تعدادی ضربه با چکش لاستیکی به جداره قالب زده شد سطح خارجی (رویی) قالب را با کمچه صاف کنید و برای جلوگیری از تبخیر صفحه ای شیشه ای یا فلزی روی قالب بگذارید.
(در استاندارد ۳۲۰۰ ایران تعداد لایه ها را دو لایه ذکر کرده است.)
دقت شود تا زمانی که نمونه در قالب است (خصوصا ۱۲ ساعت اول) باید آزمونه ها در مقابل ضربه ارتعاش و از دست دادن رطوبت مورد محافظت قرار گیرند.
سطح رویی نمونه های آزمون را می توان پس از گذشت ۲ تا ۴ ساعت بعد از قالب گیری با یک لایه نازک از خمیر سیمان پوشش داد و سطوحی صاف برای نمونه فشاری تهیه نمود (به این عمل بتونه کاری گفته می شود).
به طور کلی ملاتی که برای بتونه کاری به کار برده می شود باید تاب فشاری آن بیشتر از تاب فشاری نمونه مورد آزمون باشد و ضخامت بتونه نیز تا آنجا که مقدور است باید نازک باشد.
نمونه ها را باید به مدت ۲۰ الی ۴۸ ساعت بعد از قالب گیری از قالب خارج کرد و در محیط مرطوب یا در آب در درجه حرارت ۱۷ الی ۲۳ درجه سانتی گراد تا زمان آزمون نگهداری شود ماندن نمونه ها در قالب نباید از ۳ روز تجاوز کند.

تذکر ۲- این نمونه ها نباید در معرض جریان آب قرار گیرند و در صورتیکه در آب نگهداری شوند باید آب را با آهک اشباع کرد (منظور از محیط مرطوب محیط نمداری است که ذرات آب به صورت آزاد در اطراف نمونه باشد و تبخیر نشود.)

قالب گیری نمونه های خمشی:

قالبهای آزمون مقاومت خمشی به صورت تیر مکعب مستطیل تهیه شده بطوریکه حداقل طول آن سه برابر ارتفاع می باشد (بر اساس آزمایش ۲۱) کوچکترین بعد نمونه باید از سه برابر اندازه بزرگترین دانه شن مصرف شده بیشتر باشد و در هیچ حالت کمتر از ۵ سانتی متر نباشد نمونه های آزمون باید در حالیکه محور طولی آن افقی است ساخته شود. بتن مصرفی باید در دو لایه برابر ریخته شود (قالبهای کششی و فشاری در سه لایه بود) و هر لایه را به کمک کوبیدن متراکم گردد و لایه تحتاتی را باید چنان کوبید که در تمام عمق آن نفوذ کند و سطح فوقانی را با تخته ماله صاف کنید.

تذکر ۳- در لایه فوقانی باید چنان کوبید که حداقل نیمی از ضربات میله تراکم در لایه زیرین نفوذ کند.

تذکر ۴- میله تراکم یک میلگرد است به قطر ۱۶ میلی متر و به طول ۶۰ سانتی متر که یک سر آن به صورت نیم کره به قطر ۱۶ میلی متر در آمده است یا به صورت یک میلگرد راست به قطر ۱۰ میلی متر و به طول ۳۰ سانتی متر که یک سر آن به صورت نیم کره به قطر ۱۰ میلی متر در آمده است می باشد.

تعداد ضربه ها و قطعه میلگرد کوبنده و ابعاد قالب خمشی در جدول زیر داده شده است.

سطح نمونه ها بر حسب سانتی متر مربع	قطر میلگرد mm^2	تعداد ضربه برای هر لایه
تا ۱۶۰ سانتی متر مربع	۱۰	۲۵
از ۱۶۱ تا ۳۲۰	۱۰	یک ضربه برای هر ۶/۵ سانتی متر مربع
از ۳۲۱ به بالا	۱۶	یک ضربه برای هر ۱۳ سانتی متر مربع

بعد از کوبیدن هر لایه باید اطراف قالب را با فرو بردن سر یک ماله بنایی و یا وسیله مناسب دیگر بطور عمودی در قالب متراکم کرد و سپس با زدن ضربه به سطح خارجی قالب از تشکیل حبابهای هوا جلوگیری کرد. بعد از این کار (در مرحله دوم) باید بتن اضافی سطح فوقانی قالب را برداشت.

و بعد از ۲۰ الی ۴۸ ساعت بعد از قالب گیری بتن را از قالب خارج کرد و مانند قالبهای فشاری و کششی نگهداری نمود.

مقاومت فشاری: قبل از انجام آزمایشات و تعیین مقاومتهای فشاری نمونه ها را باید با دقت ۱ گرم وزن نمود. قبل از وزن کردن نمونه هایی که در آب یا محیط مرطوب عمل آمده اند باید آب اضافی از سطح آنها پاک شود.

در مرحله بعد ابعاد نمونه را با دقت میلی متر مشخص نمود و وزن مخصوص ظاهری آزمونه ها را از تقسیم کردن وزن به حجم محاسبه شده به ازای ابعاد بدست آمده تعیین نمود.

سپس نمونه را در داخل دستگاه پرس هیدرولیکی قرار داد دقت شود سطوح تماس صفحات فلزی و آزمونه ها باید کاملا تمیز باشد و آزمونه باید در مرکز صفحه ماشین قرار داشته باشد و صفحات را باید طوری به آزمونه نزدیک کرد که تماس کامل و همزمان بر روی نمونه وارد شود و نیرو باید بطور یکنواخت و ممتد و بدون ضربه طوری اعمال شود که آهنگ ازدیاد تنش ۰/۴±۰/۶ مگاپاسکال در ثانیه باشد (۱۰ تا ۰/۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در ثانیه) حد پائین آهنگ بارگذاری مربوط به بتنهای با مقاومت کم و حد بالا مربوط به تنهایی با مقاومت زیاد است.

هنگامی که آزمونه قبل از گسیختگی سریعا تغییر شکل می دهد باید از تنظیم آهنگ بار خودداری کرد و اجازه داد که گسیختگی با آهنگ تغییر شکل نسبی موجود صورت پذیرد. بارگذاری باید تا گسیختگی کامل نمونه ادامه یابد و حداکثر مقدار بار یادداشت شود. مقاومت فشاری نمونه fc بر حسب مگاپاسکال (N/mm^2)

$$fc = \frac{P}{A}$$

P حداکثر نیروی گسیختگی بر حسب N

A سطح باربر بر حسب mm^2

مقاومت خمشی: از آنجایی که اعمال کشش محوری به نمونه بتنی مشکل می باشد مقاومت کششی بتن به روشهای غیر مستقیم یعنی آزمایش خمش و آزمایش برزیلی (شکافتن) تعیین می گردد. این روشها به مقاومتهایی منتهی می شود که از مقاومت واقعی تحت بار کششی محوری بیشتر می باشد.

در آزمایش خمشی تنش کششی ماکزیمم تئوریکی در تارهای پائینی تیر مورد آزمایش به وجود می آید که مدول گسیختگی نامیده می شود و در طراحی بزرگراهها و روسازی فرودگاهها به کار می رود. روش این آزمایش در BS5328-81 توصیه شده است. مقدار مدول گسیختگی به ابعاد تیر و بالاتر از همه به شکل بارگذاری بستگی دارد. امروزه بارگذاری دو نقطه ای متقارن (به فاصله ۱/۳ دهانه تیر) مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوع بارگذاری لنگر خمشی ثابتی بین نقاط اعمال بار ایجاد می شود طوری که ۱/۳ دهانه در معرض تنش ماکزیمم قرار می گیرد و در نتیجه در این منطقه است که تمایل به ترک خوردن به وجود می آید.

این آزمایش در استاندارد انگلستان به شماره های BS1881-83 وBS1881-170 توصیه شده که در آن ابعاد تیر ۷۵۰×۱۵۰×۱۵۰ و یا ۵۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی متر و سرعت بارگذاری در تارهای پائینی در محدوده ۰۲/ تا ۰/۱ مگاپاسکال در ثانیه باشد. سرعت پائین بارگذاری برای بتنهای با مقاومت کم و سرعتهای بالا برای بتن های با مقاومت زیاد به کار می رود.

این آزمایش در ASTM C 78-84 توصیه شده است که در آن ابعاد تیر ۵۰۸×۱۵۲×۱۵۲ میلی متر و سرعت بارگذاری بین ۰۱۴۳/ تا ۰۲/ مگاپاسکال در ثانیه می باشد.

در این حالتها اگر شکستگی در ۱/۳ میانی تیر رخ دهد مدول گسیختگی بر اساس تئوری ارتجاعی معمول به صورت زیر محاسبه می شود.

$$f_{bt} = \frac{My}{I} = \frac{P(L/c)(d/2)}{(bd^3/12)} = \frac{PL}{bd^2}$$

f_{bt} = مدول گسیختگی مقطع

M = ممان اینرسی مقطع

y= حداکثر فاصله تا تار خنثی

I= ممان اینرسی مقطع در حول محور خنثی

P = حداکثر نیروی وارده

L= طول موثر تیر

d = ارتفاع تیر

اگر شکستگی خارج از ۱/۳ میانی تیر رخ دهد آنگاه مطابق BS-1881-83 نتایج آزمایش رد می شوند. از سوی دیگر ASTM C78-84 اجازه می دهد گسیختگی خارج از ۱/۳ میانی تیر در فاصله a $a < \frac{۱}{۳}$ از نزدیکترین تکیه گاه رخ دهد و مدول گسیختگی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$Pbt = \frac{My}{I} = \frac{(\frac{Pa}{2})(d/2)}{(\frac{d^4}{12})} = \frac{3Pa}{d^3}$$

چنانچه گسیختگی در مقطعی رخ دهد که $(L/3 - \alpha) > ۰۵L$ باشد آنگاه باید نتایج آزمایش رد شوند.

مقاومت کششی: آزمایش تعیین مقاومت کششی معمولا بر روی نمونه استوانه ای (بندرت مکعبی) انجام می گیرد. نمونه طوری بین صفحات دستگاه قرار می گیرد که محور آن افقی باشد و سپس بار افزایش می یابد تا گسیختگی به صورت دو نیم شدن در صفحه شامل قطر قائم نمونه به وجود آید این روش آزمایش در BS1881-83 و ASTM C496-71 (بازبینی شده در سال ۱۹۷۹) توصیه شده است.

برای جلوگیری از تنشهای فشاری موضعی خیلی بالا در خطوط بارگذاری نوارهای باریکی از مواد فشرده مانند تخته چند لایه یا تخته سخت بین نمونه و صفحات دستگاه آزمایش قرار می گیرند تحت این شرایط مقاومت فشاری افقی زیادی در بالا و پائین استوانه به وجود می آید اما چون این تنش با تنش فشاری قائمی با همان اندازه همراه می باشد حالتی از فشار تک محوری به وجود می آید به طوری که گسیختگی در این نقاط به وجود نمی آید در عوض گسیختگی در اثر تنش کششی افقی و یکنواخت در بقیه مقطع استوانه به وجود می آید بار با سرعت ثابتی اعمال می شود بر طبق BS-1881-83 بین ۰۲/ الی ۰۴/ مگاپاسکال در ثانیه و بر طبق ASTM C2496-71 بین ۰۱۱/ تا ۰۲۳/ مگاپاسکال در ثانیه قرار بگیرد و مقاومت کششی از فرمول ذیل حساب می گردد.

L طول استوانه

$$f_s t = \frac{۲p}{\pi L d}$$

d قطر استوانه

p حداکثر نیروی وارده

آزمایش شماره ۲۳ روش تعیین درصد فضای خالی (هوا) در بتن های خمیری بر اساس آزمایش ASTM C231 و دت ۵۱۱ و استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۲۰ ISO4848-80

۱- **هدف**: سنجش میزان هوای موجود در بتن خمیری

۲- **اهمیت کاربرد**: همواره مقاومت فشاری بتن ارتباط مستقیم با تراکم بتن دارد. هر چه بتن متراکم تر باشد تاب فشاری آن بیشتر است همانطور که قبلا نیز عنوان شده بود بتن تشکیل شده است از دانه های درشت شن و بین این دانه های درشت دانه های متوسط ماسه جای می گیرند و بین این دانه های متوسط دانه های ریز سیمان قرار می گیرد. البته شن و ماسه نیز خودشان به دانه های درشت و متوسط و ریز تقسیم می گردد. با توجه به نوع دانه بندی و تراکم بتن هنوز فضای خالی در بتن قرار می گیرد (قسمتی از بتن که با مواد جامد پر نشده است فضای خالی بتن است) البته ذکر این نکته در اینجا لازم است که میزان آب آزاد در بتن بعد از خشک شدن تبدیل به فضای خالی می گردد. ولی در این آزمایش هدف ما بدست آوردن فقط فضای خالی در بتن خمیری است بیشتر فضای خالی بتن ریزه سوراخهایی است که از هوا پر شده است. این ریزه سوراخها به یک شکل و یک اندازه نیستند و به همدیگر راه دارند لذا آب در آنها نشت می کند. مقدار نشت آب بستگی به گشادی و زیادی این ریزه سوراخها دارد. یکی از بزرگترین پیشرفتهای تکنولوژی بتن پیدایش و گسترش بتن با حباب هوا است. امروزه ایجاد حبابهای هوا در بتن اساسا به منظور بهبود مقاومت آن در برابر یخ زدن و آب شدن انجام می گیرد. بتن با حباب هوا با استفاده از یک سیمان حباب زا یا اضافه کردن یک ماده افزودنی حباب زا در حین اختلاط تولید می گردد. حبابهای هوا در بتن با حباب هوا از نظر اندازه بسیار کوچکند به طوری که حدود ۹۰ درصد آنها قطری برابر یا کوچکتر از ۰/۱ میلی متر دارند. در بتن بدون حباب هوا قطر حبابها بسیار متغیر است و قطر تعداد بسیار کمی از آنها به بزرگی تا ۲ میلی متر هم می رسد. در بتن با حباب هوا حبابها به یکدیگر مرتبط نیستند بلکه در سرتاسر خمیر سیمان به خوبی توزیع شده اند (به طور متوسط در هر متر مکعب بتن با حباب هوا حدود ۴۰۰/۰۰۰/۰۰۰/- حباب هوا وجود دارد) در حالی که در بتن بدون حباب هوا حبابها به هم راه دارند.

با تولید حباب هوا در بتن ساختن – ریختن – عمل آوردن بتن آسان می گردد زیرا حبابهای هوا در بتن مانند ساچمه عمل می کنند و ضمنا می توان آب لازم برای ساختن بتن در هر متر مکعب را ۱۰ الی ۱۵ لیتر کمتر نمود. بتن با حباب هوا بهتر به فولاد می چسبد و در برابر گرمای زیاد و سرمای زیاد و یخبندان و اثرات شیمیایی مقاومتر است.

با توجه به مطالب ذکر شده در فوق می توان چنین نتیجه گیری نمود.

چنانچه هوا ی داخل بتن به صورت حبابهای مستقل باشد علاوه بر آنکه ضرری ندارد بتن دارای خواص بهتری که ذکر شد می گردد. ولی اگر این هوای موجود در داخل بتن به صورت ریزه سوراخهایی به یکدیگر راه داشته باشند بتن پوک خواهد شد و مقاومت آن کم می شود و در مقابل عوامل جوی پایدار نخواهد بود. بتن بدون حباب هوا (بتن معمولی) در صورتی که خوب مخلوط شده باشد و متراکم شده باشد به طور متوسط ۳٪ فضای خالی دارد. بتن با فضای خالی بیش از ۴ الی ۴/۵ درصد خلل و فرج داشته باشد (پوک است) و مقاومت فشاری آن به طور آشکاری کم می شود. گاهی در کارگاهها بتنهایی خیلی روان و پر آب می سازند تا اینکه به سهولت در قالب

ریخته و جابجا شود. این چنین بتنی بعد از تراکم میزان هوای کمی را نشان می دهد. حدود ۱٪ این دلیل بر خوب بودن بتن نیست چون فضای خالی بتن توسط آب اضافی پر شده است و در اثر خشک شدن بتن آب اضافی تبخیر شده و بتن دارای مقاومت مکانیکی پائینی می گردد.

در این روش آزمایشی هدف تعیین مقدار هوای موجود در بتن تازه بوده که با مشاهده تغییر حجم بتن در اثر تغییر فشار تعیین می گردد. این روش در بتن و ملاتهایی کاربرد دارد که سنگدانه های آن نسبتا متراکم بوده (وزن مخصوص بالاتر از ۲gr/cm3) و برای بتنهای سبک با سنگدانه های متخلخل کاربرد ندارد.

۳- وسایل آزمایش:

۱- بتن مورد آزمایش حدود ۱۰ لیتر (۰/۰۱ متر مکعب)

۲- تلمبه دستی باد ۳- میله تراکم ۴- چکش لاستیکی ۵- میله صاف کننده

۶- دستگاه هوا سنج بتن: دو نوع هواسنج که از لحاظ طرح اساسی از قانون بویل ماریوت استفاده می کنند موجود است که برای سهولت در این استاندارد به آنها هواسنج نوع ۱ و نوع ۲ گفته می شود.

دستگاه هواسنج، بتن نوع (۱) شامل یک مخزن (A) که دارای حجم حداقل ۵ لیتر می باشد و یک سرپوش (B) و میله تراکم (C) می باشد. در قسمت فوقانی سرپوش B درجه تعیین درصد فضای خالی بتن (D) فشار سنج (E) و شیرهای (F, G, H) والو I (valve) جهت فشرده کردن هوای داخل دستگاه هواسنج بتن. همچنین چهار پیچ اتصال برای متصل نمودن مخزن A به سرپوش B وجود دارد روی سرپوش B سه عدد شیر وجود دارد شیر H در پائین ترین نقطه سرپوش برای کنترل سطح آب (سطح آب باید روی درجه صفر دستگاه تنظیم باشد) شیر G در بالای سرپوش برای کنترل فشار هوای داخل سرپوش (میزان فشار هوای داخل سرپوش باید روی ۱/۵ بار ثابت باشد) و شیر F برای ریختن آب مورد نیاز به داخل دستگاه هواسنج بتن مورد استفاده قرار می گیرد. مطابق شکل شماره ۱.

طرز کار این دستگاه به طور مختصر بدین گونه می باشد که مقداری آب به ارتفاع مشخص بر روی بتن مورد آزمایش ریخته و آنرا تحت فشار معینی قرار می دهند. سپس کاهش حجم هوای موجود در بتن را با افت سطح آب در اثر فشار وارده بر آن اندازه بگیرید. درصد هوای موجود در بتن بر حسب عدد بدست آمده محاسبه می گردد.

هواسنج بتن نوع (۲) شامل یک مخزن (A) استوانه ای لبه دار با حداقل ظرفیت ۵ لیتر می باشد و طوری ساخته می شود که اتصال مخزن به درپوش چفت و محکم و غیر قابل نفوذ باشد. یک درپوش (B) و یک میله تراکم (C) تشکیل شده است. در این نوع هواسنج درپوش (B) فشار سنج (E) به طریقی کالیبره شده است که درصد هوا را مستقیما نشان می دهد و شیرهای (FG, H) و والو (valve) I جهت فشرده کردن هوای داخل دستگاه بر روی درپوش نصب می باشد.

طرز کار این دستگاه به طور مختصر بدین گونه می باشد که حجم معینی از هوا تحت فشار مشخصی قرار گرفته و با حجم نامعین هوای موجود در بتن تازه در محوطه کاملا نفوذناپذیر به حالت تعادل قرار می گیرد که مقدار فشار قرائت شده عقربه فشارسنج بر حسب درصد هوا در فشار تعادل محاسبه می گردد. معمولا فشارهای

معادل ۵۰ الی ۲۰۰ مگاپاسکال (N/mm^2) (۵ الی ۲۰ بار (kg/cm^2)) متداول می باشد. (۱ اتمسفر برابر ۰/۱ بار برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال برابر ۰/۱ N/mm^2 یا ۱kg/cm^2).

روش آزمایش هوا سنج نوع (۱) ابتدا قسمت A و B دستگاه از یکدیگر مجزا نموده و بتن مورد آزمایش را در سه لایه در مخزن A ریخته و هر لایه را با میله تراکم C با ۲۵ ضربه در جهات مختلف و نقاط مختلف کاملا متراکم می کنیم. پس از میله زدن هر لایه با استفاده از چکش لاستیکی ۱۰ الی ۱۵ ضربه سریعا به دیواره کاسه بزنید تا حفره های ایجاد شده به وسیله میله زدن کاملا پر شود و هیچگونه حباب هوای بزرگی در روی سطح میله خورده موجود نباشد. پس از اتمام سه لایه و پس از متراکم نمودن بتن قسمت فوقانی بتن را کاملا صاف و تراز نموده و بعد از آنکه لبه های ظرف را کاملا تمیز و پاک کرده ایم سرپوش B را بر روی آن قرار داده و پیچهای اتصال مخزن به سرپوش را کاملا محکم می کنیم. هر سه شیر H و G و F را در حالت باز قرار داده. در این مرحله از شیر F آب را وارد مخزن نموده پس از گذشت لحظاتی آب از شیر H خارج شده بعد از خارج شدن آب از شیر H آنرا محکم نموده و مجددا آب اضافه نموده تا ستون آب روی بتن حدودا تا نصف ارتفاع لوله ایستاده برسد. سپس دستگاه را حدود ۳۰ درجه از خط عمودی منحرف کرده و با استفاده از کف کاسه بعنوان محور آنرا چندین بار بدور محور خود بچرخانید (حداقل ۵ بار) و همزمان با آن با چکش لاستیکی به درپوش چندین ضربه بزنید تا حبابهای احتمالی هوای باقی مانده در بالای سطح بتن از بین برود. سپس دستگاه را به حالت اولیه خود برگردانید و در حالیکه ضربه های آرام با چکش لاستیکی به کناره کاسه وارد می کنید مقداری آب در داخل لوله ایستاده ریخته تا سطح آب از درجه صفر کمی بالاتر رود. کف موجود روی ستون آب بر روی صفر میزان کرده و تمامی شیرها را ببندید سپس با استفاده از والو I به وسیله تلمبه دستی فشاری کمی بیشتر از فشار مورد لزوم آزمایش (۱/۵ بار یا ۱۵۰۰ پاسکال) به بتن وارد نمائید برای رفع گرفتگی موضعی ضربات سریعی با چکش لاستیکی به مخزن دستگاه اندازه گیری بزنید. در مرحله بعد با کمک شیر تخلیه هوا درجه فشارسنج را روی عدد ۱/۵ بار ثابت کنید. ارتفاع آب در روی لوله مدرج را بخوانید و آنرا یادداشت کنید. h1 بتدریج فشار هوا را از طریق شیر تخلیه هوای بالای ستون آب کم کنید و بعد از خروج کامل هوا به مدت یک دقیقه چند ضربه آرام به دیواره کاسه بزنید. سپس برای بار دوم ارتفاع آب داخل لوله را قرائت کنید h۲ مقدار هوای ظاهری موجود در بتن برابر است با

درصد هوای موجود در بتن $=h_1-h_2$

تذکر ۱- در موقع متراکم کردن با میله زدن به نکات ذیل توجه کنید. لایه زیرین باید تا انتها میله زده شود و دقت گردد میله محکم به کف کاسه زده نشود و در میله زدن لایه دوم و آخر باید فشار میله به اندازه ای باشد که حداکثر نفوذ در لایه قبلی حدود ۲۵ میلی متر بوده.

تذکر ۲- به وسیله تلمبه هوای موجود در داخل دستگاه را فشرده کرده kg/cm2 ۱/۵ بنابراین آب پر شده بر روی سطح بتن به داخل فضای خالی بتن رانده می شود (فشار ثابت است بنابراین حجم کم می شود) و حجم اولیه V۱ به حجم ثانویه V۲ تقلیل پیدا می کند و به وسیله استوانه مدرج دستگاه می توان درصد هوا بتن را قرائت نمود.

تذکر ۳- انواع دیگری از این وسیله وجود دارد که میزان درصد هوای بتن را با ثابت بودن حجم و کاهش فشار از روی فشارسنج مشخص می کند.

محاسبات:

کلیه محاسبات مربوط به ساخت بتن را بنویسید و از روی عدد بدست آمده از روی درصد هوای بتن روی نوع بتن بحث کنید.

روش آزمایش هواسنج نوع (۲)

ابتدا دو قسمت A و B دستگاه را از یکدیگر جدا نموده و بتن مورد آزمایش را در سه لایه در مخزن A ریخته و هر لایه را با میله تراکم C با ۲۵ ضربه در جهات مختلف و نقاط مختلف کاملا متراکم می کنیم. پس از میله زدن هر لایه با استفاده از چکش لاستیکی ۱۰ الی ۱۵ ضربه سریعا به دیواره کاسه بزنید تا حفره های ایجاد شده به وسیله ضربه زدن کاملا پر شود و هیچگونه حباب هوای بزرگی در روی سطح میله خورده موجود نباشد در موقع میله زدن و متراکم کردن باید توجه نمود که لایه زیرین باید تا انتهای ظرف میله زده شود و دقت گردد که میله تراکم محکم به ته ظرف برخورد نکند و در میله زدن لایه های دوم و سوم باید فشار میله به اندازه ای باشد که حداکثر نفوذ در لایه قبلی حدود ۲۵ میلی متر باشد پس از اتمام سه لایه و متراکم کردن قسمت فوقانی بتن را کاملا صاف نموده و تراز نموده و پس از اینکه لبه های دور دستگاه را کاملا تمیز نموده و سرپوش B را روی آن قرار می دهیم و پمپهای اتصال درپوش به مخزن را کاملا محکم می کنیم شیر اصلی هوا را بسته و هر دو شیر درپوش را باز کنید. توسط یک سرنگ لاستیکی از طریق یکی از شیرها (مطابق شکل ۲) آب به داخل کاسه ریخته تا از شیر مقابل دیگر آب از آن خارج گردد. دستگاه باید به آرامی تکان داده شود تا تمام هوای حبس شده توسط یکی از شیرها خارج گردد. پس از اطمینان از خارج شدن هوای حبس شده شیر تخلیه هوای محفظه هوا را بسته و هوا به داخل آن پمپ کنید تا عقربه فشارسنج بر روی فشار اولیه تعیین شده قرار گیرد (۲۰۰ مگاپاسکال) پس از گذشت چند ثانیه (معمولا ۳۰ ثانیه) که هوای فشرده (تلمبه شده) خنک شد و به درجه نرمال رسید پس از ثابت شدن و تثبیت فشار هر دو شیر درپوش را بسته و شیر هوای بین محفظه هوا و کاسه اندازه گیری را باز کنید. ضربه هایی ملایم و سریع به دیوار مخزن جهت رفع گرفتگی موضعی بزنید. در این حالت عدد نشان داده شده روی فشارسنج را یادداشت کنید. عدد نشان داده شده مستقیما درصد هوای را نشان می دهد. پس از یادداشت عدد فشارسنج با باز کردن هر دو شیر فشار داخل کاسه را پائین آورده و سپس دروپش را بردارید.

تذکر ۱- شیر اصلی هوا باید قبل از خارج نمودن فشار هوا از داخل محفظه و کاسه اندازه گیری بسته شود. در غیر اینصورت سبب می شود که آب به داخل محفظه وارد گردد و در نتیجه در اندازه گیریهای بعدی اشتباه وارد گردد. در صورتیکه آب وارد محفظه تراکم شد باید از طریق شیر تخلیه هوا آب را خارج کرده و با استفاده از تلمبه هوا آخرین قطره های آب خارج گردد.

آزمایش شماره ۲۴ تجزیه بتن تازه (روش joisol) بر اساس آزمایش دت ۵۱۲

۱- **هدف:** تجزیه بتن و تعیین مقادیر وزنی هر جزء از اجزاء اصلی بتن

۲- **اهمیت و کاربرد:** اغلب در کارهای اجرائی لازم است از ترکیب یک بتن ساخته شده تجزیه به عمل آید و مقدار هر جزء اصلی تشکیل دهنده بتن را کنترل نمود. این عمل را قبل از زمان گیرش نهایی خمیر سیمان می توان انجام داد همانطور که بیان شد هدف در این آزمایش تعیین مقادیر وزنی شن – ماسه – سیمان و آب موجود در بتن جهت اطمینان از طرح اختلاط – مقدار سیمان – اندازه بزرگترین دانه سنگ.

بتن تشکیل شده از مخلوط اجسام (شن – ماسه – سیمان و آب) در این آزمایش هدف ما تعین وزن حقیقی هر یک از اجزاء بتن می باشد. چنانچه به طور معمولی شن و ماسه را از هم جدا نمائید و وزن هر یک را بدست آوریم. مسلما این وزنها حقیقی نیست زیرا در آنها آب وجود داشته است بنابراین تمامی وزنها را در داخل آب بدست آورده تا آب موجود در بتن را حذف کرده باشیم و در نهایت با یک تصحیح و تأثیر نیروی ارشمیدس وزن واقعی هر قسمت را حساب می کنیم.

البته در این روش درصدی خطا وجود دارد و ذرات ریزتر از ۰/۱۵ میلی متر که در سنگدانه ها وجود دارد جزء سیمان موجود در بتن محسوب می گردد که این مقدار طبق منحنی استاندارد ماسه بین ۲/۵ الی ۱۰ درصد وزن ماسه می باشد.

۳- **وسایل آزمایش:**

۱- بتن مورد آزمایش به مقدار حدود ۲ کیلوگرم

۲- دستگاه (joisol) تجزیه بتن

این دستگاه تشکیل می شود از سه ظرف A و B و C که در یکدیگر قرار گرفته اند که شامل الک مدول ۳۸ در سیستم AFNOR یا ۴ در سیستم ASTM یا ۴/۷۵ میلی متر (ظرف C)

و الک مدول ۲۳ در سیستم AFNOR و یا ۱۰۰ در سیستم ASTM یا ۰/۱۵ میلی متر (ظرف B)

و ظرف خارجی که دارای کف بسته می باشد (ظرف A).

کل سیستم به وسیله دسته ای به یکدیگر متصل شده است.

ظرف C با الک مدول ۳۸ (یا ۴) (یا ۴/۷۵ میلی متر) شن را در خود نگه میدارد.

ظرف B با الک مدول ۲۳ (یا ۱۰۰) (یا ۰/۱۵ میلی متر) ماسه را در خود نگه می دارد.

ظرف A در ته ظرف مقدار سیمان مخلوط بتن را در خود نگه می دارد.

مجموعه این سه ظرف به وسیله یک دسته و ترازوئی مخصوص که به یک سطل مربوط می باشد متصل می گردد.

روش آزمایش:

ابتدا به دقت با ترازو با دقت ۱ گرم مقدار ۱/۵ کیلوگرم از بتن مورد نظر را وزن نموده مقدار ۱۵۰۰ گرم وزن بتن در هوا

P_0=۱۵۰۰Gr

۱- در مرحله بعد مجموعه سه ظرف A و B و C خالی را در آب وزن کرده و آن را Pv می نمائیم

۲- در مرحله بعد بتن نمونه P0 را در قسمت فوقانی مجموعه سه ظرف ریخته و ظرف پر را در داخل آب وزن می کنیم که آن را در این حالت Pp می نامیم (Pp وزن بتن و سه ظرف A و B و C) در داخل آب)

۳- در مرحله بعد مجموعه ظروف را با بتن در زیر جریان آهسته آب گرفته و دقت می شود دانه های ریز ماسه و سیمان همراه جریان آب از بالای ظرف خارج نشود. ظرف را پر از آب نموده و آن را تکان می دهیم تا ماسه و سیمان از الکهای مربوطه عبور کنند.

۴- در این مرحله ظرف C که حاوی شن می باشد را جدا نموده و ظرف پر از شن را در داخل آب وزن نموده و سپس وزن ظرف خالی را در داخل آب وزن می کنیم تفاضل این دو وزن که وزن شن در آب می باشد را P۱ می نامیم.

۵- همین عملیات را برای ظرف B انجام می دهیم یعنی ظرف پر از ماسه را در داخل آب وزن نموده و سپس وزن خالی ظرف B را در داخل آب وزن می کنیم تفاضل این دو وزن که وزن ماسه در آب می باشد را P۲ می نامیم.

۶- وزن سیمان در داخل آب را P۳ نامیده و نیازی به اندازه گیری ندارد.

P=Pp-Pv

وزن سه ظرف در آب - وزن بتن + وزن سه ظرف در آب = وزن کلی بتن در داخل آب

P_3=P-(P_1-P_2)

(وزن ماسه در آب – وزن شن در آب) – وزن بتن در آب=وزن سیمان در داخل آب

محاسبات:

اکنون وزنهای شن ($P_۱$) و ماسه ($P_۲$) و سیمان ($P_۳$) هر سه موجود در آب را اندازه گیری کرده ایم و اکنون وزنهای آنها را در هوا محاسبه می کنیم.

وزن هر جسم در هوا = وزن آن جسم در آب + وزن آب هم حجم آن جسم

$$P_1' = P_1 \frac{d_1}{d_1 - d_e}$$

$$P_2' = P_2 \frac{d_2}{d_2 - d_e}$$

$$P_3' = P_3 \frac{d_3}{d_3 - d_e}$$

در روابط فوق

d_1وزن مخصوص شن

d_2 وزن مخصوص ماسه

d_3 وزن مخصوص سیمان

d_e وزن مخصوص آب

عموما وزن مخصوص شن و ماسه $d_1 = d_2 = 2/6 gr/cm^3$

عموما وزن مخصوص سیمان $d_3 = 3/05 gr/cm^3$

عموما وزن مخصوص آب $d_e = 1 gr/cm^3$

وزن آب موجود در بتن را P_0 نامیده و از رابطه زیر نتیجه می شود.

$$P_4 = P_0 - (P_1 + P_2 + P_3)$$

این آزمایش را انجام داده و ابتدا بتن را ساخته و در نهایت مقادیر وزنی هر کدام را مقایسه کنید.

۱۳۸۴