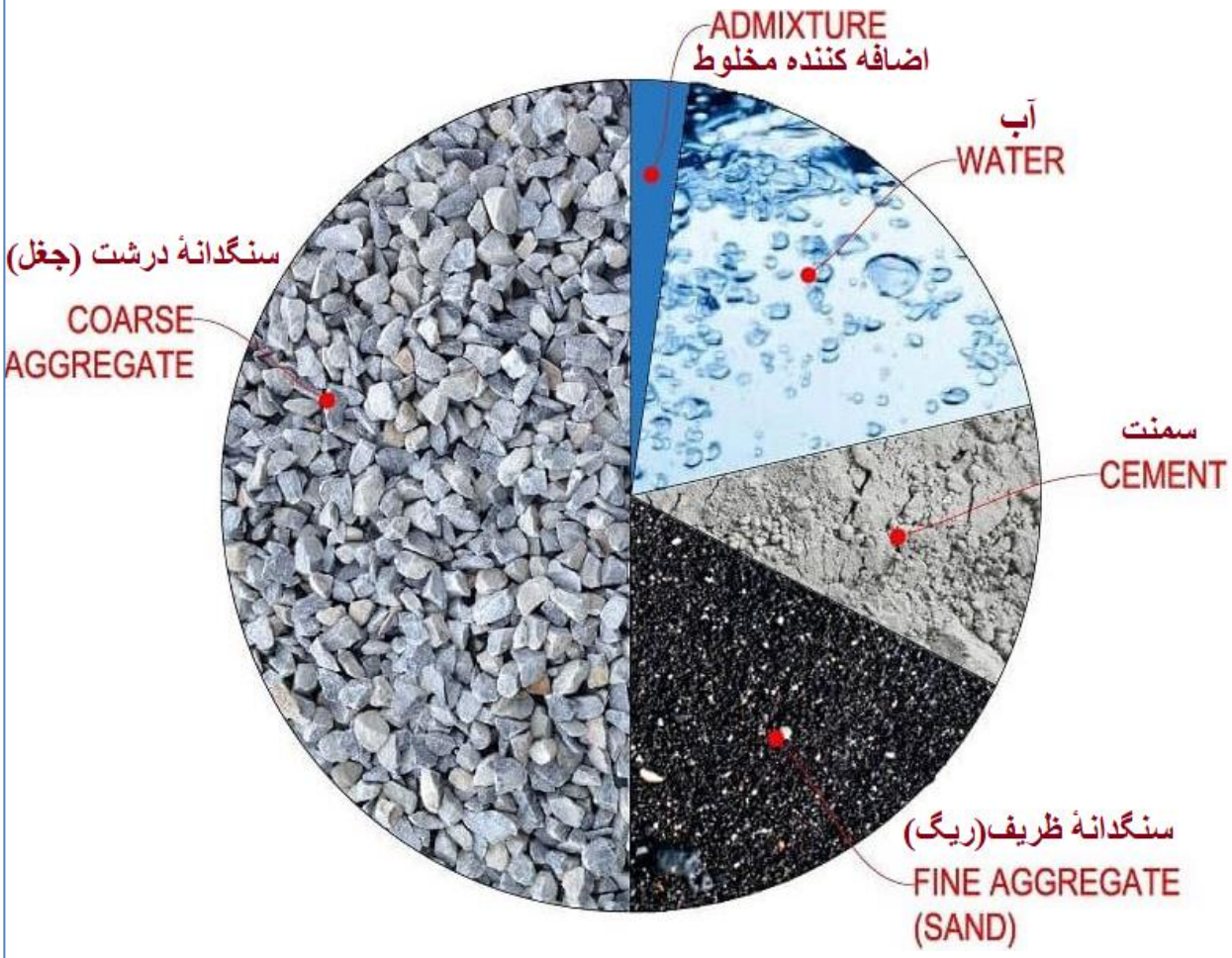
شیوه های معیاری انتخاب تناسب اجزا و دیزاین مخلوط کانکریت های نورمال و سنگین



انجنیر نادر پیشتاز

حق نشر وCopyright محفوظ است.

پیشگفتار

درعصرحاضر، فناوری پیشرفته (High Tech)، سهولت های زیادی را درعرصه های مختلف زندگی بشراز جمله دردیزاین، وساخت وسازهای راه و ساختمان بوجودآورده است. این سیستم ها که شامل پروگرامها، نرم افزارها وسخت افزارهای کامپیوتری است سبب شده تا دیزاین وکاربرد تکنالوژی درساحهٔ ساختمانی سرعت قابل ملاحظه ی را اختیارنماید.

قابل تذکراست که درکشورهای توسعه یافته، ده ها هزاردیزاین ومتود ساختمانی درآرشیف های شان وجود دارد که درگذشته بصورت مایکروفلم ودرعصرحاضر دیجتال نگهداری می گردند.

کشورهای پیشرفته، درجریان قرن بیست، مخصوصاً از دههٔ چهار به بعد، زیرنام کمک های بلاعوض یا وام ها به کشورهای عقب مانده ، طرح ها وتکنیک های ساختمانی تطبیق وتجربه شدهٔ خود را، ازآرشیف ها بیرون می آوردند و بعد از تعدیلات لازم، آنهارا تطابق با شرایط کشورهای کمک گیرنده می دادند. آنها این بسته ها یا پروژه های تعمیراتی را درچوکات قراردادهای بین دولتین با استفاده از نیروی کارگری کشورهای کمک گیرنده به عرصه اجرا قرارمیدادند؛ که امثال این تاسیسات : موسسات تعلیمات عالی ، شفاخانه ها، فابریکات ، مجتمع های رهایشی وغیره می باشد. چیزی که درآنوقت اطمینان خاطربوجود می آورد، اجرای پروسهٔ کولاتی کنترول بود که تحت مدیریت شرکت های کشورهای کمک دهنده درچوکات موافقتنامه ها قرارداشت (دوران رقابت های شرق وغرب). اما درزمان حال با بوجود آمدن شرایط وفرصت های خاص، ونبود فضای صلح آمیز، سهولت های برای همسایگان افغانستان و کشورهای عربی وامثال آنها ایجاد شده تا دیزاین، ساخت و سازهای پروژه ها را با استندرد های خودشان انجام دهند. مسلم است که این شرکت ها اکثراً از پروگرام های کامپیوتری استفاده می کنند، وشاید درمواردی با معتبر دانستن محاسبات وشیوه ها کاربرد کمپیوتری، توجه به اساسات اصلی وتئیوریک انجنیری کم رنگ گردد. لهذا چه خوب خواهد شد تا توانایی های بوجود آید که اگرلازم باشد، بنا به شک وتردید، هرانجنیری بتواند به سهولت، داده های کمپیوتری را با مراجعه به اساسات تیوریک وروش های بنیادی موضوعات ساختمانی، مورد ارزیابی مجدد قرارداده و اطمینان حاصل نماید که اجرای امور، درست انجام می شود و استحکام ، ایمنی و دوام ساختمان تامین می گردد.

لهذا با درنظرداشت این اصل واذعان این امر که در جهان امروز، اساسی ترین ماده ساختمانی به مقایس وسیع کانکریت است، ودرهرکشوری فابریکه های تهیه مخلوط های آماده شدهٔ کانکریت ایجاد شده است، دراین تالیف سعی بعمل آمده تا مختصراً شیوه های معیاری انتخاب تناسب اجزا ودیزاین مخلوط کانکریت را که مطابقت به الزامات IBC- International Building Code ، ACI و UBC می کند دریک مجموعه ارائه دارم . از استادان ، دانشمندان، وانجنیرانی که کاستی های را دراین تالیف تشخیص میدهند خواهشمندم تا مطالب تکمیلی، تزئیدی،اصلاحی وانتقادی خویش را سخاوتمندانه به ایمیل:
modeer1@hotmail.com ارسال فرمایند و برمن منت گذارند تا بتوانیم مشترکاً سهمی را درکیفیت آبادانی مادروطن انجام دهیم. افتخارخواهم داشت که نام واصلاحات تان زینت بخش این تالیف شود.

نادر پیشتاز - سیاتل واشنگتن - دهم جون سال 2020

معرفی وتاریخچه

اساس واژهٔ کانکریت کلمهٔ لاتین (concretus) است که به معنی فشرده شده یا متراکم می باشد واز concrescere اشتقاق یافته که con به معنی همراه و crescere به معنی رشد کردن است. بنا براین شاید این نام گذاری بخاطری انتخاب گردیده باشد که مواد باهم رشد نموده ودرریخت واحد به پختگی می رسد؛ یعنی ازحالت الستیکیت یا سیال شکل قالب راگرفته وبعد ازعملیهٔ هایدریشن به ماده سخت سنگ مانند تبدیل می گردد.
اکثرمحققین جهان به این باوراند که رومن ها اولین کسانی بودند که موادی را که امروز بنام Hydraulic Cement-Based Concrete یا مختصراً کانکریت نامیده میشود درحدود دو قرن قبل ازمیلاد کشف کردند. آنها ساختمان های متعددی ازجمله سقف گنبدی کانکریتی Pantheon را به قطر 142 ft. (43.3 m) درروم ساختند که قدامت تقریباً 2000 سال رادارد وهنوزهم پا برجا وقابل استفاده است. این ساختمان که بزرگترین سقف گنبدی کانکریتی بدون سیخ درجهان می باشد احتمالاً کارساختمانی آن درقرن اول میلادی تکمیل گردیده باشد. درآن زمان کانکریت را ازخاکسترآتشفشانی که آنرا پوزولانه (pozzuolana) یاد می کردند وازمنطقه Pozzouli که نزدیک به Naples جنوب ایتالیا است بدست می آوردند. این مواد درآن هنگام مانند کانکریت های امروزی بشکل مخلوط مایع وبعد ریختن آن ها درقالب ها استفاده نمی شدند ، بلکه آنها را بصورت قشرها یا طبقات مانند مصاله امروزی توسط دست بالای هم قرارمی دادند.

درمحدودهٔ قرون وسطی استفادهٔ این مواد کاهش یافت، ولی ترکیبی ازمواد پوزولانیک و چونه چنانچه قبلاً توسط رومن ها استفاده می شد درجریان رونسانس (قرن 14 تا 17میلادی) استفاده مجدد آن دوباره آغاز ودرپل ها وپایه ها استفاده می شد.

درقرن 18، همراه با توسعهٔ کشفیات تازه، توجهٔ زیاد به چنین مواد ساختمانی (کانکریت) معطوف گردید. درسال 1756 انجنیر بریتانوی بنام جان سمیتون (John Smeaton) موفق به کشف سمنت هایدرولیکی ازطریق آزمایش مخلوط آن با هردو آب عادی(آب شرین) وآب بحری (آب شور) شد. کاراین انجنیرتوسط جوسف اسپدن (Joseph Aspdin) ادامه یافت ، وی مخلوط تازهٔ را ازاین مواد درلایه های خشت ها و سنگ ها تجربه نمود و به اساس نتایج بدست آمده ازتجارب متواتر، توانست مادهٔ جدیدی را که سمنت امروزی است بوجو آورد. جوسف اسپدن این ماده جدید را درسال 1824 بنام **پورتلند سمنت** ثبت نمود. نام پورتلند سمنت بخاطری انتخاب گردیده که مشابه به سنگ مواد استخراجی ازجزیره پورتلند که دورتر ازساحل جنوبی انگلستان قراردارد بود. باید گفت که جوسف اسپدن اولین نفری بود که المونییم وسلیکان را تحت حرارت بلند با مواد آهگی پخت وترکیب سمنت را بوجود آورد ، جالب است که سمنت های امروزی هنوزهم به همین طریق تولید می گردند.

فرانسوا کونیت (Francois Coignet) فرانسوی درسال 1853 اولین خانهٔ آهن کانکریتی را درپاریس درموقعیتی که آدرس آن 72 rue Charles Michels in Paris است ساخت. درآنوقت راپورهای اولی مطبوعات این خانه را خطرناک توصیف می کردند اما هنوز پا برجا است وبه حیث نماد یک ساختمان تاریخی که مواد مهمی درساختمان آن بکار رفته است نگهداری می شود.

باید متذکر شد که جوزف مونیر(Joseph Monier) فرانسوی اولین کسی بود که آهن کانکریت را درساختمان یک ذخیرهٔ آب درسال های بین 75-1871 استفاده نمود و دراین مورد یک نشریهٔ مختصربه نشررساند .همزمان با آن درجریان سال های 75-1871 ولیام ئی وارد (William E Ward) اولین ساختمان آهن کانکریت را دربندرپورت چسترنیویارک تعمیر نمود، ولی فرانسواهنیبکو فرانسوی (François Hennebique) درسال 1892 اولین کسی بود که استفاده آهن کانکریت را درعناصرمختلف ساختمانی مانند بیم ها ، فرش ها و پایه ها توسعه داد وآنرا به حیث ابداع و نوآوری درساختمان ثبت نمود.

تا سال 1902 بلند ترین ساختمان آهن کانکریتی 6 منزله بود. درسال 1903 اولین ساختمان آهن کانکریتی بلند منزل جهان (15 طبقهٔ) بنام Ingalls Building (انگالس بیلدنگ) درشهرسین سناتی (Cincinnati) ایالت اوهایوی (Ohio) امریکا ساخته شد که مهندس آن شرکت مهندسی سین سناتی الزنرو واندرسن Cincinnati architectural firm Elzner & Anderson وانجنیردیزاین سترکچر آن هنری ان هوپر (Henry N. Hooper) بود.

ازآنجایکه کانکریت دارای خاصیت کششی پائین می باشد، درآنزمان اکثراً مخصوصاً مطبوعات وموسسات خبررسانی تصورمی کردند که ساختمانی به بلندی انگالس بلدنگ یا دراثروزش باد و یا تحت اثر وزن خودش سقوط خواهد کرد. بنا برآن زمانیکه ساختمان تکمیل گردید واتکا ها یا شمع های موقتی از آن بیرون ساخته شد ، تصوربرآن بود که این ساختمان درجریان شب سقوط نموده وتخریب خواهد گردید. روی این تصوروحدس وگمان، روز بعد خبرنگاران متعدد اشتیاق داشتند که آنها اولین کسانی باشند که شاهد این حادثه بوده واین راپوررا دراخباروروزنامه های منطقه مخابره و نشر نمایند. اتکاها وشمع ها بیرون کشیده شدند، باد وزیدن گرفت ، هفته ها و ماه ها گذشت و ساختمان پا برجا ماند وهنوزهم قابل استفاده است. درسال 1974 این تعمییر توسط جامعهٔ سول انجنیران امریکا به حیث نماد تاریخی وملی سول انجنیرنگ امریکا شناخته وثبت گردید. درحال حاضرسیاحان وعلاقه مند ازآن بازدید می نمایند.

ساختمان 15 طبقهٔ "انگالس بلدنگ" در شهر سن سناتی ایالات اوهایوی امریکا که درسال 1903 ساخته شده

کانکریت ماده ایست که بیشتر از هرمادۀ دست ساخته انسان درجهان استفاده می شود. ازجانب دیگراین دومین مادۀ مصرف کننده بعد از آب درجهان می باشد. درجهان سالانه بیشتر از10 بلیون تن کانکریت تولید می شود، تنها درایالات متحده امریکا این صنعت بیش تراز37 بلیون دالر ارزش دارد واضافه تراز 2 ملیون کارمند مسلکی را استخدام نموده است.

درسال 2011 تولید سمنت درجهان به بیش از2.8 بلیون تن رسیده بود و تخمین زده شده بود که تا سال 2050 به 4.5 بلیون تن برسد. کشورچین بزرگترین تولید کننده سمنت درجهان است، به تنهائي درسال 2014 بالغ بر2500 ملیون تن سمنت تولید کرده بود. جدول ذیل مختصر معلومات مقایسوی را ارائه می دارد که ازداده های حاصلۀ سال 2012 تدوین گردیده است.

جدول 1: مصرف سالانۀ مواد عمده ساختمانی درجهان به اساس معلومات های سال 2012

مادۀ مصرفی	واحد وزن به کیلوگرام درمترمکعب	ملیون تن متریک	مصرف هرنفر درجهان به تن (متریک)
فلزیا آهن ساختمانی	7850	1244	0.18
سمنت	1440	3400	0.48
کانکریت	2400	~18000	2.4
چوب	700	277	0.04
آب آشامیدنی	1000	5132	0.73 (730 liters)

این جدول به اساس معلومات ها ی سال 2012 ترتیب گردیده که درآن وقت نفوس جهان بالغ به 7.031 بلیون نفرتخمین شده بود و از منابع US Geological Survey, NIST, International Iron and Steel Institute بدست امده است.

بطوراوسط مقدارسمنت (15%)، و وزن سیخ بندی حدود 2% تا 4% وزن حجمی کانکریت تخمین زده می شود.

کانکریت یک ماده متجانس نیست، مقاومت و دارائی ها ی ساختمانی آن مربوط است به ترکیب ومتود تولید آن. ولی دردیزاین به حیث یک ماده متجانس مد نظرگرفته می شود.

دارای ها یا خصوصیات کانکریت دریک ساختمان بصورت وسیع نسبت تغییردرتناسب مواد ، مخلوط کردن ، قراردادن یا ریختن وهمچنان جوش خوردن و پختن آن میتواند متغییرباشد. ازآنجائیکه درساحه به مقایس بزرگ تولید و ریخت می شود بنا برآن پروسه کوالتی کنترول آن با مقایسه به فلز وچوب که قبلاً درفابریکه تولید و ارزیابی کیفیت می شوند می توانند متحد الشکل نبا شد.

کانکریت به نحوی تقریباً درهر نوع ساختمان مورد استفاده قرارمی گیردو بصورت سنتی ترکیبی است از سمنت، آب وسنگدانه (ریگ و جغل). به تنهائی ریگ وجغل قسمت اعظم یا 75%حجم مخلوط آنرا تشکیل می دهد ولی سمنت ماده اساسی آن است که بعد از سخت شدن و چسپش با ریگ وجغل سبب مقاومت آن می گردد. دراین تالیف ازامتیازات وکاستی ها یا نواقص کانکریت بحث صورت نمی گیرد.

درارتباط به پخش کاربن دای اکساید CO_2 درهوا باید گفت که چون سمنت بصورت عموم ازترکیبات کلسیوم سلکیت، سنگ چونه ودیگرمرکبات تحت حرارت 1450 درجه سانتی گرید درنتیجهٔ سوختاندن ذغال سنگ تولید می شود، بصورت تقریبی مسئول 5% تا 7% انتشارCO_2 درهوای جهان می باشد. درحقیقت تولید یک تن سمنت مقداریک تن CO_2 را درهوا پخش می نماید. لهذا انجنیر دیزاینرباید سمنت های را مشخص سازد که شامل اجزای مانند فلای اش (Fly Ash) ، سلگ (Slag) ومواد دیگری باشند که نه تنها سبب تقلیل کاربن دای اکساید هوا می گردند بلکه صرفه جویانه همزمان خواص سمنت را درارتباط با تقلیل حرارت هایدریشن، توسعه بلندرفتن مقاومت، کارآیی (کارکردن با کانکریت) ودوام کانکریت بلند می برند.

درحال حاضرکانکریت یک مادهٔ ساختمانی مهمی است که بایست به اساس ارزیابی های انجنیری برسی ، دیزاین و انتخاب گردد. بدین منظورانجنیردیزاین کننده یک ساختمان آهن کانکریتی باید درمورد طبیعت ، خصوصیات (دارایی ها)، ومواد آن به اندازه کافی اطلاع داشته باشد تا مشخص سازد که کدام کانکریت با چه نوعیت و کیفیتی دریک ساختمان ویا دریک عنصرساختمانی استفاده شود. انتخاب کانکریت برای استفاده دریک ساختمان نباید به اساس تناسب های کلاسیک (طورمثال تناسب 1:2:3) توسط فورمن یا باشی یک موسسه ساختمانی صورت گیرد، بلکه باید ارزیابی ، دیزاین، تحلیل انجنیری واقتصادی گردد.

درکانکریت های امروزی علاوه از سمنت، ریگ، جغل، وآب، اضافه کننده های کیمیاوی یا منرالی دیگری نیزاستفاده می شوند.

ارزیابی اجزای کانکریت

آب :

آب رول مهمی را درکارآیی (کارکردن با مخلوط)، مقاومت ودوام کانکریت ایفا می نماید. مقدارزیاد آب مقاومت کانکریت را پائین می آورد درحالی که مقدارکم آب کارکردن را با آن مشکل می سازد. آبی که برای مخلوط کانکریت استفاده می شود بایدعاری ازصدمات جانبی، چربی، اسید یا تیزاب، القلی، نمک، شکر، ومواد عضوی بوده وPH آن بالاترازد6 باشد. آب آشامیدنی برای استفاده درکانکریت خیلی مساعد است (PH آب درکشورهای غربی بین 6 تا 8.5 می باشد).

به اساس تحقیق وتجربیات سال های متمادی، مشخص شده که بصورت عموم مقدارآبی که برای هایدریشن سمنت ضرورت است بسیارکمترازمقدارآبی است که برای کارآیی یا کارکردن باآن ضرورت می باشد. برای هایدریشن مکمل سمنت، مقدار 25% آب نظر به وزن سمنت ضرورت است (بعضی کشورهابنا به تفاوت سمنت ها 35% را استفاده می نمایند). آب بالاترازاین مقدارکه ضرورت نمی باشد

درمنفذهای طولانی مویه مانند خیلی کوچک (Capillary Porosity) باقی مانده ویا تبخیرمی گردد. حدوث این عملیه راه را برای خشکی انقباضی که سبب تخریب و بوجود آمدن درزهای خیلی باریک (Micro Cracks) می شود مساعد ساخته وتدریجاً عمل کرد کانکریت را تضعیف می بخشد که درنتیجه بعدازتکمیلی هایدریشن سبب زنگ خورده گی سیخ ها درکانکریت می گردد. به همین ترتیب هرگاه نسبت آب وسمنت ازمقدارمتذکرۀ فوق کمتر باشد یک مقدارسمنت بشکل هادریت ناشده باقی مانده واین فضای قسمت های هادریت ناشده یا بصورت مکمل یا نامکمل توسط یک مقدارآب اشغال می شود وبا گذشت زمان این قسمت ها را بخش های سمنت هایدریشن شده اشغال می نماید که درنتیجه سبب تضعیف مقاومت کانکریت می گردد.

قانون ابرام (Abram's law) که قانون نسبت آب وسمنت نیزنامیده می شودعبارت ازمفهوم سول انجنیری است که به اساس آن مقاومت کانکریت معکوساً متناسب به (نسبت آب وسمنت) است، طوریکه هرگاه مقدارآب تزیید گردد مقاومت کانکریت کاهش می یابد. این قانون به افادۀ $\frac{W}{C}$ (نسبت آب وسمنت) نشان داده میشود.

سمنت :

9 نوع سمنت وجود دارکه 5 نوع آن معمولترین درجهان می باشد و چهارنوع دیگرآن نظربه استفادۀ محدودآنها درساختمان های مخصوص، کمترتولید وبکاربرده می شوند. طبقه بندی این سمنت ها درکشورهای بزرگ صنعتی تحت نام ها ومارک های مختلف صورت گرفته اما درترکیبات کیمیاوی مشابه هم می باشند. انتخاب سمنت برای کانکریت نظربه خصوصیات ساختمان اهمیت قابل ملاحظۀ را دارا می باشد. مطابق ASTM C-150 (American Society for Testing and Materials) ، 5 نوع سمنت معمول درایالات متحده امریکا قرارذیل طبقه بندی شده اند:

پورتلند سمنت (نوع) تایپ I (Ordinary Cement - سمنت معمولی) :

این نوع سمنت بصورت عموم درشرایطی استفاده می شود که صدمات سولفاتی وجودنداشته باشد و گرمای تولید شده ازعملیه هایدریشن صدمات نا خواسته جانبی را ایجاد نکند. معمولاً این سمنت برای پیاده روها، سرک ها، سلب ها ، بیم ها، پایه ها و نهرهای سرپوشیده وهمچنان به حیث مصاله درخشت کاری ها و سنگ کاری ها استفاده می شود.

پورتلند سمنت تایپ II (Modified Portland Cement):

این نوع سمنت دارای مقاومت متوسط دربرابرسلفیت ها بوده وعموماً دراقلیم هوای گرم وهم درساختمان های بزرگ استفاده می شود. نرخ تولید حرارت آن نسبت به سمنت معمولی تایپ I پائین ترمی باشد. همچنان دارای حرارت آب بندی کمترومقاومت بیشتردربرابرآیون کلورمی باشد.

نوت : خاطرنشان باید ساخت که با بهم آمیختن مشخصات هردو سمنت تایپ I وII سمنت واحد تایپ I/II نیزعرضه می گردد که سند Certification یا تصدیق نامۀ مشخصات آنرا درجدول No.2 ملاحظه مینماید .برای ارزیابی سندتصدیق نامه سمنت، ملاحظۀ زمان تولید ، زمان آغازجوش خوردن و مقاومت

فشاری آن قابل اهیمت خاص است. درسندآتی آغاززمان جوش خوردن 117 دقیقه ومقاومت 28 روزهٔ آن 6170psi یا 42.6 MPa تصدیق گردیده است.

جدول No.2

ph: 604.946.0411

MILL TEST REPORT

Cement Type: ASTM Type I/II, AASHTO Type I
Low Alkali Portland Cement

Plant: Bellingham, WA

Certificate #: B1-198

Production Period:	Jul 01 2017 Jul 31 2017	Test Result	ASTM C150/C150M-16 Specification	AASHTO M 85-16 Specification
SiO2 (%)	ASTM C114	20.6	-	-
Al2O3 (%)	ASTM C114	4.9	max. 6.0	-
Fe2O3 (%)	ASTM C114	3.33	max. 6.0	-
CaO (%)	ASTM C114	64.3	-	-
MgO (%)	ASTM C114	0.9	max. 6.0	max. 6.0
SO3 (%)	ASTM C114	2.8	max. 3.0	max. 3.0
Na2O (%)	ASTM C114	0.25	-	-
K2O (%)	ASTM C114	0.35	-	-
TiO2 (%)	ASTM C114	0.27	-	-
C3S (%)	ASTM C150	57	-	-
C2S (%)	ASTM C150	13	-	-
C3A (%)	ASTM C150	7	max. 8	max. 8
C4AF (%)	ASTM C150	10	-	-
Equivalent Alkalies (%)	ASTM C150	0.48	max. 0.60	max. 0.60
Loss on Ignition (%)	ASTM C114	2.6	max. 3.5	max. 3.5
Insoluble Residue (%)	ASTM C114	0.24	max. 1.5	max. 1.5
Free Calcium Oxide (%)	ASTM C114	0.3	-	-
CO2 in Cement (%)	ASTM C114	1.8	-	-
CaCO3 in Limestone (%)	ASTM C114	97.0	min. 70	min. 70
Limestone in Cement (%)	ASTM C150	4.1	max. 5.0	max. 5.0
Vicat Setting Time Initial (minutes)	ASTM C191	117	min. 45 max. 375	min. 45 max. 375
Blaine Fineness (m2/kg)	ASTM C204	393	min. 280	min. 280
+325 mesh	ASTM C430	4.2	-	-
Air Content of Mortar (%)	ASTM C185	6	max. 12	max. 12
Autoclave Expansion (%)	ASTM C151	0.01	max. 0.80	max. 0.80
Compressive Strength		MPa / psi		
3 Day	ASTM C109/109M	30.0 / 4340	min. 12.0	min. 12.0
7 Day	ASTM C109/109M	38.0 / 5510	min. 19.0	min. 19.0
28 Day (previous month)	ASTM C109/109M	42.6 / 6170	-	-

This will certify that the above described cement meets the standard chemical and physical requirements of ASTM Specification C-150 for Type I and Type II Low Alkali Portland Cements and AASHTO Specification M-85 for Type I Low Alkali Portland Cement.
Our Laboratory is AASHTO-accredited.

پورتلند سمنت تایپ III (High-Early Strength Portland Cement):

این نوع سمنت، بنام سمنت مقاومت بلند زودرس یادمیشود که زودگیربوده ومقاومت اولیه خودرا تند وسریع بدست می آورد. این نوع سمنت درکانکریت ساختمان های که به سرعت مورد استفاده قرارگیرند ، ویا ضرورت برداشتن قالب های آن زودترازموعد معین لازم باشد بکاربرده می شود. ساحه وسیع استفادهٔ آن درصنایع پریکست – پری سترسد کانکریت می باشد. مقاومت2 یا 3 روزهٔ آن معادل مقاومت 7 روزهٔ سمنت های تایپ I و II می باشد. همچنان برای ساختمان های که کانکریت ریزی آنها درهوای سرد صورت گیرد نیزاستفاده میگردد. خاصیت نرخ انقباض آن نسبت به سمنت های تایپ I و II بلند می باشد زیرا هنگام جوش خوردن یا هایدریشن گرمای بیشتری را ازخود متساعد می سازد که اگر کنترول نشود سبب درزپذیری کانکریت می گردد.

دراین اواخر سمنت های تایپ IA ، IIA و IIIA نیزعرضه می گردد. تفاوت آینها ازسمنت های فوق درآن است که مقدارحد اقل اضافه کنندهٔ ایجاد گرهوا درترکیب و پختن کلینکیرآنها بکاربرده می شود، که بالاثر ضرورت علاوه کردن این اضافه کننده ها را درجریان مخلوط کردن کانکریت از بین می رود.

پورتلند سمنت تایپ VI (Low-Heat Portland Cement):

این سمنت دارای حرارت پائین هادریشن بوده و درزپذیری آن خیلی کم است. درساختمان های حجیم وبزرک مانند بندهای برق وبندهای بزرگ ابیاری استفاده میشود. چون حرارت پا ئین را درجریان پروسه پخته شدن یا جوش خوردن متساعد می سازد بنا برآن توسعه مقاومت نهای خودرا نیزخیلی آهسته نسبت به سمنت های دیگرکسب می کند. این نوع سمنت به سمنت کُند گیرنیزمعروف است .

پورتلند سمنت تایپ V (Sulfate-Resistant Portland Cement):

این نوع سمنت بنام سمنت ضد سلفیت یاد شده و دارای مقاومت خوب دربرابر سلفیت هاست و درمناطقی استفاده می شود که درمعرض تاثیرات سلفوریک قرارداشته باشند. معمولا این مناطق جاهای است که دارای خاک های با خاصیت بلندالقلی باشند. بیشترین مورد استفاده این سمنت درساختمان های ساحلی بحری و زمین های سلفیت دارمی باشد. این سمنت مقاومت خود را نیز درزمان طولانی تر کسب می کند.

علاوه ازسمنت های پنج گانه فوق سمنت های دیگری هم وجود دارد که درساختمان های مخصوص بکاربرده می شوند. این سمنت ها مطابق ASTM C595 قرارذیل اند:

تایپ IS که از ترکیب (یا آسیاب کردن) مقدارزیاد دانه های خیلی ظریف slag وکلینکیرسمنت ساخته می شود.

تایپ IP که ازآمیختن سمنت ومواد پوزولانیک غیرسوخته (Pozzolanic material without burning) بدست می آید.

تایپ IT که ازآمیختن سمنت با Slag (سلگ) ومواد پوزولانیک غیرسوخته بدست می آید

تایپ IL که درترکیب کلینکیرآن 15%سنگ آهک استفاده می شود.

اضافه کننده های مخلوط کانکریت

اضافه کننده ها درکانکریت های امروزی برای مقاصد مختلف مانند: سیلان مخلوط ، قابلیت پمپ کردن مخلوط ، دستیابی به مقاومت بلند همزمان با پائین آوردن نسبت آب و سمنت، تاخیرکننده یا سرعت بخشندهٔ آغازجوش خوردن وسخت شدن کانکریت، مقاومت دربرابر یخبندی وذوب (Freeze Thaw) وهمچنان به حیث بازدارندهٔ زنگ خورده گی سیخ ها استفاده میشوند.

بسیاردلچسپ است که رومن ها اولین کسانی بودند که اضافه کننده های مختلف را مانند: خون، شیر، چربی خوک و تخم مرغ درترکیبات مواد چسپاننده ساختمانی استفاده می کردند.

مقدارنورمال استفادهٔ اضافه کننده ها درمخلوط کانکریت بین 2% تا 5% مقداروزن سمنت می باشد واین مقادیرمربوط می شود به: نوع ، جنسیت ومقدارسمنت، مقدارآب، (شکل) وسایزسنگدانه ها (ریگ وجغل) وتناسب آنها درمخلوط، مدت مخلوط کردن وهمچنان سلمپ وحرارت کانکریت دروقت ریختاندن یا قراردادن.

مواداضافه کننده های کانکریت به دونوع کیمیاوی ومنرالی طبقه بندی شده اند.

اضافه کننده های کیمیاوی

عبارت ازموادی کیمیاوی اند که به شکل پودر یا مایع تولید شده ودرجریان مخلوط کردن کانکریت جهت توسعه وبلند بردن خواص مطلوب کانکریت استفاده می شوند. معمولی ترین این اضافه کننده ها قرار ذیل اند:

1- **تسریع کننده ها (Accelerators)**: اینها اضافه کننده های اند که سبب بلند رفتن نرخ هادریشن کانکریت گردیده ودرنتیجه سبب مقاومت زودرس کانکریت وبیرون کردن قالب ها دریک زمان کوتاه می شوند. این مواد دارای کلسیم کلوراید بوده ومقدارمصرف آنها بین 2% تا 3% وزن سمنت می باشد. ازآنجایکه این مواد سبب زنگ خوردگی سیخ های داخل کانکریت می شدند، دراین اواخر به پیمانه وسیعی مورد استفاده قرارنمی گیرند.

2- **تاخیر کننده ها(Retarders)**: این اضافه کننده ها سبب به تعویق انداختن عملیه هایدریشن سمنت گردیده و درنیتجه (setting time) یا شروع زمان جوش خوردن و سخت شدن کانکریت را بین 3 تا 4 ساعت به تاخیرمی اندازند. مقداراستفاده آنها از 0.05% تا 0.1% می باشد، این مواد معمولاً ازتولیدات شکرساخته می شوند.

3- **تقلیل دهنده های آب (Water Reducers)**: این مواد مطابقت به ASTM C1017 Type I و ASTM C494 Type F نموده وبنام های پلستی سایزر (Plasticizers) وسوپرپلستی سایزر(Superplasticizer) یاد شده وسبب مصرف مقدارکم آب درمخلوط کانکریت می گردند.

استفاده مقدار 0.7% تا 2.5% آنها نظربه وزن سمنت، میتواند مصرف مقدارآب را بین 15% تا 30% تقلیل دهد(درکانکریت معمولی 15% ودرکانکریت های دیگرتا حد 30%).
منظورازاستفاده این مواد صرفه جوی درآب نبوده بلکه غرض ازآن اهداف ذیل می باشد:
تقلیل مصرف سمنت بنا به پائین آمدن نسبت آب وسمنت، مقاومت زودرس کانکریت، بلند رفتن مقاومت فشاری کانکریت، بلند رفتن سلمپ ، بلند رفتن کارآیی یا سهولت کارکردن با کانکریت ، قرار دادن ساده وکاهش زمان متراکم ساختن کانکریت، کاهش ایون کلورایدوبلند بردن عمریا دوام کانکریت.
تقلیل دهنده های آب درحد وسیع برای هردوکانکریت معمولی (که متراکم میشوند) وکانکریت SCC (Self Compact Concrete - کانکریت های خودمتراکم شونده) استفاده می شوند.
درایالات متحده امریکا تقلیل دهنده های آب بنام های ذیل عرضه می گردند:

High Range Water Reducer ADVA Cast 574
Water Reducing WARDA 64
High Range Water Reducing DARACEM 19

4- **اضافه کننده های ایجاد گرهوا درکانکریت (Air Entraining Admixtures):**

این مواد مطابقت به ASTM C260 نموده وسبب ایجاد حباب های خیلی کوچک هوا در کانکریت شده وباعث جلوگیری ازصدمات ناشی از تناوب (Freeze -Thaw) یخبندی وذوب درکانکریت می گردند. علاوه ازآن، ازجداشدن جغل ازشیرهٔ سمنت درمخلوط کانکریت جلوگیری نموده ودرتوسعه دوام عمرکانکریت سهم عمدهٔ ایفا می نمایند. مقدارمصرف چنین مواد توسط تولید کننده گان آنها توصیه می گردد.
قابل تذکراست که استفادهٔ این مواد درکانکریت های دارای مقاومت بلند، به نسبت کاهش مقاومت آنها توصیه نمی گردند، زیرا استفاده هر 1% این اضافه کننده ها سبب تقلیل 5% مقاومت کانکریت می گردد. معمولاً تولید کانکریت های هوادار(مقاوم یخبندی وذوب) دارای مقاومت های از (20.7MPa) 3000 psi تا (34.5MPa) 5000 psi مشکلی را ایجاد نمی نماید، اما مقاومت های بالاترازاینها مشکل می باشد. یکی ازتولیدات کیمیاوی که برای این منظوردرایالات متحدهٔ امریکا استفاده می شود، DaraVair1000 است.

5- **بازدارنده های زنگ خوردن سیخ (Corrosion Inhibitors) :**

این مواد مطابقت به ASTM C1582 نموده وعملیه زنگ خوردن سیخ را درکانکریت های که درمجاورت یا محیط متجاوز کلورایدقرارداشته باشند کاهش می دهد.این ساختمان ها میتواند شامل ساختمان های ساحلی ، پارکنگ گراچ ها ، سکو ها ، سلب های پل ها وغیره باشند. اضافه کننده های بازدارندهٔ زنگ خورده گی سیخ درهردو حالت سیخ بندی های معمولی ویا کیبل های پری سترسد و پوست تن شننگ استفاده می شوند. یکی ازاین مواد درایالات متحدهٔ امریکا تحت نام DCI عرضه می گردد.

اضافه کننده های منرالی

اینهاعبارت ازمواد کیمیاوی غیرعضوی اند که خصوصیات پوزولانیک را دارا بوده و با کلسم هایدرواکساید داخل سمنت (آهک یا گچ) تعامل کیمیاوی نموده و سبب توسعه دارایی های کانکریت از جمله قابلیت نفوذ ناپذیری یخبندی، بلند رفتن مقاومت ، دوام و برتری های دیگری که درذیل بحث خواهد شد می گردند. این اضافه کننده ها قرارذیل اند:

1- **فلای اش (Fly Ash):** که آنرا خاکستر بادی نیزمی نامندعبارت از ریزه های خیلی ظریفی اند که درجریان سوخت زغال سنگ ازگازهای خروجی کوره های آتشی (کوره های ذوب) متساعد می گردند. این ها مواد پوزولانی اند که درترکیب خود المونیم وسلیکان را دارابوده و در موجودیت آب، ماده سمنتی را تشکیل می دهند. مطابق ASTM به کلاس C و F طبقه بندی شده اند. اضافه نمودن این مواد درمخلوط کانکریت نتنها سبب توسعه مقاومت کانکریت گردیده بلکه قرار دادن آنرا درقالب ها و کارآیی یا کارکردن را با آن نیزسهولت می بخشند ،مخصوصاً زمانی که برای ریختن کانکریت از پمپ های کانکریتی استفاده شود.

2- **سیلیکا فی یوم (Silica Fume):** این ماده که مطابقت به ASTM C1240 می نماید نیزیک ماده پوزولانی است که دارای ترکیبات بلند سیلیس می باشد و خواص کانکریت را ازجمله بلند رفتن مقاومت فشاری ، قابلیت چسپش ومقاومت در برابراصطکاک جریان متراکم ساختن بلند می برد. افزون برآن سیلیکا فی یوم باعث کاهش نفوذپذیری آیون های کلوراید درمخلوط کانکریت شده و اززنگ خورده گی سیخ های داخل کانکریت محافظت می‌کند، مخصوصاً آن قسمت های کانکریت که درمحیط یا معرض کلوراید قرارداشته باشند، مانند مناطق ساحلی وساختمان جاده ها یا شاهراه ها، مناطق مرطوب وهمچنان باندهای فرودگاه‌ها (به دلیل استفاده نمک جهت ذوب یخبندی).

3- **سلگ (Slag):** این ماده عبارت از سرباره یا روباره های محصول صنعتی و جانبی فلزاست که درجریان ذوب سنگ آهن و جدا سازی آهن ازآن درکوره های ذوب بصوت روکف بوجود آمده و بعد درترکیب سمنت اضافه می گردد. استفاده سلگ سبب تقلیل حرارت هادریشن ، نفوذپذیری توسعه القلی ریگ وجغل وبلندرفتن مقاومت دربرابرسولفیت می شود. برای استفاده آن سه روش وجود دارد:

- گردهای سلگ به مواد اولیه سمنت اضافه شده وبعد کلینکیرراپخته می نمایند..
- همرای کلینکیرسمنت با قدری سنگ گچ آنرا آسیاب می نمایند.
- از اسیاب کردن آن با سنگ گچ و قدری کلینکیر سمنت سوپرسلفات می سازند.

مقدارتعویض سلگ با سمنت درفاریکه ها بین 20% تا 50% می باشد.

باید علاوه کرد که بعضی اضافه کننده ها دارای ترکیب هرسه اضافه کنندۀ منرالی (فلای اش، سیلیکا فیوم، و سلگ) می باشند ودرایالات متحده امریکا زیر نام ADVA Cast 575(SCM) عرضه می گردد.

تبصره : بادرنظر داشت مطالب فوق باید تا کید کرد که برای جلوگیری ازادامه زنگ خورده گی سیخ ها درداخل کانکریت درقدم اول باید کانکریت مقاوم درزبا قابلیت پائین نفوذ پذیری انتخاب گردد. چنین قابلیت را می توان با تقلیل نسبت آب وسمنت درمخلوط واستفاده پوزولان(pozzolan) ، سلگ (slag) واضافه کننده های دیگرمانند بازدارنده های زنگ خوردن سیخ بدست آورد. پوزولان وسلگ قابلیت کانکریت را دربرابرتشدید زنگ خورده گی سیخ ها به اندازه قابل ملاحظه بلند می برد. علاوه براین گزینش درست قشرمحافظوی سیخ نیزقابل اهمیت می باشد.

نگهداری PH کانکریت درحد 12 تا 13 می تواند شرایط محافظوی را برای جلوگیری اززنگ خورده گی سیخ های داخل کانکریت بوجود آورد. ازدلایل عمده پائین رفتن PH مخلوط کانکریت استفاده ریگ وجغل آلوده و نا شسته، آب های دارای مقداربلند کلورو آلوده دگی های دیگرمی باشد. موجودیت بلند PH درمخلوط کانکریت یک قشرنازک واکسایدی را بنام passive film بالای سطوح سیخ ها تشکیل داده و سبب جلوگیری اتوم آهن ازسهم گیری درعملیه اکسیدیشن می گردد که تحت چنین شرایطی زنگ خوردگی سیخ ها کاهش می یابد. بایدمتذکرشد که درموجویت چنین قشری درجه ابتلای سیخ به زنگ خورده گی (Micron) 0.1µm درسال است، درحالیکه درصورت عدم موجودیت یا تخریب این قش، زنگ خوردگی تشدید یافته و1000مرتبه بلند می رود. تخریب passive layer زمانی اتفاق می افتد که مقدارالقلی کانکریت تقلیل یافته و یا عنصرکلوراید درکانکریت تزئید یابد.

درمناطق مرطوب وشهرهای که دارای آلوده گی های هوا اند عملیه کاربونیش سهم عمدهٔ را درزنگ خوردن سیخ های داخل کانکریت ایفا می کند. کاربونیشن زمانی صورت می گیرد که کاربن دای اکساید هوای آلوده درکانکریت نفوذ نماید وداخل تعامل کیمیاوی باهایدرواکساید شده و کلسیم کاربونیت را تشکیل دهد. با تشکیل کلسیم کاربونیت مقدار PH درمسامات ومنفذ های خیلی کوچک کانکریت تا حد 8.5 کاهش می یابد وبلاثر سبب می گردد تا passive film ازتعادل بیرون شود.

درکانکریت های با کیفیت بلند کاربونیشن یک عملیه خیلی بطی بوده ونفوذ تقریبی ان درسال تا 0.4 in (10 mm) می رسد. نفوذ پذیری کاربونیشن زمانی زیاد می گردد که نسبت آب و سمنت بلند ، مقدارسمنت کم ، کانکریت دارای مقاومت پائین ومراقبت درست ازجوش خوردن یا پخته شدن آن صورت نگرفته باشد و یا دارای زمان پخت کوتاه short curing period بوده باشد. علاوتاً درنتیجه عدم تراکم کافی، مسامات و منفذ هادر خمیرهٔ کانکریت بوجود آمده باشد.

انواع کانکریت ها

1- کانکریت معمولی یا نورمال (Normal Concrete) :

مقاومت این نوع کانکریت از 10 MPa (1500 psi) تا 40 MPa (5800 psi) می باشد.دراین نوع کانکریت آغاز پروسه (جوش خوردن) بصورت اوسط بین 30 تا 90 دقیقه بوده که دراین مدت باید کانکریت درموقعیت ساختمانی آن قرار داده شده، متراکم شود وتکمیلی سطح آخری آن صورت گیرد. این مدت زمان نیزمربوط می شود به رطوبت اتموسفریک و ظرافت پودرسمنت. معمولاً آغاز زمان جوش خوردن سمنت درتصدیق نامه یا Certification سمنت تذکرداده می شود چنانچه درسند(جدول No.2)

زمان آغاز جوش خوردن آن 117 دقیقه داده شده است. توسعه مقاومت دراین نوع کانکرت بعد از3 روزآغازمی یابد، درجدول ذیل توسعه مقاومت کانکریت نظر به زمان خلاصه شده است:

فیصدی مقاومت	عمرکانکریت
40%	3 روز
65%	7 روز
90%	14 روز
99%	28 روز

فیصدی مقاومت کانکریت نظربه زمان

2- کانکریت مقاومت بلند (High strength concrete):

معمولاً مقاومت این نوع کانکریت بالاتراز (41MPa) 6000 psi می باشد. زیادترین استفاده کانکریت دارای مقاومت بلند درصنایع پری سترسد کانکریت صورت می گیرد. کانکریت دارای مقاومت بلند زمانی بدست آمده می تواند که نسبت آب و سمنت آن 0.35 تا W/C = 0.25 باشد. برای ایجاد چنین تناسب آب و سمنت، اکثرآ درمخلوط کانکریت ازاضافه کنندهٔ سیلیکا فیوم (Silica fume) استفاده می گردد. استفادهٔ سیلیکا فیوم به تنهائی درمخلوط کانکریت تا اندازهٔ سبب جلوگیری ازتشکیل کرستل های کلسیم هایدرواکساید درسمنت گردیده ونتیجتاً سبب کاهش چسپش سمنت با جغل می گردد، ازجانب دیگربخاطر پائین بودن نسبت آب و سمنت، انجام پذیری کارکرد یا کارآیی با مخلوط کانکریت مخصوصآ درحالاتی که سیخ بندی عنصریا ساختمان متراکم وانبوه باشد به اندازه کافی مشکل می شود. لهذا برای اینکه این نقیصه برطرف شده بتواند باید مادهٔ اضافه کنندهٔ دیگری که سوپرپلستی سایزر(superplasticizers) یاد می شود در مخلوط کانکریت علاوه گردد. برای بدست آوردن کانکریت های دارای مقاومت بلند باید خاطرنشان ساخت که انتخاب کیفیت ریگ و جغل اهمیت بسزای را دارا می باشد درغیرآن ممکن نیست مقاومت بلند کانکریت بدست آورد شود.

کانکریت دارای مقاومت بلند میتواند با توجه زیاد با ترکیب اضافه کننده های ذیل بدست آید.

- برای انجام پذیری کارکرد یا کارآیی با آن باید اضافه کنندهٔ (superplasticizers) علاوه شود تا تناسب آب و سمنت به اندازه 0.25 کاهش یابد واین همان مقدارآبی است که برای عملیه هایدریشن کانکریت ضرورت است.
- برای بلندبردن نرخ بقا یا دوام کانکریت ازفلای اش(fly ash) وسیلیکا فیوم (silica fume) میتوان استفاده کرد که موجودیت چنین مواد تغییرمنرالوجی سمنت را سبب شده ودرنتیجه همسازی مواد موجودرا درکتله کانکریت بلند می برد. موجودیت فلای اش درحقیقت مکانیزمی را بوجود می آورد که کا رکردن را با کانکریت سهل می سازد. مقدار استفاده این اضافه کننده ها بین

20%-25% بوده و دربعضی موارد اضافه کردن چنین مواد درمخلوط میتواند مصرف سمنت را تا اندازه 60% کاهش دهد.

3- کانکریت هوادار Air Entrained Concrete :

یکی از بزرگترین دست یابی ها درساحه تکنالوژی کانکریت، بوجود آوردن یا توسعه کانکریت هوا دار است که بنام ایرانتریند کانکریت (Air Entrained Concrete) یاد می شود. این نوع کانکریت درشرایط و جاهای که فکتور، یا پروسه یخ زدن وذوب شدن (Freeze and Thaw) مطرح باشد و یا کانکریت درمحیط آسیب پذیرو همسان آن قرارداشته باشد مورد استفاده قرارمی گیرد. درحال حاضرتمام کانکریت های معمولی نیزبا حداقل 1% تا 1.5% هوا تولید می شوند.

کانکریت هوادارازاثراضافه کردن عامل Air Entraining Admixture درمخلوط آن بدست آمده واین اضافه کننده سبب بوجود آوردن بلیون حباب یا سل های مایکروسکوپیک دریک فت مکعب کانکریت میشود. قطراین خلاها(حباب ها) از10 تا 1000 مایکومترمی باشد (1000 micrometer = 1mm).

این حباب ها یا پاکت های هوا سبب ایجاد خلا های کوچکی می شوند که فشارهای داخلی وارده راازاثر انبساط آب درجریان یخبندی خنثی نموده و سبب جلوگیری از فشارهای تخریبی جانبی می گردند. قابل تذکراست که کانکریت های معمولی و نورمال نمی تواند بیشتر از 3 تا 4 سیکل یخ بندی و ذوب را تحمل کنند، درحالیکه کانکریت هوادار میتواند بالا تر 10 سایکل راتحمل نماید.

کانکریت کم وزن Light Weight Concrete:

این کانکریت دارای وزن حجمی کمتر نظربه کانکریت های معمولی می باشد. اکثراً درترکیب آنها ازجغل و ریگ های سبک وزن وغیره مواد پرکننده دیگر تولیدات صنعتی استفاده می شود. وزن حجمی این کانکریت ها از 240 kg/m³ (15 pcf) تا 1850 kg/m³(115 pcf) بوده ومقاومت آنها متفاوت بین 7 MPa (1000 psi) تا 40 MPa (5800 psi) می باشد. متذکر باید شد که انواع کانکریت های سبک وجود دارد که دراین جا بحث درموردآنهاصورت نمی گیرد. دراین نوع کانکریت نیزبه منظوربلند بردن مقاومت آن دربرابریخبندی وذوب ازعامل ایرانتریند استفاده می شود.

معمولاً این نوع کانکریت دردیوارهای پریت (parapet wall) ، دیوارهای داخلی تعمیرات به منظورکاهش کتلهٔ مجموعی ساختمان ازاثرامپکت زلزله و قسمت های دیگرساختمان که پائین آوردن بارمرده هدف باشد استفاده می گردد. همچنان درساختن خشت ها یا بلاک ها کانکریتی میان خالی نیزازاین نوع کانکریت استفاده به عمل می آید.

4- کانکریت خود متراکم شده Self-Compacting Concrete(SCC):

این نوع کانکریت، اهتزازات میکانیکی برای متراکم ساختن یا عملیه متراکم شدن را ضرورت ندارد، زیرا دراثروزن خود متراکم می شود. ازامتیازات این نوع کانکریت سهولت کارآیی یا کاردن با آن،

خاصیت درجه بلند پهن شدن و شکل گیری ساده آن درقالب می باشد. تراوش شیره سمنت ازکانکریت که اکثراً سبب جدا سازی جغل می شود دراین نوع کانکریت وجود ندارد.

برای این نوع کانکریت عوض آزمایش سلمپ (نشست مخروطی) ، آزمایش روان پهن شدن صورت می گیرد. معمولا آزمایش روان پهن شدن آن بین 650-750 mm (25.6 – 29.5 in) می باشد.

این کانکریت درساحاتی استفاده می شود که وایبریتر(متراکم کننده میکانیکی) درآن نقاط رسیده نتواند وساختمان محدودیت ها ی متراکم سازی را دارا باشد، مانند ساختمان های زیرزمین، دیوارهای عمیق و ساختمان های سطح بحر. استفاده این کانکریت عاری ازصدمات ناشی ازمتراکم ساختن درقالب ها می باشد. قراردادن یا ریختن کانکریت خود متراکم کننده (SCC) تقریباً 80% سریع ترنسبت به کانکریت عادی صورت می گیرد که در نتیجه 50% قیمت کاررا کاهش می دهد.

مثال کانکریت خود متراکم شده

کانکریت پاشیده Shotcrete: این نوع کانکریت توسط پمپ با فشاروسرعت های پائین، متوسط یا بلند درسطوح عمودی، سقف ها و درتونل ها پاشیده می شود، همچنان جهت استحکام سنگ ها درسطوح عمودی نیز به کاربرده می شود. برای بکار بردن این نوع کانکریت، دو مخلوط وجود دارد: مخلوط خشک (Dry Mix Shotcrete) ومخلوط تر (Wet Mix Shotcrete). ازاین نوع کانکریت در ترمیمات زیاد استفاده می شود. از نواقص آن ضایعات زیاد کانکریت است.

مثال کانکریت پاشیده

کانکریت نفوذ پذیرPrevious Concrete :این کانکریت بنام کانکریت خلا دار نیز یاد می شود. زیاد ترین استفاده را درسطوح همواربرای جریان دادن ونفوذ دان آب دارا می باشد. این کانکریت ازجغل های بزرگ همراه با مقدارخیلی کم ریگ یا هیچ ریگ تولید شده و خاصیت انتقال آب از بین آن وجود دارد. برای پارکننگ های سر باز، سرک ها ی دارای ترافیک خیلی سبک استفاده می شود.

مثال های کانکریت نفوذ پذیر

کانکریت متراکم شونده توسط رولرRoller compacted concrete: این نوع کانکریت دارای سلمپ صفربوده وبا ارتعاش دادن میکانیکی سطحی یا توسط رولرها متراکم شده و درساختمان بندها وسرک ها استفاده می شود. دراین کانکریت مقدار زیاد سمنت توسط فلای اش تعوض می گردد.

مثال کانکریت متراکم شونده توسط رولر

مثال استفادهٔ کانکریت متراکم شده توسط ارتعاش دهنده سطحی

مثال کانکریت پاشیده که جهت بوجود آوردن یک آرت درنمای ساختمان استفاده شده

کانکریت آماده شده(Ready Mix Concrete):

کانکریتی است که درفابریکه های که بنام (Batch Plant) یاد میشوند مطابق دیزاین انجنیری شدهٔ قبلی تولیدگردیده وبه ساحهٔ ساختمان انتقال داده می شود. وسیله نقلیهٔ که این نوع کانکریت را انتقال میدهد بنام (Barrel truck) یا (In-transit mixers) یاد می شود. معمولاً این نوع کانکریت به دو روش به ساحهٔ ساختمانی انتقال داده می شود:

1 - کانکریت مخلوط شده به ساحه طوری انتقال داده می شود که پروسه مخلوط کردن آن درمسیرراه صورت می گیرد.

2 - مخلوط اجزای کانکریت به حالت خشک انتقال داده شده وبعد مخلوط آن درساحه صورت می گیرد. وسیله نقلیهٔ آن بنام (Volumetric Concrete Mixer) یاد می شود.

دیزاین مخلوط کانکریت (Concrete Mix Design)

دیزاین یک مخلوط کانکریت به معنی تعیین دارائي ها ی آن برای مقاصد ذیل می باشد:

1- بدست آوردن سیالیت مطلوب و کارآیی یا سهولت کارکردن با آن (workabilti).
2- بوجود آوردن خصوصیات لازمی کانکریت سخت شده به اساس خواست دیزاینرساختمانی پروژه.
3- مصرف اقتصادی مواد مخلوط کنندۀ آن.

کارآیی یا سهولت کارکردن با مخلوط کانکریت مربوط می شود به :

- قراردادن آسان کانکریت درقالب های مورد نظر.
- سهولت متراکم کردن آن.
- فراهم کردن زمان لازم برای پایان دادن کارنهائی یا کار تکمیلی آخری (Finish Work) بدون آنکه جدا سازی پرکننده ها از شیرۀ سمنت صورت گیرد(segregation) .

دارایی های لازمی کانکریت سخت شده مطابق دیزاین عبارت اند از:

- بدست آوردن مقاومت لازم.
- مقاومت در برابریخبندی وذوب (freeze-thaw).
- بدست آوردن مقاومت لازم برای بیرون کردن قالب ها یا رهائي قوه های پری سترس درشرایط پری کست – پری سترسد.
- متحدالشکل بودن رنگ کانکریت.
- تعادل حجمی و مقاومت فرسایشی (Abrasion).
- بوجود آوردن خاصیت نفوذ نا پذیری آب (watertightness) به منظورجلوگیری اززنگ خورده گی سیخ ها.

درجریان سال های اول قرن بیست (1900)، متودهای مختلف به اساس تناسب مواد مخلوط کنندۀ کانکریت دریک زمان یا زمان دیگری استفاده میشد. این متودها عبارت بودند از: متود تناسب حجمی 1:2:3(سمنت: ریگ: جغل)، متود نسبت خلا، متودمدول های ظریف، متودسطوح سنکدانه ها.
درعصرحاضر بصورت عموم دو متود آتی که در211 ACI تذکررفته مورد استفاده قرارمی گیرد:

1- متود وزنی.
2- متود حجم مطلق

دراین تحریرمتود حجم مطلق مورد بررسی قرارخواهد گرفت زیرا به دلیل درنظرگرفتن قیمت های وزن مخصوص (وزن حجمی) اجزای مخلوط کانکریت خیلی دقیق است.
برای محاسبات دراین متود؛ حجم مطلق هرجزمخلوط کننده که حجمی را دریک یارد مکعب (یا یک مترمکعب) کانکریت تسخیرمی کند درنظرگرفته میشود.

قدم های لازم دردیزاین مخلوط کانکریت عبارت اند از: معلوم کردن مقدارآب، نسبت آب و سمنت، مقدارسمنت، انتخاب دامنه سلمپ (نشست مخروطی) ، حجم ومقدارریگ وجغل است. تسسل این دریافت ها را به ترتیب ذیل ردیف بندی می کنیم.

1- دریافت مقدار آب:

کاهش قیمت کانکریت مستقیماً متناسب به مصرف مقدارکم سمنت است. ارزشمند ترین دارای کانکریت سخت شده، استحکام یا مقاومت آن است که مربوط می شود به تناسب آب و سمنت (W/C). تقلیل مقدار سمنت درمخلوط کانکریت به معنی تقلیل مقدار آب است، همچنان استفادهٔ جغل های دارای اندازهٔ بزرگ نیزدرتقلیل مقدارآب به منظورکارآیی مخلوط کمک می کند. درکانکریت های نارمل معمولی ترین سایزهای جغل دارای اندازه های اعظمی ¾ in (19 mm)، ½ in (13 mm) و 3/8 in (10 mm) می باشد. درجه بندی یا(gradation) سایزهای جغل وریگ نیز تاثیرعمدهٔ را درتقلیل نسبت آب و سمنت ایفا می نماید. به (gradation) یا درجه بندی جغل وریگ به صفحه 49 مراجعه نمائید.

قابل تذکراست که استفادهٔ جغل لشم دریایی مقدارمصرف آبرا درواحد حجم یک یاردمکعب (کانکریت بدون هوا) به اندازهٔ $30\ \frac{lb}{Yard^3}$ یا $25\ \frac{kg}{m^3}$ نسبت به جغل شکسته شده کاهش می دهد. این تقلیل برای کانکریت هوا دار بصورت تقریبی $25\frac{lb}{Yard^3}$ می باشد. درجه حرارت هوای محیط نیزدرمصرف مقدارآب تاثیردارد. نورمال ترین درجه حرارت 68° F (20° C) تا 77° F (25° C) است. بصورت تقریبی برای هردرجه حرارت بالا ترازاین حدود مقدار(0.78 lb (0.35 kg آب اضافی ضرورت است. درصورت استفادهٔ اضافه کنندهٔ تقلیل دهندهٔ آب باید مقدارآب به اندازهٔ 5% دیگرتقلیل داده شود. هرگاه اضافه کننده های تقلیل دهندهٔ آب دارای دامنه های بلند باشد مانند (High Range water reducer) ویا (superplasticizer)، تقلیل آب می تواند درحدود 15% تا 25% باشد که مربوط می گردد به نوع تقلیل دهنده های آب.

2- دریافت مقدار سمنت:

بعدازانکه مقدار آب برای واحد حجم (یک یارد مکعب یا یک مترمکعب) دریافت گردید، مقدار سمنت را به آسانی از نسبت آب و سمنت (W/C) دریافت کرده می توانیم. برای این منظوراول بایست مقداراعظمی نسبت آب و سمنت مجاز را بدانیم، واین مربوط می شود که کدام استحکام یا مقاومت کانکریت برای ساختمان ضرورت است. درصورت پریکست – پرسترسد کانکریت مقاومت کانکریت درزمان برداشتن عنصراز قالب ویا زمان رهایی قوه های پری سترسد نیز مطرح می باشد.

3- دریافت نسبت آب و سمنت:

ACI 211.1 و ACI 318حدودی را برای نسبت آب و سمنت با درنظرداشت موقیعت ساختمان درساحه و مقاومت کانکریت به اساس دیزاین درجدول 1-9 ارایه میدارد. این داده ها نتیجهٔ تحقیقات سال های متوالی این انستیتوت است. برای مطابقت این کُد دراقلیم های مختلف و شرایط خاص دیگرازجمله دسترسی به مواد مخلوط کنندهٔ های کانکریت ، قبل ازکانکریت ریزی، باید امتحان یا تست مخلوط آزمایشی کانکریت صورت گیرد ومتناسب به آن اگر ضرورت باشد تعدیل این داده ها انجام گردد.

جدول 1-9 حداکثرنسبت آب و سمنت و حداقل مقاومت کانکریت برای شرایط و حالات مختلف

حداقل مقاومت فشاری کانکریت مطابق دیزاین $f_c' =$ MPa (psi)	حد اکثرنسبت آب و سمنت به اساس وزن برای کانکریت	قرارگیری ساختمان درشرایط وحالات مختلف ساحوی
انتخاب مقاومت به اساس ضرورت های ساختمانی	انتخاب نسبت آب و سمنت به اساس مقاومت، کارآیی وضرورت تکمیل مناسب سطح خارجی(Finish Work)	حفاظت کانکریت از: شرایط یخ بندی و ذوب، استفاده مواد کیمیاوی ذوب کنندهٔ یخ، یا محیط متجاوز
28 (4000)	0.50	درنظرگرفتن کانکریت با نفوذ پذیری پائین آب زمانیکه درمجاورت آب قرار گیرد
31 (4500)	0.45	قرارگرفتن کانکریت درمحیط مرطوب با شرایط یخ بندی وذوب، یا استفاده اثر کننده های ضد یخبندی
35 (5000)	0.4	برای حافظت اززنگ خورده گی سیخ داخل کانکریت درمحیطی که کلورایدجهت جلوگیری یخ زدن استفاده شود، آب های شور، یا پاشیده شدن چنین مواد بالای کانکریت

برگرفته شده از ACI 318

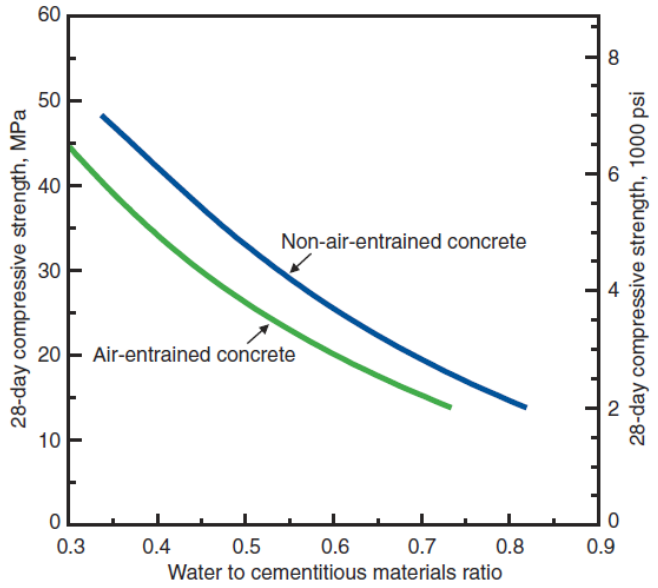
معلومات استفاده شده درحل مثال های 1 و2.

درذیل جدول 2-9 حد اکثر نسبت آب و سمنت وهمچنان تایپ سمنت را برای کانکریت های دارای مقاومت های مختلف که درمجاورت یا محیط سولفیتی قرار داشته باشند نشان می دهد.

جدول 2-9 مقتضیات برای کانکریت های که درمعرض سولفیت های آبی یا خاکی قرارداشته باشند

محیط سولفیتی	* فیصدی سولفیت (SO_4) حل پذیردرآب خاک به اساس وزن	*مقدارسولفیت (SO_4) درآب به ppm	**تایپ سمنت	حداکثرنسبت آب وسمنت به اساس وزن	حداقل مقاومت فشاری کانکریت مطابق دیزاین MPa f_c' (psi)
جزئی یا ناچیز	کمتر از 0.10	کمتر از 150	به تایپ مخصوص ظرورت نست	-	
متوسط	از0.10 تا 0.20	از150 تا 1500	تایپ II ، تایپ MS: ،IP(MS), IS(MS), P(MS) , (PM) (MS), I (SM) (MS)	0.50	28 (4000)
شدید	از0.20 تا 2.00	از 1500 تا 10000	تایپ V وتایپ HS	0.45	31 (4500)
خیلی شدید	بلند تراز 2.00	بلندتراز10000	تایپ V وتایپ HS	0.40	35 (5000)

*** مقدار سولفیت قابل حل درآب ، در خاک، وجامد مانند سنگ (ppm- parts per million – قسمت یا جز دریک ملیون)**
****سمنت تایپ II و V (ASTM C 150) و تایپ MS وHS (ASTM C 1157) .**



شکل 2-9 :رابطه تقریبی بین مقاومت کانکریت و نسبت آب و سمنت را با استفاده از اندازه جغل 3/4 تا 1 انچ (19 تا 25 ملی متر) نشان می دهد که از نتیجه ازمایش نمونه های استوانهٔ کانکریت نگهداری شده درشرایط مرطوب برای 28 روز مطابق ASTM C31 بدست آمده.
برگرفته شده از ACI 211.1 وACI 211.3

جدول 9-3A رابطه بین نسبت آب و سمنت ومقاومت کانکریت (به اساس وزن) درسیستم امپریال

مقاومت فشاری 28 روزه کانکرت f_c' (psi)	نسبت آب و سمنت (W/C) به اساس وزن	
	کانکریت عادی بدون هوا	کانکریت هوادار Air-Entrained
7000	0.33	-
6000	0.41	0.32
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

مقاومت حاصل شده ازآزمایش نمونه های استوانهٔ کانکریت که مدت 28 روز در شرایط مرطوب مطابق به ASTM C31 نگهداری شده. دراین نمونه ها اندازه حداکثر جغل ¾ تا 1 انچ بوده. برگرفته شده از ACI 211.1 و ACI 211.3

معلومات استفاده شده درحل مثال1.

جدول 9-3B رابطه بین نسبت آب و سمنت ومقاومت کانکریت (به اساس وزن) درسیستم متریک

مقاومت فشاری 28 روزه کانکریت f_c' (MPa)	نسبت آب و سمنت (W/C) به اساس وزن	
	کانکریت عادی بدون هوا	کانکریت هوادار Air-Entrained
45	0.38	0.30
40	0.42	0.34
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

مقاومت حاصل شده ازآزمایش نمونه های استوانهٔ کانکریت که 28 روز در شرایط مرطوب مطابق به ASTM C31 نگهداری شده. دراین نمونه ها اندازه حداکثر جغل 19 تا 25 ملی متربوده. برگرفته شده از ACI 211.1 و ACI 211.3

معلومات استفاده شده درحل مثال 2

نوت :
تصویر های بالا دریافت وزن حجمی و جاگیری حجم جعل را نشان می دهد.
وزن واحد حجم جغل ازمتراکم ساختن جغل خشک دریک ظرف دارای حجم معین ازمتود ضربات توسط میله آهنی مطابق دستور داده شدهٔ ASTM C29 دریافت می گردد.

جدول 4-9 : جاگیری حجم جغل در واحد حجم کانکریت

مدول ظرافت دانه های مختلف ریگ	2.40	2.60	2.80	3.00
اندازه اعظمی نامینال جغل به mm in	* جاگیری حجم جغل خشک متراکم شده توسط میله (Dry Rodded Coarse aggregate) درواحد حجم کانکریت برای مدول ضرافت های مختلف			
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	076
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*

جاگیری حجم جغل مطابق ASTM C29، بدست آمده ازمتود ظربات جغل خشک توسط میله آهنی. برگرفته شده از ACI 211.1

معلومات استفاده شده درحل مثال1

معلومات استفاده شده درحل مثال2

4- انتخاب نشست مخروطی یا سلمپ (Slamp):

انتخاب حدود سلمپ برای ما ممکن می سازد تا نسبت آب و سمنت را تخمین نمایم. جدول های ذیل مقدار تقریبی آب واضافه کنندهٔ هوا را برای کانکریت عادی وهوادار با درنظرداشت حدود سلمپ های مختلف و سایزهای مختلف جغل درهردو سیستم امپریال ومتریک نشان می دهد. همچنان گراف های 5-9 مقدار تقریبی آب را برای سلمپ ها وجغل های مختلف نشان می دهد.

جدول 9-5A ضرورت مقدارتقریبی آب و اضافه کنندهٔ Air-Entrained (ایجاد گرهوا) برای سلمپ های مختلف با درنظرداشت حداکثر اندازه های نامینال جغل برای سیستم امپریال

	اندازه های نامینال جغل							
	3/8 in	½ in	¾ in	1 in	1 ½ in	2 in**	3 in**	6 in**
سلمپ یا نشست مخروطی به in (انچ)	*وزن آب به پوند (lb) در یک یارد مکعب کانکریت							
	برای کانکریت عادی بدون هوا Non- Air Entrained							
از 1 تا 2 in	350	335	315	300	275	260	220	190
از 3 تا 4 in	385	365	340	325	300	285	245	210
از 6 تا 7 in	410	385	360	340	315	300	270	-
مقدارفیصدی تقریبی اضافه کننده هوا برای کانکریت های بدون هوا	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	برای کانکریت هوادار Air-Entrained							
از 1 تا 2 in	305	295	280	270	250	240	205	180
از 3 تا 4 in	340	325	305	295	275	265	225	200
از 6 تا 7 in	365	345	325	310	290	280	260	-
فیصدی توصیه شده مقداراوسط اضافه کننده هوا برای قرارگیری کانکریت درمحیط های مختلف								
خفیف	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
متوسط	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	3.5	3.5	3.0
شدید	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

***دراین جدول مقادیرداده شدهٔ آب برای محاسبات اجزای مخلوط آزمایشی کانکریت نشان داده شده است.ولی آنها رانیز میتوان به خوبی برای محاسبات مخلوط های اصلی که سنگدانه های آنها (جغل وریگ) درحدود قبولی مشخصات باشد نیزدرنظرگرفت.**

****تست سلمپ کانکریت های که داری جغل های بزرگتراز 2 انچ باشد بعد ازانکه دانه های بزرگتر از 2 انچ توسط صاف کاری آب ازآن خارج ساخته شود صورت می گیرد. برگرفته شده از ACI 318**

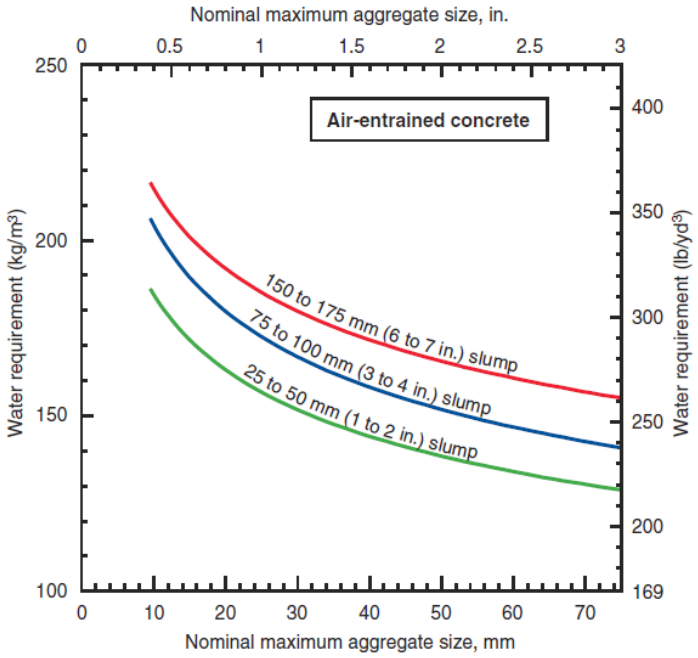
معلومات استفاده شده درحل مثال1.

جدول 9-5B ضرورت مقدارتقریبی آب و اضافه کننده Air-Entrained (ایجاد گرهوا) برای سلمپ های مختلف با درنظرداشت حداکثر اندازه های نامینال جغل برای سیستم متریک

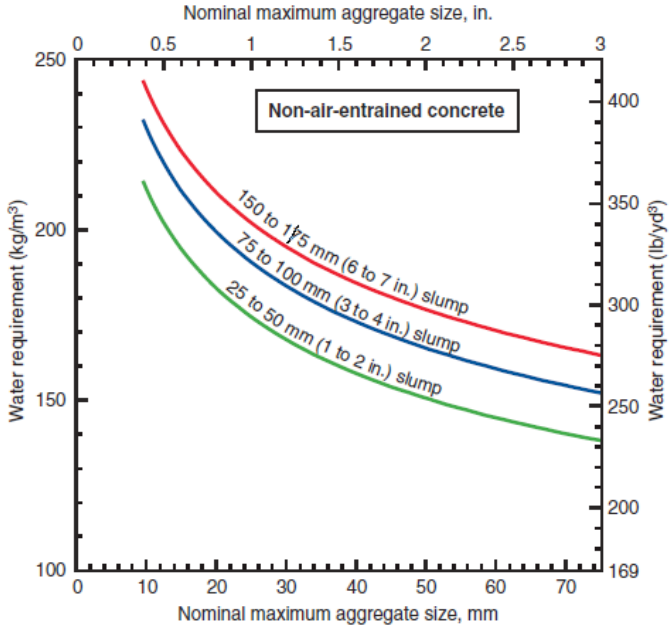
	اندازه های نامینال جغل							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50** mm	75** mm	150** mm
سلمپ یا نشست مخروطی به mm (ملی متر)	*وزن آب به کیلوگرام (kg) در یک مترمکعب کانکریت							
	برای کانکریت عادی بدون هوا Non-Air Entrained							
از 25 تا 50 mm	207	199	190	179	166	154	130	113
از 75 تا 100 mm	228	216	205	193	181	169	145	124
از 150 تا 175 mm	243	228	216	202	190	178	160	-
مقدارفیصدی تقریبی اضافه کننده هوا برای کانکریت های بدون هوا	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	برای کانکریت هوادار Air-Entrained							
از 25 تا 50 mm	181	175	168	160	150	142	122	107
از 75 تا 100 mm	202	193	184	175	165	157	133	119
از 150 تا 175 mm	216	205	197	184	174	166	154	-
فیصدی توصیه شده مقداراوسط اضافه کننده هوا برای قرارگیری کانکریت درمحیط های مختلف								
خفیف	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
متوسط	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	3.5	3.5	3.0
شدید	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

*** دراین جدول مقادیرآب داده شده برای محاسبات اجزای مخلوط آزمایشی کانکریت نشان داده شده است.ولی آنها رانیز میتوان به خوبی برای محاسبات مخلوط های اصلی که سنگدانه های آنها (جغل وریگ) درحدود قبولی مشخصات باشد نیزدرنظرگرفت.**
****تست سلمپ کانکریت های که داری جغل های بزرگتراز 37.5 ملی متر باشد، بعد ازانکه دانه های بزرگتراز 37.5 ملی متر توسط صاف کاری آب ازآن خارج ساخته شود صورت می گیرد. برگرفته شده از ACI 318**

معلومات استفاده شده درحل مثال 2



شکل 5-9 ضرورت مقدار تقریبی آب برای سلمپ های مختلف با درنظرداشت سایزهای مختلف جغل برای کانکریت های هوا دار، برگرفته شده از ACI 211.1



شکل 5-9 ضرورت مقدار تقریبی آب برای سلمپ های مختلف با درنظرداشت سایزهای مختلف جغل برای کانکریت های بدون هوا، برگرفته شده از ACI 211.1

جدول 6-9 توصیه سلمپ های مختلف برای عناصرمختلف ساختمانی

ساختمان کانکریتی	سلمپ (نشست مخروطی) به ملی متریا انچ - mm (in)	
	حد اکثر	*حداقل
تهداب ها و دیوارهای زیرزمینی آهن کانکریتی	75 (3)	25 (1)
پایه ها ؛ عناصرجعبهٔ یا صندوق مانند و زیرساخت دیوارها	75 (3)	25 (1)
بیم ها و دیوارها ی آهن کانکریتی	100 (4)	25 (1)
پایه های ساختمان ها	100 (4)	25 (1)
فرش یا سلب ها	75 (3)	25 (1)
کانکریت های حجیم یا بزرگ	75 (3)	25 (1)

***اگرمتراکم ساختن توسط دست یا میله های آهنی صورت گیرد سلمپ میتواند به اندازهٔ (1 in) 25 mm تزئید گردد. همچنان استفاده (Plasticizer) یا مواد سیالیت دهنده می تواند اندازه سلمپ را نیز بلند ببرد. بر گرفته شده از ACI 211.1**

جدول 7-9 حداقل نیازسمنت برای کانکریت های سطوح همواربا سایزهای مختلف جغل

سایزنامینال حد اکثرجغل mm (in)	مقدار سمنت Kg/m^3 (lb/yd^3)*
37.5 (1/2)	280 (470)
25 (1)	310 (520)
19 (3/4)	320 (540)
12.5 (1/2)	350 (590)
9.5 (3/8)	360 (610)

***کانکریت های که درمجاورت یا محیط متجاوزقرارداشته باشند مقدار سمنت میتواند تزید گردد، بطورمثال برای محیطی که ذوب کننده های یخ روی انها استفاده می شود مقدارحداقل بائیست 335 Kg/m^3 (564 lb/yd^3) باشد. برگرفته شده از ACI 302**

معلومات استفاده شده درحل مثال1

معلومات استفاده شده درحل مثال2

جدول 8-9 مقدارضروری مواد مکمل (اضافه کنندهٔ منرالی) سمنت برای عناصری که درمعرض مواد کیمیاوی ذوب کننده آب قراردارند

*نوعیت مواد مکمل سمنت یا اضافه کننده منرالی	**حد اکثرفیصدی مواد مکمل چسپاننده سمنتی به اساس وزن
فلای اش وپوزولان طبیعی Fly ash and natural pozzolans	25
Slag سلگ	50
Silica fume سیلیکا فیوم	10
مجموع فالای اش ، سلگ ، سیلیکا فیوم و پوزولان طبیعی Total of fly ash, slag, silica fume and natural pozzolans	50***
مجموع پوزولان طبیعی و سیلیکا فیوم Total of natural pozzolans and silica fume	50***

*

مقداراضافی موادسمنتی که درترکیب پودربحیث مکمل سمنت شامل می باشند

**** مجموع مواد چسپانندهٔ سمنتی شامل سمنت ، فلای اش، سلگ، سیلیکا فیوم، و پوزولان است**

***سیلیکا فیوم نباید اضافه تر از 10%، وفلای اش و پوزولان نباید بالاتراز 25% مجموع مواد سمنتی باشد. برگرفته از ACI 318**

جدول 9-9 فیصدی حداکثر ایون کلوراید برای حافظت اززنگ خورده گی

نوعیت عنصریا ساختمان	فیصدی حداکثرایون کلوراید حل شده درآب کانکریت نظربه وزن سمنت
پری سترسد کانکریت	0.06
آهن کانکریت در مجاورت یا محیط فعال کلوراید	0.15
آهن کانکریت خشک شده یا حفاظت شده ازرطوبت فعال محیطی	1.00
عناصردیگرآهن کانکریتی	0.30

بر گرفته شده از ASTM C 1218 و ACI 318

حالا به حل دومثال می پردازیم؛ مثال اول سیستم امپریال(US customary) ومثال دوم سیستم متریک.

مثال1

دیزاین مخلوط کانکریت به اساس حجم مطلق (سیستم امپریال)

مشخصات داده شده:

کانکریتی ضرورت است که برای تهداب یک ساختمان استفاده شود. مقاومت 28 روزۀ آن طبق دیزاین 4,700 psi، قشری محافظوی سیخ ها درتهداب ازسطح زمین 3in و فاصله بین سیخ ها ازهمدیگر4in داده شده است. تنها یک اضافه کنندۀ (Air Entrainment) برای این کانکریت داده شده وهیچ نوع معلومات قبلی در مورد دارایی های چنین مخلوط وجود ندارد. مواد ترکیبی آن به ترتیب ذیل مشخص شده است:

1- **سمنت** تایپ I ، ASTM C-150 با کثافت نسبی (Relative density) 3.15.
2- **جغل** : جغل دریایی درجه خوب با اندازۀ اعظمی 3/4 in همرا با یک مقدارجغل شکسته شده که مطابقت با مشخصات (ASTM C33) می کند. کثافت نسبی خشک شدۀ آن 2.68 ، جذب پذیری رطوبت آن درشرایط SSD (Saturated Surface Dry) 0.5%، و وزن واحد خشک متراکم شده آن توسط میله آهنی $100\ \frac{lb}{ft^3}$ داده شده. نتیجه لابراتواری از نمونه گیری این جغل که برای آزمایش گرفته شده مقداررطوب آنرا 2% نشان داده است.

نوت:

A. ازفزیک مایعات، کثافت نسبی (Relative density): نسبت کثافت (کتله واحد حجم) یک ماده وکثافت آب تحت حرارت 4 درجه سانتی گرید است ودارای واحد نمی باشد. درحقیقت نشان دهنده آنست که یک ماده چند برابرسنگین تراز آب است.

B. سطح خشک اشباه شده (SSD-Saturated Surface Dry) حالت یک سنگ دانه (جغل وریگ) است که سطوح آن ها خشک باشد قسمیکه جذب دراین سطوح صورت نگیرد (حالت بی طرف باشد)، ودرعین حال منفذ های داخلی آنها میتواند مشبوع از آب باشد. درحقیقت دراین حالت سنگ دانه نمی تواند مطلق عاری از آب باشد.
هرجسم سنگی وگلی قابلیت جذب رطوبت هوای اتموسفیریک را دارد که این قابلیت درجغل تقریباً 0.5% ودرریگ 0.7% است. امادرعین حال یک مقدارآب میتواند درمنفذها ودرزهای باریک آنها وجود داشته باشد. رطوبت یا (مقدارآب سطحی) ریگ و جغل میتواند توسط حرارت خشک شود که این حالت بنام SSD یاد میشود. اکثراً آزمایش نمونه های جغل یا ریگ برای تثبیت رطوبت یا درلابراتوارو یا درساحه صورت می گیرد.

3- **ریگ**: ریگ طبیعی دارای مشخصات (ASTM C33). که کثافت نسبی خشک شده آن 2.64، قابلیت جذب پذیری رطوبت آن 0.7% و مودول ظرافت 2.80 است. نتیجه لابراتواری از نمونه گیری این جغل که برای آزمایش گرفته شده است مقداررطوبت آنرا 6% تثبیت نموده است.

4- **اضافه کنندۀ ایجاد گرهوا-Air entraining admixture**: مطابق ASTM C260 باشد.

مخلوط کانکریتی دیزاین شود که قابلیت استفاده با شرایط و خواسته های فوق را برآورده بتواند.

حل مثال راطی مراحل ذیل انجام می دهیم :

دریافت نسبت آب وسمنت (Water Cement Ratio), $\frac{w}{c}$:

با درنظر داشت موقعیت عنصرساختمانی (دراین مثال تهداب)، به جدول 1-9 مراجعه نموده و نسبت آب وسمنت را مشخص می سازیم . دراین جدول برای کانکریت دارای مقاومت 4,500 psi حد اکثرنسبت آب وسمنت 0.45 داده شده است درحالیکه درجدول 3A-9 برای مقاومت های 5,000 psi و 4,000 psi حداکثر نسبت آب وسمنت به ترتیب 0.4 و 0.48 مشخص شده است. با استفاده ازاین معلومات میتوانیم نسبت آب و سمنت را برای کانکریت دارای مقاومت 4,700 psi بترتب ذیل دریافت نمائیم:

$$\frac{\mathcal{W}}{\mathcal{C}} = \frac{(5000 - 4700)\ (0.48 - 0.40)}{(5000 - 4000)} + 0.40 = 0.42$$

تثبیت اندازه اعظمی سایز جغل : فاصله سیخ بندی درکانکریت 4 in وقشرمحافظوی سیخ ها 3 in داده شده است پس اندازهٔ اعظمی جغل ¾ in (انچ) مناسب است .

انتخاب مقدار اضافه کنندهٔ ایجاد گرهوا (Air-Entrained) :ازجدول 5A-9 مقدارفیصدی این ماده را 6% انتخاب می کنیم . این گزینه نه تنها جهت شرایط محیطی تهداب بلکه به منظور کارآیایی یا سهولت کارکرد با کانکریت نیزمنا سب می باشد. با درنظرداشت حد قبولی اشتباه مقدارآنرا 1%± 6% درنظرمی گیریم. بدین اساس حداکثرمقدارآن 7% و حد اقل آن باید 5% باشد. خاطرنشان باید ساخت که برای نمونهٔ آزمایشی مخلوط کانکریت حد قبولی اشتباه یا تفاوت مقدارنباید از 0.5% ± تجاوزکند.

انتخاب سلمپ: چون درمشخصات اندازهٔ سلمپ داده نشده، پس میتوان آنرا بین 1 in تا 3 in کافی دانسته و از جدول 6-9 اندازه اعظمی 3 انچ را انتخاب نمائیم.

(سلمپ) Slamp = 3 in

دریافت مقدارآب: درشکل وجدول 5A-9 برای مخلوط کانکریت هواداربا سلمپ 3 انچ واستفاده جغل سایز ¾ انچ مقدار305 پوند آب برای یک یارد مکعب کانکریت مشخص شده است. چنانچه دربحث عمومی تعیین مقدارآب تذکرداده شد، هرگاه جغل دریایی مورداستفاده قرارگیرد مقدارآب به اندازهٔ تقریبی 30 پوند کاهش می یابد. همچنان نسبت موجودیت یک مقدارجغل شکسته شده مقدارآب باید 5 پوند دیگرنیزتقلیل داده شود که مجموعاً بصورت تقریبی 35 پوندمی شود. بنا برآن مقدارتخمینی آب:

(آب) $\mathcal{W}w$ = 305 – 35 = 270 lb (پوند)

دریافت مقدار سمنت: بعد ازدریافت مقدارآب میتوان با استفاده ازنسبت آب وسمنت مقدارسمنت را دریافت نمود. قبلا نسبت آب و سمنت 0.42 دریافت گردیده بود، پس:

$$\frac{\mathcal{W}}{\mathcal{C}} = 0.42, \qquad (\text{سمنت})\ \mathcal{W}c = 270/0.42 = 643\ lb$$

دریافت مقدارجغل (Coarse Aggregate-سنگدانه های درشت یا ضخیم) : مقدارجغل اندازۀ ¾ انچ را میتواند با استفاده ازجدول 4-9 استخراج نمود. مقدارجاگیری توصیه شدۀ حجم جغل درصورت استفاده ریگ با ظرافت مدول 2.8 ، 0.62 است. وزن جغل دریک فت مکعب 100 پوند داده شده بود. بنا برآن وزن جغل را دریک یارد مکعب کانکریت ($1yard^3 = 27\ ft^3$) میتوان چنین دریافت نمود:

(وزن جغل خشک) $\mathcal{W}g$ = 100 x 27 x 0.62 = 1674 lb

دریافت مقداراضافه کنندۀ ایجاد گرهوا:
موسسۀ تولیدی مواد اضافه کنندۀ Air-Entrained برای ایجاد 7% هوا درکانکریت مقدار 0.9 floz را برای هر100 پوند سمنت توصیه نموده است. مقدار سمنت قبلاً دریافت شده بود بنا برآن :

(اضافه کنندۀ هوا) $\mathcal{W}a$ = 0.9 x 643/100 = 5.8 fl oz.

دریافت مقدارریگ (Fine Aggregate-سنگدانه های ظریف): تا این مرحله مقادیرتمام اجزای مخلوط کانکریت به استثنای مقدارریگ معلوم گردیده است.
درمتود یا طریقۀ حجم مطلق، حجم ریگ ازحاصل تفریق مجموع حجم های مطلق معلوم مخلوط کننده های دیگروحجم یک یارد مکعب ($1yard^3 = 27\ ft^3$) دریافت می گردد.
<u>حجم مطلق</u> آب ، سمنت ، جغل واضافه کنندۀ هوا ازحاصل تقسیم وزن های معلوم آنها بروزن مخصوص آب که 64.2 پوند دریک فت مکعب است دریافت می گردند ، به ترتیب ذیل:

$$(\text{آب})Water = \frac{270}{1\ x62.4} = 4.33\ ft^3$$

$$(\text{سمنت})Cement = \frac{643}{3.15\ x62.4} = 3.27\ ft^3$$

$$(\text{هوا})\text{Air} = \frac{7}{100}\ x\ 27 = 1.98\ ft^3$$

$$(\text{جغل})Coars\ Aggregate = \frac{1674}{2.68\ x62.4} = 10.01\ ft^3$$

<u>حجم مطلق تمام مواد معلوم = 19.50 ft^3</u>

مقدار **حجم مطلق ریگ** را چنین دریافت می کنیم:

(حجمی مطلق ریگ) Vs = 27 – 19.50 = 7.50 ft^3
پس وزن ریگ خشک :
(وزن ریگ) $\mathcal{W}$s = 7.50 x 2.64 x 62.4 = 1236 lb

نوت : قابل تذکر است که هرگاه اضافه کننده های دیگردرمخلوط ضرورت باشد، خیلی مهم است که حجم آنها درمحاسبات نشان داده شود. آنطوریکه قبلاً تذکرداده شد اینها ازقبیل اضافه کننده های کاهش دهنده انقباض کانکریت ، سیالیت دهنده ها (Plastisizers - پلاستی سایزرها) ، کاهش دهنده های آب و یا بازدارنده های زنگ خورده گی می باشند که مقدارآنها معمولا به اندازه های قابل ملاحظه می باشد.

ازمحاسبات فوق مقادیراجزای مخلوط کانکریت را برای آزمایش قرار ذیل بدست آوردیم:

(Water) آب :	270 lb
(Cement) سمنت :	643 lb
(Coarse Aggregate) جغل خشک:	1674 lb
(Fine Aggregate) ریگ خشک:	1236 lb
(Total Weight) وزن مجموعی:	**3823 lb**
اضافه کنندهٔ هوا:	5.8 fl oz. دریافت شده بود.
سلمپ برای مخلوط آزمایشی باید :	3 in (± ¾ in) باشد.
فیصدی هوا برای مخلوط آزمایشی باید:	7% (± 0.5) باشد.

حالا **وزن حجمی کانکریت** را برای یک واحد حجم که عبارت از یک فت مکعب است باید تخمین کرد. البته با استفاده ازشرایط SSD سنگدانه ها:

$$V = \frac{270 + 643 + (1674\ x\ 1.005) + (1236\ x\ 1.007)}{27} = 142.22 \quad \frac{lb}{ft^3}.$$

درمحاسبه بالا اعداد قرمزفیصدی جذب پذیری رطوبت جغل وریگ است که قبلا داده شده بود وقیمت های آنها 0.5% برای جغل و0.7% برای ریگ مشخص شده.

ارزیابی رطوبت : برای جبران مقداررطوبت جغل وریگ باید تصحیحی صورت گیرد. قبلاً مشخص شده بود که جغل وریگ هردوعملاً یک مقدارقابل ملاحظهٔ رطوبت را دارا بوده ؛ یا قابلیت جذب آنرا دارند، و یا درسطوح و بین دانه های آنها موجود می باشد. فلهذا اوزآن جغل وریگی که درمحاسبات درحالت خشک درنظرگرفته می شوند، باید برای جبران چنین رطوبت ها تصحیح گردند، ومقدارآبی که برای مخلوط کانکریت ضرورت می شود باید سازگاربا این شرایط شده ومتناسباً تقلیل یابد.

طوریکه قبلاً تذکررفت، آزمایش های لابراتواری نمونه های جغل وریگ مورد استفاده، نشان داده که جغل دارای 2% و ریگ دارای 6% رطوبت می باشند، بنابرآن اوزآن ریگ و جغل خشک باید به ترتیب ذیل تصحیح (تزئید) گردد:

وزن جغل مرطوب:	1674 x 1.02 = 1707 lb
وزن ریگ مرطوب:	1236 x 1.06 = 1310 lb

مقدارآب (رطوبتی) که درجغل وریگ موجود می باشد، نمیتواند شامل مقدارآبی شود که برای مخلوط کانکریت ضرورت است. بدین اساس وزن آب که قبلاً 270 پوند دریافت شده بود باید هم تعدیل گردد.

برای این تعدیل، نخست باید سهم گیری رطوبت درجغل وریگ به ترتیب ذیل تصحیح گردد.

سهم گیری رطوبت درجغل : 2% - 0.5% = 1.5%
سهم گیری رطوبت درریگ : 6% - 0.7% = 5.3%

پس مقدارآب ضروری برای این مخلوط باید چنین دریافت گردد:

$$\mathcal{W}w = 270 - (1674 \times 0.015) - (1236 \times 0.053) = 179 \text{ lb}$$

با درنظر داشت تصحیح فوق مرکبات مخلوط یک یارد مکعب کانکریت قرار ذیل خواهد بود:

آب (بعد ازتقلیل رطوبت جغل و ریگ):	179 lb
سمنت:	643 lb
جغل (به شمول 2% رطوبت):	1707 lb
ریگ (به شمول 6% رطوبت):	1310 lb
وزن مجموعی:	**3839 lb**
مخلوط اضافه کنندهٔ هوا:	5.8 fl oz.

حالا که ترکیب مخلوط کانکریت را بدست آوردیم باید تجربهٔ عملی (آزمایش) این مخلوط صورت گیرد تا ثابت گردد که انتخاب مقادیراجزای آن صحت دارد.

مخلوط آزمایشی: معمولاً قبل ازتولید کانکریت برای پروژهٔ موردنظر، آزمایشی به مقیاس کمتراز یک یارد مکعب صورت می گیرد. دراین آزمایش اولترازهمه باید وزن مخصوص مخلوط دریافت گردد.
متذکرباید شد که مخلوط آزمایشی کانکریت را باید به مقداری تولید کرد که برای تمام آزمایش ها به شمول تست هوا، سلمپ ، نمونه گیری مکعب ها یا سلندرها جهت آزمایش مقاومت کانکریت برای 28 روزکافی باشد.
بطورمثال می خواهیم که $2\ ft^3$ (2 فت مکعب) کانکریت تولید کنیم، بنابرآن تمام اجزای کانکریت را ازحاصل ظریب $\frac{2}{27}$ بدست می آوریم:

آب:	$179 \times \frac{2}{27} =$	13.26 lb
سمنت:	$643 \times \frac{2}{27} =$	47.63 lb
جغل:	$1707 \times \frac{2}{27} =$	126.44 lb
ریگ:	$1310 \times \frac{2}{27} =$	97.04 lb
وزن مجموعی:		**284.37 lb**
مخلوط کنندهٔ ایجاد گرهوا:	$5.8 \times \frac{2}{27} =$	0.43 fl oz.

در لابراتوارها بعضا بجای اونز(oz)، ملی لیتر(ml) استفاده می شود دراینصورت ضریب 29.57353 استفاده می گردد.

فرض می کنیم که از تست لابراتواری مخلوط آزمایشی کانکریت، نتایج ذیل به دست آمده : سلمپ 4 in (انچ) ، هوا 8%، و وزن حجمی کانکریت $141.49\ \frac{lb}{ft^3}$. قابل تذکراست که امکان دارد درجریان تهیه مخلوط آزمایشی، شاید یک مقدارآب اندازه شده درظرف باقی بماند ویا یک مقدارآب اضافی برای بدست آوردن سلمپ مورد نظراستفاده گردد. فرض می کنیم که دراین مثال درحالیکه مقدارضروری آب 13.26 پوند محاسبه گردیده بود اما برای تست مقدار13.12 پوندآب استفاده شده. بنابرآن تصحیح ذیل را باید تنها برای آب انجام دهم:

وزن آب - Ww:	13.12	lb
وزن سمنت - Wc:	47.63	lb
وزن جغل (شامل 2% رطوبت) - Wg :	126.44	lb
وزن ریگ (شامل 6% رطوبت) - Ws:	97.04	lb
وزن مجموعی - Wt :	**284.23**	**lb**

این حجم حاصله بنام (yield) یا بازده مخلوط کانکریت یاد می شود که به اساس آن ارزیابی های ذیل را میتوان انجام داد:

حجم نمونه آزمایشی را میتوان به دقت محاسبه نمود:

$$Vs = 284.23/141.49 = 2.009\ ft^3$$

بعد با دقت میتوان وزن رطوبت (آب) جغل وریگ را به ترتیب ذیل دریافت نمود:

وزن آب در جغل: $\frac{126.44}{1.02\ \%}\ x\ 0.015 = 1.86\ lb$

وزن آب در ریگ: $\frac{97.04}{1.06\%}\ x\ 0.053 = 4.85\ lb$

میدانیم که وزن آب مخلوط آزمایشی lb 13.12 پوند بود بنا برآن :

مقدارمجموعی آب : $\mathcal{W}w = 1.86 + 4.85 + 13.12 = 19.83\ lb$

خواهد بود. حالا این تصحیح را برای تهیه مخلوط کانکریت با توجه به سلمپ حاصله که (4 in) بود برای یک یارد مکعب انجام می دهیم، پس مقدارآب چنین است:

$$\mathcal{W}w = \frac{19.83\ x\ 27}{2.009} = 267\ lb$$

نتایج بدست آمده ازآزمایش مخلوط: سلمپ(4 in)، با درنظرداشت حد قبولی (3 ± ¾ in) وفیصدی اضافه کنندهٔ هوا با قمیت اعظمی 8% با درنظرداشت حد قبولی (0.5 ± 7%) قابل قبول نیست. پس باید تصحیح مجدد را انجام داد وبه اساس آن تعدیل دوبارهٔ مقادیراجزا صورت گیرد. برای پائین آوردن هریک فیصدی اضافه کنندهٔ هوا باید مقدار5 پوند آب اضافه گردد، درحالیکه برای تقلیل هرانچ سلمپ باید مقدار 10 پوند آب کاهش یابد. بنابرآن تعدیل مقدار آب چنین است:

$$\mathcal{W}w = 267 + (5 \text{ x}1) - (10 \text{ x}1) = 262 \quad \frac{lb}{Yard^3}$$

با کاهش مقدارآب، مقدارسمنت نیزمتناسباً باید تقلیل یابد. پس با استفاده ازنسبت آب وسمنت که قبلاً 0.42 دریافت شده بود مقدارسمنت را دریافت می کنیم:

$$\mathcal{W}c = \frac{262}{0.42} = 624 \ \frac{lb}{Yard^3}$$

مقدارجغل غیرقابل تغییرباقی می ماند زیرا کارآیی کانکریت قناعت بخش بوده. تغییروزن مخلوط کانکریت تنها به اساس مقادیرتعدیل شدهٔ سمنت وآب صورت میگیرد. بدین اساس **حجم تعدیل شدهٔ اجزای مخلوط کننده قرار ذیل خواهد بود:**

آب : $\mathcal{W}w = \frac{262}{1 \ x \ 62.4} = 4.20 \ ft^3$

سمنت : $\mathcal{W}c = \frac{624}{3.15 \ x \ 62.4} = 3.17 \ ft^3$

جغل : $\mathcal{W}g = \frac{1674}{2.68 \ x \ 62.4} = 10.01 \ ft^3$

اضافه کنندهٔ هوا : $\mathcal{W}a = \frac{7}{100} \ x \ 27 = 1.89 \ ft^3$

مجموع : $\boldsymbol{\mathcal{W}t = 19.27 \ ft^3}$

حجم ریگ: $\boldsymbol{Vs} = 27 - 19.27 = 7.73 \ ft^3$

ازمحاسبات فوق دریافت می شود که برای بدست آوردن اندازهٔ سلمپ ومقداراضافه کنندهٔ هوا درحد قبولی علاوه ازمقدارآب وسمنت مقدارریگ نیزباید تعدیل شود. بنا برآن **وزن تعدیل شده ریگ خشک** مساوی می شود به:

$$7.73 \ x \ 2.64 \ x \ 62.4 = 1273 \ lb$$

با کاهش اضافه کنندهٔ هوا از 0.9 oz به 0.8 oz برای هر 100 پوند سمنت انتظار می رود که مقدار 7% هوا دراین مخلوط به وجود آورده شود. پس:

$$0.8 \ x \ 624 / 100 = 5.0 \ fl \ oz.$$

درنتیجه این تغییرات، آوزآن تعدیل شدۀ مخلوط برای یک یارد مکعب کانکریت مساوی می شود به :

آب:	262 lb
سمنت :	624 lb
جغل (خشک):	1674 lb
ریگ (خشک):	1273 lb
وزن مجموعی:	**3833 lb**
اضافه کنندۀ ایجادگرهوا:	5.0 fl oz.

با درنظر داشت تعدیلات فوق وزن مخصوص فی واحد مخلوط کانکریت به اساس SSD قرارذیل خواهد بود:

$$V = \frac{[262 + 624 + (1674\ x\ 1.005) + (127s\ \ x\ 1.007)]}{27} \quad = \quad 142.60\ \frac{lb}{ft^3}$$

و به این ترتیب مقداربدست آمدۀ اجزای مخلوط کانکریت بعدازآزمایشات عملی واجرای تست ها و تصحیحات مربوطۀ آن مشخص می سازد که سلمپ یا نشست مخروطی وفیصدی هوا درحد قبولی بوده و مقاومت حاصلۀ کانکریت 4900 psi به خوبی بالا ترازمقاومت خواسته شده 4700 psi است، همچنان وزن حجمی آن $142.60\ \frac{lb}{ft^3}$مطابقت به وزن حجمی موردنظرمی کند، بنابرآن این مخلوط قابل قبول برای استفاده درساختمان می باشد.

نوت : خاطرنشان باید ساخت که دیزاین مخلوط کانکریت درشرایط SSD داده میشود که بایست قبل ازکانکریت ریزی مقداررطوبت اصلی ریگ وجغل تثبیت گردیده وبه اساس آن مقادیرآب وریگ برای مخلوط اصلی قابل استفاده درساختمان تعدیل شود. درفابریکه های تولید مخلوط کانکریت آماده شده؛ میترهای ثبت رطوبت درداخل مخلوط کننده ها تعبیه میگردند وسیستم کمپیوترمقادیرموادرا اتوماتیک تعدیل می کند.

میتراندازه گیری رطوبت ریگ وجغل درساحه

معمولاً نتایج حاصله ازمحاسبات دیزاین مخلوط کانکریت دریک جدول یا ورق خلاصه شده و به حیث سند قانونی پروژه، مورد اجرا و نگهداری قرار داده می شود. ورق آتی یک نمونهٔ ازاین نوع سند میباشد که نمبر 101 برای این مخلوط کانکریت داده شده است.

CONCRETE MIX DESIGN - دیزاین مخلوط کانکریت

PROJECT NAME - نام پروژه _____ MIX NUMBER - نمبر مخلوط : 101

بخش ساختمان _____ DATE - تاریخ : _____

یاداشت :

14 DAY STRENGTH مقاومت 7 روزه	3050	psi	W/C نسبت آب و سمنت (MAX)	0.42	(by wt)
28 DAY STRENGTH مقاومت 28 روزه	4700	psi	TOTAL CEM. مجموع مواد سمنتی	624	lbs
SLUMP LIMITS حد سلمپ	3±1	inches	CEMENT TYPE - تایپ یا مارک سمنت	Type I	
ENTRAINED AIR اضافه کننده هوا	6±1	%	ضرورت های مخصوص		

ONE CUBIC YARD QUANTITIES یک یارد مکعب

MATERIAL - مواد	وزن SSD (lbs)	حجم مطلق (ft^3)
CEMENT - سمنت	624	3.17
FLY ASH - فلای اش		
SILICA FUME - سیلیکا فیوم		
FINE AGGREGATE - ریگ	1273	7.73
COARSE AGGREGATE - جغل [x] 3/4 inch [ ]	1674	10.01
TOTAL WATER - مقدار مجموعی اب	262	4.20
ENTRAPPED AIR - اضافه کننده هوا 7.0 %		1.89
TOTAL	3833	27.0

ADMIXTURES - اضافه کننده ها		DOSAGE-مقدار (fl oz/100 wt)	DOSAGE - مقدار ($fl\ oz/yd^3$)
تقلیل دهنده آب	(WATER REDUCER)		
سوپر پلاستیسایزر	(SUPERPLASTICIZER)		
سوپر پلاستیسایزر	(SUPERPLASTICIZER)		
اضافه کننده هوا	(AIR ENTRAINMENT)	0.8	5.0 fl. Oz
مواد دیگر	(OTHER)		
باز دارنده زنگ	(CORROSION INHIBITOR)		

آزمایش های لازم مخلوط تازهٔ کانکریت

آزمایش	استندرد آزمایش	نام آزمایش	تناوب اجرای آزمایش
آزمایش دارایي های مخلوط کانکریت تازهٔ که باید درساحه صورت گیرد	ASTM C 143	سلمپ	*یک ست آزمایش برای دوتولید اولی مخلوط (First 2 batches) انجام شود. هرگاه نتایج مطابقت به مشخصات نمود؛ بعد، برای50 یاردمکعب یا (38) مترمکعب اولی یک آزمایش انجام داده شود ومتعاقب آن برای هر100 یاردمکعب یا (76) مترمکعب آزمایش ها تکرارگردند. گزینهٔ عوضی فوق، اجرای متواتر آزمایش ها برای هرساعت کانکریت ریزی می باشد. هرگاه نتایج مطابقت به مشخصات نکند؛ آزمایش ها باید برای هردوتولید مخلوط تا زمانی انجام گیرد که مطابقت با مشخصات نماید. بعدازآن اجرای آزمایش ها چنانچه درفوق تذکررفت صورت گیرد.
	ASTM C 231	مقدارهوای مخلوط تازه توسط متود فشاری یا گرفیمتریک (Gravimetric)	
	ASTM C 1064	حرارت مخلوط تازه	
	ASTM C 138	وزن مخصوص مخلوط بازده (Yield) ومقدارهوا	

*یک ست آزمایش عبارت ازاجرای تست های سلمپ، مقدارهوا درکانکریت، حرارت و دریافت وزن مخصوص است.

آزمایش مقاومت نمونه های کانکریت

آزمایش	ستندردآزمایش	نام آزمایش	تناوب اجرای آزمایش
مقاومت فشاری نمونه های استوانهٔ	ASTM C31 ASTM C39	آزمایش نمونهٔ گرفته شده ونگهداری شده در عین شرایط ساحه ساختمانی . مقاومت فشاری نمونهٔ استوانهٔ کانکریت	1 - آزمایش مقاومت فشاری ست (5) نمونهٔ ساخته شدهٔ استوانهٔ سایز (6in x12in) (152mm x 305mm) برای هرروز کانکریت ریزی 50 یارد اولی (38مترمکعب) یا کمترازآن و بعد برای هر100 یارد(76 مترمکعب) کانکریت ریزی بعدی. 2 – آزمایش نمونه های که با درنظر داشت شرایط تغییرحرارت (سردی یا گرما) تهیه گردیده ودر عین شرایط ساحه برای حداقل 7 روزنگهداری شده وبعد درلابراتورجهت آزمایش نهائی نگهداری گردیده است. نوت : آزمایش یک ست 5 نمونهٔ استوانهٔ به قرار ذیل صورت گیرد: 2 استوانه برای 7 روز، 2 استوانه برای مقاومت خواسته شدهٔ دیزاین، ویک استوانهٔ اضافی برای شرایطی که مقاومت دیزاین ازآزمایش 2 استوانه نهائی بدست آمده نتواند.
نمونهٔ برمه شده	ASTM C42	آزمایش نمونهٔ برمه شده ازعنصریا قسمت مورد سوال ساختمان	زمانیکه استوانه های ساخته شده نتواند مقاومت حد اقل موردن نظر دیزاین را برآورده سازد. نمونه گیری از ساختمان مطابق ASTM C42، توسط برمه کاری صورت گرفته و آزمایش انجام گیرد. البته محل نمونه گیری باید ترمیم گردد.

کشورهای مختلف، استندردهای مخصوص خودرا برای نمونه گیری کانکریت منجمله سایزنمونه ها ، آزمایش وتعداد آن ها دارند.

درفوق توصیهٔ ASTM حد اقل را نشان می دهد. انجنیر دیزاینرمیتواند بنا به مسولیت دیزاین، تعداد نمونه ها وزمان آزمایش آنها را مشخص سازد، اما آنچه مطابق انترنیشنل کُد مورد تائید همگانی است که حد اوسط آزمایش مقاومت کانکریت تنها از دو نمونه گرفته می شود(درحالیکه میتوان چندین نمونه را مورد آزمایش مقاومت قرارداد).

مثال 2
دیزاین مخلوط کانکریت به اساس حجم مطلق (سیستم متریک)

مشخصات داده شده:

برای یک جاده یا شاهراه که دریک محیط خیلی مرطوب با تناوب (سایکل های) یخبندی وذوب شدید قراردارد، کانکریتی ضرورت است که مقاومت 28 روزهٔ آن مطابق دیزاین 43.5 MPa باشد. همچنان برای این کانکریت استفادهٔ اضافه کنندهٔ هوا (air entrainment)، سلمپ بین 25mm تا 75 mm واندازه اعظمی جغل 25mm نیزتوصیه گردیده است.هیچ نوع معلومات قبلی درمورد دارایی های چنین مخلوط وجود ندارد. علاوتاً اجزای دیگرمخلوط کانکریت به ترتیب ذیل مشخص شده است:

سمنت تایپGU ستندرد کانادا (CSA A3001) یا تایپ I ، ستندرد امریکا ASTM C-150 دارای کثافت نسبی 3.0.

جغل : جغل دریایی، درجهٔ خوب با اندازهٔ اعظمی 25 mm که با مشخصات (ASTM C33) مطابقت می کند. کثافت نسبی خشک شدهٔ آن 2.68 وجذب پذیری رطوبت آن درشرایط SSD (Saturated Surface Dry) 0.5% است. وزن واحد حجم یک مترمکعب خشک آن که توسط میله آهنی متراکم شده $1600\ \frac{kg}{m^3}$ داده شده. نتیجهٔ آزمایش لابراتواری ازنمونه گیری این جغل رطوبت آنرا 2% نشان داده است.

ریگ: ریگ طبیعی دریافت شده ازمنطقه مطابقت با مشخصات (ASTM C33) دارد. کثافت نسبی خشک شده آن 2.64 ، قابلیت جذب پذیری رطوبت آن 0.7% و مودول ظرافت آن 2.80 است. نتیجه لابراتواری از نمونه گیری این جغل که برای آزمایش گرفته شده مقداررطوبت آنرا 6% تثبیت نموده است.

اضافه کنندهٔ ایجادگرهوا: ازتایپ سرش چوب مطابق ASTM C260

تقلیل دهندهٔ آب طبق ASTM C494: معلومات دست داشته برای این ماده نشان دهندهٔ آنست که درصورت استفاده $3g$ یا $3ml$ آن درهرکیلوگرام سمنت، ضرورت آب را درمخلوط به مقدار 10% تقلیل می دهد وفرض می شود که کثافت نسبی آن خیلی نزدیک به آب میباشد که دراین صورت $1ml$ آن مساوی به $1g$ می شود.

به اساس معلومات های بالا، مخلوط کانکریتی دیزاین شود که قابلیت استفاده با شرایط وخواسته های فوق را برآورده ساخته بتواند:

دریافت نسبت آب وسمنت (Water cement ratio): برای محیط مرطوب توام با شرایط شدید یخبندی وذوب مقداراعظمی نسبت آب و سمنت (جدول1-9) 0.45 داده شده. اما با مراجعه به شکل2-9

وجدول 9-3B مقدارتوصیه شده نسبت آب و سمنت برای کانکریت مقاومت های 45MPa و 40MPa به ترتیب 0.30 و0.34 داده شده است، پس نسبت آب و سمنت را برای مقاومت 43.5MPa به ترتیب ذیل می توان دریافت کرد:

$$\frac{W}{C} = \frac{(45-43.5)\ (0.34-0.30)}{(45-40)} + 0.30 = 0.31$$

انتخاب مقدارمواد اضافه کنندهٔ هوا (Air-Entrained) :
جدول 9-5B برای محیط شدید یخبندی، مقدارفیصدی اضافه کنندهٔ هوارابا درنظر داشت جغل سایز 25mm ، 6% هدف قرارداده است. در دیزاین این مثال مقداراین اضافه کننده را از 5% تا 8% مدنظرگرفته طوریکه فیصدی اعظمی آنرا 8% قبول می کنیم. خاطرنشان باید ساخت که برای نمونه آزمایشی مخلوط کانکریت حد قبولی اشتباه یا تفاوت باید 0.5% ± 8% باشد.

انتخاب سلمپ: اندازه سلمپ قبلاً بین 25mm تا 75 mm داده شده است. بنا برآن دراین محاسبات اندازه اعظمی سلمپ را 20mm ± 75mm مدنظرمی گیریم.

(سلمپ) Slamp = 75 mm

دریافت مقدارآب: شکل وجدول 9-5B مقدارآب را برای مخلوط کانکریت هواداربا سلمپ 75 mmوجغل سایز25 mm ، 175 $\frac{kg}{m^3}$ (کیلوگرام در یک مترمکعب) مشخص ساخته است. چناچه دربحث عمومی تعیین مقدارآب تذکرداده شد، هرگاه جغل دریایی (جغل لشم) استفاده گردد، مقدارضروری آب به اندازه تقریبی 25 $\frac{kg}{m^3}$ نیز کاهش می یابد، یعنی (150=25-175). علاوبراین، اضافه کننده تقلیل دهندهٔ آب مقدار آب را 10% دیگر نیز کاهش میدهد، یعنی (135 = 150/10 – 150) ، پس مقدارتخمینی ضروری آب مساوی می شودبه :

(آب) $\mathcal{W}_w$ = 175 – 25 - 15 = 135 kg

دریافت مقدار سمنت: بعد ازدریافت مقدارآب میتوان با استفاده ازنسبت آب وسمنت مقدارسمنت را دریافت نمود. قبلاً نسبت آب و سمنت 0.31 دریافت شده بود، پس:

$$\frac{\mathcal{W}}{C} = 0.31,\ \ (\text{سمنت})\ \mathcal{W}\boldsymbol{c} = 135/0.31 = 435\ kg$$

این مقدار اضافه ترازِ 335 $\frac{kg}{m^3}$ سمنت است که در جدول 7-9 برای کانکریت مقاوم یخبندی داده شده است.

دریافت مقدارجغل (Coarse Aggregate - سنگدانه های درشت) : مقدارجغل برای سایز 25mm را میتواند با استفاده ازشکل 9-3B وجدول 4-9 استخراج نمود. مقدارجاگیری توصیه شده حجم جغل درصورت استفاده ریگ با ظرافت مدول 2.8 ، 0.67 است . چون جغل دارای وزن حجمی 1600 $\frac{kg}{m^3}$ است، پس وزن جغل در یک مترمکعب کانکریت مساویست به :

(وزن جغل خشک) $\mathcal{W}g$ = 1600 x 0.67 = 1072 kg

دریافت مقداراضافه کنندۀ ایجادگرهوا:

موسسه تولیدی مواد اضافه کنندۀ Air-Entrained برای بوجود آوردن 8% هوا درکانکریت مقدار 0.5g را برای هرkg سمنت توصیه نموده است. مقدارسمنت 435 kg قبلاً دریافت گردیده بود پس:

$\mathcal{W}a$ = 0.5 x 435 = 218g = 0.218 kg **(**وزن اضافه کنندۀ هوا**)**

دریافت تقلیل دهندۀ آب: قبلاً مشخص شده بود که برای هرkg سمنت،مقدار3g این ماده ضرورت است:

$$\mathcal{W}wt = 3 \text{ x } 435 = 1305\text{g} = 1.305 \ {}^{\text{kg}}/_{\text{m}^3}$$

دریافت مقدار ریگ (Fine Aggregate): تا این مرحله مقادیرتمام اجزای مخلوط کانکریت به استثنای مقدار ریگ معلوم گردیده است.
درمتود یا طریقه حجم مطلق ، حجم ریگ از حاصل تفریق مجموع حجم های مطلق معلوم وحجم یک مترمکعب دریافت می گردد.
اول باید حجم مطلق آب ، سمنت ، جغل واضافه کننده هوا را ازحاصل تقسیم وزن آنها بروزن مخصوص آب که 1000 kg دریک متر مکعب است دریافت کنیم،به ترتیب ذیل:

(آب) $Water$	$= \dfrac{135}{1\,x1000}$	$=$	$0.135\ m^3$
(سمنت)$Cement$	$= \dfrac{435}{3.0\,x1000}$	$=$	$0.145\ m^3$
(هوا) Air	$= \dfrac{7}{100}$	$=$	$0.080\ m^3$
(جغل)Coarse Aggregate	$= \dfrac{1072}{2.68\,x1000}$	$=$	$0.400\ m^3$
حجم مطلق تمام مواد معلوم		$=$	$\mathbf{0.760\ m^3}$

پس مقدار **حجم مطلق ریگ** را چنین دریافت می کنیم:

Vs = 1 – 0.760 = 0.24 m^3 **(**حجم مطلق ریگ **)**

وزن ریگ خشک:

$\mathcal{W}$s = 0.24 x 2.64 x 1000 = 634 kg **(**وزن ریگ**)**

با درنظرداشت یافته های فوق مخلوط کانکریت بدست آمده دارای مقادیراجزای ذیل دریک مترمکعب قبل از تست آزمایشی خواهد بود:

(Water) آب :	135 kg
(Cement) سمنت :	435 kg
(Dry Coarse Aggregate) جغل خشک:	1072 kg
(Dry Fine Aggregate) ریگ خشک:	634 kg
(Total Weight) وزن مجموعی:	**3276 kg**
اضافه کننده هوا (Air entraining admixture):	0.218 kg.
تقلیل دهنده آب:	1.305 kg
سلمپ: 75mm، برای مخلوط آزمایشی:	75mm (± 20mm)
فیصدی هوا: 8% ، برای مخلوط آزمایشی:	8% (± 0.5%) باشد.

حالا **وزن حجمی کانکریت** را برای یک واحدحجم (یک مترمکعب) با استفاده از شرایط SSD سنگدانه ها تخمین می کنیم:

$$V = 135 + 435 + (1072\ x1.005) + (634\ x\ 1.007) = 2286\ \frac{kg}{m^3}$$

درمحاسبه بالا اعداد قرمزفیصدی جذب پذیری رطوبت جغل وریگ است که قبلا داده شده بود وقیمت های آنها 0.5% برای جغل و0.7% برای ریگ مشخص شده.

ارزیابی رطوبت : برای جبران مقداررطوبت جغل و ریگ باید تصحیحی صورت گیرد. قبلاً مشخص شده بود که جغل و ریگ هر دو عملاً یک مقدارقابل ملاحظه رطوبت را دارا بوده ؛ یا قابلیت جذب آنرا دارند، یا درسطوح و یا بین دانه های آنها موجود می باشد، لهذا اوزان جغل و ریگ که در محاسبات درحالت خشک در نظرگرفته شده بود باید برای جبران چنین رطوبت ها تصحیح گردند. و مقدارآبی که برای مخلوط کانکریت ضرورت می شود باید سازگار با این شرایط شده ومتناسباً تقلیل یابد.

طوریکه قبلاً تذکررفت آزمایش های لابراتواری نمونه های جغل و ریگ مورد استفاد نشان داده که جغل دارای 2% و ریگ دارای 6% رطوبت می باشند، بنابرآن اوزان ریگ و جغل خشک باید به ترتیب ذیل تصحیح (تزئید) گردند:

وزن جغل مرطوب:	1072 x 1.02 = 1093 kg
وزن ریگ مرطوب:	634 x 1.06 = 672 kg

مقدارآب که توسط جغل وریگ جذب می شود، نمیتواند شامل مقدارآبی شود که برای مخلوط کانکریت ضرورت است، بدین اساس وزن آب 135kg که قبلاً دریافت شده بود باید تعدیل شود. برای این تعدیل نخست باید رطوبت جغل و ریگ به ترتیب ذیل تصحیح گردد.

سهم گیری رطوبت درجغل :	2% - 0.5% = 1.5%
سهم گیری رطوبت درریگ :	6% - 0.7% = 5.3%

پس مقدارضروی آب برای مخلوط چنین دریافت می گردد:

$$\mathcal{W}_w = 135 - (1072 \times 0.015) - (634 \times 0.053) = 85 \text{ kg}$$

با درنظرداشت تصحیح فوق (تقلیل مقدارآب) مرکبات مخلوط یک مترمکعب کانکریت باید قرار ذیل باشند:

آب (بعد ازتقلیل رطوبت جغل و ریگ):	85 kg
سمنت :	435 kg
جغل (به شمول 2% رطوبت):	1093 kg
ریگ (به شمول 6% رطوبت):	672 kg
وزن مجموعی:	**2285 kg**
مخلوط اضافه کنندهٔ هوا:	0.218 kg
مخلوط اضافه کننده تقلیل دهنده آب :	1.305 kg

حالا که ترکیب مخلوط کانکریت را بدست آوردیم باید آزمایش یا تجربه عملی این مخلوط صورت گیرد تا ثابت گردد که انتخاب مقادیراجزا صحت دارد.

مخلوط آزمایشی: معمولاً قبل ازتولید کانکریت برای پروژه موردنظر،آزمایشی به مقیاس کمتراز یک متر مکعب کانکریت صورت می گیردوبه اساس آن وزن مخصوص مخلوط تثبیت می گردد.
کانکریت آزمایشی باید به مقداری تولید گردد که برای همه آزمایش ها چون تست هوا، سلمپ ، نمونه گیری مکعب ها یا سلندرها جهت آزمایش مقاومت 28 روزهٔ کانکریت کافی باشد.
دراینجا بطورمثال می خواهیم $0.1m^3$ کانکریت تولید گردد، بنابرآن اجزای مخلوط کننده قرارذیل خواهد بود :

آب:	85 x 0.1 = 8.5 kg
سمنت :	435 x 0.1 = 43.5 kg
جغل:	1093 x 0.1 = 109.3 kg
ریگ:	672 x 0.1 = 67.2 kg
وزن مجموعی:	**228.5 kg**
مخلوط کنندهٔ هوا:	218 g x 0.1 = 21.8 g = 21.8 ml
تقلیل دهنده آب :	1305 g x 0.1 = 130 g or 130 ml

فرض می کنیم که از تست لابراتواری مخلوط آزمایشی دریافت کردیم که : سلمپ 100 mm ، هوا 9%، و وزن حجمی کانکریت $2274 \frac{kg}{m^3}$ است. قابل تذکراست که امکان دارد درجریان تهیه مخلوط آزمایشی، شاید یک مقدار آب اندازه شده درظرف باقی بماند ویا مقدارآب اضافی جهت بدست آوردن سلمپ مورد نظرمورد استفاده قرارگیرد. دراین مثال درحالیکه مقدارضروری آب 8.5 kg محاسبه شده بود، اما 8.0 kg آب استفاده شده. بنا برآن تصحیح ذیل را باید انجام داد:

وزن آب - Ww:	8.0 kg
وزن سمنت - Wc:	43.5 kg
وزن جغل (شامل 2% رطوبت) - Wg :	109.3 kg
وزن ریگ (شامل 6% رطوبت) - Ws :	67.2 kg
وزن مجموعی - Wt :	**228.0 kg**

این حجم حاصله بنام (yield) یا بازده مخلوط کانکریت یاد می شود که به اساس آن ارزیابی های ذیل را میتوان انجام داد:

حجم نمونه آزمایشی را میتوان به دقت محاسبه نمود:

$$Vs = 228.0 \text{ kg}/2274 \ {}^{\text{kg}}/_{\text{m}^3} = 0.10026 \ m^3$$

بعد با دقت میتوان وزن آب جغل و ریگ را به ترتیب ذیل دریافت کرد:

وزن آب در جغل: $\frac{109.3}{1.02\ \%} \ x\ 0.015 = 1.61 \ kg$

وزن آب در ریگ : $\frac{67.2}{1.06\%} \ x\ 0.053 = 3.36 \ kg$

میدانیم که وزن آب مخلوط آزمایشی 8.0 kg بود بنا برآن :

مقدارمجموعی آب : $\mathcal{W}w = 1.61 + 3.36 + 8.0 = 12.97$ kg

خواهد بود. حال این تصحیح را برای تهیه مخلوط کانکریت با توجه به سلمپ حاصله که (100 mm) بود برای یک مترمکعب انجام می دهیم، پس مقدارآب چنین است:

$$\mathcal{W}w = \frac{12.97}{0.10026} = 129 \ kg$$

نتایج بدست آمده ازآزمایش مخلوط: سلمپ(100mm) با درنظرداشت 75mm ± 20mm وفیصدی اضافه کنندهٔ هوا 9% با درنظرداشت 8% ± 0.5% برای مخلوط آزمایشی قابل قبول نیست. پس باید تصحیح مجدد انجام شود و به اساس آن تعدیل اجزا دوباره صورت گیرد. برای پائین رفتن هر1% اضافه کننده هوا باید مقدار$3 \frac{kg}{m^3}$ آب اضافه گردد درحالیکه برای تقلیل هر10 mm سلمپ با ید مقدار$2 \frac{kg}{m^3}$ آب تقلیل یابد، پس:

$$\mathcal{W}w = 129 + (3x1) - (2x \frac{25}{10}) = 127 \ \frac{kg}{m^3}$$

با کاهش مقدارآب ، مقدار سمنت نیزمتناسباً باید تقلیل یابد، بنا برآن بااستفاده ازنسبت آب وسمنت که قبلاً 0.31 دریافت شده بود مقدارسمنت مساوی می شود به:

$$\mathcal{W}c = \frac{127}{0.31} = 410 \text{ kg}$$

مقدارجغل غیرقابل تغییرباقی می ماند بخاطری که کارآیی با کانکریت قناعت بخش بوده است تغیروزن مخلوط کانکریت تنها به اساس مقادیرتعدیل شدهٔ سمنت و آب صورت میگیرد. بدین اساس حجم یک مترمکعب اجزای مخلوط کنند قرارذیل خواهد بود:

آب : $\mathcal{W}w = \frac{127}{1\ x\ 1000} = 0.127\ m^3$

سمنت : $\mathcal{W}c = \frac{410}{3.00\ x\ 1000} = 0.137\ m^3$

جغل : $\mathcal{W}g = \frac{1072}{2.68\ x\ 1000} = 0.400\ m^3$

اضافه کننده هوا : $\mathcal{W}a = \frac{8}{100} = 0.080\ m^3$

مجموع: $\boldsymbol{\mathcal{W}t} = \mathbf{0.744}\ m^3$

حجم ریگ: $Vg = 1 - 0.744 = 0.256\ m^3$

ازمحاسبات فوق دریافت میکنیم که برای بدست آوردن اندازه سلمپ و مقدار اضافه کننده هوا درحدود قبول شده علاوه از مقدار آب و سمنت مقدار ریگ هم تعدیل می شود بنا برآن وزن تعدیل شده ریگ خشک مساوی می شود به:

$$0.256\ x\ 2.64\ x\ 1000 = 676\ kg$$

مقداراضافه کنندهٔ هوارا که 0.5g برای هر100kg سمنت بود باید به 0.4g جهت کاهش هوا از 9% به 8% تقلیل دهیم دراینصورت مقداراضافه کنندهٔ هوا می شود:

$0.4\ x\ 410 = 164\ g\ or\ ml$

ومقداراضافه کنندهٔ تقلیل دهندهٔ آب: $3.0\ x\ 410 = 1230\ g\ or\ ml$

درنتیجه این تغییرات اوزآن تعدیل شده برای مخلوط یک مترمکعب کانکریت مساویست به :

آب:	127 kg
سمنت:	410 kg
جغل (خشک):	1072 kg
ریگ (خشک):	676 kg
وزن مجموعی:	**2285 kg**
مخلوط کنندهٔ ایجاد گرهوا:	164 g or ml
تقلیل دهنده آب :	1230 g or ml

اکنون با درنظرداشت تعدیلات فوق وزن مخصوص فی واحد مخلوط کانکریت را به اساس SSD قرارذیل دریافت می کنیم:

$$\boldsymbol{V} = 127 + 410 + (1072\ x1.005) + (676\ x\ 1.007) = 2295\ \frac{kg}{m^3}$$

به این ترتیب مقداربدست آمدهٔ اجزای مخلوط کانکریت بعدازآزمایش عملی مخلوط واجرای تست وتصحیحات مربوطهٔ آن مشخص می سازد که سلمپ یا نشست مخروطی و فیصدی هوا درحد قبولی بوده وتست حاصله مقاومت کانکریت 48 MPa به خوبی بالا ترازمقاومت خواسته شده 43.5 MPa است. بنابرآن این مخلوط قابل قبول برای استفاده درساختمان شاهراه می باشد.

برای تألیف وتدوین این رساله ازمنابع ذیل استفاده شده:

Concrete Technology Corporation Resources

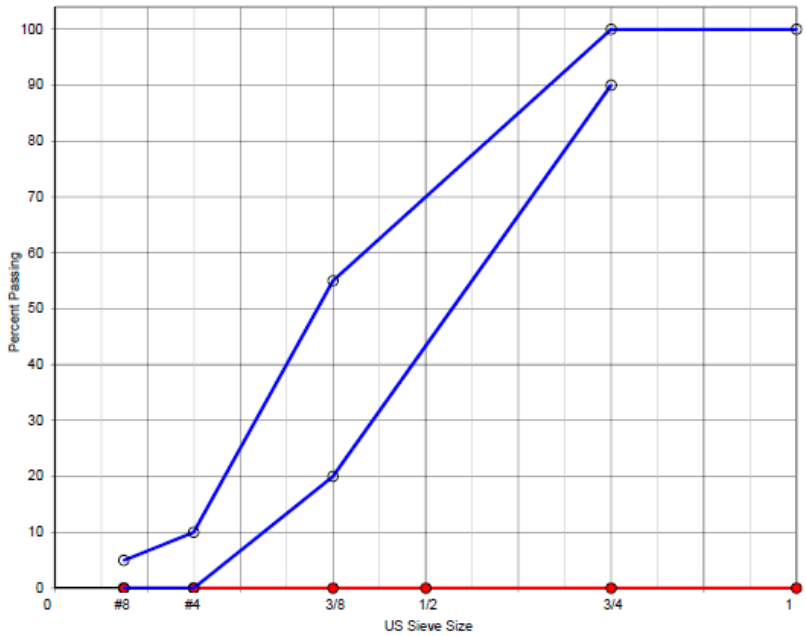
American Concrete Institute (ACI Code):

ACI 302, ACI 318, ACI 211.1, ACI 211.3

American Society for Testing and Materials (ASTM)

جدول وگراف فیصدی عبوردانه های بزرگ (جغل) ازغربال استندرد امریکا به اساس ASTM C33-03

U.S. Sieve Size	Cumulative Retained	Percent Retained	Percent Passing	AASHTO No. 67	Status (pass/fail)	ASTM C33-03 #67	Status (pass/fail)
1"	0			100 - 100		100 - -	
3/4"	0			90 - 100		90 - 100	
1/2"	0						
3/8"	0			20 - 55		20 - 55	
#4	0			0 - 10		0 - 10	
#8	0			0 - 5		0 - 5	
Pan	0						



جدول فیصدی عبوردانه های خورد(ریگ) ازغربال استندرد امریکا به اساس ASTM C33-03

U.S. Sieve Number	Cumulative Retained	Percent Retained	Percent Passing	WSDOT Class 1	Status (pass/fail)	ASTM C33-03	Status (pass/fail)
#4	0			95 - 100		95 - 100	
#8	0			68 - 86		80 - 100	
#16	0			47 - 65		50 - 85	
#30	0			27 - 42		25 - 60	
#50	0			9 - 20		5 - 30	
#100	0			0 - 7		0 - 10	
#200	0			0 - 2.5			
Pan	0						
Fineness Modulus:			⇦ Sum of percent retained on (#4, #8, #16, #30, #50 & #100) / 100				