پژوهشی در مورد اثر عیار سیمان، آب اختلاط و نسبت آب به سیمان بر روی مقاومت بتن

صمد دیلمقانی
دانشیار
دانشکده فنی دانشگاه تبریز

ناصر وارسته مقدم
کارشناس ارشد
آموزشکده فنی تبریز

چکیده

در این مطالعه از یك شن و ماسه رودخانه‌ای با منحنی دانه بندی ثابت نمونه های بتنی به شکل مکعب و به ابعاد ۱۵ سانتیمتر با ۵ عیار سیمان ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰، ۶۰۰ و ۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بتن ساخته شده است. همچنین تعداد زیادی نمونه قابل ساخت با همان عیارهای سیمان و با ۱۶ نسبت آب به سیمان ۰/۲ تا ۱/۷ با نرخ رشد ۰/۱ تهیه گردیده است. مقادیر مصالح بتن ها براساس مقدار هوای صفر درصد تعیین شده‌اند. یعنی برای هر نسبت آب به سیمان معین و سیمان مشخص، مقدار آب تعیین و مابقی یك متر مکعب به عنوان مقدار حجمی شن و ماسه محاسبه و باتوجه به وزن مخصوص ظاهری آن مقدار وزنی شن و ماسه به دست آمده است. مقاومت های فشاری ۲۸ روزه نمونه ها به دست آمده و نتایج تجزیه و تحلیل و مقایسه گردیده است.

نتایج آزمایش ها نشان می دهد که برای هر عیار سیمان در بتن مقدار آب اپتیمومی وجود دارد که مقاومت فشاری بتن با آن آب اختلاط ماکزیمم می شود. مقدار کاهش مقاومت در اثر افزایش درصد آب مصرفی از آب اپتیموم به مراتب کمتر از کاهش مقاومت در اثر کاهش همان درصد آب مصرفی از آب اپتیموم است.

همینطور برای هر عیار سیمان در بتن یك نسبت آب به سیمان اپتیمومی موجود است که بتن با آن نسبت آب به سیمان بزرگترین مقاومت فشاری را داراست. کاهش مقاومت در اثر افزایش نسبت آب به سیمان از آب به سیمان اپتیموم به مراتب کمتر از کاهش مقاومت در اثر کاهش همان مقدار نسبت آب به سیمان از آب به سیمان اپتیموم است.

برای یك عیار سیمان اپتیموم و آب اختلاط اپتیموم و یا نسبت آب به سیمان اپتیموم مقاومت فشاری بتن ماکزیمم می شود. یعنی در کمتر از یك عیار معین یا بیشتر از آن مقاومت بتن کاهش می یابد، گرچه کاهش مقاومت در عیارهای بالای عیار اپتیموم بسیار کم و جزئی است.

An investigation on the effect of cement content, mix water content and water cement ratio upon the strength of concrete

Samad Dilmaghani*
Ph. D

Nasser Varaste Moghaddam**
M.Sc.

*Civil Eng. Dept, Univ. of Tabriz
** Tech. School of Tabriz

Abstract

In this study a natural river aggregate with a fixed particle size distribution has been used to make 15 cm cube concrete specimens with 5 different cement contents of 150, 300, 450, 600 and 750 kg/m^3 and 6 constant mix water contents of 120, 135, 150, 180, 210 and 240 liter/m^3. Also a lot of makeable specimens with the same cement cotents and 16 water cement ratios from 0.2 to 1.7 by 0.1 intervals were prepared. The compressive strength of specimens at 28 day were obtained and the results analysed and compared.

The test result show that for each cement content, there is an optimum mix water content which make the compessive strength of concrete maximum. The amount of strength reduction due to increase of mix water from optimum water content is much more less than strength reduction due to reduction of the same amount of mix water from the optimum water content.

At the same way for each cement content there is an optimum water cement ratio which make the compessive strength of concrete maximum.

For an optimum cement content and optimum mix water content, or optimum water cement ratio, concrete compressive strength will be maximum. That is for less than a certain cement content or more than that the concrete strength will be reduced, although strength reduction in cement contents more than optimum cement content is very low.

۱ـ مقدمه

با توجه به پیشرفت روزافزون کاربرد بتن در اکثریت قریب به اتفاق پروژه های سازه ای در جهان، شناخت هر چه دقیق تر این مصالح ساختمانی پرمصرف امری ضروری است. در این میان سیمان به عنوان ماده اصلی بتن که بار مالی زیادتری را نیز نسبت به بقیه مواد تشکیل دهنده بتن داراست، اهمیت قابل توجهی دارد.

یکی از خصوصیات مهم بتن ویژگی مکانیکی آن است که دیگر خواص بتن کم و بیش با آن ارتباط مستقیم دارند. مهمترین ویژگی مکانیکی بتن مقاومت فشاری آن است و عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری به همان صورت بر دیگر مقاومت ها نیز تأثیر دارد.

بدیهی است بهبود قابلیت باربری بتن همواره مورد تقاضاست. بنابر این لازم است که تعیین ترکیب بتن به طور صحیح تر انجام گیرد. از دیرباز پژوهشگران سعی در شناخت هر چه بیشتر عوامل مؤثر بر مقاومت بتن و نحوه ارتباط آنها با مقاومت را داشته اند.

با وجود اینکه عوامل بسیار زیادی در مقاومت بتن مؤثر هستند، ما در اینجا نسبت به بحث و بررسی دو عامل مهم یعنی عیار سیمان و مقدار آب اختلاط و از آنجا نسبت آب به سیمان بتن خواهیم پرداخت و به طوری که خواهیم دید خود این عوامل وابسته به عوامل متعدد دیگری هستند.

۲ـ کارهای انجام یافته قبلی و بحث در مورد آنها

با یک مرور بر ادبیات موجود در باره مقاومت بتن می توان دریافت که اکثر فرمول های ارائه شده در این مورد به نسبت آب به سیمان ربط پیدا می کند. دلیل این امر را چنین می توان توجیه کرد که اگر سیمان و آب را بدون سنگدانه با هم به اندازه معینی مخلوط کنیم که آب مورد نظر نه کمتر و نه بیشتر از مورد نیاز سیمان باشد. در این حالت ترکیب کامل می گردد [۱]. اگر همان مقدار آب و سیمان را با نسبت مشخصی کم یا زیاد کنیم، باز هم ترکیب کامل می گردد. این برهان در شرایطی که مقدار آب کمتر یا بیشتر از مقدار لازم برای تکمیل ترکیب سیمان و آب باشد نیز صادق است. بدین معنی که در مورد دو غاب سیمان، مقاومت دوغاب با نسبت آب به سیمان ربط خواهد داشت، مستقل از اینکه دوغاب در چه وزنی تهیه شده باشد.

فرمول های مقاومت بتن که به وسیله بلمی و گرف ارائه شده اند به قرار زیر می باشند [۲].

فرمول بلمی $$R = K\left(\frac{c}{w} - 0.5\right)$$

فرمول گرف $$R = K\left(\frac{c}{w}\right)^2$$

که در آنها:

R مقاومت فشاری بتن

c و w به ترتیب مقادیر وزنی سیمان و آب بتن می باشد.

K ضریبی است که دیمانسیون آن برابر با دیمانسیون R بوده و بستگی به مقاومت مکانیکی سیمان، منحنی دانه بندی و شکل و فرم سنگدانه مورد استفاده در تولید بتن، نوع تراکم، نحوه نگهداری بتن و زمان دارد.

در هر دو رابطه فوق، مقاومت بتن به صورت مستقیم با نسبت سیمان به آب متناسب است. یکی دیگر از فرمول های مشهور مقاومت بتن، قانون آبرامز [۳] می باشد که در آن مقاومت بتن به صورت معکوس با نسبت آب به سیمان متناسب می باشد. فرمول مزبور چنین است:

$$R = \frac{A}{B^{w/c}}$$

که در آن:

R مقاومت فشاری بتن

$\frac{w}{c}$ نسبت آب به سیمان

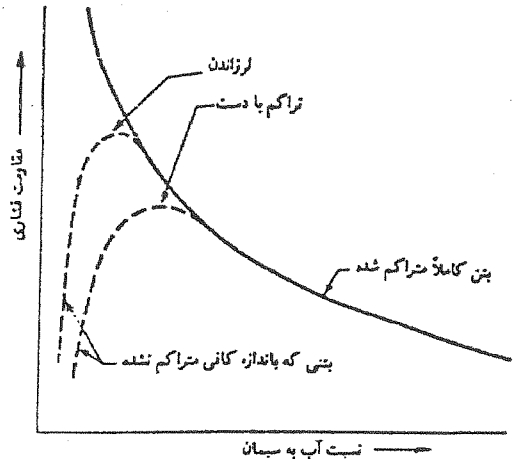
A و B ضرایبی تجربی هستند که بستگی به نوع مصالح، نحوه ساخت، نحوه نگهداری بتن و سن نمونه دارند.

در تولید بتن آبی که به مخلوط اضافه می شود، آبگیری سیمان را انجام داده، شن و ماسه را خیس می کند. آب اختلاط به مقداری باید تعیین شود که تماس سیمان را با تمام دانه های شن و ماسه امکان پذیر سازد.

اگر مقدار آب بیش از حد لزوم باشد، مقاومت خمیر سیمان که چسبندگی دانه های شن و ماسه را تأمین می کند، کاهش می یابد. علاوه بر آن مانع تراکم بهتر بتن شده و در نتیجه مقدار درجه توپری بتن نمی تواند بزرگ باشد .به این دلایل مقاومت فشاری بتن با افزایش مقدار آب کاهش می یابد. در مقایسه با آن اگر مقدار آب از حد لزوم نیز کمتر باشد، به علت اینکه آبگیری سیمان ناقص انجام می گیرد و همچنین امکان جابجا شدن بتن در قالب کم می شود، دوباره مقاومت بتن کاهش پیدا می کند. این مورد با فرمول آبرامز در تناقض بوده و موجب می شود که فرمول آبرامز عمومیت خود را از دست بدهد.

پروفسور نوبل در مورد محدودیت قانون آبرامز [۳] چنین ذکر می کند:

همانطور که در شکل ۱ دیده می شود، دامنه اعتبار قانون آبرامز محدود است. در قسمتی از منحنی که نسبت آب به سیمان کم است و تراکم کامل دیگر امکان پذیر نمی باشد، منحنی مسیر قبلی خود را دنبال نمی کند و محل واقعی نقطه انحراف از این مسیر بستگی به تجهیزات موجود جهت تراکم بتن دارد. همچنین اینطور به نظر می رسد که در مخلوط هایی که نسبت آب به سیمان خیلی کم و مقدار سیمان خیلی زیاد (۴۷۰ تا ۵۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب) دارند، مقاومت شروع به کاهش می نماید. بنابر این با این نوع مخلوط ها نسبت آب به سیمان کمتر، سبب نخواهد شد که مقاومت بتن در عمرهای بعدی بیشتر شود.



شکل (۱) رابطه بین مقاومت و نسبت آب به سیمان براساس قانون آبرامز

از توضیحات پروفسور نویل نیز چنین برمی‌آید که برای هر متر مکعب بتن یک مقدار آب مناسب یا آب اپتیمومی وجود دارد. برای این مقدار آب، مقاومت بتن ماکزیمم می شود و در صورتی که مقدار آب مورد استفاده بیشتر و یا کمتر از آن مقدار باشد، مقاومت بتن کاهش پیدا می کند.

در اکثر فرمول های مقاومت بتن، با تصور اینکه در عمل عموماً تمایل به استفاده از آب زیاد وجود دارد و استفاده از آب کم به ندرت پیش می‌آید، فرض شده است که با افزایش آب، مقاومت بتن کاهش می یابد. به عبارت دیگر با افزایش $\frac{1}{w}$ مقاومت افزایش پیدا می کند. همچنین با قبول اینکه با افزایش عیار سیمان، C، مقاومت بتن ازدیاد پیدا می کند، بنابر این با افزایش نسبت $\frac{c}{w}$ و یا کاهش نسبت $\frac{w}{c}$ مقاومت نیز مقادیر بزرگتر پیدا می کنند و از آنجا در بیشتر فرمول هایی که مقاومت فشاری بتن را می دهد ، نسبت $\frac{w}{c}$ به عنوان تنها متغیر قبول شده است. در صورتی که اولاً در منطقه آب کمتر از مقدار آب اپتیموم، با افزایش مقدار آب اختلاط مقاومت بتن کاهش نیافته بلکه افزایش می یابد.ثانیاً قبول اینکه افزایش عیار

سیمان مقاومت را افزایش می‌دهد، بدون اینکه حدی برای عیار سیمان تعیین گردد، نمی‌تواند معقول باشد. زیرا اگرچه می‌توان قبول کرد که افزایش مقدار سیمان تا مقداری که خمیر سیمان حاصله حجم فضاهای خالی شن و ماسه بتن را پر کند، مقاومت را افزایش خواهد داد. ولی افزایش عیار سیمان بعد از آن حد نه تنها کمکی بر افزایش مقاومت بتن نخواهد داشت، بلکه به دلیل کمتر بودن مقاومت سیمان سفت شده نسبت به مقاومت سنگدانه ها سبب کاهش مقاومت بتن می‌شود.

باتوجه به بحث های فوق می‌توان چنین ذکرکرد که فرمول های یاد شده دربالا،مقاومت بتن های قابل مقایسه درسن معین را فقط وابسته به ضریب آب به سیمان ارائه نموده و مستقل از این می‌باشد که این تغییر ناشی از تغییرمقدار آب، مقدارسیمان یا هردو می‌باشد [۴].

جهت رفع این نقیصه پوپو و یکس در سال ۱۹۹۰ فرمول های جدیدی را ارائه می دهد [۶]، [۵]، [۴].

در ظاهرفرمول های ایشان آخرین فرمول های ارائه شده در این مورد می‌باشند، وی در مورد علت کاهش مقاومت بتن دراثر افزایش سیمان هنگامی که نسبت آب به سیمان ثابت باشد، چنین اظهار نظر می‌کند که دلیل این امر در حال حاضر کاملاً واضح نیست. ولی می‌توان حدس زد که عیار سیمان بالا یا خمیر سیمان زیاد باعث چروکیدگی بیشتر بتن می‌شود که در نهایت ارتباط درونی بین خمیر سیمان و دانه ها را تضعیف می‌کند.

فرمول های پوپو و یکس در ظاهر نسبت به فرمول های قبلی کامل تر بوده و استقلال نسبت آب به سیمان را در فرمول ها محدود می‌کند و به جای پارامتر $\frac{W}{C}$ از پارامترهای $\frac{W}{C} + k_{3C}$ و $\frac{W}{C} + k_{6W}$ استفاده می‌کند. فرمول های ایشان چنین می‌باشد [۴].

$$R = \frac{K_1}{K_2^{w/c + k_3 c}}$$

$$R = \frac{K_4}{K_5^{w/c + k_6 c}}$$

که در آنها:

R مقاومت بتن

c مقدار سیمان

w مقدار آب

و K_1 الی k_6 ضرایب تجربی هستند.

پر واضح است که اگر مقدار w صفر باشد، فرمول های فوق باز هم مقدار مقاومتی را خواهند داد، مخصوصاً اینکه در فرمول دوم با میل w به سمت صفر مقدار مقاومت به حد ماکزیمم خود نزدیک می‌شود که این امر با گیرش سیمان منافات خواهد داشت.

بنابر این همه فرمول های مقاومت یاد شده در مورد بتن های با عیار سیمان بسیار زیاد و یا بتن های با مقدار آب اختلاط کم نمی‌تواند صادق باشد.

۳ـ مشخصات نمونه ها و کارهای تجربی پژوهش حاضر

الف ـ شن و ماسه مورد استفاده در ساخت نمونه های بتنی از کارخانه فیال تبریز تهیه شده و منحنی دانه بندی مخلوط در شکل ۲ نشان داده شده است. این منحنی در داخل محدوده قابل قبول آئین نامه بتن آرمه آلمان بوده [۷] و برای همه بتن ها ثابت نگهداری شده است.

ب ـ آب مورد استفاده آب مشروب شهر تبریز است.

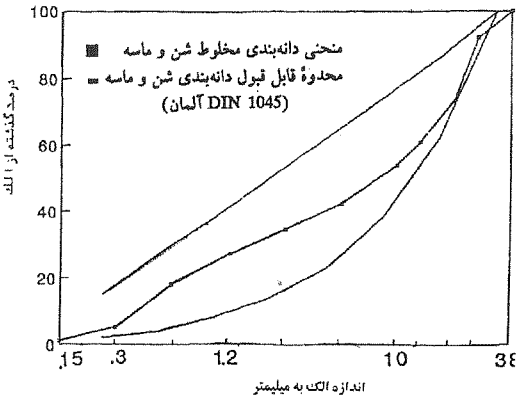
ج ـ سیمان مصرفی سیمان تیپ یک کارخانه سیمان صوفیان است.

د ـ نمونه های مکعبی شکل بتنی به ابعاد ۱۵cm با عیارهای سیمان ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰، ۶۰۰ و ۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و آب های اختلاط ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰ و ۲۴۰ لیتر بر متر مکعب ساخته شد و همچنین نمونه های دیگری با همان عیارهای سیمان و با نسبت های آب به سیمان ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۱/۰۰۰، ۱/۵، ۱/۶ و ۱/۷ تهیه گردید.

هـ ـ برای این که نتایج آزمایش های به دست آمده از نمونه های بتنی قابل مقایسه و تحلیل باشد، مقادیر مصالح بتن ها براساس مقدار هوای صفر درصد تعیین شده‌اند. در اینجا منظور از سیمان، آب، شن و ماسه اختلاط، مقدار سیمان، آب، شن و ماسه ای است که به ازای یک متر مکعب بتن، با مقدار هوای صفر درصد محاسبه می‌شود یعنی اینکه:

$$V_C + V_W + V_G = 1$$

که V_c و V_w و V_G به ترتیب حجم مقدار سیمان، آب و سنگدانه بر حسب متر مکعب می‌باشد و با انتخاب مقدار وزن سیمان و مقدار آب، حجم سنگدانه ها را محاسبه نموده و از آنجا وزن سنگدانه ها به ازای هر مقدار وزن سیمان و آب به دست آمده است.



شکل (۲) منحنی دانه بندی مخلوط شن و ماسه به همراه محدوده قابل قبول دانه بندی براساس DIN 1045 آلمان

از مطالب اشاره شده در بخش کارهای انجام یافته قبلی (بند ۲ این مقاله) چنین استنباط می شود که در فرمول های مقاومت موجود، مقاومت بتن فقط تابعی از آب و سیمان هستند و نقش شایسته ای به مقدار سنگدانه ارائه نشده است. واضحتر گفته شود اینکه با فرض یک آب به سیمان ثابت مقدار مقاومت مشخص می شود و مستقل از اینکه مقدار آب، سیمان یا سنگدانه چه مقدار می باشد. ناگفته نماند فرمول های پوپوویکس در این مورد نسبت به فرمول های دیگر برتری دارند، ولی کامل نمی باشند و بر همین اساس طرح اختلاط هایی که تاکنون در مورد بتن به کار برده شده اند، همگی دارای این وجه اشتراک بوده اند که مقدار هوای درون بتن را براساس تجربیات قبلی اعمال کنند و تعاریفی که برای هر نوع بتن داشته اند، براساس مقدار سیمان و نسبت آب به سیمان استوار بوده است و مقدار سنگدانه ها و هوا مابقی حجم یک متر مکعب بتن را دارا بوده اند و براساس تجربیات پیشین مقدار درصد هوا در نظر گرفته می شود. یا به عبارت ریاضی، چهار متغیر آب، سیمان، سنگدانه و هوا در طرح اختلاط بتن مؤثر بوده اند.

در این پژوهش پارامتر هوا از بین پارامترها حذف می گردد، مزیت این امر آن است که با معلوم بودن دو پارامتر، پارامتر سوم پارامتری است که وابسته به دو پارامتر دیگر است.

دلیل این امر آن است که در یک روش مشخص تراکم، مقدار هوای بتن مستقل از مقدار آب، سیمان و سنگدانه نمی باشد. واضح است که هر روش تا حدی می تواند بتن را متراکم نماید که بالای این حد یا خارج از قدرت وسیله متراکم کننده است و یا استفاده بیش از حد از وسیله متراکم کننده موجب خواهد شد که دو غاب سیمان از دانه ها جدا شده و انفکاک دانه ها اتفاق افتد.

پروفسور نویل در این مورد چنین اظهار نظر می کند [۳]. «حباب های هوا که معرف هوای اتفاقی می باشند، یعنی منافذ داخل مصالح دانه ای غیر متراکم، به وسیله دانه بندی ریزترین ذرات در مخلوط کنترل می شوند و از مخلوط تر، آسانتر از مخلوط خشک خارج می گردند. بنابر این چنین نتیجه می شود که برای هر روش معین تراکم، ممکن است یک مقدار آب بهینه وجود داشته باشد که به ازای آن مجموع حجم های حباب های هوا و فضای اشغال شده به وسیله آب کمترین مقدار باشد. در این مقدار بهینه آب بیشترین نسبت وزن مخصوص بتن به دست خواهد آمد. و لیکن می توان مشاهده نمود که ممکن است مقدار بهینه آب با روش های مختلف تراکم، تغییر نماید.»

با تفاسیر فوق، در طرح اختلاط این پژوهش مقدار سیمان و مقدار آب تعیین شده و برای اینکه مصالح سنگی با منحنی دانه بندی ثابت، متغیر مستقلی نباشد حجم مصالح سنگی به اندازه مابقی حجم یک متر مکعب در نظر گرفته شده است.

و ـ نمونه های ساخته شده به مدت ۲۸ روز در رطوبت و دمای ثابت نگهداری شده و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها به دست آمده اند.

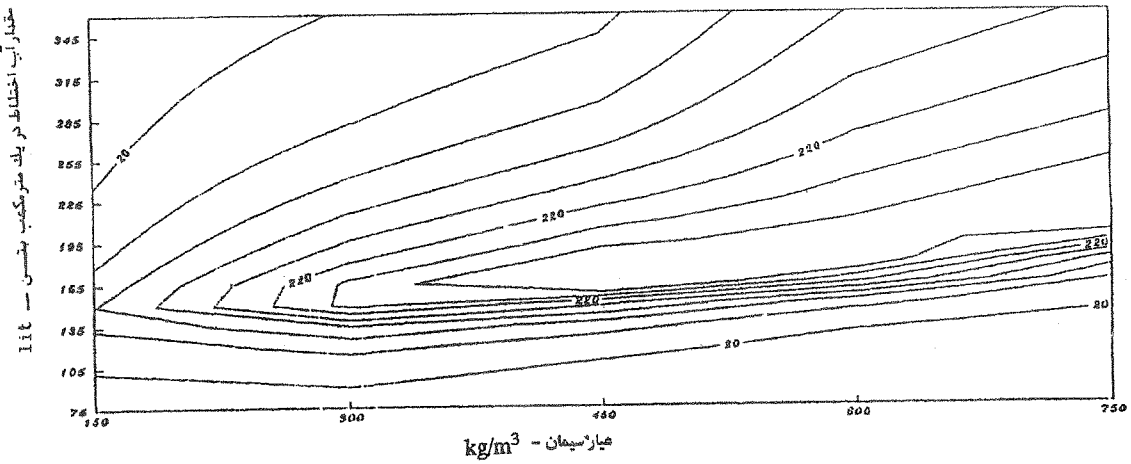
٤ ـ نتایج آزمایش ها

نتایج حاصل از این پژوهش بعد از تجزیه و تحلیل های ریاضی طی نمودارهایی به قرار زیر ارائه شده اند:

شکل(۳) رابطه مقاومت فشاری بتن با آب و سیمان را نشان می دهد که گویای این نکات می باشد:

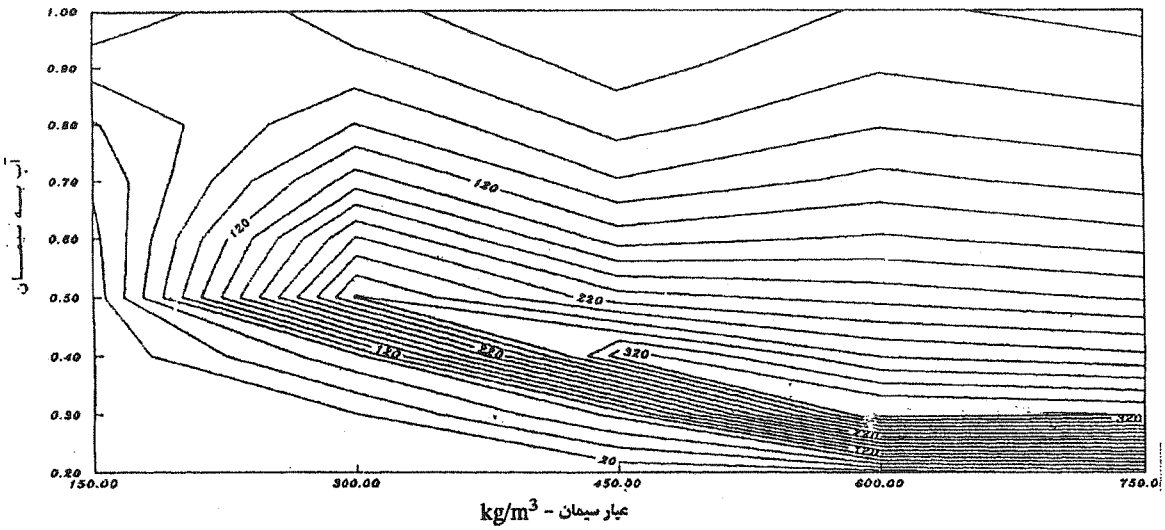
الف ـ برای هر عیار سیمان در بتن مقدار آب اپتیمومی وجود دارد که مقاومت فشاری بتن با آن آب اختلاط ماکزیمم می شود. یعنی با اختلاط آب کمتر یا بیشتر از آن میزان، مقاومت کاهش پیدا می کند. با افزایش عیار سیمان مقدار آب اپتیموم متناسب با آن افزایش پیدا می کند.

ب ـ برای یک عیار سیمان اپتیموم و آب اختلاط اپتیموم مقاومت فشاری بتن ماکزیمم می شود. یعنی در کمتر از یک عیار معین و یا بیشتر از آن مقاومت بتن کاهش می یابد. گر چه کاهش مقاومت در عیارهای بالای عیار اپتیموم بسیار کم و جزئی است. یا به عبارت دیگر برای یک نسبت آب به سیمان اپتیموم بیشترین مقدار ممکن برای مقاومت حاصل می شود.



شکل (۳) رابطه مقاومت فشاری با آب و سیمان

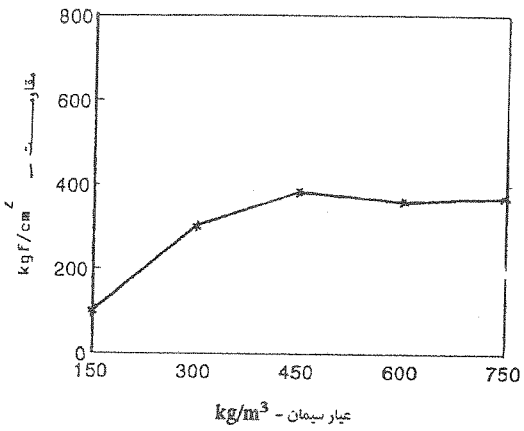
ج - دربتن های با یک مقدار سیمان ثابت افزایش مقاومت با افزایش یک مقدار آب معین تا رسیدن به مقدار آب اپتیموم از نظر مقدار جبری زیادتر از مقدار کاهش مقاومت با افزایش همان مقدار آب بعد از آب اپتیموم می باشد. این نتایج با نتایج آزمایش های گلنویل (Glanville) موافقت دارد [۲]. در تولید نمونه های با عیار سیمان ثابت و مقادیر آب مختلف مشاهده شد که در بتن های با آب اختلاط کمتر از آب اپتیموم به دلیل عدم امکان تراکم کافی ، ظاهر بتن بعد از تراکم حالتی خشک و متخلخل دارد و با افزایش کم آب، تراکم زیاد و از آنجا افزایش قابل توجهی در مقاومت حاصل شد. در صورتی که در حالات بتن های با مقدار آب بیش از مقدار آب اپتیموم ظاهر بتن حالتی شل داشته و افزایش مقدار آب اختلاط از آب اپتیموم به همان مقدار، با وجود کاهش مقاومت اثر کمتری در مقاومت در مقایسه با نمونه های با آب کمتر از آب اپتیموم داشت. بدین ترتیب مقدار آب اپتیموم را در عمل به راحتی می توان دریافت و این مقدار آب، مرز بین آب بتن متخلخل و آب بتن خمیری است. به عبارت دیگر مقدار آب اپتیموم در عمل آبی است که بعد از تراکم بتن، حالت بتن متخلخل نبوده و در صورت کاهش جزئی در مقدار آب، حالت بتن به وضوح متخلخل گردد.



شکل (۴) رابطه مقاومت فشاری با سیمان و آب به سیمان

شکل (۴) خطوط هم مقاومت را برای مقاومت فشاری بر حسب آب به سیمان و سیمان نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که در آب به سیمان ثابت افزایش عیار سیمان تا یک مقدار معین موجب افزایش مقاومت بتن می‌شود. در صورتی که بعد از آن سبب کاهش تدریجی مقاومت خواهد شد. همچنین برای عیار سیمان ثابت یک اپتیموم نسبت آب به سیمان وجود دارد که در آن مقاومت ماکزیمم می‌شود. در ضمن از این شکل معلوم می‌شود که در بتن ساخته شده برای یک نسبت آب به سیمان اپتیموم و عیار سیمان معین بیشترین مقدار ممکن برای مقاومت حاصل می‌شود.

شکل (۵) مقدار مقاومت ماکزیممی را که از هر عیار سیمان می‌توان به دست آورد، را نشان می‌دهد. نتیجه مهمی که از این نمودار می‌توان به دست آورد این است که یک عیار سیمان مشخص وجود دارد که افزایش مقدار سیمان بیش از آن حد موجب افزایش در مقاومت بتن نخواهد شد. با در نظر گرفتن این امر و مطالب ذکر شده در بند ج (مربوط به شکل (۳)) می‌توان بعد از طرح اختلاط بتن برای به دست آوردن ماکزیمم مقاومت ممکن با تغییر عیار سیمان، چند نمونه بتن با عیارهای مختلف سیمان و مقادیر آب اپتیموم مربوط به آنها ساخت و مقاومت هر یک را به دست آورد، و با رسم نموداری مشابه شکل (۵) مقدار سیمان اپتیموم و آب اپتیموم طرح مخلوط را برای مقاومت ماکزیمم ارائه کرد.

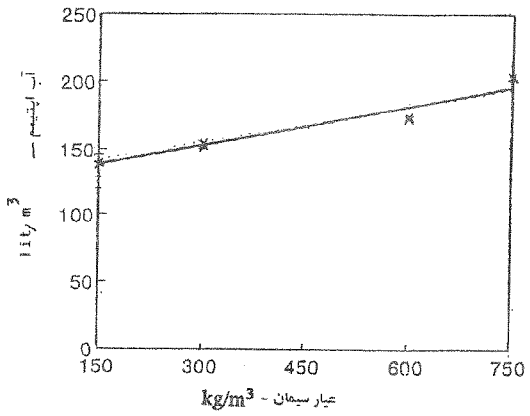


شکل (۵) رابطه مقاومت فشاری و عیار سیمان

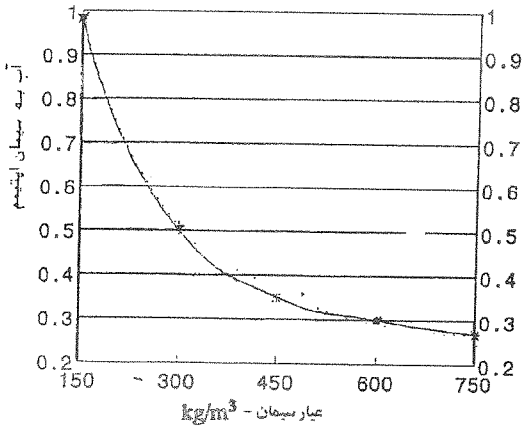
(مقدار آب اختلاط در این نمونه ها به مقدار آب اپتیموم آن نمونه می‌باشد و یا به عبارت دیگر نسبت آب به سیمان این نمونه ها برابر آب به سیمان اپتیموم آن نمونه ها ست)

شکل (۶) مقدار آب اپتیموم هر عیار سیمان را نشان می‌دهد. به طور وضوح می‌توان دریافت که رابطه آب اپتیموم با عیار سیمان به صورت خطی می‌باشد. بنابر این با داشتن دو نقطه از خط می‌توان خط مزبور را رسم کرده و برای هر عیار مقدار آب اپتیموم را به دست آورد.

شکل (۷) مفهوم دیگری از روابط مربوط به شکل (۶) می‌باشد که مقدار آب به سیمان اپتیموم را برای هر عیار سیمان نشان می‌دهد. نمودار گویای آن است که با افزایش عیار سیمان، مقدار آب به سیمان اپتیموم کاهش می‌یابد.



شکل (۶) رابطه مقدار آب اپتیموم و عیار سیمان



شکل (۷) رابطه مقدار آب به سیمان اپتیموم و عیار سیمان

۵ـ نتیجه گیری

از نتایج آزمایش های مقاومت فشاری انجام یافته بر روی بیش از ۱۵۰ نمونه بتنی با مقادیر مختلف سیمان و

آب و همچنین نسبت های آب به سیمان متفاوت نتیجه گیری های زیر را می توان استخراج کرد:

۱ - برای هر عیار سیمان در بتن مقدار آب اپتیمومی وجود دارد که مقاومت فشاری بتن با آن آب اختلاط ماکزیمم می شود. مقدار کاهش مقاومت در اثر افزایش درصد آب مصرفی از آب اپتیموم به مراتب کمتر از کاهش مقاومت در اثر کاهش همان درصد آب مصرفی از آب اپتیموم است.

۲ - همینطور برای هر عیار سیمان در بتن یک نسبت آب به سیمان اپتیمومی موجود است که بتن در آن نسبت آب به سیمان بزرگترین مقاومت فشاری را داراست. کاهش مقاومت در اثر افزایش نسبت آب به سیمان از آب به سیمان اپتیموم به مراتب کمتر از کاهش مقاومت در اثر کاهش همان مقدار نسبت آب به سیمان اپتیموم است.

۳ - برای یک عیار سیمان اپتیموم و آب اختلاط اپتیموم و یا نسبت آب به سیمان اپتیموم مقاومت فشاری بتن ماکزیمم می شود. یعنی در کمتر از یک عیار معین یا بیشتر از آن مقاومت بتن کاهش می یابد، گرچه کاهش مقاومت در عیارهای بالای عیار اپتیموم بسیار کم و جزئی است.

۴ - با افزایش عیار سیمان مقدار آب اپتیموم متناسب با آن افزایش یافته و مقدار نسبت آب به سیمان کاهش می یابد.

مراجع

[۱] عزیزیان، مهندس محمدرضا - شیمی و فیزیک سیمان انتشارات آشنا ۱۳۷۰.

[۲] دیلمقانی، دکتر صمد - تکنولوژی بتن - انتشارات دانشگاه تبریز - چاپ دوم ۱۳۷۳.

[۳] فامیلی، دکتر هرمز - بتن شناسی (خواص بتن) - تألیف پروفسور نویل - انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران - ۱۳۶۸.

[4] Popovics, S. "Analysis of the concrete strength versus water - cement ratio relationship". ACI Materials Journal vol. 87, No. 5 pp. 517-529, Sep. Oct. 1990.

[5] Popovics, S. "New formulla for the prediction of the effect of porosity on concrete strength" , ACI Journal, Proceedings v.. 82, No. 2, pp. 136-146, Mar- Apr. 1985.

[6] Popovies, S. "Factors affecting the relationships between strength and water_cement ratio, Materials Research and Standards V. 7, No. 12 pp. 527-534, Dec, 1967.

[۷] معراجی، مهندس داریوش و بخشوده، مهندس علی - ترجمه و تشریح بتن کالندر - انتشارات کتابفروشی دهخدا ۱۳۶۴.