



تاثیر روان کننده ها بر کاهش عیار سیمان و کیفیت بتن

هانی هنرمند^۱، موسی کلهری^۲، محسن تدین^۳

^۱. عضو هیئت مدیره شرکت شیمی ساختمان

تلفن: ۰۹۱۲۱۱۸۵۰۰۴ ، E-mail: info@SHIMISAKHTEMAN.COM

^۲. مدیر فنی بخش افزودنیهای بتن شرکت شیمی ساختمان

تلفن: ۰۹۱۲۳۲۲۶۸۶۱ ، E-mail: moosa.kalhari@yahoo.com

^۳. عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینای همدان

تلفن: ۰۹۱۲۱۲۷۲۹۹۳ ، E-mail: tadayonmoh@yahoo.com

چکیده:

حفظ محیط زیست و نیاز به مصرف متعادل منابع طبیعی بویژه سوخت های فسیلی و کاهش آلودگی و گازهای گلخانه ای، ایجاب می کند که از مصرف سیمان بویژه کلینکر سیمان بکاهیم. بنابراین در ساخت بتن ها و ملات ها باید کاهش مصرف سیمان را تا حد امکان مدنظر قرار داد بدون اینکه به حجم ساخت و سازها در کشور لطمه ای وارد گردد.

در این پژوهش ، در نسبت آب به سیمان ثابت (W/C) اقدام به کاهش عیار سیمان شده است تا در یک نسبت آب به سیمان ثابت اثرات کاهش عیار سیمان بر روی برخی مشخصات بتن تازه و سخت شده مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه با کاهش نسبت آب به سیمان (در چهار نسبت متفاوت) مجدداً عیار سیمان کاهش داده شده تا اثرات این کاهش در نسبتهای پایین آب به سیمان نیز در بتن تازه و سخت شده مورد بررسی قرار گیرد. بدیهی است با کاهش خمیر سیمان (کاهش عیار سیمان و کاهش نسبت آب به سیمان) کارایی و تراکم پذیری بتن به شدت کاهش یافته که برای جبران این نقیصه از روان کننده ها و فوق روان کننده های مختلف استفاده شده است .

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده می توان نتیجه گرفت که کاهش عیار سیمان (در محدوده ۴۵۰ تا ۳۴۰ کیلو گرم در متر مکعب) در نسبت آب به سیمان ثابت ، سبب بهبود خواص مقاومتی و دوامی بتن می گردد. از طرفی دیگر میتوان با کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از افزودنی فوق روان کننده به منظور ایجاد روانی و کارایی مطلوب ، به بتنهایی با دوام و مقاومت بسیار بالا دست یافت .

کلمات کلیدی: بتن، عیار سیمان ، نسبت آب به سیمان ، مقاومت فشاری بتن ، روان کننده ، فوق روان کننده ، جذب آب ، عمق نفوذ آب .

Impact of plasticizers on the quality of concrete and the reduction of the cement content

Abstract

Preservation of our environment, the need to a balanced consumption of the natural resources, particularly fossil fuels, and the need to reduce greenhouse gas emissions will all make us decrease our cement consumption especially clinker. As a result, in producing the concrete and the mortar, we must take a lower consumption of cement in to our account as much as possible without hurting the volume of construction in the country.

In this article, we have shown that cement content is reduced with a constant w/c ratio and its impacts on the fresh and hardened concrete are studied. In continuation of the research, we reduced the w/c ratio (in 4 different ratios) and again the cement content was reduced in order to study the impacts of this reduction on lower ratios of w/c.

It is clear that by reducing the cement mix (reducing cement content and w/c ratio) , the workability of the concrete will be highly reduced. To treat this problem, we can use



plasticizers and superplasticizers which are explained thoroughly in the following sections. According to the obtained test results on fresh and hardened concrete, it can be concluded that reducing cement content (360kg to 450kg per m³) at the constant water / cement ratio will result in better strength and slump. On the other hand with reduction of w/c and adding super plasticizers for having better workability and flows more durability and higher strength could be gained.

۱- مقدمه

تولید سیمان یکی از صنایع آلاینده محیط زیست محسوب میشود به نحوی که به ازاء تولید هر تن کیلینکر سیمان تقریباً یک تن گاز منواکسید کربن وارد جو میشود. به همین علت تولید بتن مقاوم و با دوام با سیمان کمتر و به جای آن استفاده از افزودنیهای معدنی و شیمیایی میتواند تاثیر قابل ملاحظه ای در حفظ محیط زیست داشته باشد.

بتن حاوی سنگدانه و خمیر سیمان است و خواص خمیر سیمان به شدت تابع نسبت آب به سیمان می باشد که در واقع میزان منافذ و حفرات موجود در خمیر سیمان را کنترل می کند. در یک بتن، نفوذپذیری تابع کیفیت خمیر سیمان و تا حدودی کیفیت ناحیه انتقالی می باشد. از آن جا که معمولاً سنگدانه باعث نشت مواد مختلف از درون بتن نمی شود، کیفیت خمیر سیمان و حجم آن مستقیماً بر نشت پذیری اثر می گذارد. حفرات و منافذ مورد نظر، حفرات موئینه هستند و شامل حفرات هوای ناشی از عدم تراکم کافی نمی باشد. ضمناً حفرات ژلی به علت نفوذناپذیری مد نظر نیستند.

مقاومت بتن، مدول ارتجاعی، جذب آب، مقاومت الکتریکی و سایر ویژگی های مکانیکی، فیزیکی و دوام بتن به شدت تابع مقدار این منافذ و توزیع اندازه آن ها هستند. به عنوان مثال در سه بتن در نسبت آب به سیمان ثابت و سه عیار مختلف، کیفیت خمیر سیمان (در صد تخلخل در خمیر سیمان) یکسان است زیرا نسبت آب به سیمان ثابت است. اگر حجم حفرات موئینه در خمیر سیمان را ۲۰ در صد فرض کنیم، میزان این حفرات در بتنی که دارای عیار سیمان بالاتری است، بیشتر خواهد بود. از طرفی با کم شدن شدید خمیر سیمان ممکن است تداخل ناحیه انتقالی پیش آید و هم چنین در صورت عدم تداخل این ناحیه ها، سهم این ناحیه در فضای بین سنگدانه ها زیاد می شود و کیفیت بتن دچار افت محسوس می گردد

۲- مطالعه سوابق تحقیقات انجام شده بر روی تأثیر عیار سیمان بر کیفیت بتن

Singh و همکاران در سال ۱۹۵۸ نشان داد در نسبت های آب به سیمان مختلف با افزایش نسبت سنگدانه به سیمان مقاومت فشاری بتن بهبود می یابد. [۱]

Kolias و همکاران در سال ۲۰۰۵ تأثیر حجم خمیر سیمان و مقدار آب را بر مقاومت فشاری بتن در چهار نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۴ و ۰/۵ و ۰/۶ و مقادیر آب ۱۴۰ و ۱۸۰ و ۲۲۰ و ۲۶۰ لیتر بر متر مکعب نشان داده اند که البته برای ایجاد روانی مناسب در برخی مخلوط ها از فوق روان کننده نفتالینی و یا پلی کربوکسیلاتی استفاده کرده اند. [۲]

Yigiter و همکاران در سال ۲۰۰۶ با دو نوع سیمان و سه نسبت آب به سیمان (۰/۴۳ و ۰/۵۳ و ۰/۶۳) و سه عیار سیمان (۲۵۰ و ۳۵۰ و ۴۵۰) بتن هایی ساختند و مقاومت فشاری و کششی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که کاهش عیار سیمان از ۳۵۰ به ۲۵۰ باعث کاهش مقاومت شده است. هم چنین افزایش از ۳۵۰ به ۴۵۰ نیز کاهش مقاومت مشاهده می شود. [۳]

Desh Pand و همکاران در سال ۲۰۰۷ تأثیر عیار سیمان، نسبت آب به سیمان و نوع سیمان را بر جمع شدگی آزاد مورد بررسی قرار دادند. سه نسبت آب به سیمان و مقادیر سنگدانه ۶۰ و ۷۰ و ۸۰ درصد با دو نوع سیمان I و II مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد افزایش عیار سیمان به افزایش جمع شدگی منجر شده است. [۴].

در کتاب خواص بتن نویل ترجمه دکتر فامیلی گفته شده است که خزش عمدتاً ناشی از خمیر سیمان هیدراته است و با افزایش



خمیر سیمان به صورت غیر خطی افزایش می یابد. این موضوع در بتن های پیش تنیده و قطعات بتن مسلح اهمیت دارد. [۵]
 سلیمانی راد در سال ۱۳۸۷ تأثیر عیار سیمان بر مقاومت فشاری را در مورد بتن هایی با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۴۵ و ۰/۵ و در عیارهای ۳۰۰ و ۳۵۰ و ۴۰۰ و ۴۵۰ در سه سن مختلف نشان داده است. [۶]
 قهرمانی در سال ۱۳۸۵ تأثیر عیار سیمان بر مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم را با عیارهای ۴۵۰ و ۵۰۰ و ۵۵۰ و با یک نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بررسی کرده است. [۷]
 برای کسب اطلاعات بیشتر از نتایج آزمایشها و پژوهشهای مذکور به مراجع مربوط مراجعه شود.

۳- مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی

جهت بررسی تاثیر کاهش عیار سیمان بر کیفیت بتن، ابتدا میبایستی یک طرح اختلاط به عنوان شاهد در نظر گرفته شده سپس با کاهش عیار سیمان نسبت به آن و جایگزین نمودن افزودنی مناسب، بتنهای ساخته شده مورد سنجش و مقایسه قرار گرفته شود. این بخش شامل توضیح تفصیلی مراحل انتخاب مصالح مصرفی، طراحی و ساخت بتن های آزمایشی شاهد میباشد.

۳-۱- مصالح ساخت بتن :

۳-۱-۱- مصالح سنگی :

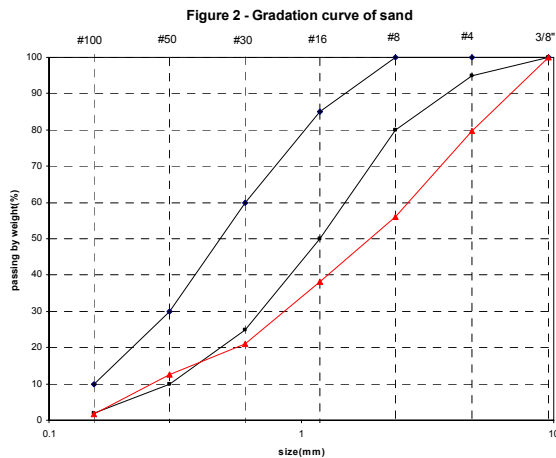
در آزمایش های انجام شده، مصالح سنگی از معادن اطراف تهران تهیه گردید. برای این منظور از چندین معدن نمونه گیری انجام گردید و پس از آزمایش دانه بندی و تعیین درصد آلودگی مصالح سنگی، دو معدن به عنوان منبع تامین مصالح انتخاب شد
۳-۱-۱-۱- شن درشت و شن ریز: این مصالح طبق استاندارد ASTM C 136 دانه بندی گردید. میزان چگالی و درصد جذب آب مصالح درشت دانه طبق استاندارد ASTM C 127 محاسبه شد.

۳-۱-۱-۲- مخلوط شن درشت و ریز : طبق اطلاعات بدست آمده از دانه بندی مصالح سنگی درشت دانه بطور جداگانه (شن ریز و درشت) نهایتاً به منظور قرار گیری منحنی دانه بندی مصالح درشت دانه در محدوده پیشنهادی استاندارد، ۸۶ درصد شن درشت با ۱۴ درصد شن ریز مخلوط گردید.

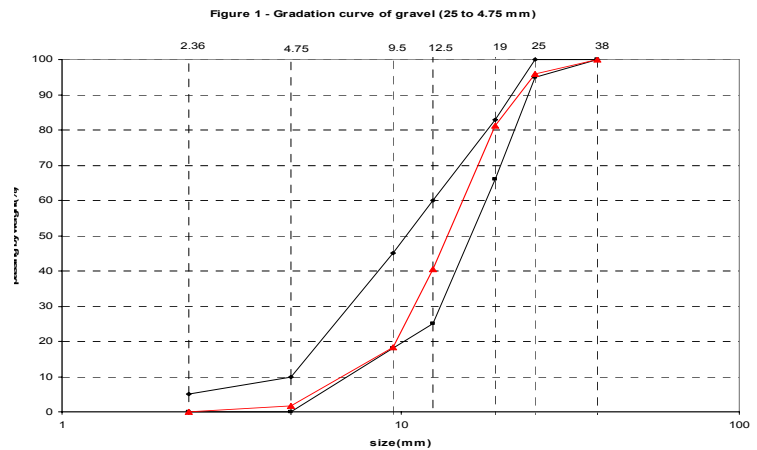
۳-۱-۱-۳- ماسه : این مصالح نیز طبق استاندارد ASTM C 136 دانه بندی گردید. میزان چگالی درصد جذب آب مصالح ریز دانه طبق استاندارد ASTM C 128 محاسبه شد.
 نتیجه آزمایشهای مذکور در جدول شماره ۱ و نمودارهای شماره ۱ و ۲ آورده شده است.

چگالی اشباع با سطح خشک (gr/cm3)	درصد جذب آب (%)	نوع مصالح
2/59	1/1	شن درشت
2/57	1/75	شن ریز
2/6	1/3	ماسه

جدول شماره ۱- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی



نمودار شماره ۲ - منحنی دانه بندی ماسه



نمودار شماره ۱ - منحنی دانه بندی مخلوط شن ریز و درشت

- ۳-۱-۲- سیمان: سیمان مصرفی در کلیه آزمایشها، سیمان تپ دو آبیگ بوده که همگی در یک زمان و از یک محموله نمونه گیری و جهت انجام طرح های آزمایشی انبار گردید.
- ۳-۱-۳- آب: آب مصرفی جهت ساخت بتن، آب شرب بوده است.
- ۳-۱-۴- افزودنیها: در ساخت طرحهای آزمایشی صرفاً افزودنیهای روان کننده و فوق روان کننده به صورت نرمال (بدون تاثیر در گیرش سیمان) از شرکت شیمی ساختمان، به کار رفته است.

ردیف	نام تجاری	نوع (کلاس) افزودنی	پایه شیمیایی	نسل
1	N50	روان کننده نرمال	لیگنوسولفونات	اول
2	M20	فوق روان کننده نرمال	نفتالین سولفونات	دوم
3	P10	فوق روان کننده نرمال	پلی کربکسیلات	سوم

جدول شماره ۲- مشخصات افزودنیها

۳-۲- طرح اختلاط

مبانی طرح اختلاط بتن در آزمایشها، روش ملی طرح مخلوط بتن، منتشر شده توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن میباشد. این روش دارای پنج گام بوده که در نهایت، منتهی به محاسبه طرح اختلاط اولیه میشود. [۸]

به منظور دستیابی به مقاومت مشخصه 300 kg/cm^2 و همچنین روانی بالای ۱۵ cm، طرح شاهد طبق این روش با مقادیر مندرج در جدول شماره ۳ حاصل گردید.



ردیف	کد طرح	عیار سیمان (Kg/m ³)	نسبت w/c	میزان آب	مصالح سنگی (Kg/m ³)			نام افزودنی	مقدار افزودنی (در صد وزن سیمان)
					شن درشت	شن ریز	ماسه		
1	I-1	450	0/45	202	512	82	1060	—	—

جدول شماره ۳- مشخصات طرح شاهد

شایان ذکر است طرح مذکور پس از ۳ مرتبه ساخت آزمایشی و انجام اصلاحات مورد نیاز حاصل گردیده است.

۴- طرح آزمایش

۴-۱- طرح آزمایش کاهش عیار سیمان

چنانچه در مقدمه مقاله آورده شده با کاهش عیار سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت، حجم خمیر سیمان کاهش پیدا کرده و این امر تاثیر جدی بر روی روانی و کارایی بتن خواهد داشت. به منظور جبران این نقیصه می‌بایستی از مواد افزودنی روان کننده و یا فوق روان کننده مناسب و با نوع بتن به لحاظ بافت، روانی اولیه بدون افزودنی، عیار سیمان، نسبت آب به سیمان، روانی مورد انتظار و... استفاده نمود.

چنانچه پیشتر گفته شد، هدف از این آزمایشها، تاثیر کاهش عیار سیمان بر کیفیت بتن میباشد. بدین منظور چهار عیار سیمان مختلف (۴۵۰، ۴۰۰، ۳۶۰، ۳۴۰) هر کدام به طور جداگانه در چهار نسبت آب سیمان مختلف، بدون تغییر در نسبت مصالح سنگی (از آنجاکه با کاهش عیار سیمان، حجم کاهش می‌یابد لذا برای ثابت ماندن حجم مطلق میبایستی مقادیر مصالح افزایش یابد اما به منظور عدم تغییر بافت دانه بندی سهم و درصد مصالح سنگی ثابت نگه داشته شد) مورد آزمایش قرار گرفت. اطلاعات مربوط به هر طرح در جدول شماره ۴ آورده شده است.

۴-۲- آزمایشهای انجام گرفته بر روی بتن تازه:

۴-۲-۱- آزمایش اسلامپ (طبق استاندارد ASTM C 143)

۴-۲-۲- آزمایش درصد هوای بتن تازه (طبق استاندارد ASTM C 231)

۴-۲-۳- آزمایش تعیین وزن مخصوص بتن تازه (طبق استاندارد ASTM C 138)

۴-۲-۴- انجام نمونه گیری جهت آزمایش تعیین مقاومت فشاری (طبق استاندارد ASTM C 31)

۴-۲-۵- انجام نمونه گیری جهت آزمایش تعیین عمق نفوذ آب

۴-۲-۶- انجام نمونه گیری جهت آزمایش تعیین جذب آب کوتاه مدت

۴-۲-۷- دمای بتن (طبق استاندارد ASTM C1064)

۴-۳- آزمایشهای انجام گرفته بر روی بتن سخت شده

۴-۳-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز (طبق استاندارد ASTM C 39)

۴-۳-۲- آزمایش تعیین عمق نفوذ آب در اثر فشار ۵ اتمسفر

۴-۳-۳- آزمایش تعیین میزان جذب آب کوتاه مدت *



ردیف	کد طرح	عیار سیمان (Kg/m ³)	نسبت w/c	میزان آب	مصالح سنگی (Kg/m ³)			نام افزودنی	مقدار افزودنی (در صد وزن سیمان)
					شن درشت	شن ریز	ماسه		
1	I-1	450	0/45	202	512	82	1060	---	---
2	I-2	400	0/45	180	545	87	1130	---	---
3	I-3	360	0/45	162	569	91	1180	M20	0.33
4	I-4	340	0/45	153	581	93	1205	P10	0.24
5	N-1	450	0/42	189	524	84	1087	N50	0.23
6	N-2	400	0/42	168	554	89	1148	N50	0.37
7	N-3	360	0/42	151	578	93	1198	N50	0.7
8	M-1	450	0/37	166	542	87	1124	M20	0.48
9	M-2	400	0/37	148	570	91	1182	M20	0.88
10	M-3	360	0/37	133	592	95	1227	M20	1.4
11	P-1	450	0/35	157	550	88	1140	P10	0.15
12	P-2	400	0/35	140	577	92	1195	P10	0.32
13	P-3	360	0/35	126	598	96	1240	P10	0.7

جدول شماره ۴- مشخصات طرحهای آزمایشی

* آزمایش تعیین جذب آب حجمی هر مخلوط بر روی دو نمونه مکعبی ۱۰۰ میلی متری انجام گرفت. این نمونه‌ها پس از ۲۸ روز ماندن در آب به مدت ۵ روز در داخل اون با دمای ۱۰۰ درجه خشک گردیدند. سپس وزن خشک آنها اندازه گیری شد؛ آنگاه نمونه‌های خشک شده در ظرف آب به نحوی غوطه‌ور شدند که سطح آب ۵ ± ۲۵ میلی متر بالاتر از سطح نمونه‌ها قرار گرفت. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در ظرف آب باقی ماندند و پس از خروج از آب توسط پارچه، آب سطحی آنها پاک شده توزین گشتند. به این ترتیب با داشتن وزن نمونه در حالت خشک و وزن نمونه پس از غوطه‌وری درصد جذب آب بر حسب وزن نمونه ی خشک از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$i = \frac{m_i - m_o}{m_o} \times 100$$

که در آن i درصد جذب آب، و m_o و m_i به ترتیب وزن نمونه‌ها در حالت خشک و پس از غوطه‌وری بر حسب گرم است.

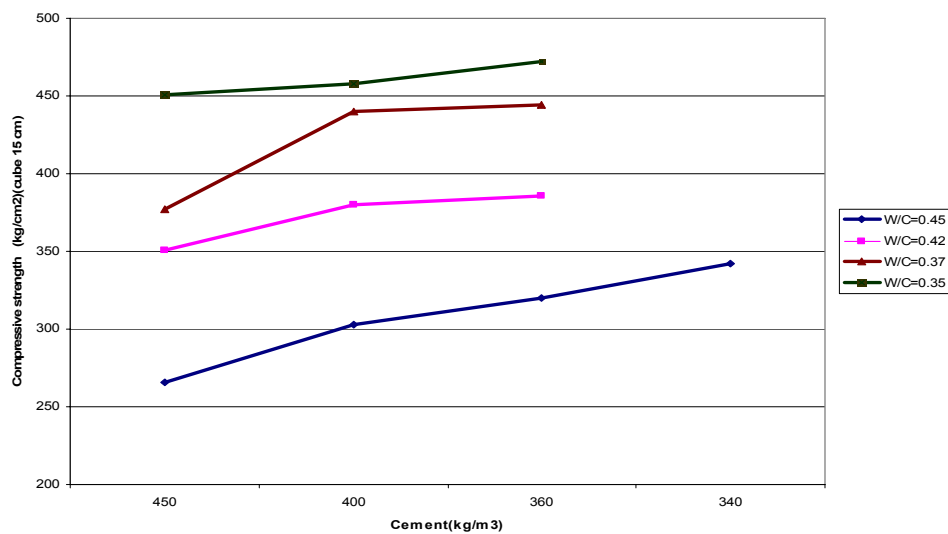
۵- نتایج آزمایشها و تفسیر آنها:

۵-۱- نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی بتن تازه و سخت شده در کلیه طرحهای آزمایشی در جدول شماره ۵ و نمودارهای شماره ۳، ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.

کد طرح	عیار سیمان (Kg/m ³)	نسبت w/c	نام افزودنی	مقدار افزودنی (بر صد وزن سیمان)	اسلامپ (cm)		مقاومت فشاری (kg/cm ²)		در صد هوای بتن تازه	میزان عمق نفوذ (mm)	در صد جذب آب
					بدون افزودنی	با افزودنی	7 روزه	28 روزه			
I-1	450	0/45	_____	_____	22	_____	266	342	1.8	28	3.38
I-2	400	0/45	_____	_____	18	_____	303	355	2.5	26	3.02
I-3	360	0/45	M20	0.33	7	21	320	364	3.5	22	2.53
I-4	340	0/45	P10	0.24	4	22	342	377	1.7	20	2.36
N-1	450	0/42	N50	0.23	17	21	351	408	2.6	25	3.07
N-2	400	0/42	N50	0.37	10	22	380	444	3.9	23	2.71
N-3	360	0/42	N50	0.7	2	20	386	448	3.5	20	2.22
M-1	450	0/37	M20	0.48	7	21	377	429	2.2	21	2.49
M-2	400	0/37	M20	0.88	0	22	440	475	1.9	18	2.13
M-3	360	0/37	M20	1.4	0	20	444	487	1.4	14	2.01
P-1	450	0/35	P10	0.15	5.5	22	451	515	2	17	2.17
P-2	400	0/35	P10	0.32	0	20	458	537	2.4	15	1.94
P-3	360	0/35	P10	0.7	0	18	462	580	1.4	12	1.57

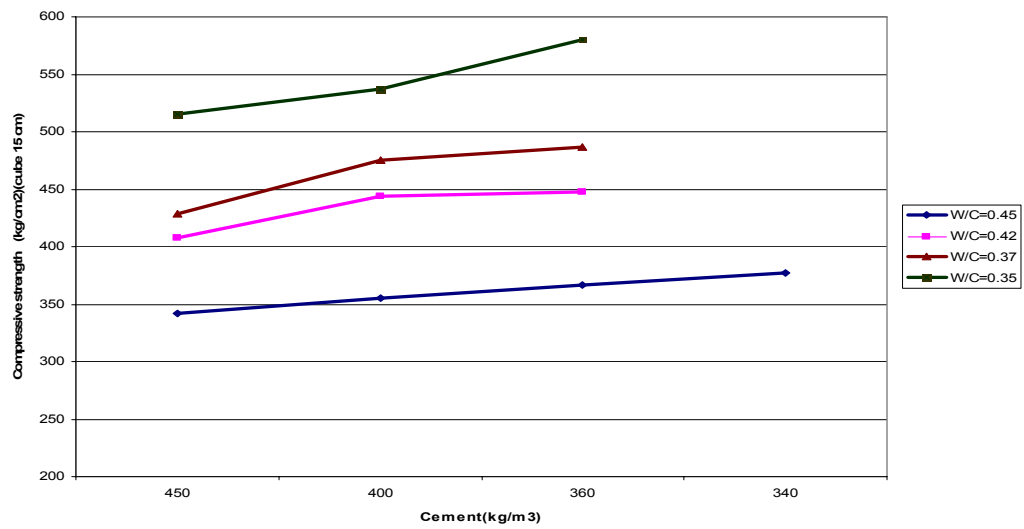
جدول شماره ۵- نتایج طرحهای آزمایشی

نمودار شماره ۳- مقاومت فشاری کلیه آزمایشها در سن ۷ روز

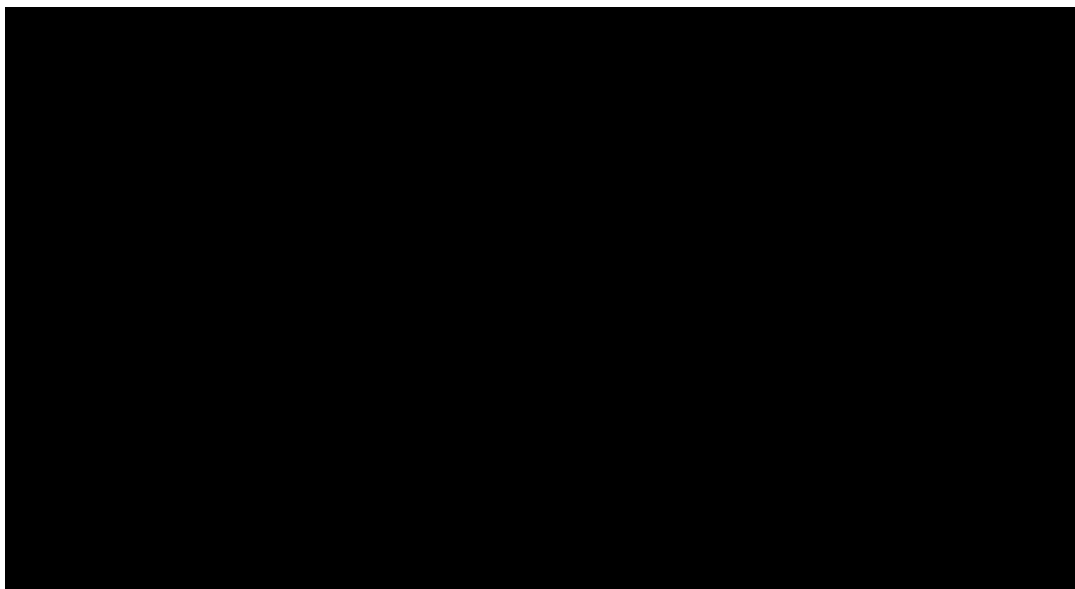




نمودار شماره ۴- مقاومت فشاری کلیه آزمایشها در سن ۲۸ روز

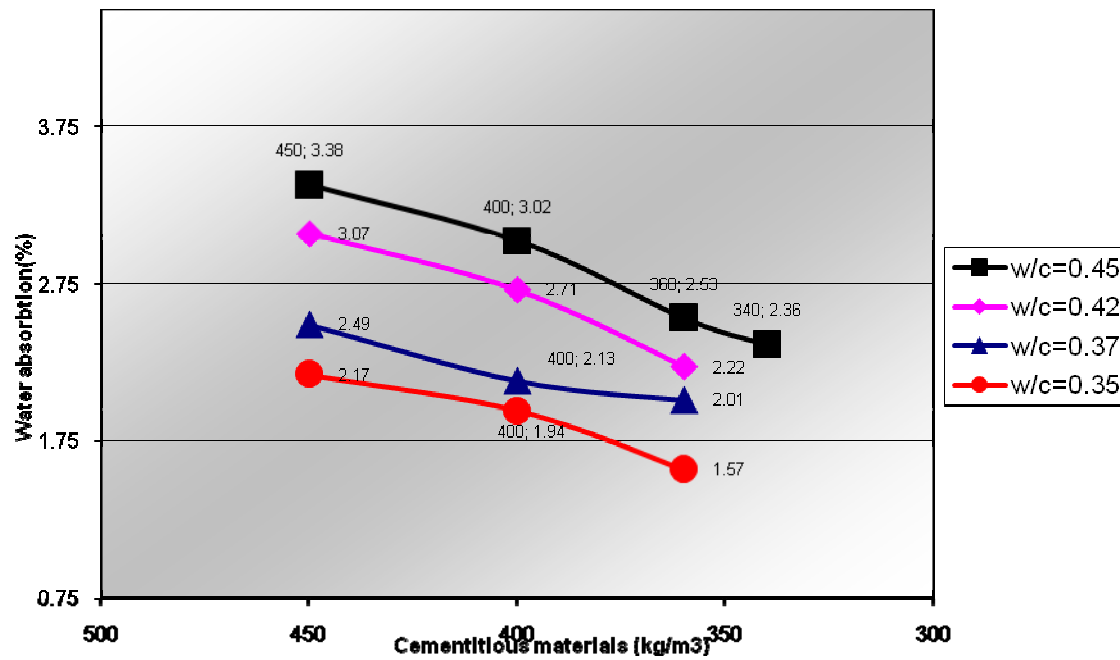


نمودار شماره ۵- میزان عمق نفوذ آب





نمودار شماره ۶- درصد جذب آب کلیه
آزمایشها



۲-۵- تفسیر نتایج :

- ۱- علت عمده این پدیده بهبود مشخصات مقاومتی و دوامی بتن با کاهش عیار سیمان ، کاهش حجم خمیر سیمان در واحد حجم بتن است . هنگامی که نسبت آب به سیمان ثابت باشد، کاهش حجم خمیر سیمان ، موجب کاهش تخلخل در واحد حجم بتن میگردد .
- ۲- با کاهش حجم خمیر سیمان ، جمع شدگی در بتن کاهش مییابد و موی ترک ها عملاً کمتر خواهند شد . لذا کیفیت مقاومتی و دوامی بتن بالا میرود .
- ۳- با افزایش سنگدانه و کاهش حجم خمیر سیمان ، فضای پیچ در پیچ بیشتری در بتن ایجاد میشود که به کاهش نفوذ پذیری منجر میگردد .

**۶- نتیجه گیری و پیشنهاد :**

- ۱- نباید پنداشت که با افزایش عیار سیمان و ثابت بودن نسبت آب به سیمان، همواره بهبود کیفی را شاهد خواهیم بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد با کاهش عیار سیمان ضمن ثابت حفظ نمودن نسبت آب به سیمان ، کیفیت مکانیکی و دوامی بتن بهبود می یابد .
- ۲- کاهش حجم خمیر سیمان ضمن ثابت حفظ نمودن نسبت آب به سیمان ، وقتی میسر است که آب و سیمان هر دو کاهش یابند. این امر مشکلاتی جدی برای کارایی بتن ایجاد مینماید . واقعیت آن است که امکان عملیات اجرایی نظیر انتقال با پمپ و تراکم کافی برای چنین بتن هایی امکان پذیر نیست . لذا مصرف افزودنیهای روان کننده و فوق روان کننده اجتناب ناپذیر است .
- ۳- با مصرف فوق روان کننده و کاهش نسبت آب به سیمان ، حتی با عیار های پایین نظیر ۳۶۰ و ۳۴۰ کیلو گرم در متر مکعب میتوان مقاومت های بالا نظیر ۵۸ مگا پاسکال را بدست آورد .
- ۴- پخش و توزیع ذرات سیمان به علت وجود افزودنی روان کننده و فوق روان کننده بهتر شده و از طرفی تراکم پذیری بتن بهتر انجام میشود این امر سبب بهبود مقاومت و دوام بتن میگردد .

پیشنهاد ها :

- ۱- هر چند افزایش عیار سیمان و ثابت بودن مقدار آب به کاهش نسبت آب به سیمان منجر می شود و افزایش کیفیت را خواهیم داشت توصیه می شود کاهش نسبت آب به سیمان با کاهش آب همراه باشد نه افزایش مواد سیمانی تا بهبود مضاعفی را ایجاد کنیم.
- ۲- انتخاب صحیح افزودنیهای مناسب با توجه به نوع بتن امری تخصصی است و نیاز به شناخت از نوع و عملکرد آنها دارد .
- ۳- روان کننده ها و فوق روان کننده ها در کنار قدرت کاهندگی آب دارای خصوصیات افت اسلامپ هستند که میتوان با انتخاب صحیح و یا مواد نگهدارنده اسلامپ آنها را اصلاح نمود .

مراجع

[1] Singh, B. G. (1958) "Specific Surface of Aggregates Related to Compressive and Flexural Strength of Concrete", J. Amer. Concr. Inst., No. 54, pp. 897 – 907.

[2] Koliass, S., Georgiou, C. (2005) "The Effect of Paste Volume and of Water Content on the Strength and Water Absorption of Concrete", Cement & Concrete Composites, No. 27, pp. 211 – 216.

[3] Yiğiter, H., Yazici, H., and Aydin, S. (2006) "Effect of Cement Type, Water/cement Ratio and Cement Content on Sea Water Resistance of Concrete" Building and Environment.



[4] Deshpande, S., Darwin, D. and Browning, J. (2007) "Evaluation Free Shrinkage of Concrete for Control of Cracking in Bridge Decks", Structural Engineering and Engineering Materials, SM Report No. 89, The University of Kansas Center for Research, INC., Lawrence, Kansas.

- [۵] نوپل، آ. (۱۳۷۸) "خواص بتن"، ترجمه: فامیلی، ه.، ابوریحان بیرونی، ص. ۱۰۰۹.
- [۶] قهرمانی، غ. ر. (۱۳۸۵) "تأثیر عیار سیمان بر برخی از پارامترهای دوام (خوردگی میلگرد) بتن خودتراکم"، پایان-نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ص. ۱۶۵.
- [۶] تدین، محسن، مقاله "تأثیر عیار سیمان بر کیفیت بتن" ۱۳۸۷
- [۸] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه ض-۴۷۹ "روش ملی طرح مخلوط بتن" ۱۳۸۶