Civil and Project Journal, 2022, 4(1), 44-54
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1128

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Investigation of Water to Cement Ratio on The Strength of Hydrated Cement in Concrete Structures (Case study of Shiraz)

Rahim hajibagheri[1], Roozbeh Aghamajidi[2*]

1 -Master of Urban Engineering, Urban Design, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Beiza Unit, Fars, Iran
2 -Assistant Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Sepidan Unit, Fars, Iran

Received: 03 January 2022; Revised: 30 April 2022; Accepted: 30 April 2022; Published: 30 April 2022

Abstract

Increasing study and research on the components of concrete structures has led to the availability of materials, the use of which in turn has been able to have a tremendous impact on concrete production. Concrete is undoubtedly the most important building material, the production and consumption of which is increasing day by day and it is used in almost all structures. The performance of cement as one of the main components of concrete products has always been considered and with the increasing development of Iran's cement industry in terms of quantity in the production of cement, cement quality control by examining physical and chemical properties is very important. In this study, we tried to investigate the factors affecting the strength of hydrated cement used in concrete structures in Shiraz and the results indicate a decrease in concrete strength due to increasing the ratio of water to cement and also C3S and C2S are the two main compounds causing cement strength are hydrated.

Keywords:

Compressive strength, Hydrated cement, Concrete structures, Water to cement ratio.

Cite this article as: Aghamajidi, R., Hajibagheri, R. (2022). Investigation of Water to Cement Ratio on The Strength of Hydrated Cement in Concrete Structures (Case study of Shiraz). Civil and Project Journal, 4(1), 44-54. https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1128

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: roozbeh1381@yahoo.com

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۱، ۴(۱)، ۴۴-۵۴
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.01.1128

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

بررسی نسبت آب به سیمان بر مقاومت سیمان هیدراته در سازه‌های بتنی (مطالعه موردی شهر شیراز)

رحیم حاجی باقری[۱]، روزبه آقامجیدی[۲*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی شهرسازی گرایش طراحی شهری، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیضاء، فارس، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، فارس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۲ اسفند ۱۴۰۰؛ تاریخ بازنگری: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

مطالعه و تحقیق روزافزون در مورد مواد تشکیل دهنده سازه‌های بتنی، باعث دستیابی به مصالحی شده، که استفاده از آن‌ها به نوبه خود توانسته است، اثرات شگرفی در تولید بتن بگذارد. بتن بدون تردید مهم‌ترین مصالح ساختمانی است، که تولید و مصرف آن روز به روز افزایش می‌یابد و تقریباً در همه سازه‌ها از آن استفاده می‌شود. عملکرد سیمان به عنوان یکی از اجزای اصلی فرآورده بتن همواره مورد توجه بوده است و با توسعه روز افزون صنعت سیمان ایران از نظر کمیت در زمینه تولید انواع سیمان، کنترل کیفیت سیمان با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار مهم است. در تحقیق انجام گرفته سعی گردید تا عوامل موثر در مقاومت سیمان هیدراته مورد استفاده در بتن سازه‌های شهر شیراز مورد بررسی قرار گیرد و نتایج بررسی حاکی از کاهش مقاومت بتن بر اثر افزایش نسبت آب به سیمان و همچنین C3S و C2S دو ترکیب اصلی مسبب مقاومت سیمان هیدراته شده هستند.

کلمات کلیدی:

مقاومت فشاری، سیمان هیدراته، سازه‌های بتنی، نسبت آب به سیمان

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *roozbeh1381@yahoo.com*

۱- مقدمه

بتن از مهم‌ترین مصالح ساختمانی در صنعت ساخت و ساز به شمار می‌آید و بنابراین کیفیت بتن، در عملکرد کوتاه مدت و دراز مدت سازه‌ها نقش بسیار مهمی‌دارد. ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام بتن به کیفیت و خواص اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد . از عوامل مهم در ساخت بتن‌های با مقاومت‌های فشاری زیاد استفاده از سنگدانه‌هایی با مقاومت بالا و کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در مخلوط بتنی برای ایجاد ساختار همگن در آن می‌باشد. در بتن‌هایی با مقاومت زیاد بایستی تا حد ممکن نسبت آب به سیمان را کاهش داد. بتن در مقیاس ماکروسکوپی یک ماده ناهمگن، شامل دو فاز سنگدانه و خمیر سیمان است. اما در مقیاس میکروسکوپی ناحیه ی انتقالی سطح مشترک سنگدانه-خمیر سیمان نیز یک فاز را در بتن تشکیل می‌دهد. پس از اینکه آب به مخلوط مصالح سنگی و سیمان افزوده شد، سیمان و آب با هم وارد فعل و انفعالات شیمیایی حرارت زا می‌شوند. در اثر این فعل و انفعالات، ماده ی ژله مانند و چسبنده ای بوجود می‌آید که مصالح مختلف داخل مخلوط را به هم پیوند می‌دهد و آنرا بصورت جسم سختی در می‌آورد (فامیلی و دیگران، ۱۳۹۴).

عملکرد سیمان به عنوان یکی از اجزای اصلی فرآورده بتن همواره مورد توجه بوده است و با توسعه روز افزون صنعت سیمان ایران از نظر کمیت در زمینه تولید انواع سیمان ، کنترل کیفیت سیمان با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار مهم است. روند کسب مقاومت بتن‌هایی که با شرایط یکسان، ولی با انواع مختلف سیمان پرتلند ساخته می‌شوند یکسان نیست، ولی در عین حال مقاومت ۹۰ روزه تمامی‌آن‌ها با یکدیگر برابر بوده و مساوی ۱/۲ برابر مقاومت نمونه ۲۸ روزه‌ای است که با سیمان تیپ یک ساخته شده است (اسفندیاری, ۱۳۹۷).

در تحقیق انجام گرفته سعی گردید تا علاوه بر مقاومت‌های ۱، ۷، ۲۸، ۹۰ روزه، روند رشد مقاومت فشاری ۴۲ روزه بتن با سیمان پرتلند نوع دو و مصالح بومی‌شهر شیراز بررسی شود و درصد رشد آن نسبت به ۲۸ روزه بتن بررسی گردد تا از این طریق بتوان روند رشد مقاومت فشاری بتن در سنین بالا را بررسی کرد و روابط آن را با پارامترهای بتن مقایسه نمود. مقاومت سیمان پرتلند را نمی‌توان توسط یک فرمول شیمیایی بیان نمود، زیرا یک مخلوط پیچیده از ترکیبات اصلی و فرعی است. به طور کلی در یک مقدار مشخص وزنی از سیمان یا کلینکر، چهار ترکیب شیمیایی (Compounds) هستند که بیشترین فراوانی را داشته و بیشترین درصد وزنی آن مقدار سیمان یا کلینکر را تشکیل می‌دهند. این چهار ترکیب اصلی تشکیل دهنده سیمان را فازهای اصلی سیمان گویند که از آنالیز دی اکسید شیمیایی سیمان پرتلند محاسبه می‌گردند. این ترکیبات از نظر شیمیایی حقیقی نیستند ولی نسبت‌های مربوط به آن‌ها اطلاعات با ارزشی را برای پیش بینی خواص سیمان فراهم می‌سازد(رمضانیانپور، ۱۳۹۵).

جدول ۱ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند [۸]

نام فاز ترکیبی (معادل فارسی)	نام فاز ترکیبی (لاتین)	نماد اختصاری	نام معمول
سیلیکات تری کلسیم	Tricalcium Silicate	C_3S	Alite
سیلیکات دی کلسیم	Dicalcium Silicate	C_2S	Belite
آلومینات تری کلسیم	Tricalcium Aluminate	C_3A	-
آلومینو فریت تترا کلسیم	Tetracalcium Aluminoferrite	C_4AF	Ferrite

با استفاده از مقدار اکسیدهای سیمان و معادلات ارائه شده به روش بوگ می‌توان درصد ۴ فاز اصلی سیمان (C_3S، C_2S،C_3A، C_4AF) را با تقریب قابل قبولی محاسبه کرد. در بدست آوردن این فرمول‌ها فرض شده که اکسیدهای موجود در مواد خام اولیه فقط تشکیل این ۴ فاز را می‌دهند و چهار فاز اصلی بدست آمده کاملاً خالص هستند. دانستن مقدار ۴ فاز اصلی سیمان در هر بار آنالیز شیمیایی سیمان، روشی برای کنترل کیفیت سیمان در زمان‌های مختلف و مقایسه نتایج با یکدیگر می‌باشد. از میان ۴ فاز اصلی سیمان، C_3A بیشترین سرعت واکنش با آب را دارد. در کنار واکنش‌هایی که ذرات C_3A با آب می‌دهند، سیلیکات‌های کلسیم سیمان یعنی ذرات C_3S و C_2S نیز همزمان با آن واکنش داده اما سرعت واکنش آن‌ها کمتر از

C_3A می‌باشد. در اثر واکنش این دو فاز با آب، ماده ای ژل مانند بنام هیدرات‌های سیلیکات کلسیم[1] بوجود می‌آید که به دلیل اینکه ساختار آن بسیار پیچیده بوده و در شرایط مختلف انواع مختلفی از هیدرات‌های سیلیکات کلسیم می‌تواتند بوجود آید، آن‌ها را با فرمول کلی نشان داده و به آن ژل C-S-H نیز می‌گویند. در خمیر سیمان هیدراسیون یافته و سخت شده، ژل C-S-H بین ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم خمیر را در بر می‌گیرد و مهم‌ترین محصول ناشی از هیدراسیون سیمان می‌باشد که تعیین کننده مهم‌ترین خصوصیات مربوط به خمیر سیمان از جمله مقاومت و نفوذ پذیری می‌باشد (رمضانیانپور، ۱۳۹۵). توسعه مقاومت سیمان اساساً بستگی به مقادیر C_3S،C_2S دارد. سیلیکات‌های C_3S و C_2S مهم‌ترین ترکیبات سیمان هستند که مسئولیت مقاومت خمیر سیمان هیدراته شده را به عهده دارند. حضور C_3A در سیمان مطلوب نیست، زیرا در مقاومت سیمان بجز سنین اولیه نقش چندانی ندارد و بعد از سخت شدن سیمان هیدراته در معرض حمله سولفات‌ها قرار گرفته و تشکیل کلسیم سولفو آلومینات (اترینگایت) می‌دهد که ممکن است، سبب فاسد شدن سیمان شود. C_4AF که در مقایسه با سایر ترکیبات به مقدار کمی‌در سیمان موجود است، تاثیر عمده‌ای در رفتار سیمان ندارد. علاوه بر ترکیبات اصلی درج شده نیز ترکیبات فرعی از قبیل K_20، Mn_20_3، TiO_2، MgO و Na_20 نیز در سیمان وجود دارند که معمولاً مقدار آن‌ها از چند درصد تجاوز نمی‌کند. در این بین دو ترکیب فرعی سدیم اکسید و پتاسیم اکسید Na_20 و K_20 که به قلیایی سیمان معروف هستند حائز اهمیت می‌باشند این ترکیبات با برخی از مصالح سنگی واکنش می‌دهند و نتیجه آن واکنش قلیایی مصالح سنگی است که منجر به خرابی بتن و همچنین تغییر در نرخ کسب مقاومت سیمان می‌شود (استاندارد ASTM C114) مقادیر تقریبی ترکیبات سیمان در جدول ۲ ارائه گردیده است که می‌توان به واسطه آن یک ایده کلی از ترکیبات سیمان به دست آورد.

جدول ۲ مقادیر ترکیبی ساختار سیمان [۸,۷,۶,۵]

نام عنصر	میزان ٪
CaO	۶۰-۶۷
SiO_2	۱۷-۲۵
Al_2O_3	۳-۸
Fe_2O_3	۰/۵-۶
MgO	۰/۱-۴
قلیایی‌ها	۰/۲-۱/۳
SO_3	۱-۳

بررسی کیفیت سیمان‌ها از دیدگاه فازهای مهم مقاومتی آن‌ها همواره مورد توجه بوده است. در سال‌های اخیر کارخانجات سیمان در ایران به دلایل مختلف بعضاً اقدام به تولید سیمان‌هایی با مقادیر زیادتر فاز تری کلسیم سیلیکات با هدف افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت و یا دراز مدت نموده اند. در همین راستا برای تعین مقاومت فشاری انواع سیمان‌ها و بررسی کیفیت آن‌ها از نظر مقاومتی، با مخلوط کردن مقدار مشخصی سیمان با سنگدانه سیلیسی استاندارد که دارای دانه بندی مشخصی باشد، ملات سیمان ساخته شده و آزمونه‌های مختلفی از این ملات تهیه شده و در سنین مختلف تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار می‌گیرند (استاندارد ملی ایران، آبا).

۲- هدف تحقیق

مواد و روش بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی، نقش مهمی‌در استحکام ساختمان‌ها دارد. با توجه به این که دستیابی به مقاومت فشاری مناسب بتن همواره یکی از اساسی ترین دغدغه‌های تحقیقات متخصصین بوده است، هدف از این تحقیق بررسی عواملی است که بر مقاومت سیمان هیدراته و به تبع آن مقاومت بتن تاثیر می‌گذارند. بدین منظور آزمایشی

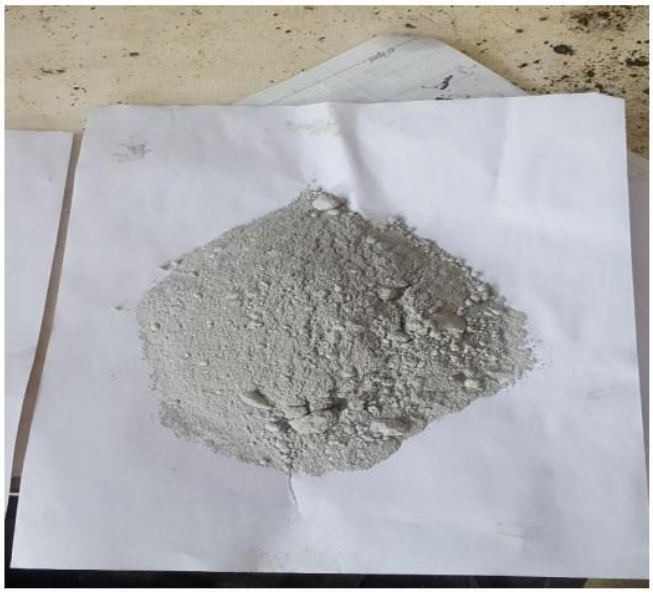
[1] Calcium Silicate Hydrates

برای نسبت‌های مختلف آب به سیمان طراحی و اجرا شد تمام نتایج نشان دهنده‌ی کاهش مقاومت فشاری بتن در مقابل افزایش نسبت آب به سیمان بوده است. آگاهی نسبت به عوامل مهم بر مقاومت فشاری بتن، در دستیابی به طرح اختلاط بهینه آن با مقاومت مورد نظر با صرف زمان کم بسیار موثر است. در تحقیق حاضر به تعداد ۲۵ نمونه جهت طرح اختلاط در نظر گرفته شده که همگی در میزان شن و ماسه ثابت و در میزان نسبت آب به سیمان متفاوت بوده اند. جامعه آماری مورد تحقیق در مطالعه حاضر شهرستان شیراز و مصالح سنگی معدن کفترک و سیمان فارس بوده است. در این آزمایش به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمامی‌نمونه‌ها از قالب مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلیمتر استفاده شده است. آزمایش اسلامپ (روانی بتن) مطابق استاندارد ASTM-C143 بر روی هر کدام از نمونه‌ها صورت پذیرفت. در این تحقیق سعی شده است که عوامل موثر بر مقاومت بتن از جمله اسلامپ را در تمامی‌طرح محلوط‌ها ثابت فرض شود چرا که میزان اسلامپ می‌تواند رابطه مستقیمی‌با عیار سیمان، میزان آب اختلاط و میزان تراکم و تخلخل بتن داشته باشد. از آن جایی که ارزیابی مقاومت فشاری ۷، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه نمونه‌ها مد نظر بوده، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در حوضچه آب در دمای بین ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتیگراد، نگهداری شدند. لزوم عمل آوری برخاسته از این حقیقت است که هیدراسیون سیمان تنها در منافذ موبینه پر از آب اتفاق می‌افتد. به این دلیل باید از افت آب از منافذ مویینه جلو گیری کرد (رمضانیانپور،۱۳۹۵). پس از عمل آوری، نمونه‌ها تحت آزمایش تعیین مقاومت فشاری توسط دستگاه جک بتن شکن (Matest 2000KN) با سرعت بارگذاری ۰/۴ Mpa/Sec قرار گرفتند.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در این تحقیق، سیمان فارس تیپ ۲ می‌باشد. لازم به ذکر است که سیمان مصرفی باید عاری از هرگونه آلودگی باشد و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن با مشخصات مندرج در استانداردهای ASTM-150 سیمان‌های پرتلند معمولی و استاندارد ASTM-C595 سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی منطبق باشد.



تصویر ۱ سیمان تیپ دو فارس جهت تهیه و ساخت نمونه بتنی

جدول ۳ ساختار شیمیایی سیمان تیپ دو فارس

C_3S	I.R	L.O.I	SO_3	MgO	FE_2O_3	AL_2O_3	SiO_4
۵۵٪	٪۰/۵	٪۲	٪۳	٪۳	٪۵	٪۷	٪۲۴

جدول ۴ مشخصات فیزیکی سیمان تیپ دو فارس

سطح مخصوص (بلین)	انبساط اولیه (اتوکلاو)	زمان گیرش		مقاومت فشاری		
Cm^2/gr	٪	اولیه	نهایی	۳روزه	۷روزه	۲۸روزه
۲۹۵۰	۰/۸	min۱۰۰	min۳۱۵	۱۹۵	۳۹۰	۴۷۰

۳-۲- شن

درشت دانه مورد استفاده جهت ساخت بتن مورد آزمایش در این تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی‌با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می‌باشد که از معدن کفترک واقع در شمال غرب شهرستان شیراز، تهیه گردیده است. وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک ،۲۷۳۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و در حالت کاملاً خشک نیز ۱۳۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب می‌باشد. میزان جذب آب درشت دانه نیز برابر با ۲/۰۳ درصد می‌باشد.

جدول ۵ مشخصات فیزیکی درشت دانه مورد استفاده

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	میزان جذب آب	وزن مخصوص SSD	وزن مخصوص خشک
بادامی	mm	%	kg/m^3	kg/m^3
نخودی	۱۹	۲/۰۳	۲۷۳۰	۱۳۵۰

۳-۳- ماسه

ماسه مورد استفاده برای ساخت بتن در این آزمایش از نوع ماسه شکسته کوهی معدن کفترک که واقع در شمال غرب شیراز واقع می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته. ماسه مذکور دارای وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک ۲۵۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب و در حالت کاملاً خشک نیز ۱۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شده است. میزان جذب آب ماسه مطابق با استاندارد ASTM-C128 نیز ۱/۵۷ درصد می‌باشد. در این آزمایش، حداکثر اندازه دانه بندی ماسه بین ۰ تا ۴/۷۵ میلیمتر می‌باشد.

جدول ۶ مشخصات فیزیکی درشت دانه مورد استفاده

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول	وزن مخصوص خشک	وزن مخصوص SSD	جذب آب
	mm	نرمی	kg/m^3	kg/m^3	%
ماسه	۴/۷۵	۲/۹	۱۶۵۰	۲۵۹۰	۱/۵۷

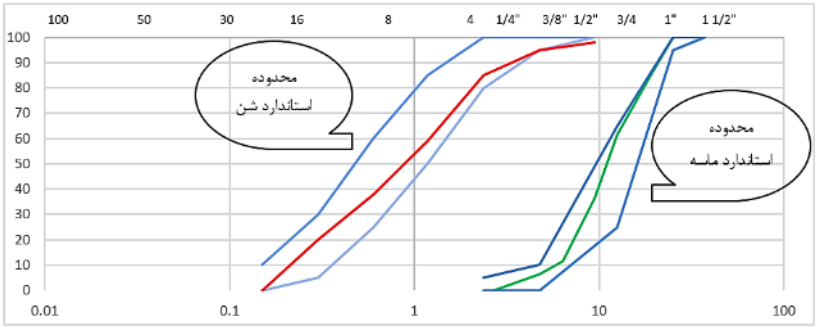
۳-۴- دانه بندی

تقسیم بندی سنگدانه‌های مصرفی موجود در بتن اندازه‌های یکسان در ابعاد و اندازه‌های مشخص در مقادیر مختلف وزنی به دانه بندی مشهور است. هدف از این کار، توزیع ذرات و دانه‌های سنگی در ابعاد و اندازه مختلف جهت تراکم بهتر مصالح در بتن است. در آزمایش دانه بندی سنگدانه‌ها، مصالح خشک سنگی با ایجاد لرزه توسط الک‌های مختلف شماره بندی شده عبور داده می‌شوند و اندازه دانه‌های روی هر الک و مقدار آن مشخص می‌گردد. البته قابل ذکر است که برای دانه بندی مصالح درشت دانه یا شن از دستگاه یکنواخت کننده دانه استفاده می‌شود. مطابق با استاندارد ASTM-C330 دانه بندی از الک‌های سیمی‌استاندارد استفاده می‌گردد (ی.احمدیان, ۱۳۹۹). وزن باقیمانده دانه‌های سنگی روی الک بر حسب اندازه آن‌ها در جدول شماره ۷ نشان داده شده است. در این جدول یک ستون حاوی داده‌های مانده روی الک و ستون دیگر درصد وزنی مانده روی الک را نسبت به کل وزن نمونه نشان می‌دهد. با محاسبه مقادیر درصد تجمعی میزان عبور کرده از هر الک که بر اساس شماره بندی استاندارد روی یکدیگر قرار گرفته اند، (با دقت ۱ درصد) می‌توان این مقادیر را با منحنی استاندارد ASTM-C330 مقایسه نمود. در

منحنی دانه بندی سنگدانه‌ها، محور عمودی نمایش دهنده درصد تجمعی عبور داده شده از هر الک و محور افقی بیانگر اندازه یا شماره الک می‌باشد. (ی.احمدیان, ۱۳۹۹)

جدول ۷ دانه بندی سنگدانه مطابق استاندارد ASTMC33

اندازه الک	درصد عبوری ریزدانه	درصد عبوری درشت دانه
۱۹	۰	۹۰
۱۲/۵	۰	۶۴
۹/۵	۰	۲۵
۴/۷۵	۹۳	۶
۲/۳۶	۸۶	۰
۱/۱۸	۷۱	۰
۰/۶۰	۴۷	۰
۰/۳۰	۲۲	۰
۰/۱۵	۰	۰



نمودار ۱ دانه بندی سنگدانه مطابق استاندارد ASTMC33

تصویر ۲ دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده جهت تهیه نمونه بتنی

٤- طرح اختلاط

طرح اختلاط مورد استفاده در این تحقیق جهت تولید بتن با عیار سیمان ۳۹۰ برای هر متر مکعب و مقاومت مشخصه ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در نظر گرفته شده است. به طور کلی عیار ۳۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب عمومی‌ترین و پر مصرف ترین نوع بتن در فعالیت‌های عمرانی شهرستان شیراز می‌باشد. برای هر سری نسبت سنگدانه ثابت و مقدار سیمان به آب متغیر درنظر گرفته شده تا تاثیر نسبت آب به سیمان بر روی مقاومت فشاری واضح تر ارائه شود (جدول شماره ۸).

جدول ۸ طرح اختلاط مورد استفاده جهت ساخت نمونه های بتنی

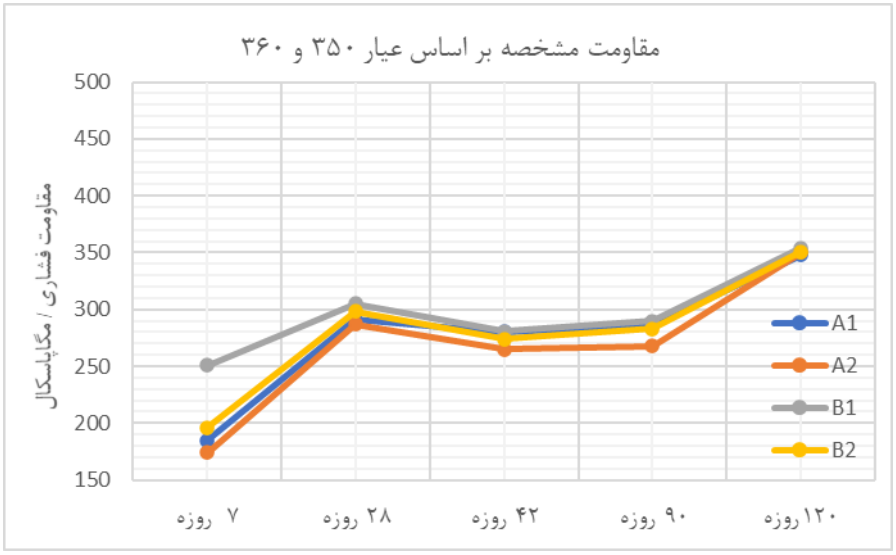
شماره نمونه	طرح اختلاط				w/c	اسلامپ (cm)
	شن (Kg)	ماسه (Kg)	سیمان (Kg)	آب (لیتر)		
A1	۷۰۰	۸۵۰	۳۵۰	۱۴۳/۵	۰/۴۱	۸/۲
A2	۷۰۰	۸۵۰	۳۶۰	۱۵۱/۲	۰/۴۲	۷/۴
A3	۷۰۰	۸۵۰	۳۹۰	۱۶۷/۷	۰/۴۳	۷/۷
A4	۷۰۰	۸۵۰	۴۰۰	۱۹۲	۰/۴۸	۷/۹
A5	۷۰۰	۸۵۰	۴۵۰	۲۲۵	۰/۵۰	۸

۵- یافته‌ها

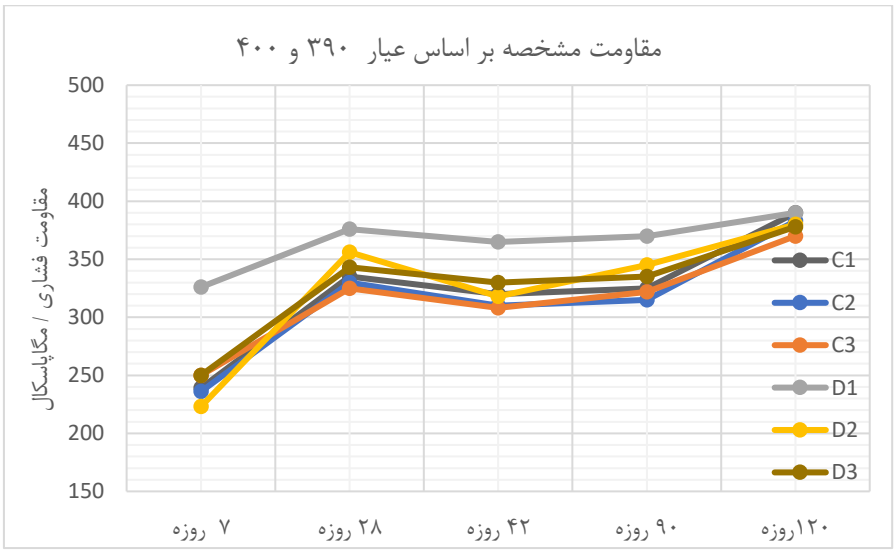
مقاومت ملات یا بتن به چسبانندگی خمیر سیمان، چسبندگی سیمان به سنگدانه‌ها، تا حدی به مقاومت خود سنگدانه‌ها بستگی دارد. در این مرحله عامل اخیر مورد بررسی قرار نمی‌گیرد و از طریق مصرف سنگدانه‌های استاندارد شده، اثر این عامل بر مقاومت فشاری سیمان ثابت نگه داشته می‌شود. مقاومت فشاری تحت تاثیر نوع سیمان یا به مفهوم دقیق‌تر ترکیب و نرمی‌سیمان قرار دارد. به طور کلی به دلیل عوامل بسیار زیاد مربوط به خصوصیات سنگدانه‌ها، مخلوط‌های بتن، فرایند ساخت و شرایط محیطی موجود در محل کار از مقاومت سیمان (بر اساس آزمایش بر روی مکعب ملات) نمی‌توان برای پیش بینی دقیق مقاومت بتن استفاده کرد یکی از این دلایل تفاوت در نسبت آب به سیمان می‌باشد. به منظور ارزیابی روابط موجود بین مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف، از نتایج ۱۳ نمونه بتن که مربوط به چندین پروژه اجرایی استان فارس شهرستان شیراز در طی یک سال اخیر می‌باشد، جمع آوری و مورد استفاده قرار گرفته است. جدول تغییرات مقاومت فشاری جهت طرح‌های مختلف برای نمونه‌های ۷، ۲۸، ۴۲، ۹۰، ۱۲۰ روزه و همچنین روند تغییرات مقاومت فشاری آن‌ها مطابق جدول ۹ و نمودارهای ۲ تا ۴ نشان داده شده است.

جدول ۹ میزان مقاومت فشاری کسب شده بتن در سنین مختلف

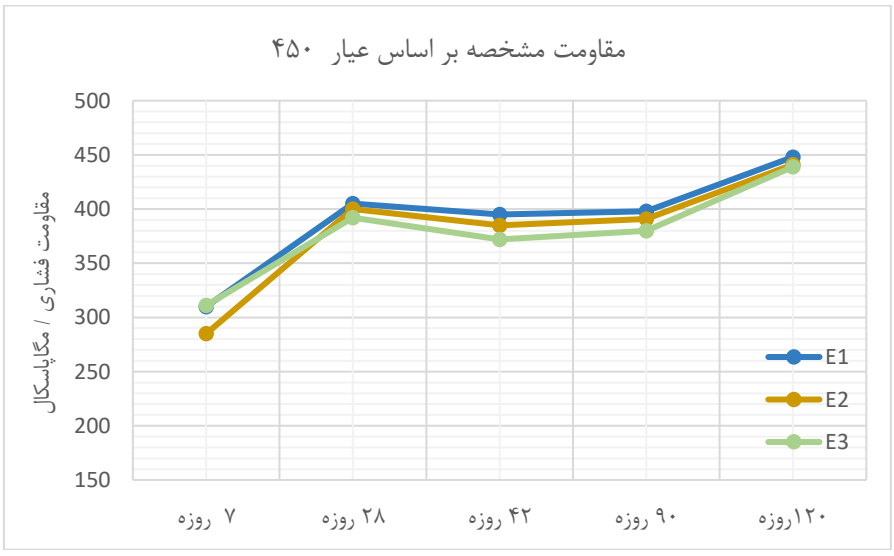
نام نمونه	عیار سیمان	مقاومت مشخصه	مقاومت هدف	اسلامپ	۷ روزه	۲۸ روزه	۴۲ روزه	۹۰ روزه	۱۲۰روزه
	Kg/m^3	Mpa	Mpa	cm	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
A1	۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۷	۱۸۵	۲۹۱	۲۸۰	۲۸۷	۳۴۸
A2	۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۸	۱۷۴	۲۸۷	۲۶۵	۲۶۸	۳۵۰
B1	۳۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۸	۲۵۱	۳۰۵	۲۸۱	۲۹۰	۳۵۴
B2	۳۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۹	۱۹۶	۲۹۸	۲۷۴	۲۸۳	۳۵۱
C1	۳۹۰	۲۵۰	۳۲۰	۷	۲۳۹	۳۳۵	۳۲۰	۳۲۵	۳۹۰
C2	۳۹۰	۲۵۰	۳۲۰	۸	۲۳۶	۳۳۰	۳۱۰	۳۱۵	۳۸۳
C3	۳۹۰	۲۵۰	۳۲۰	۹	۲۵۰	۳۲۵	۳۰۸	۳۲۲	۳۷۰
D1	۴۰۰	۲۵۰	۳۲۰	۷	۳۲۶	۳۷۶	۳۶۵	۳۷۰	۳۹۰
D2	۴۰۰	۲۵۰	۳۲۰	۸	۲۲۳	۳۵۶	۳۱۸	۳۴۵	۳۸۰
D3	۴۰۰	۲۵۰	۳۲۰	۹	۲۵۰	۳۴۳	۳۳۰	۳۳۵	۳۷۸
E1	۴۵۰	۳۰۰	۳۷۰	۷	۳۱۰	۴۰۵	۳۹۵	۳۹۸	۴۴۸
E2	۴۵۰	۳۰۰	۳۷۰	۸	۲۸۵	۴۰۰	۳۸۵	۳۹۱	۴۴۱
E3	۴۵۰	۳۰۰	۳۷۰	۹	۳۱۱	۳۹۲	۳۷۲	۳۸۰	۴۳۹



نمودار ۲ مقاومت مشخصه بر اساس عیار ۳۵۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در متر مکعب



نمودار ۲ مقاومت مشخصه بر اساس عیار ۳۹۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب



نمودار ۳ مقاومت مشخصه بر اساس عیار ۳۵۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در متر مکعب

از تحلیل نتایج می‌توان نتیجه گرفت که در تعدادی از نمونه‌های بتن سازه ای با طرح‌های متفاوت، رشد معکوس در بازه زمانی ۴۲ و ۹۰ روزه نسبت به ۲۸ روزه مشاهده شده است. که با در نظر گرفتن متغیرهای نسبت آب به سیمان و بالطبع روانی بتن می‌تواند ناشی از درصد کمی‌از آهک به کار رفته در مواد خام اولیه که ممکن است در مرحله پخت، وارد ترکیبات اصلی نشده و به صورت آهک آزاد باقی مانده و به عنوان اجزای فرعی محسوب شود باشد. آهک آزاد نیز پس از ساخت بتن، به تدریج با جذب آب و تبدیل به هیدروکسید کلسیم، باعث انبساط تاخیری و ترک خوردگی و خرد شدگی بتن و بالطبع کاهش مقاومت بتن وعدم الزامات استاندارد در مورد فازهای تشکیل دهنده سیمان از جمله مقدار درصد دی کلسیم سیلیکات C_2S و تری کلسیم سیلیکات C_3S خواهد شد. لازم به ذکر است که مقدار آهک آزاد ممکن است در حدود ۰/۸ درصد وزنی سیمان معمولی باشد. (مستوفی نژاد، ۱۳۹۴) مواد خام مصرفی در تولید سیمان پرتلند عمدتاً از سنگ آهک، سیلیس، آلومین و اکسید آهن تشکیل شده‌اند. در داخل کوره این ترکیبات با یکدیگر واکنش حاصل نموده، تشکیل یک سری ترکیبات پیچیده تری می‌دهند به استثناء مقدار کمی‌از آهک ترکیب نشده‌ای که زمان کافی برای واکنش نداشته است و باقی می‌ماند، مواد به حالت تعادل شیمیایی می‌رسند. از اصطلاح فاز می‌توان برای تشریح ترکیبات کلینکر استفاده کرد معمولاً ۴ ترکیب را به عنوان ترکیبات عمده و اصلی تشکیل دهنده سیمان در نظر می‌گیرند. C_4AF، C_3A، C_2S، C_3S با توجه به مطالب ذکر شده و نمودارهای حاصل تحقیق چنین به نظر می‌رسد که فاکتورهای موثر بر میزان مقاومت فشاری ۷، ۲۸، ۴۲، ۹۰، ۱۲۰ روزه بسیار بیشتر از یک عامل می‌باشد و به اثر متقابل سایر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی سیمان‌ها نیز بستگی دارد. در مورد نسبت رشد مقاومت فشاری از سن ۷ تا ۲۸ روز به نظر می‌رسد با افزایش میزان فاز C_3S این نسبت نیز افزایش می‌یابد یعنی در سن ۷ روزه مقدار بیشتری از مقاومت ۲۸ روزه حاصل می‌شود و یا اصطلاحاً بتن زود گیر می‌شود. البته مقدار C_3S به کار رفته صرفاً از رابطه بوگ به دست آمده است در حالی که مقدار واقعی C_3S در کلینکر و نوع آن را نشان نمی‌دهد. گاه به کار بردن سنگ آهک در آسیاب کلینکر یا اقدامات مشابه مقدار Ca0 را در تعیین اکسیدهای سیمان افزایش می‌دهد و مقدار C_3S بیش از مقدار واقعی به دست می‌آید و باعث گمراهی و عدم نتیجه گیری می‌گردد و ممکن است منجر به عدم دستیابی به رابطه بین C_3S و مقاومت شوند. همچنین روند رشد مقاومت ۴۲ و ۹۰ روزه حاصل میزان فاز C_2S می‌باشد. که در زمان ۱۲۰ روز به بالاترین روند رشد مقاومت فشاری خود که حاصل دو فاز همزمان C_2S و C_3S می‌باشد می‌رسد. نمودارها و آنالیزهای سیمان نشان می‌دهد فاز C_3S بیشترین سهم را در رشد مقاومت، در خلال چهار هفته اول دارد و از چهار هفته به بعد فاز C_2S در کسب مقاومت تاثیر دارد. این رویکرد در مقاومت کوتاه مدت (۷) روزه و دراز مدت ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه مورد بررسی قرار گرفته و با آنالیز شیمیایی کامل تعدادی نمونه سیمان از نوع ۱ و ۲ و ۵ مقادیر فازها به روش بوگ محاسبه شده و در ضمن مقایسه با تحقیقات مشابه، اقدام به بررسی رابطه میزان مقاومت فشاری و همچنین روند رشد مقاومت فشاری با ترکیبات شیمیایی سیمان‌ها خصوصاً فازهای مقاومتی شده است. بنابراین به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که C_3S و C_2S دو ترکیب اصلی مسبب مقاومت سیمان هیدراته شده هستند. C_3S برای کسب مقاومت طی ۴ هفته اول و C_2S در مقاومت بعد از آن تاثیر می‌گذارند پس از یک سال این دو ترکیب متناسب با جرمشان تقریباً به یک میزان بر مقاومت سیمان هیدراته شده تاثیر می‌گذارند.

٦- نتیجه گیری

-با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد.

-میزان مقاومت فشاری در سن ۱۲۰ روز نسبت به سنین پایین‌تر رشد محسوسی دارد.

-عناصر C_3S و C_2S موجود در سیمان دو ترکیب موثر در گیرش سیمان و عمل هیدراتاسیون در جهت کسب مقاومت فشاری بتن می‌باشد.

-در سنین اول گیرش بتن یا ۴ هفته اول مهم‌ترین پارامتر موثر در گیرش بتن C_3S و بعد از آن C_2S موجود در سیمان می‌باشد.

مراجع

1. ASTM (1959). The Effect Of Water-Reducing Additives And Concrete Setting Control United States . American Society For Testing And Materials.
2. ASTM C114 (1959). Test Methods For Chemical Analysis Of Hydraulic Cement . American Society For Testing And Materials. United States.
3. ASTM C31 (1959). Methods Of Treating Concrete Samples United States. American Society For Testing And Materials.
4. ASTM C39 (1959). Determine The Compressive Strength Of Cylindrical Concrete Samples. American Society For Testing And Materials. United States.
5. ASTM (1962) Chemical Admixtures For Concrete. American Society For Testing And Materials. United States.
6. Tadayon, Mohsen, Parsa Mohajeri And Mohammad Reza Shabanian, (2012). The Relationship Between The Process Of Achieving Strength Of Concrete With Different Cements In Iran, The First National Conference Of Concrete Industry, Kerman, International Center For Advanced Science And Technology And Environmental Sciences. (in persian)
7. Ramezanianpour, Ali Akbar, (2016). Special Concretes For Special Conditions, Tehran, Amir Kabir University Of Technology. (in persian)
8. Ramezanianpour, Ali Akbar And Arabi, Negin, (2016). Concrete Technology, Tehran: Author Of Knowledge. (in persian)
9. Family, Hormoz, Shah Nazari Mohammad Reza, (2015). Introduction To Concrete, Tehran: Ein Al-Qadha, Iran University Of Science And Technology. (in persian)