

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/276025478>

## بررسی تاثیر جداگانه ی اجزای تشکیل دهنده ی بتن بر مقاومت فشاری 28 روزه ی آن

Conference Paper · May 2015

CITATIONS

0

READS

953

3 authors, including:



Faezehossadat Khademi

Illinois Institute of Technology

29 PUBLICATIONS 658 CITATIONS

SEE PROFILE



M. Akbari

University of Kashan

27 PUBLICATIONS 448 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



concrete technology [View project](#)



measuring compressive strength pf puzzolan concrete by Ultrasonic pulse velocity [View project](#)



## بررسی تأثیر جداگانه‌ی اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی آن

فائزه السادات خادمی\*<sup>۱</sup>، محمود اکبری<sup>۲</sup>، سید سروش خادمی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سازه، Illinois Institute of Technology

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان

۳- کارشناسی ارشد مهندسی نانوپلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

faezehossadat\_khademi@yahoo.com

makbari@kashanu.ac.ir

sayedsoroush.khademi@gmail.com

### خلاصه

بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی، نقش مهمی در 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 تأثیر اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن به طور جداگانه روی مقاومت فشاری آن می باشد. در این مطالعه، تعداد ۹۰ نمونه‌ی بتنی با طرح اختلاط‌های مختلف در آزمایشگاه ساخته شد و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها اندازه گیری شد. سپس تأثیر عوامل مختلف روی مقاومت فشاری بتن به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که با افزایش میزان میکروسیلیس، مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. این آزمایش برای چندین نسبت آب به سیمان مختلف انجام شد و در تمام موارد نتایج مشابهی بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش نسبت آب به سیمان منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن می گردد، در حالی که برای مقدار ثابت آب، با افزایش میزان سیمان، مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. در نهایت، تأثیر میزان سنگدانه‌ی مصرفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت سنگدانه ریز به درشت مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. آگاهی نسبت به عوامل مهم بر مقاومت فشاری بتن، در دستیابی به طرح اختلاط بهینه آن با مقاومت موردنظر با صرف زمان کم بسیار مؤثر است.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، میکروسیلیس، نسبت آب به سیمان، سنگدانه



امروزه بتن به عنوان یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی، اهمیت زیادی چه در صنعت ساخت و ساز و چه در زمینه های تحقیقاتی پیدا کرده است. [۱] به دلیل همین اهمیت، تا کنون تکنیک های مختلفی برای شناسایی خواص بتن به کار برده شده است. یکی از این تکنیک های مهم، شناسایی خواص بتن به صورت جداگانه می باشد. با بررسی هر یک از اجزای تشکیل دهنده ی بتن به طور جداگانه، می توان به میزان تأثیر آن پارامتر بر روی مقاومت فشاری بتن پرداخت و میزان تأثیر پذیری هر کدام از پارامترها بر روی مقاومت فشاری بتن را مورد ارزیابی قرار داد.

تعیین مقاومت فشاری به عنوان یک مشخصه به این علت است که اندازه گیری آن نسبتاً آسان است. اگرچه عددی که به عنوان مقاومت از آزمایش ها بدست می آید، مقاومت واقعی بتن در ساختمان نمی باشد و تنها کیفیت آن را نشان می دهد. بنابراین مقاومت تنها راه ساده ای است که برای ارزیابی و همسازی بتن با مشخصات در نظر گرفته می شود. علت دیگر انتخاب مقاومت فشاری این است که بسیاری از خواص دیگر بتن به مقاومت آن ارتباط پیدا می کند. به عنوان مثال مدول الاستیسیته، نفوذپذیری، تاحدی دوام، مقاومت در برابر فرسایش، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت کششی، مقاومت در برابر سولفات ها و بعضی خواص دیگر با مقاومت ارتباط دارند. [۲]

به طور کلی بتن تشکیل شده از آب، سیمان، شن، ماسه، و مواد افزودنی می باشد. هر کدام از این اجزا، تأثیرگذاری خاص خود را بر روی مقاومت فشاری بتن دارند. آشنا بودن با تأثیر جداگانه ی هر کدام بر روی مقاومت فشاری، می تواند کمک زیادی به رفع بعضی از ابهامات در صنعت ساخت و ساز داشته باشد. با در نظر گرفتن ترکیب بهینه برای هر کدام، می توان به مقاومت فشاری بهینه و مطلوب دست پیدا کرد.

یکی از موادی که می تواند تأثیر به سزایی بر مقاومت فشاری بتن داشته باشد، میکروسیلیس یا دوده سیلیسی است. میکروسیلیس شکل ریزی از مواد سیلیسی می باشد که به عنوان موادی پرکننده بین اجزاء تشکیل دهنده ی بتن عمل نموده و اندازه ی ذرات این ماده 50 تا 100 برابر از ذرات سیمان می باشد. از خواص مطلوب این ماده ی افزاینده این است که علاوه بر اینکه باعث چسبندگی ذرات بین سیمان می شوند؛ سبندگی بین سیمان و سنگدانه را نیز افزایش می دهند [۳]. بنابراین آگاهی به ویژگی های این ماده ی پوزولانی، می تواند تأثیر به سزایی در افزایش مقاومت فشاری و خواص مطلوب بتن داشته باشد. این ماده برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ میلادی در نروژ و پس از آن به مقدار زیادی در شمال آمریکا و اروپا پس از سال ۱۹۸۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت [۴]. و سپس استفاده از آن به عنوان یک مکمل برای سیمان به عنوان ماده ی افزودنی به سرعت افزایش یافت. افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذ پذیری، دو نتیجه مهمی هستند که هنگام اضافه کردن میکروسیلیس به بتن، می توان به آن ها دست یافت. [۱ و ۶] در این مقاله تأثیر میزان میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار می گیرد.

سیمان ماده ای چسبنده است که قابلیت چسباندن ذرات به یکدیگر و بوجود آوردن جسم یکپارچه از ذرات متشکله را دارا می باشد و از ترکیب مصالح آهکی، رس، سیلیس و اکسیدهای معدنی در دمای ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد ساخته می شود. تأثیر این ماده بر مقاومت بتن انکارناپذیر است، زیرا علت چسبندگی اجزای دیگر بتن، این ماده می باشد. لذا تغییرات مقدار سیمان برای میزان ثابت آب موضوع دیگری است که به آن پرداخته می شود. بتن حاوی سنگدانه و خمیر سیمان است که ناحیه انتقالی نیز امروزه در فاصله سنگدانه و خمیر سیمان با ضخامت بسیار محدود وجود دارد که در واقع یک خمیر سیمان تضعیف شده و نفوذپذیرتر می باشد. 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. مقاومت بتن به شدت تابع مقدار این منافذ و توزیع اندازه آن ها هستند. [۷] بنابراین نسبت آب به سیمان بر روی مقاومت فشاری بتن می تواند بسیار مؤثر باشد.

ماده ی دیگری که اهمیت ویژه ای در مقاومت فشاری بتن دارد، تأثیر میزان سنگدانه است. بتن عموماً از سنگدانه هایی به اندازه های مختلف که حداکثر قطر آن بین ۱۰ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر می باشد ساخته می شود. توزیع اندازه ذرات به نام «دانه بندی سنگدانه» مرسوم است. به طور کلی دانه های با قطر بیشتر از چهار یا پنج میلیمتر به نام شن و کوچکتر از آن به نام ماسه نامگذاری شده اند که این حد فاصل توسط الک ۴,۷۵ میلیمتری یا نمره چهار مشخص می گردد. حد پایین ماسه عموماً ۰,۰۷ میلیمتر یا کمی کمتر می باشد.

سنگدانه ها در بتن تقریباً سه چهارم حجم آنرا تشکیل می دهند از این رو بررسی تأثیر آن ها بر مقاومت فشاری بتن از اهمیت خاصی برخوردار است [۸].



## ۲- برنامه ی آزمایشگاهی

در این مطالعه، برای اندازه گیری مقاومت فشاری نمونه ها، از دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری استفاده شد. لازم به ذکر است که این مقاومت، مربوط به مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی نمونه ها می باشد.

### ۲-۱) طرح اختلاط

در این مطالعه، تعداد ۹۰ نمونه برای نسبت های مختلف طرح اختلاط ساخته شد. طرح اختلاط های مختلف همگی تشکیل شده از آب، سیمان، سنگدانه، و میکروسیلیس می باشند که میزان ترکیب آن ها با یکدیگر در هر نمونه ی بتنی با نمونه ی دیگر متفاوت است. دامنه ی تغییرات این اجزاء بر حسب جرم در جدول یک قرار گرفته است.

جدول ۱- دامنه ی تغییرات اجزای تشکیل دهنده ی طرحهای اختلاط

پارامترهای درصد اختلاط	دامنه ی تغییرات جرم (Kg/m <sup>3</sup> )
آب	۱۵۰ الی ۲۰۰
سیمان	۲۰۰ الی ۴۰۰
میکروسیلیس	۴ الی ۶۰
شن	۱۰۰۰ الی ۱۱۵۰
ماسه	۶۰۰ الی ۹۰۰

### ۲-۲) آماده سازی نمونه ها

همان طور که گفته شد، ۹۰ طرح اختلاط مختلف بتن برای ساختن در نظر گرفته شد که این طرح های اختلاط، در میزان آب، سیمان، شن، ماسه، و میکروسیلیس متفاوت بودند. در این آزمایش، به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمامی نمونه ها، از قالب مکعبی (۱۵\*۱۵\*۱۵) سانتی متر استفاده شده است. روش ساخت نمونه ها به این صورت بود که ابتدا میکسر را روشن کرده، سیمان و آب را به صورت پی در پی در آن ریخته، سپس شن، ماسه، و میکروسیلیس آرام آرام به آن اضافه شد. حدود ۲ دقیقه میکسر می چرخد تا مواد به طور مطلوبی با یکدیگر ترکیب شوند.

برای ریختن بتن بدست آمده در قالب، ابتدا قالب را روغن کاری می کنیم. علت این امر آن است که بتن که بتن ها در دوره ای که در قالب قرار دارند، به دیواره ی آن نچسبند و به راحتی بیرون آورده شوند. توجه شود که بتن باید در سه لایه در قالب ریخته شده و کوبیده شود. علت سه لایه بودن این است که اگر بتن ها در یک لایه ریخته و کوبیده شوند، بتن هایی که در قسمت های پایینی قرار گرفته اند، خوب کوبیده نمی شوند و بنابراین پس از باز کردن قالب، بتن ها مقاومت مورد نظر را نخواهند داشت. از آن جایی که این تحقیق به مقاومت فشاری بتن می پردازد، توجه به این نکته از عوامل مهمی به حساب می آید.



پس از ساخت نمونه ها و بیرون آوردن آن ها از قالب، از آن جایی که ارزیابی مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی بتن ها مورد نظر است، نمونه ها باید به مدت ۲۸ روز مطابق شکل ۱ در حوضچه ی آب سرد قرار بگیرند. لازم به ذکر است که بتن حاوی نمک و املاح می باشد که این مواد به آبی که بتن در آن قرار گرفته است، منتقل می شود. لذا در جهت دقت باید توجه شود که آب هر چند روز یک بار عوض شود. همچنین ثابت نگه داشتن دمای آب در مدت این ۲۸ روز از عوامل دیگری است که باید به آن توجه شود. (شکل ۱)

شکل ۱- نمونه های بتنی در حوضچه آب سرد

## ۲-۳) اندازه گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ها

پس از ۲۸ روز، هر کدام از نمونه ها مطابق شکل ۲ به طور جداگانه در دستگاه قرار داده می شود. جک هایی در بالا و پایین دستگاه قرار گرفته است که فشار مورد نظر توسط این دستگاه، به نمونه وارد می شود. این فشار تا جایی ادامه پیدا می کند که نمونه شروع به ترک خوردن می کند. به محض مشاهده ی ترک، عدد ظاهر شده در صفحه ی نمایش، نشانگر مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی نمونه ی مورد نظر می باشد. (شکل ۲)



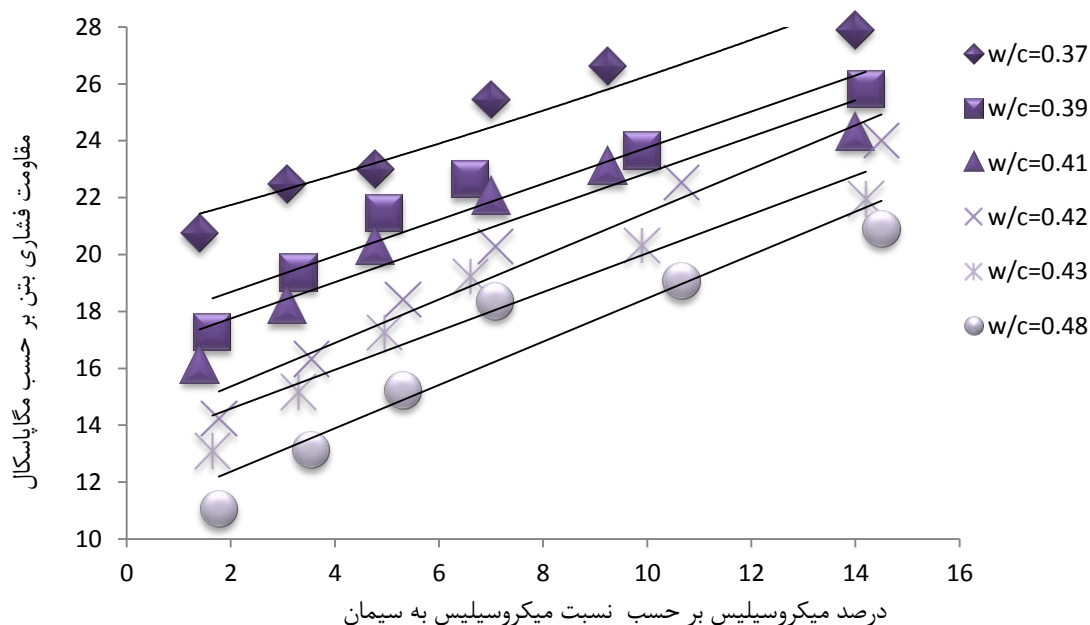
شکل ۲- دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری

### ۳- نتایج و بحث

پس از بدست آوردن مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی ۹۰ نمونه، به بررسی رابطه ی آن با هر کدام از اجزای تشکیل دهنده ی بتن پرداخته شد که نتایج آن در ادامه مورد نمایش قرار داده شده است:

#### ۳-۱) تأثیر میزان میکروسیلیس بر مقاومت فشاری

در این مطالعه، ۶ نسبت آب به سیمان ۰،۳۹، ۰،۳۷، ۰،۴۱، ۰،۴۲، ۰،۴۳، ۰،۴۸ در نظر گرفته شد. برای هر کدام از نسبت های آب به سیمان ذکر شده، شش نسبت میکروسیلیس به سیمان مختلف در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که نسبت سنگدانه برای این مرحله از آزمایش ثابت در نظر گرفته شد تا تأثیر میزان میکروسیلیس بر روی مقاومت فشاری واضح تر ارائه شود. سپس مقاومت فشاری برای هر کدام از طرح های اختلاط محاسبه شده و رابطه ی آن ها با میزان میکروسیلیس مصرفی مطابق شکل ۳ ارائه شد. (شکل ۳)



شکل ۳- تغییرات مقاومت فشاری بتن بر حسب میزان میکروسیلیس موجود در بتن برای نسبت های مختلف W/C

با توجه به شکل، برای هر نسبت آب به سیمان مشخص، با افزایش میزان میکروسیلیس، مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. لازم به ذکر است در این تحقیق، میزان افزایش سیمان تا مقدار حداکثر ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. شکل ۳ گویای این حقیقت است که هر چه میزان میکروسیلیس به سیمان به ۱۵ درصد نزدیک تر می شود، تغییرات افزایش مقاومت فشاری نیز کمتر می شود. تحقیقات قبلی نیز گواه بر نتیجه ی بدست آمده در تحقیق حاضر هستند. [۹-۱۳] بنابراین نرخ افزایش مقاومت فشاری بتن با افزایش میزان میکروسیلیس کم می شود. همچنین شکل ۳ گویای آن است که هر چه میزان میکروسیلیس بیشتر و نسبت آب به سیمان کمتری استفاده شود، برای این دامنه از تغییرات، مقاومت فشاری بیشتر می شود. دلیل این امر می تواند این باشد که میزان کم آب به سیمان و میزان بالای

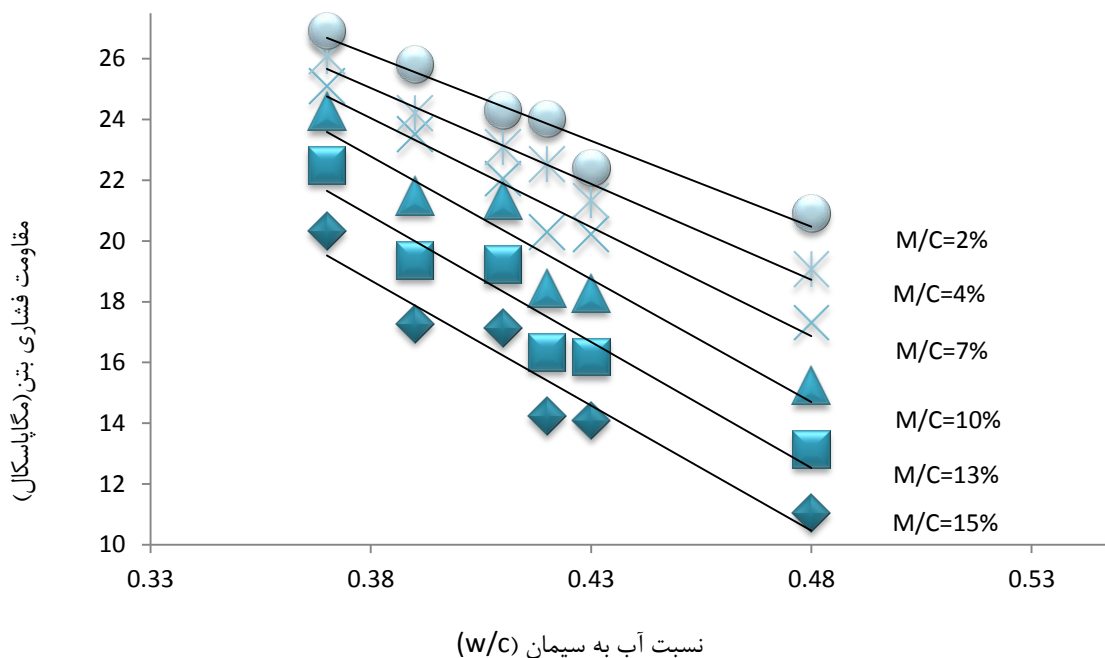


میکروسیلیس، تشکیل یک ماده متراکم فشرده را داده که منجر به بهبود خواص ناحیه ی انتقال می شود و در نتیجه باعث افزایش مقاومت فشاری سیستم می شود. [۱۴]

### ۳-۲) تأثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری

شکل ۴، تأثیر نسبت های آب به سیمان مختلف را بر روی مقاومت فشاری بتن برای گروه های مختلف میکروسیلیس نشان می دهد. در این مرحله از آزمایش نیز، نسبت سنگدانه به سیمان ثابت در نظر گرفته شد و بنابراین نتایج برای طرح اختلاط های با میزان ثابت سنگدانه ارائه شده اند. مطابق با این شکل، برای مقدار ثابت نسبت میکروسیلیس به سیمان، افزایش نسبت آب به سیمان موجب کاهش مقاومت فشاری بتن می شود. این آزمایش برای ۶ نسبت میکروسیلیس به سیمان مختلف انجام گرفت و برای هر کدام، نتیجه ی یکسانی بدست آمد، به این معنا که با افزایش نسبت آب به سیمان، با توجه به مقدار ثابت بقیه ی پارامترها، میزان مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد.

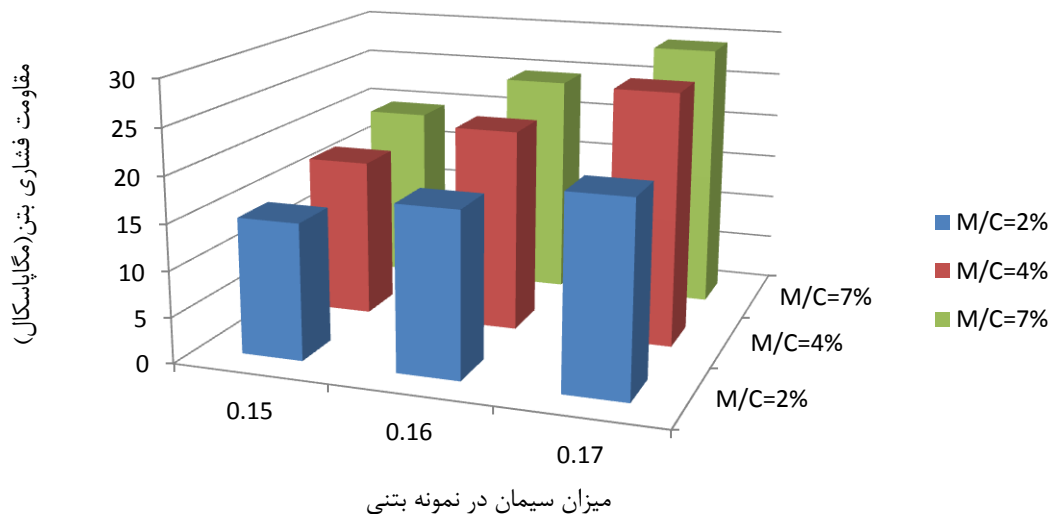
علت پایین آمدن مقاومت فشاری با افزایش نسبت آب به سیمان این است که هنگامی که نسبت آب به سیمان افزایش پیدا می کند، باعث افزایش خاصیت موئینگی و میکروترک ها در نمونه ی بتنی می شود. [۱۵ و ۱۶]. (شکل ۴)



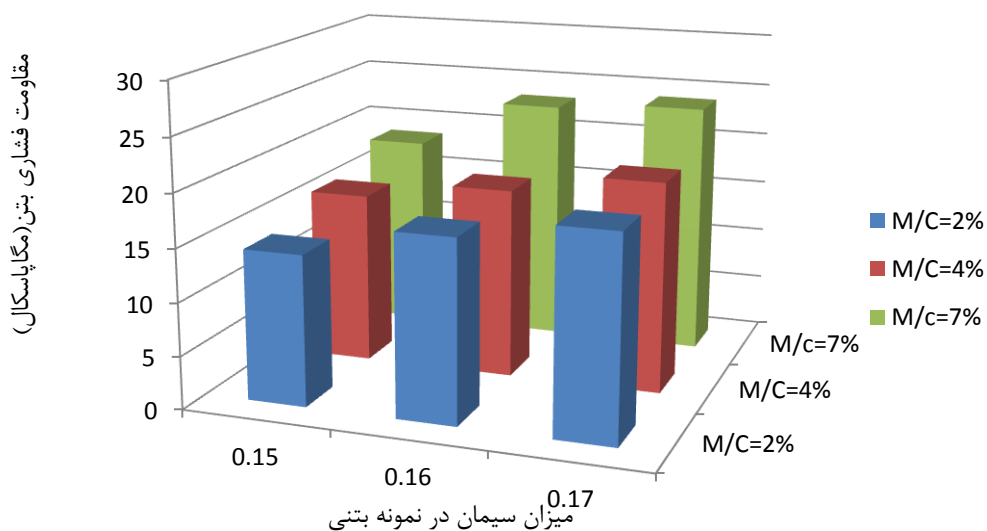
شکل ۴- تغییرات مقاومت فشاری بتن بر حسب نسبت های مختلف W/C برای میزان میکروسیلیس های مختلف

### ۳-۳) تأثیر میزان سیمان بر مقاومت فشاری

در اشکال ۵ و ۶ تأثیر میزان سیمان روی مقاومت فشاری بتن برای نسبت های مختلف میکروسیلیس به سیمان. نشان داده شده است.



شکل ۵- تأثیر میزان سیمان بر روی مقاومت فشاری بتن برای میزان ثابت آب ۰,۱۶، حجمی برای نسبت های مختلف میکروسیلیس به سیمان



شکل ۶- تأثیر میزان سیمان بر روی مقاومت فشاری بتن برای میزان ثابت آب ۰,۱۸، حجمی برای نسبت های مختلف میکروسیلیس به سیمان



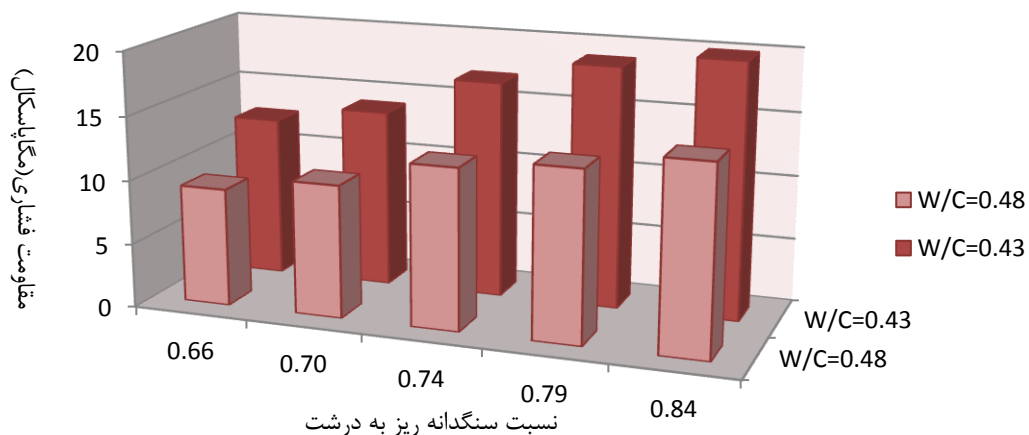
مطابق با شکل ۵ و شکل ۶، با افزایش میزان سیمان در بتن، مقاومت فشاری افزایش می یابد. این دو شکل برای دو میزان مختلف آب رسم شده اند، ولی هر دو در نتیجه گیری یکسان هستند، به این معنا که در بازه ی طرح اختلاط های در نظر گرفته شده، افزایش میزان سیمان موجب افزایش مقاومت فشاری می شود. همچنین با نگاه دقیق تر به این دو نمودار، می توان به این نکته اشاره نمود که با افزایش میزان میکروسیلیس به سیمان، مقاومت فشاری بتن نیز افزایش یافته است. در پایان مقایسه ی نمودار ۵ با نمودار ۶ این نتیجه را بدست می دهد که افزایش میزان آب، تأثیر منفی بر مقاومت بتن داشته است. لذا افزایش میزان آب در این بازه از طرح اختلاط ها باعث کاهش مقاومت در بتن ها شده است.

### ۳-۴) تأثیر میزان سنگدانه بر مقاومت فشاری

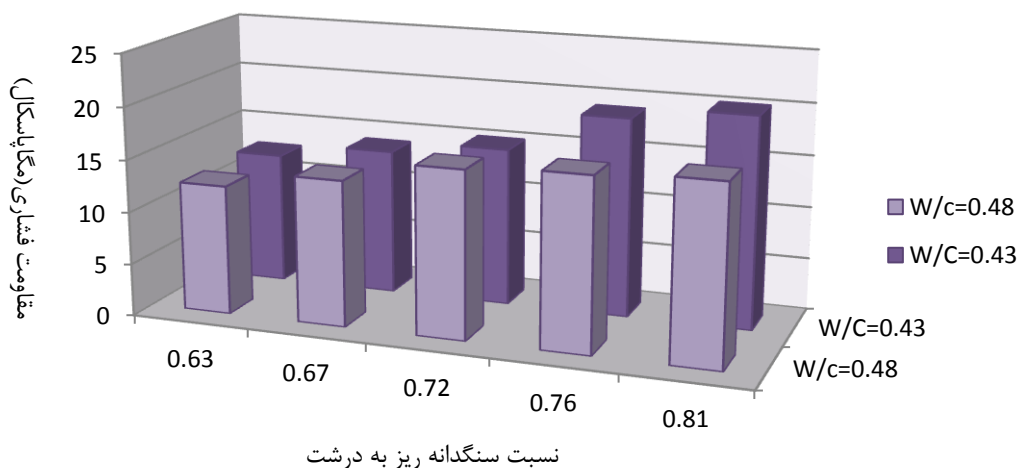
شکل های ۷، ۸ و ۹ تأثیر میزان ساین سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن را برای طرح اختلاط های مختلف نشان می دهد



شکل ۷- تأثیر نسبت سنگدانه ریز به درشت بر مقاومت فشاری بتن برای نسبت میکروسیلیس به سیمان ۱,۷۷ درصد و برای دو نسبت مختلف آب به سیمان



شکل ۸- تأثیر نسبت سنگدانه ریز به درشت بر مقاومت فشاری بتن برای نسبت میکروسیلیس به سیمان ۳,۵۵ درصد و برای دو نسبت مختلف آب به سیمان



شکل ۹- تأثیر نسبت سنگدانه ریز به درشت بر مقاومت فشاری بتن برای نسبت میکروسیلیس به سیمان ۵,۵ درصد و برای دو نسبت مختلف آب به سیمان

شکل های ۷، ۸، و ۹، تأثیر نسبت سنگدانه ریز به درشت را بر روی مقاومت فشاری بتن برای نسبت ثابت میکروسیلیس به سیمان و برای دو نسبت مختلف آب به سیمان نشان می دهد. مطابق با این شکل ها، در هر شکل نسبت میکروسیلیس به سیمان برای تمامی طرح های اختلاط یکسان است، در حالی که دو نسبت آب به سیمان متفاوت در هر شکل دیده می شود. برای هر کدام از این نسبت های آب به سیمان، تأثیر تغییر اندازه سنگدانه بر روی مقاومت فشاری آن مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می شود که با افزایش نسبت سنگدانه ریز به درشت، مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد. به عبارت دیگر کاهش قطر متوسط سنگدانه، منجر به افزایش مقاومت فشاری بتن می شود. از طرف دیگر با نگاه دقیق تر به نتایج ارائه شده مشاهده می شود نمونه ای که میزان میکروسیلیس به سیمان بیشتری دارد، در مقایسه با طرح اختلاط های مشابه با نسبت میکروسیلیس به سیمان کمتر، مقاومت فشاری بیشتری هم دارد.

## نتیجه گیری

بهینه کردن طرح اختلاط بتن برای دستیابی به مقاومت فشاری مطلوب همواره یکی از دغدغه های اصلی دانشمندان در علم تکنولوژی بتن بوده است. دانستن تأثیر پارامترهای تشکیل دهنده ی این ماده بر مقاومت فشاری آن، می تواند کمک زیادی برای انتخاب طرح اختلاط مناسب انجام دهد. لذا اهمیت علم به تأثیر این پارامترها بر مقاومت فشاری بتن بر کسی پوشیده نیست. لذا با آگاه بودن به این تأثیرات، می توان به مقاومت فشاری بهتری دست یافت. روشن است که هر کدام از این پارامترها در بازه ی مشخصی تأثیر پذیری خود را نشان می دهند. به این معنا که هر کدام از پارامترها در محدوده ی خاصی باعث ماکزیمم مقاومت می شوند. لذا این مقدار ماکزیمم برای همه ی پارامترها در یک محدوده ی مشخص اتفاق نمی افتد. بنابراین نباید انتظار داشت که برای همه ی پارامترها در یک نقطه به میزان ماکزیمم مقاومت فشاری رسید. لذا علم به نحوه ی قرار دادن این پارامترها در کنار یکدیگر برای رسیدن به مقاومت فشاری مطلوب عامل مهمی



است که از آن به طرح اختلاط بهینه نام برده می‌شود. آگاهی داشتن به رابطه‌ی اجزای تشکیل دهنده‌ی طرح اختلاط بر مقاومت فشاری آن می‌تواند ما را به مقدار زیادی در رسیدن به طرح اختلاط بهینه یاری نماید.

مطابق با تحقیق حاضر، تأثیر اجزای تشکیل دهنده‌ی طرح اختلاط بر روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی بتن مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با این تحقیق، با افزایش میزان میکروسیلیس در طرح اختلاط، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. به علاوه، هر چه میزان میکروسیلیس به سیمان به ۱۵ درصد نزدیک تر می‌شود، تغییرات افزایش مقاومت فشاری نیز کمتر می‌شود. همچنین هر چه میزان میکروسیلیس بیشتر و نسبت آب به سیمان کمتری استفاده شود، برای این دامنه مشخص از تغییرات در این مطالعه، مقاومت فشاری بالاتری خواهیم داشت..

پارامتر تأثیر گذار دیگر بر مقاومت فشاری بتن، نسبت آب به سیمان است. همانطور که گفته شد، با افزایش نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. علت پایین آمدن مقاومت فشاری با افزایش نسبت آب به سیمان این است که هنگامی که نسبت آب به سیمان افزایش پیدا می‌کند، باعث افزایش خاصیت موئینگی و میکروترک‌ها در نمونه‌ی بتنی ما می‌شود. به علاوه تأثیر اختصاصی میزان سیمان بر روی مقاومت فشاری بتن مورد مطالعه قرار گرفت و این نتیجه بدست آمد که با افزایش میزان سیمان، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. در انتها به تأثیر میزان ساینز سنگدانه‌ها بر مقاومت فشاری بتن اشاره شد. مطابق با نتایج بدست آمده، با افزایش نسبت سنگدانه ریز به درشت، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند این باشد که سنگدانه‌های ریز توانایی بیشتری برای پر کردن فشاهای خالی در نمونه‌ی مکعبی بتن دارند و لذا باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شوند.

## مراجع

- ۱) اکبری محمود، خادمی فائزه السادات، خادمی سید سروش، " بررسی میزان ماده‌ی پوزولانی میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن"، هشتمین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۳.
- ۲) خادمی فائزه السادات، " تعیین مقاومت فشاری بتن با استفاده از مدل‌های جعبه‌سیاه"، پروژه تخصصی دوره‌ی کارشناسی، دانشگاه دولتی کاشان، ۱۳۹۲.
- ۳) اسماعیلی علیرضا، " کاربرد میکروسیلیس و الیاف فولادی در بتن حجیم و روش اجرا، آن (سد و خازن بتنی)"، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ۱۳۸۳.

4) Toutanji Houssam A., El-Korchi Taher, " The Influence of Silica Fume on The Compressive Strength of Cement Paste and Mortar", Cement and Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1591-1602, 1995.

5) A. Bentur and A. Goldman, "Curing Effects, Strength, and Physical Properties of High Strength Silica Fume Concrete," ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 1, 46 (1989).

6) E. Tazawa and A. Yonekura, "Drying Shrinkage and Creep of Concrete with Condensed Silica Fume," Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzalons in Concrete, SP-91, American Concrete Institute, Detroit, 903 (1986).

۷) تدین محسن، تأثیر عیار سیمان بر کیفیت بتن

8) Meddah M.S, Zitouni S, Belaabes S, " Effect of Content and Particle size Distribution of Coarse Aggregate on the Compressive Strength of Concrete", Construction and Building Materials 24 (2010) 505-512.

9) G. Appa Rao, "Investigations on the performance of silica fume-incorporated cement pastes and mortars", Cement and Concrete Research 33 (2003) 1765-1770

10) M. Davraz, L. Gunduz, "Engineering properties of amorphous silica as a new natural pozzolan for use in concrete", Cement and Concrete Research 35 (2005) 1251- 1261.



- 11) V. Yogendran, B.W. Langan, M.N. Haque, and M.A. Ward, “Silica Fume in High Strength Concrete,” *ACI Journal of Materials*, 84, 124 (1987).
- 12) Houssam A. Toutanji, Tahar El-Korchi, “THE INFLUENCE OF SILICA FUME ON THE COMPRES STRENGTH OF CEMENT PASTE AND MORTAR”, *cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1591-1602.1995
- 13) Ji Yajun, Jong Herman Cahyadi, “Effects of densified silica fume on microstructure and compressive strength of blended cement pastes”, *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 1543–1548.
- 14) H.A Toutanji, T El-Korchi, “The Influence Of Silica Fume On The Compressive Strength Of Cement Paste And Mortar”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1591-1602.1995
- 15) I.Bungey. J. H., Millard. S. G., (1996), “ Testing Of concrete in structures, ”, Third Ed. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall.
- 16) Neville, A. M., “Propertes of concrete”, 3rd editon, Pitman publishing limited, London, 1981.