



بررسی پارامترهای موثر بر مقاومت فشاری ملات سیمان ساخته شده با دوده مقاومتی سیمان 5/32 و 5/42 مگاپاسکال

مرتضی طیبی نیا

عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

خلاصه

ملات سیمان به عنوان یکی از اصلی ترین مواد با پایه سیمانی می باشد که خصوصیات مکانیکی آن نقش مهمی را در سازه بتنی ایفا می کند. مواد تشکیل دهنده ملات سیمان و نسبت های آن بخصوص سنگدانه، سیمان و آب به عنوان مهمترین عوامل تاثیرگذار در ویژگی های ملات سیمان می باشد. از این رو بررسی پارامترهای تاثیر گذار در طرح اختلاط ملات سیمان بر مقاومت فشاری آن جهت رسیدن به بالاترین مقاومت ضروری به نظر می رسد. در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر رده های مقاومتی سیمان و نسبت های مختلف ماسه و آب به سیمان بر مقاومت فشاری ملات حاوی سیمان های رده مقاومتی 5/32 و 5/42 مگاپاسکال مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک برنامه آزمایشگاهی گسترده با 36 طرح اختلاط شامل 540 نمونه مکعبی $50 \times 50 \times 50$ میلی متری انجام شده است. طرح اختلاط شامل سه نسبت ماسه به سیمان 5/2، 75/2 و 3 و شش نسبت آب به سیمان 3/0، 25/0، 30/0، 35/0، 40/0 و 45/0 است. نمونه های پس از عمل آوری در سنین مختلف 7، 14، 21 و 28 روزه مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته اند. هر نوع سیمان دارای خواص منحصر به فردی است که در تعامل با ترکیبات دیگر می باشد، نتایج در نمودار اندرکنش نسب های طرح اختلاط ملات سیمان آورده شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش سن نمونه ها مقاومت فشاری افزایش می یابد و همچنین رده مقاومتی سیمان تاثیر زیادی بر خواص مکانیکی ملات سیمان دارد به علاوه تغییر در نسبت های ماسه به سیمان و آب به سیمان سبب تغییرات قابل ملاحظه ای در مقاومت فشاری ملات سیمان می شود. با بررسی طرح اختلاط های موجود بهینه ترین طرح مقاومتی شامل نسبت های ماسه به سیمان 75/2 و آب به سیمان 3/0 برای سیمان با رده مقاومتی 5/42 مگا پاسکال به دست آمده است..

کلمات کلیدی: ملات سیمان، مقاومت فشاری، رده مقاومتی سیمان، نسبت ماسه و آب به سیمان، نمودار اندرکنش.

1. مقدمه

ملات سیمان یکی از ترکیبات کامپوزیت ناهمگون در سازه ها به شمار می آید. ملات سیمان نقش اصلاح توزیع یکنواخت تنش و تغییر شکل های حرارتی را برعهده دارد. علاوه بر این ملات سیمان نقش مهمی در خواص استحکام پیوستگی ایفا می کند [1-5]. در میان متغیرهای تاثیرگذار در رفتار ملات تازه و سخت شده می توان به نسبت آب به سیمان و ماسه به سیمان و رده مقاومتی سیمان اشاره کرد. محققان مطالعاتی در خصوص نقش نسبت آب به سیمان و نوع سیمان [6] بر روی خواص مختلف مواد سیمانی مانند بتن و ملات سیمان انجام داده اند. به عنوان مثال به بررسی تغییرات آب و درجه حرارت بر تغییر شکل خمیر سیمان و بتن با کارایی بالا [7]، تاثیر عیار سیمان و نسبت آب به سیمان در سنین اولیه فرآیند هیدراتاسیون [8] و اثر سیمان و نوع فوق روان کننده در روانی ملات سیمان [9] پرداخته اند. در تحقیقی دیگر دو نسبت آب به سیمان (45/0 و 65/0) و دو نوع سیمان (معمولی و ضد سولفات) مقاومت بتن تحت حمله سولفات ها را در سنین مختلف مورد بررسی قرار داده اند [10]. نتایج نشان داده که نسبت

آب به سیمان تاثیر بیشتری بر روی حمله سولفات نسبت به نوع سیمان داشته است. بعلاوه آزمون مقاومت فشاری حساسیت بیشتری در تشخیص آسیب‌های داخلی به ویژه در سنین اولیه نسبت به آزمون کششی دارد. همچنین در مطالعات دیگر با افزایش نسبت آب به سیمان از 45/0 به 6/0 تخلخل ملات سیمان 150% بیشتر و مقاومت فشاری 6/75% کاهش می‌یابد [11].

به طور معمول نسبت آب به سیمان مهمترین پارامتر در تکنولوژی مواد سیمانی مانند بتن و ملات سیمان است. مطالعات صورت گرفته در زمینه بتن نشان می‌دهد که مقاومت فشاری نسبت معکوس با نسبت‌های متفاوت آب به سیمان دارد. با این حال، لازم به ذکر است ملات و بتن مواد مختلفی با ساختارها و ترکیبات متفاوتی هستند. تحقیقات اندکی در ارزیابی نسبت‌های تاثیرگذار در طرح اختلاط مواد از جمله نسبت آب به سیمان و ماسه به سیمان در ملات سیمان وجود دارد. در یکی از مطالعات صورت گرفته به ارزیابی نسبت مواد و طرح اختلاط‌های مختلف در مقاومت فشاری و کششی ملات پرداخته شده، که نشان می‌دهد قانون آبرام برای طرح‌های با نسبت آب به سیمان بالاتر از 4/0 صادق است [12]. محققان دیگری به بررسی اثر نسبت آب به مواد سیمانی روی خواص مقاومتی بتن خودمتراکم شامل زغال سنگ پرداخته‌اند [13]. نتایج نشان می‌دهد مقاومت فشاری و کششی با کاهش درصد زغال سنگ و نسبت آب به مواد سیمانی مورد استفاده افزایش می‌یابد. پژوهشگران اثر نسبت آب به سیمان در مقاومت فشاری ملات سیمان را به صورت رابطه‌ای مشابه قانون آبرام ارائه کرده‌اند. مشاهدات نشان می‌دهد این قانون با اعمال پارامترهای بیشتر برای ملات سیمان قابل استفاده می‌باشد [14].

طبق تحقیقات صورت گرفته سنگدانه‌ها اثر قابل توجهی بر خواص رئولوژی و مکانیکی ملات سیمان دارند [15]. همچنین مطالعات زیادی بر تاثیر دانه‌بندی و نوع ماسه روی خواص ملات سیمان صورت گرفته است [16, 17]. تحقیقات دیگری نشان داده که نوع ماسه تاثیر زیادی روی خواص ملات سیمان دارد [18]. پارامترهای هندسی سنگدانه بر اساس نوع درجه‌بندی، مدول نرمی با نیاز آبی سنگدانه در چگالی خشک ملات در ارتباط است. در مطالعات دیگر به بررسی سنگدانه و نسبت آب به سیمان روی کارایی و مقاومت فشاری ملات سیمان پرداخته است [19]. نتایج نشان داده که افزایش نسبت آب به سیمان سبب کاهش خواص مکانیکی و افزایش کارایی ملات سیمان می‌شود. مطالعه دیگری تاثیر دانه‌بندی ماسه را در مقاومت کششی مورد بررسی قرار داده‌اند [20]. این نتایج کاهش 55 الی 60 درصدی در مقاومت کششی با تغییر مدول نرمی ماسه از 21/3 به 72/1 را نشان می‌دهد. همچنین برای رسیدن به یک ثبات برای ملات سیمان نیاز به 25 تا 30 درصد آب بیشتر است. همچنین مطالعات محدودی بر تاثیر توام نوع رده مقاومتی سیمان، نسبت‌های ماسه و آب به سیمان و اندرکنش میان آن‌ها در خواص مکانیکی ملات سیمان وجود دارد.

هدف از مطالعه حاضر تعیین طیف وسیعی از پارامترهای طرح اختلاط است که در خواص مکانیکی برای ملات سیمان مورد نیاز می‌باشد. برای این هدف یک کار آزمایشگاهی گسترده‌ای برای تاثیر همزمان عوامل تعیین کننده در طرح اختلاط مواد سیمانی همچون رده مقاومتی سیمان، نسبت‌های آب به سیمان و ماسه به سیمان انجام گرفته است. 36 طرح اختلاط ملات سیمانی با 540 نمونه مکعبی براساس شش نسبت مختلف آب به سیمان، سه نسبت ماسه به سیمان برای ارزیابی دو نوع رده مقاومتی سیمان 5/32 و 5/42 مگاپاسکال استفاده شده است. آزمایش مقاومت فشاری برای تعیین اثر توام هر یک از عوامل صورت گرفته است و طرح اختلاط مناسب با توجه به خواص مکانیکی تعیین شده است.

2. مشخصات مصالح و طرح اختلاط ها

دو نوع سیمان پرتلند شامل سیمان بجنورد با رده مقاومتی 5/32 و 5/42 مگاپاسکال در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. سنگدانه‌های مورد استفاده در طرح اختلاط از نوع ریزدانه (ماسه) با بیشترین بعد 75/4 میلیمتر و چگالی برابر $2/6 \text{ kg/cm}^3$ و مدول نرمی 48/2 است و دانه بندی به کار رفته بر اساس آیین نامه ASTM C33 می‌باشد [21]. برای ساخت نمونه‌ها از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلیک جهت خودمتراکم شدن ملات



سیمان در هنگام پر کردن قالب استفاده شده است. فوق روان کننده علاوه بر بالا بردن کارایی ملات سیمان سبب افزایش مقاومت نهایی آن نیز می‌شود [22].

در یک پروسه آزمایشگاهی به منظور بررسی اثر رده‌های مقاومتی سیمان و نسبت‌های ماسه به سیمان و آب به سیمان بر خواص ملات سیمان به کار گرفته شده است. برای این منظور 36 طرح اختلاط ملات سیمان شامل سه نسبت ماسه به سیمان 5/2، 75/2 و 3 و شش نسبت آب به سیمان 25/0، 3/0، 35/0، 4/0، 45/0 و 5/0 ساخته شده است. مقدار فوق روان کننده مصرفی هم بر اساس رسیدن به جریان 110 ± 5 در میز سیلان با 25 ضربه استفاده شده است [23]. مقادیر طرح اختلاط هر طرح در جدول (1) ارائه شده است.

2.1. آماده سازی نمونه ها و روش آزمایش

نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش نمونه‌های مکعبی با ابعاد $50 \times 50 \times 50$ میلی‌متری جهت آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C109 بوده است [23]. برای آماده‌سازی نمونه‌ها مواد با نسبت‌های مختلف هر طرح مطابق آیین‌نامه ASTM C305 در مخلوط‌کن ترکیب شده و ملات سیمان حاصل بعد از یکنواخت شدن در مخلوط‌کن در قالب‌ها ریخته شده و سطح نمونه‌ها کاملاً صاف و هموار شده است تا در زمان بارگذاری با کمترین خطا در توزیع نیرو همراه باشد [24]. نمونه‌ها پس از ساخت به مدت 24 ساعت در قالب نگهداری شده و سپس از قالب درآورده و در مخزن آب در دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمایش قرار داده شده‌اند. برای انجام آزمایش مقاومت فشاری از دستگاه آزمایش فشاری با ظرفیت 20 تن استفاده شده است. نمونه‌ها برای آزمایش در راستای سطحی که ملات ریخته شده مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. برای سنین مختلف 3، 7، 14، 21 و 28 روزه از هر طرح اختلاط سه نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است و میانگین نتایج سه نمونه برای سنین مختلف بدست آمده است.

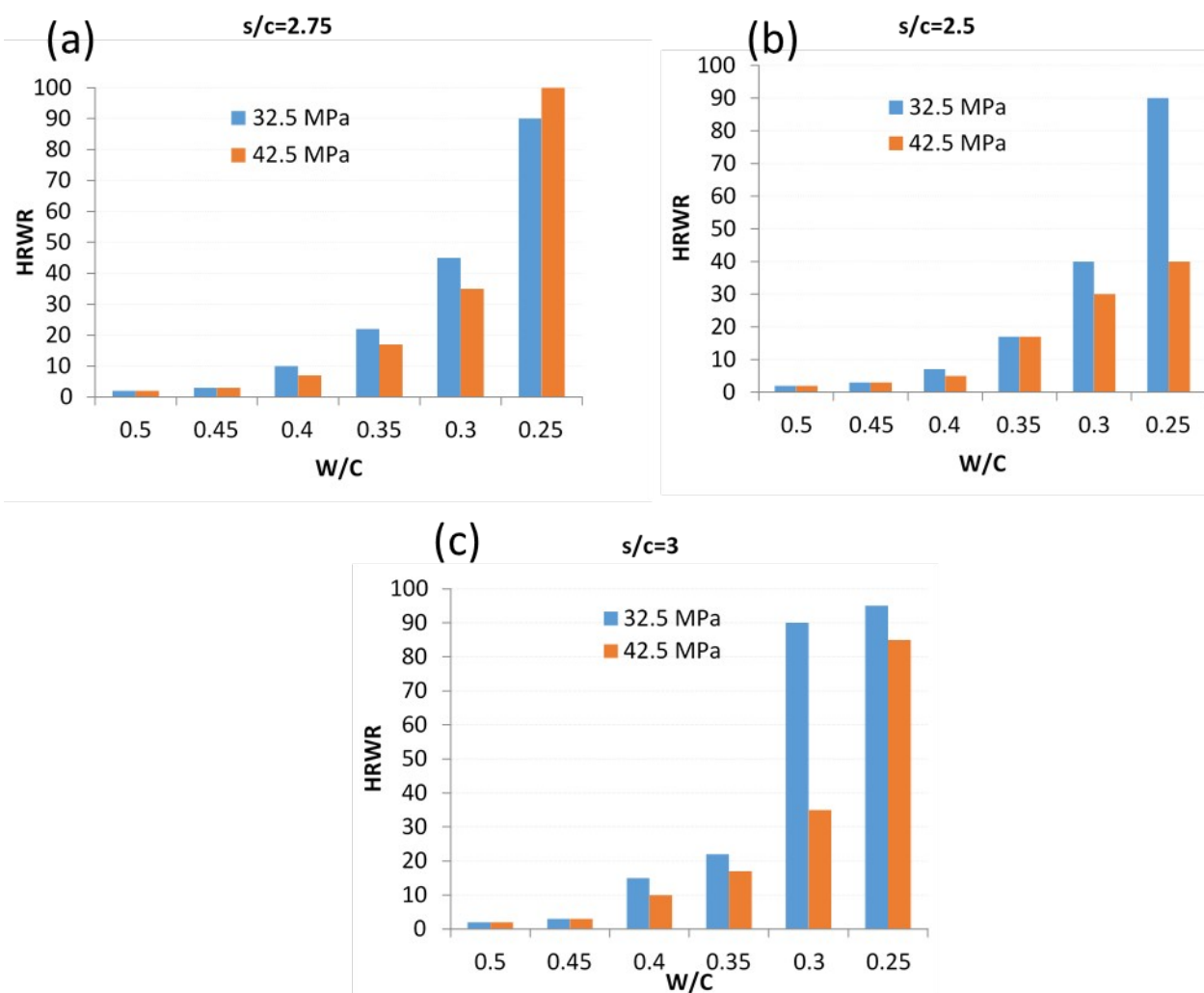
جدول 1 - طرح اختلاط ملات سیمان برای هر رده مقاومتی سیمان 5/32 و 5/42 مگاپاسکال.

Exp.No	C (kg)	W/C	S/C	HRWR (ml)	
				32.5 (MPa)	42.5 (MPa)
1	2.85	0.25	2.5	90	40
2	2.67	0.25	2.75	90	100
3	2.5	0.25	3	95	85
4	2.85	0.3	2.5	40	30
5	2.67	0.3	2.75	45	35
6	2.5	0.3	3	90	35
7	2.85	0.35	2.5	17	17
8	2.67	0.35	2.75	22	17
9	2.5	0.35	3	22	17
10	2.85	0.4	2.5	7	5
11	2.67	0.4	2.75	10	7
12	2.5	0.4	3	15	10
13	2.85	0.45	2.5	3	3
14	2.67	0.45	2.75	3	3
15	2.5	0.45	3	3	3
16	2.85	0.5	2.5	2	2
17	2.67	0.5	2.75	2	2
18	2.5	0.5	3	2	2

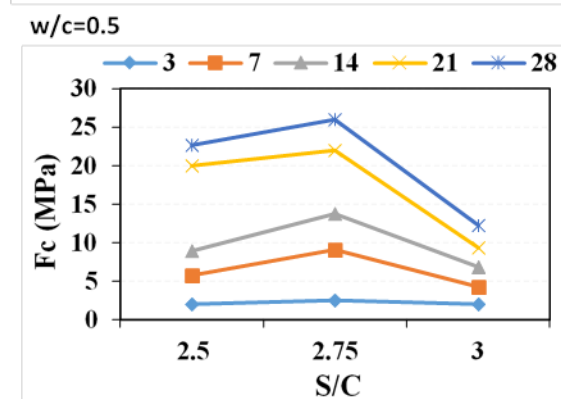
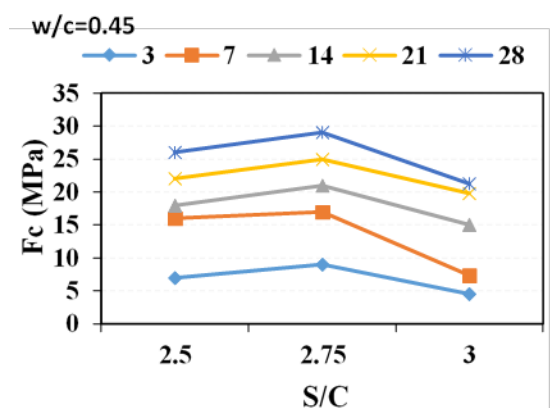
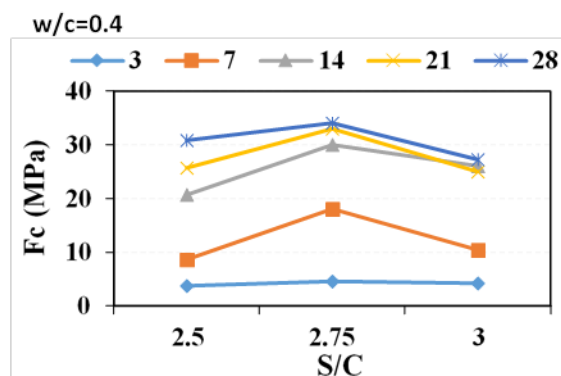
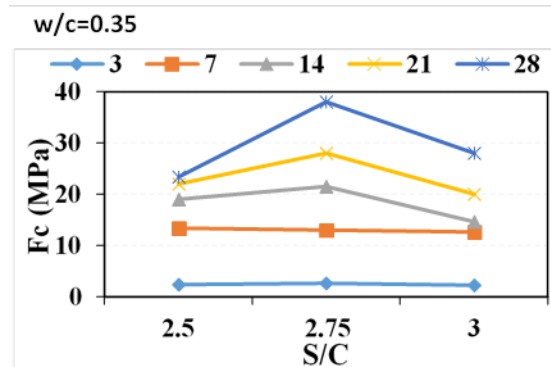
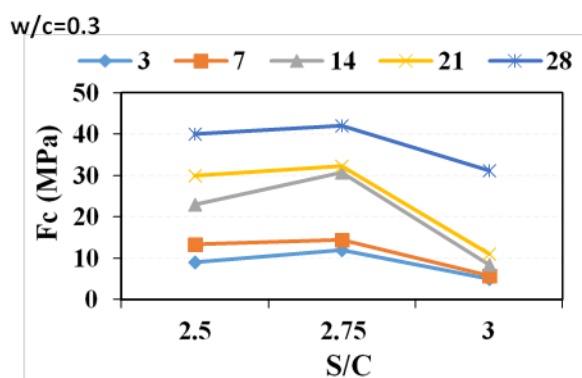
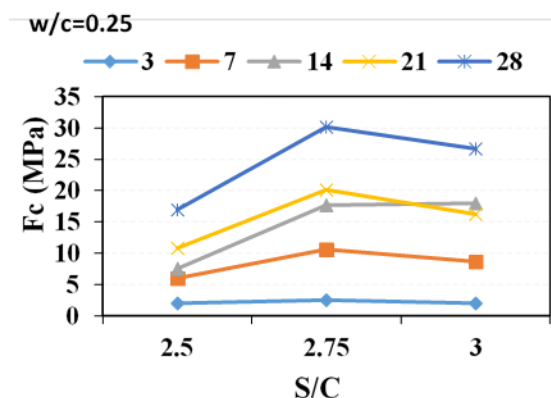
3. نتایج



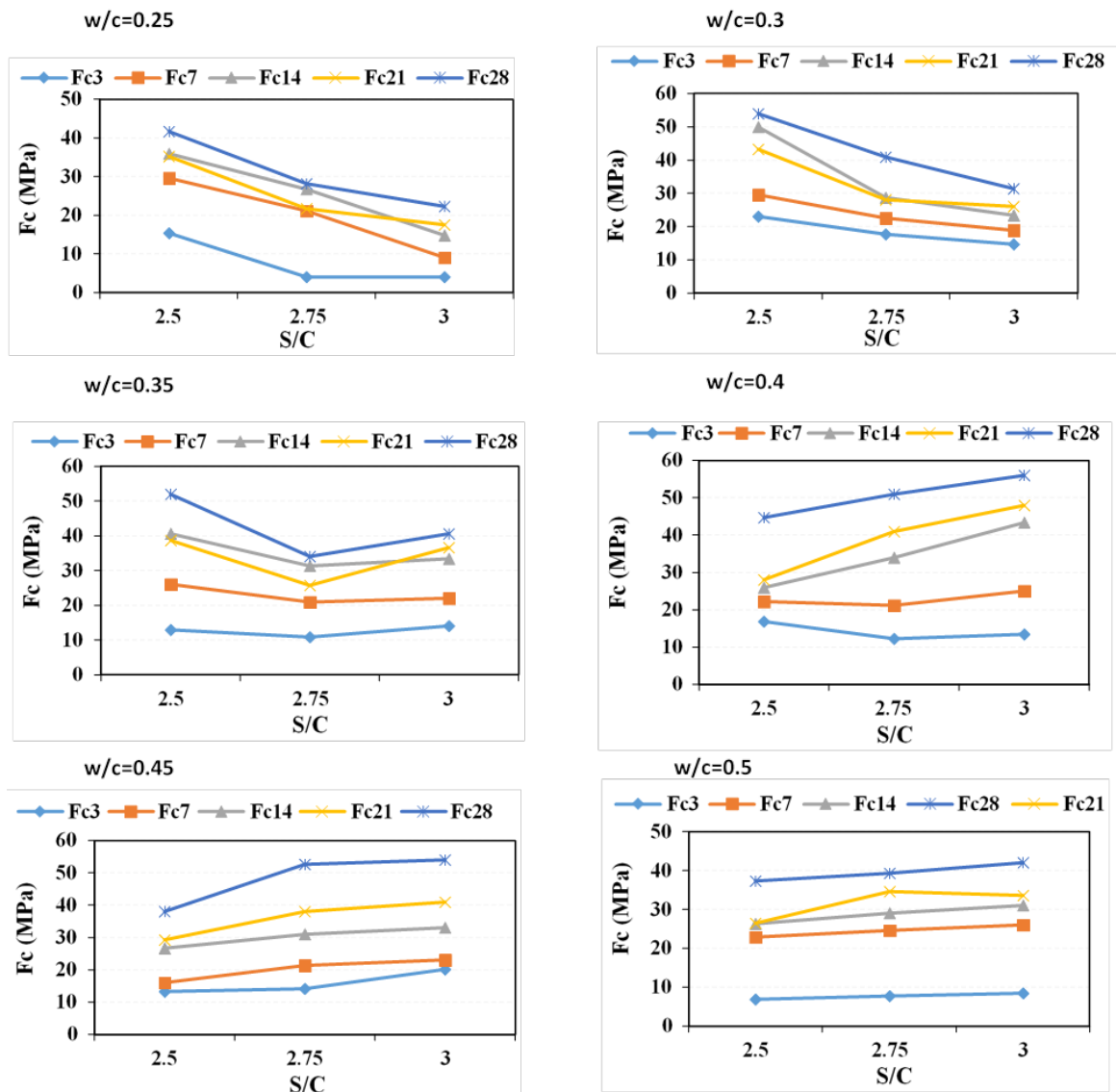
مقایسه تغییرات فوق روان کننده در برابر نسبت‌های آب به سیمان (W/C) برای هر دو رده مقاومتی سیمان و نسبت‌های مختلف ماسه به سیمان (S/C) در شکل (1) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (1) مشاهده می‌شود، برای نسبت‌های W/C بیشتر از 4/0 مقدار فوق روان کننده برای هر دو نوع رده مقاومتی سیمان و هر سه نسبت S/C با نسبت W/C تقریباً با هم برابر می‌باشد. دلیل این امر شاید نسبت W/C بالا و وجود مقدار آب کافی جهت اختلاط ملات سیمان می‌باشد. اما با کاهش نسبت W/C در طرح اختلاط‌ها روند تغییرات فوق روان کننده متفاوت است. در شکل (الف-1) با کاهش نسبت W/C از 4/0 تا 25/0 روند افزایش مصرف فوق روان کننده با شیب بیشتری افزایش یافته که این افزایش در سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال بیشتر است. با افزایش نسبت S/C از 5/2 به 75/2 مشاهده می‌شود تغییرات مقدار فوق روان کننده کاهش یافته که این کاهش در نسبت‌های W/C برابر 25/0 و 3/0 برای سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال بیشتر است (شکل ب-1). با تغییر نسبت W/C از 3/0 به 25/0 در هر سه نمودار شکل (1) بیشترین مقدار افزایش در مقدار فوق روان کننده مشاهده می‌شود که این احتمالاً به دلیل کاهش شدید آب و نیاز بیشتر به فوق روان کننده برای رسیدن به روانی مد نظر است. بیشترین مقدار فوق روان کننده برای سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال با نسبت W/C و S/C به ترتیب 25/0 و 75/2 برابر 100 میلی‌لیتر است. شکل‌های (2 و 3) تغییرات نسبت S/C بر مقاومت فشاری (Fc) ملات سیمان با سیمان‌های رده مقاومتی 5/32 و 5/42 مگاپاسکال را به ترتیب نشان می‌دهند. در شکل (2) نتایج مقاومت فشاری ملات سیمان با نسبت‌های مختلف W/C از 25/0 تا 5/0 آورده شده است. در هر نسبت S/C مقاومت فشاری برای نمونه‌های مکعبی با سنین 3، 7، 14، 21 و 28 روزه ثبت شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش سن نمونه‌ها، مقاومت فشاری افزایش یافته است. این روند افزایش مقاومت برای نمونه‌ها با توجه به نتایج بدست آمده از سنین 3 به 14 روز و همچنین 3 به 28 روز تقریباً بیشترین مقدار افزایش را داشته‌اند و تغییرات افزایش مقاومت در سنین بین 14 تا 28 روز روند کندتری را نشان می‌دهد. برای مثال در طرح اختلاط با نسبت W/C و S/C به ترتیب برابر 5/0 و 3، افزایش مقاومت از سن 3 به 14 روز از مقاومت 2 به 12 مگاپاسکال یک افزایش مقاومت 84% را نشان می‌دهد و این افزایش مقاومت از سن 14 به 28 روز برابر 25% و برای سنین 3 تا 28 روز، این افزایش مقاومت تقریباً برابر 86% است. با افزایش نسبت S/C در هر یک از نسبت‌های W/C تغییرات مقاومت فشاری متفاوت است. بدین گونه که در نسبت‌های W/C پایین بیشترین مقاومت برای نسبت‌های S/C برابر 5/2 اتفاق افتاده در حالی که با افزایش نسبت W/C این روند تغییر کرده و در نسبت‌های بالاتر S/C یعنی 3، بیشترین مقاومت فشاری حاصل شده است. به عنوان مثال در W/C برابر 25/0 میزان مقاومت فشاری برای نمونه‌های 28 روزه با طرح اختلاط شامل نسبت S/C برابر 5/2، 75/2 و 3 به ترتیب مقدار تقریبی 16، 31 و 27 مگاپاسکال است. و برای W/C برابر 45/0 میزان مقاومت در همین نسبت‌های S/C به ترتیب برابر 26، 30 و 23 مگاپاسکال برای نمونه‌های 28 روزه است. نسبت W/C از تاثیرگذارترین عوامل بر خواص روانی و پایداری ملات خودمتراکم چه در حالت تازه و یا سخت شده است [25]. بر این اساس در مطالعه حاضر تغییرات شش نسبت W/C مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقاومت فشاری برای طرح اختلاط در سن 28 روزه با سیمان رده مقاومتی 5/32 مگاپاسکال برای طرح شامل نسبت W/C و S/C به ترتیب برابر 25/0 و 75/2 بدست آمده است.



شکل 1 - تغییرات فوق روان کننده با W/C برای نسبت‌های (الف) $S/C=5/2$ ، (ب) $S/C=75/2$ و (پ) $S/C=3$.



شکل ۲ - تغییرات نسبت S/C بر مقاومت فشاری ملات با سیمان رده مقاومتی 5/32 مگاپاسکال.



شکل 3 - تغییرات نسبت S/C بر مقاومت فشاری ملات با سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال.

در شکل (3) تغییرات سه نسبت S/C و شش نسبت W/C بر مقاومت فشاری ملات سیمان با سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال نشان داده شده است. مشابه شکل (3) با افزایش سن نمونه‌ها مقاومت فشاری افزایش یافته است به جز موارد معدودی که احتمالاً به دلیل خطای آزمایش می‌باشد. با توجه به روند تغییرات نسبت S/C در هر یک از نسبت‌های W/C مشاهده می‌شود تقریباً بیشترین مقاومت برای نمونه‌های فشاری در نسبت S/C برابر 75/2 بدست آمده است. همچنین با افزایش نسبت W/C مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش یافته است این در حالی است که بیشترین مقاومت فشاری برای طرح اختلاط با نسبت W/C و S/C به ترتیب برابر 3/0 و 5/2 بدست آمده است. با نتایج حاصل شده از آزمایش مقاومت فشاری برای سنین مختلف که در شکل (3) مشاهده می‌شود، طرح اختلاط‌های حاوی سیمان با رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال تقریباً مقاومت‌های بیشتری را به نسبت طرح‌های مشابه با سیمان رده مقاومتی 5/32 مگاپاسکال از خود نشان داده‌اند.

4. نتیجه‌گیری



مطالعه حاضر به بررسی مقاومت فشاری با پارامترهای نسبت ماسه به سیمان، آب به سیمان، سن نمونه‌های تحت آزمایش و ارزیابی رده مقاومتی سیمان در طرح اختلاط ملات سیمان آورده شده است. نتایج این تحقیق را می‌توان در قالب موارد زیر به صورت خلاصه بیان نمود.

- هر نوع از رده‌های مقاومتی سیمان خواص منحصر به فردی با دیگر ترکیبات طرح اختلاط دارند که این موضوع نشان دهنده سطح گسترده متغیرهای طرح اختلاط در ملات سیمان برای دستیابی به طرحی مناسب است.
- روند تغییرات مصرف فوق روان کننده در نسبت‌های آب به سیمان پایین برای سیمان با رده مقاومتی 5/32 مگاپاسکال از شیب بیشتری به نسبت سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال برخوردار است.
- تقریباً بیشترین افزایش مقاومت از سنین 3 به 14 روزه و همچنین از سن 14 به 28 روزه برای نمونه‌های فشاری مشاهده شده است.
- نمودارهای اندرکنش پارامترهای طرح اختلاط ملات سیمان به عنوان راه حلی برای یافتن طرح اختلاط مناسب پیشنهاد می‌شود.
- طرح اختلاط شامل نسبت ماسه به سیمان برابر 75/2 و آب به سیمان برابر 3/0 با سیمان رده مقاومتی 5/42 مگاپاسکال بهینه‌ترین طرح مقاومتی می‌باشد.

5. مراجع

1. Edgell, G. and B.A. Haseltine. (2006), "Building Mortar for Low Rise Housing: Recommendations, Problems and Solutions". of Conference.: British Masonry Society.
2. Atkinson, R., et al. (1989), "Response of masonry bed joints in direct shear". Journal of Structural Engineering. 115(9): p. 2276-2296.
3. Amadio, C. and S. Rajgelj. (1991), "Shear behaviour of brick-mortar joints". Masonry International. 5(1): p. 19-22.
4. Roberti, G.M., L. Binda, and G. Cardani. (1998), "Numerical modeling of shear bond tests on small brick-masonry assemblages". in Computer Methods in Structural Masonry-4: Fourth International Symposium. of Conference.: CRC Press.
5. Binda, L., C. Tiraboschi, and S. Abbaneo. (1997), "Experimental research to characterise masonry materials". Masonry International. 10(3): p. 92-101.
6. Nunes, S., et al. (2009), "Interaction diagrams to assess SCC mortars for different cement types". Construction and Building Materials. 23(3): p. 1401-1412.
7. Cagnon, H., et al. (2016), "Effects of water and temperature variations on deformation of limestone aggregates, cement paste, mortar and High Performance Concrete (HPC)". Cement and Concrete Composites. 71: p. 131-143.
8. Hu, J., Z. Ge, and K. Wang. (2014), "Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times". Construction and Building Materials. 50: p. 657-663.
9. Chandra, S. and J. Björnström. (2002), "Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars—Part I". Cement and Concrete Research. 32(10): p. 1605-1611.
10. Boyd, A.J. and S. Mindess. (2004), "The use of tension testing to investigate the effect of W/C ratio and cement type on the resistance of concrete to sulfate attack". Cement and concrete research. 34(3): p. 373-377.
11. Kim, Y.-Y., et al. (2014), "Effect of W/C ratio on durability and porosity in cement mortar with constant cement amount". Advances in Materials Science and Engineering. 2014.



- 12.Rao, G.A. (2001), "Generalization of Abrams' law for cement mortars". Cement and Concrete Research. 31(3): p. 495-502.
- 13.Siddique, R., P. Aggarwal, and Y. Aggarwal. (2012), "Influence of water/powder ratio on strength properties of self-compacting concrete containing coal fly ash and bottom ash". Construction and Building Materials. 29: p. 73-81.
- 14.Singh, S., P. Munjal, and N. Thammishetti. (2015), "Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar". Journal of Building Engineering. 4: p. 94-100.
- 1.15. Neville, A.M., (1995), "Properties of concrete".
- 16.Westerholm, M., et al. (2008), "Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars". Cement and Concrete Composites. 30(4): p. 274-282.
- 17.Ganaw, A.I. and A.F. Ashour. (2014), "Rheological properties of mortars prepared with different sands".
- 18.De Schutter, G. and A.-M. Poppe. (2004), "Quantification of the water demand of sand in mortar". Construction and Building Materials. 18(7): p. 517-521.
- 19.Haach, V.G., G. Vasconcelos, and P.B. Lourenço. (2011), "Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars". Construction and building materials. 25(6): p. 2980-2987.
- 20.Reddy, B.V. and A. Gupta. (2008), "Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry". Construction and Building Materials. 22(8): p. 1614-1623.
- 21.Committee, A., (2003), "C09. ASTM C33-03, Standard Specification for Concrete Aggregates", ASTM International.
- 22.Shah, A., et al. (2013), "Effect of high range water reducers (HRWR) on the properties and strength development characteristics of fresh and hardened concrete". Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering. 37(C): p. 513.
- 23.Standard, A. (2008), "C109/C109M". Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens), ASTM International, West Conshohocken PA.
- 24.Standard, A., (2012), "C305. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency", West Conshohocken, PA: ASTM International.
- 25.Libre, N.A., R. Khoshnazar, and M. Shekarchi. (2010), "Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures". Construction and Building Materials. 24(7): p. 1262-1271.