



بررسی تاثیر ردهی مقاومتی سیمان بر تخریب ملات سیمان با استفاده از تصاویر سطح مقطع نمونه

علی‌اصغر صادقی^{1*}، سحر بیات²، سجاد بیات³

1- استادیار دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه حکیم سبزواری

3- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

خلاصه

تولید بتن با عملکرد مناسب به عنوان یکی از پرمصرفترین مواد سازه ای نیازمند شناخت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن میباشد. این خواص تحت تاثیرنوع مواد تشکیل دهنده و نسبت اختلاط مواد با یکدیگر میباشد. در این تحقیق با استفاده از تصویر برداری از سطح بتن، در دو نسبت آب به سیمان مختلف اثر رده مقاومتی سیمان مصرفی در میزان حفرات و تخریب نمونه های بتن مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه نتایج تخریب به دست آمده با استفاده از روش تصویربرداری از سطح مقطع نمونه ها و روش آزمایشگاهی، حاکی از نزدیکی نتایج میباشد. استفاده از روش عکسبرداری از سطح مقطع نمونه ها روشی آسان برای تخمین تخریب می باشد. نتایج نشان می دهد با افزایش رده مقاومتی سیمان از 5/32 به 52/5 مگاپاسکال و با کاهش نسبت آب به سیمان از 5/0 به 3/0 میزان تخریب کاهش میابد.

کلمات کلیدی: رده مقاومتی سیمان، ملات سیمان، تخریب، مقاومت فشاری.

1. مقدمه

با پیشرفت روز افزون صنعت ساختمان و نیاز ضروری بشر به این صنعت، استفاده از پیشرفتهترین تکنولوژی ها جهت ساخت سازه های مقاوم مورد نیاز میباشد. یکی از اجزای مهم این صنعت بتن است و ملات سیمان نقش مهمی در تشکیل بتن و خواص آن دارد. خواص فیزیکی و مکانیکی مواد سیمانی به صورت چشمگیری تحت تاثیر مواد تشکیل دهنده، نوع و نسبت اختلاط این مواد هستند. در این میان، نسبت آب به سیمان، و نوع سیمان مصرفی از اهمیت بیشتری برخوردار است به طوری که تخریب به عنوان اصلترین فاکتور و عامل موثر در سایر خواص بتن از قبیل خواص مقاومتی و دوام را تحت تاثیر قرار میدهد [1]. ملات سیمان شامل سه مادهی تشکیلدهنده اصلی آب، سنگدانه، سیمان میباشد. هر کدام از این مواد ویژگیهای منحصر به فردی را به ملات میدهند. در مطالعه های توسط اسکندری نداف و کاظمی [2] در سال 2017 مقاومت فشاری سیمان بر روی 54 طرح اختلاط مختلف حاوی نسبت آب به سیمان، نسبت سنگدانه به سیمان و نوع رده مقاومتی سیمان مختلف و در مجموع 810 نمونه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش ردهی سیمان باعث بهبود مقاومت فشاری ملات سیمان میشود. در سال

* Corresponding author
Email: a.sadeghi@hsu.ac.ir

2018 حسین زاده و همکاران [3] به مطالعه بر روی اثر تخلخل و رطوبت در مکانیزم شکست ملات سیمان پرداخته‌اند. آنها رفتار ملات سیمان را با استفاده از روش انتشار آوایی ثبت کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش تخلخل باعث افزایش تعداد ترک کششی در آزمایش فشار تک محوره می‌شود. همچنین با افزایش تخلخل، ریزترکهای کمتری در نمونه ایجاد می‌شود. در سال 2003 اوسیل و همکاران [4] در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش عیار سیمان مقاومت فشاری بتن افزایش خواهد یافت و همچنین دریافتند که این امر باعث کاهش تخلخل بتن خواهد شد. علی زاده و همکاران [5] بر روی تاثیر عیار سیمان بر روی مقاومت، جذب آب و تخلخل بتن با نسبت آب به سیمان یکسان مطالعاتی را انجام داده‌اند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در نسبت آب به سیمان 4/0، با افزایش عیار سیمان خواص بتن بهبود می‌یابد. اما در نسبت آب به سیمان 45/0، افزایش عیار سیمان باعث افزایش مقدار آب شده و تخلخل افزایش و مقاومت کاهش می‌یابد.

مرور سوابق موضوع نشان می‌دهد که اگرچه مطالعه و تحقیق زیادی در مورد ملات سیمان و تخلخل و همچنین سایر خصوصیات ملات انجام شده است، اما تا کنون تاثیر رده های مختلف مقاومتی سیمان بر روی تخلخل ملات، مطالعاتی صورت نگرفته است. در این تحقیق، تخلخل نمونه‌های دارای رده های مقاومتی مختلف با استفاده از تصاویر مورد بررسی قرار گرفته است.

2. برنامه آزمایشگاهی

2.1. مواد و طرح اختلاطها

سیمان مصرفی در این مطالعه سه نوع سیمان پرتلند با رده مقاومتی 5/32، 5/42 و 5/52 مگاپاسکال مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمانهای مصرفی در جدول 1 ارائه شده است. سنگدانه‌های مورد استفاده از نوع ریزدانه (ماسه) با بیشترین بعد دانه 75/4 میلیمتر و چگالی برابر $6/2 \text{ kg/cm}^3$ و مدول نرمی 48/2 است و دانه بندی به کار رفته بر اساس آیین نامه ASTM C33 میباشد [6]. در ساخت نمونه ها از آب شرب مصرفی استفاده شده است. همچنین از فوق روان کننده پایه پلی کریکسیلیک برای خودمتراکم شدن ملات سیمان در هنگام پر کردن قالبها استفاده شده است. فوق روان کننده علاوه بر بالا بردن کارایی ملات سیمان سبب افزایش مقاومت نهایی آن نیز میشود [7].

جدول 1 - خواص فیزیکی و شیمیایی سیمانهای مصرفی

ردمقاومتی سیمان	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	F ₂ CaO	C ₃ A	نسبت نسبت نسبت (ton/m ³)	نسبت نسبت نسبت (ton/m ³)	نسبت نسبت نسبت (ton/m ³)	نسبت نسبت نسبت (ton/m ³)
300 0	9/0	13/3	94/63	33/6	3/1	2/2	7/0	32/0	3/2	93/1	12/64	4/3	5/4	4/2 0	5/3 2
305 0	8/0	13/3	27/64	27/6	3/1	7/2	7/0	35/0	4/2	94/1	64	5/3	6/4	2/2 0	5/4 2
360 0	1/0	15/3	85/57	5/6	2/1	2/1	65/0	32/0	53/2	93/1	18/64	52/3	7/4	21	5/5 2

هدف بررسی اثر رده‌های مقاومتی سیمان و نسبت آب به سیمان و تاثیر توام این پارامترها بر طرح اختلاط ملات سیمان با در نظر گرفتن تمام شرایط می باشد. برای این منظور یک کار آزمایشگاهی گسترده با 6 طرح اختلاط ملات سیمان شامل سه نوع سیمان با رده‌های مقاومتی مختلف 5/32، 5/42 و 5/52 مگاپاسکال به همراه نسبت ماسه به سیمان، 75/2 و دو نسبت آب به سیمان 3/0 و 5/0 ساخته شده است. مقدار فوق روان کننده

مصرفی با استفاده از میز سیلان و جریان 5 ± 110 با 25 ضربه مشخص شده است [8].
مقادیر طرح اختلاط هر طرح در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2 - نسبت‌های طرح اختلاط برای ملات سیمان

شماره طرح اختلاط	رده مقاومتی سیمان (مگاپاسکال)	سیمان (کیلوگرم)	سیمان/آب	سیمان/ماسه	فوق روان کننده (میلی‌لیتر)
1	5/32	85/2	3/0	75/2	45
2	5/42	85/2	3/0	75/2	35
3	5/52	85/2	3/0	75/2	40
4	5/32	67/2	5/0	75/2	2
5	5/42	67/2	5/0	75/2	2
6	5/52	67/2	5/0	75/2	2

2.2. آمادگی‌سازی و آزمایش نمونه‌ها

در این پژوهش نمونه‌های مکعبی با ابعاد 50 میلیمتری جهت آزمایش تخلخل و مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C109 ساخته شده است [8]. برای ساخت ملات سیمان، مطابق آییننامه [9] ASTM C305 ابتدا با اضافه کردن سیمان به آب، مخلوطکن به مدت 30 ثانیه با سرعت آهسته (140 دور در دقیقه) مخلوط کرده سپس در مدت زمان 30 ثانیه سنگدانها اضافه شده است و با تغییر سرعت مخلوطکن به متوسط (280 دور در دقیقه) مخلوطکن به مدت 30 ثانیه مواد را ترکیب کرده در پایان به مدت 60 ثانیه مواد با سرعت متوسط در مخلوطکن ترکیب شده است. ملات سیمان حاصل بعد از یکنواخت شدن در مخلوطکن در قالبها ریخته شده و سطح نمونه‌ها برای کاهش خطا در توزیع نیرو، در زمان بارگذاری کاملاً صاف و هموار شده است. نمونه‌ها پس از ساخت به مدت 24 ساعت در قالب نگهداری شده‌اند و پس از بیرون آوردن از قالب در مخزن آب در دمای 22 ± 2 درجه سانتیگراد تا زمان آزمایش قرار داده شده‌اند.

برای آزمون تخلخل تغییرات وزن سه نمونه از هر طرح اختلاط با استفاده از قانون ارشمیدوس اندازه‌گیری شده است. در ابتدا نمونه‌ها در دستگاه خشک کن در دمای $5 \pm$ 105 درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به وزن ثابت خشک شده‌اند (W_d). پس از آن، وزن نمونه زیر آب در حالت اشباع (W_w) و اشباع با سطح خشک (W_{ssd}) محاسبه شده است. تفاوت وزن بین شرایط اشباع و خشک برای محاسبه تخلخل برای یک درصد از حجم نمونه استفاده شده است. تخلخل (P) با استفاده از رابطه زیر تعیین شده است:

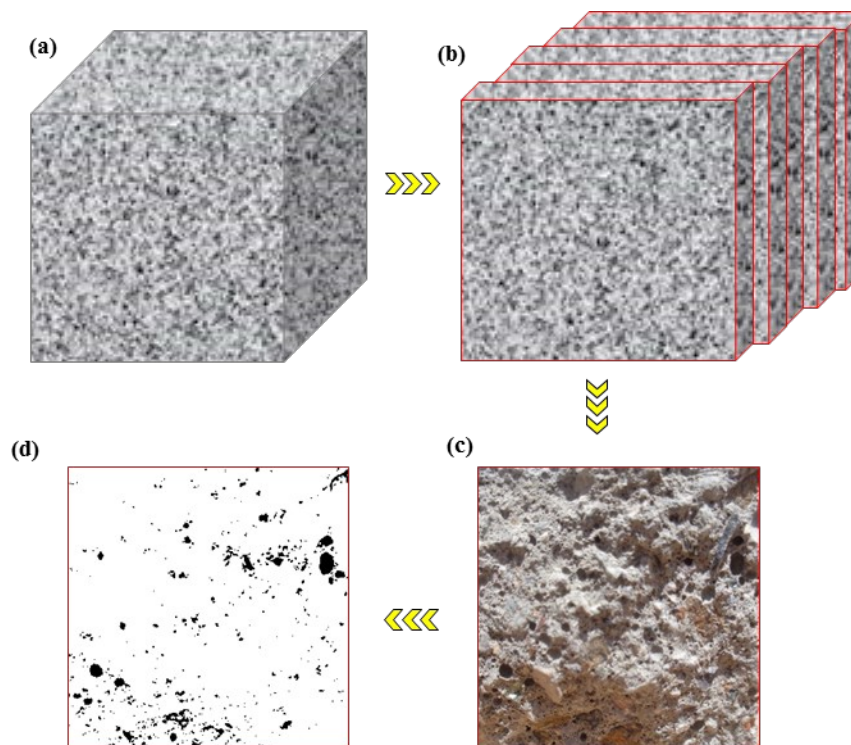
$$P = \frac{(W_{ssd} - W_d)}{(W_{ssd} - W_w)} \times 100\% \quad (1)$$

برای آزمایش مقاومت فشاری از دستگاه آزمایش فشاری با ظرفیت 20 تن استفاده شده است. برای آزمایش، نمونه‌ها در راستای سطحی که ملات ریخته شده مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. برای سنین مختلف 7 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.

3. استخراج تصاویر از سطح مقطع نمونه

در این بخش به بررسی تصاویر نمونه و تخلخل آن پرداخته می‌شود. برای عکس برداری از تخلخل نمونه، نیاز است تا آن به 4 بخش مساوی برش زده شود. بخش a شکل 1 نشان-دهنده نمونه مکعبی ملات مورد مطالعه می‌باشد. بخش b از شکل 1، 4 بخش سطح

مقطع نمونه که به‌طور مساوی برش داده شده‌اند و بخش c نیز قسمتی از تخلخل این مقطع برش زده را نشان می‌دهد. در بخش d از این شکل، حفرات هر مقطع با استفاده از عکس-برداری استخراج و به نمونه‌های ملات تعمیر داده می‌شود. سپس نتایج به‌دست آمده از تصاویر با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود تا دقت روش مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد.



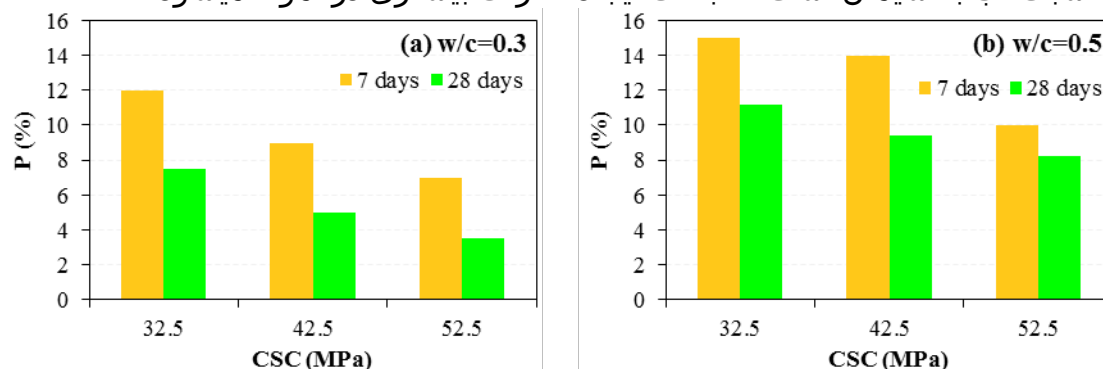
شکل 1 - مراحل تعیین حفرات با استفاده از روش عکسبرداری (a) ساخت نمونه مکعبی (b) برش نمونه (c) عکسبرداری از سطح (d) تعیین محل حفرات

4. بحث و بررسی نتایج

4.1. نتایج آزمایشگاهی

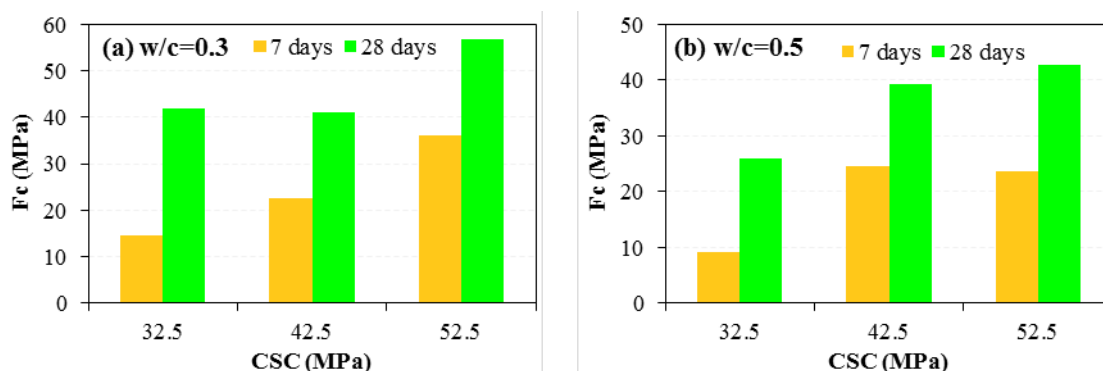
شکل 2 اثر تغییرات رده مقاومتی سیمانهای 5/32، 5/42 و 5/52 را بر تخلخل ملات سیمان در سنین 7 و 28 روزه برای نسبت‌های آب به سیمان (الف) 3/0 و (ب) 5/0 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تخلخل نمونه‌ها در سنین 7 روزه با افزایش رده مقاومتی سیمان کاهش چشمگیری داشته که بعنوان مثال برای نمونه 7 روزه با سیمان 5/32 دارای تخلخل 12 درصدی می‌باشد که با افزایش رده مقاومتی سیمان به 5/52 این عدد به 7 درصد کاهش پیدا کرده است. بعلاوه با افزایش سن نمونه از 7 روزه به 28 روزه بدلیل تکمیل فرایند هیدراتاسیون (از دست دادن سطح اتکا و افزایش مقدار آب آزاد در فاز جامد هیدراتاسیون می‌شود) کاهش تخلخل مشاهده می‌شود. با توجه به شکل 2 این روند برای نمونه 28 روزه نیز صادق می‌باشد. بطور مثال برای نمونه 7 روزه سیمان با رده‌ی مقاومتی 5/32 و نسبت آب به سیمان 3/0 دارای 12 درصد تخلخل و برای همین نمونه با سن 28 روزه این مقدار برابر با 7 درصد می‌باشد. هرچند با افزایش نسبت آب به سیمان از 3/0 (شکل 2-a) به 5/0 (شکل 2-b) روند مشابهی در تغییرات میزان تخلخل با سن نمونه و رده مقاومتی سیمان مشاهده می‌شود، با اینحال در نمونه‌های با آب به سیمان 5/0 مقادیر تخلخل با

حالت نسبت به آب به سیمان 3/0 بیشتر می باشند. دلیل این امر افزایش مقدار نسبت آب به سیمان است که باعث ایجاد حفرات بیشتری در نمونه میشود.



شکل 2 - اثر رده مقاومتی سیمان بر تخلخل در سنین مختلف با: (a) $w/c=3/0$ و (b) $w/c=5/0$.

شکل 3 اثر تغییرات رده مقاومتی سیمانهای 5/32، 5/42 و 5/52 را بر مقاومت فشاری ملات سیمانهای 7 و 28 روزه برای آب به سیمانهای 3/0 و 5/0 نشان می دهد. همانطور که مشاهده میشود مقاومت فشاری نمونه ها در سنین 7 روزه با افزایش رده مقاومتی سیمان افزایش یافته که بعنوان مثال برای نمونه 7 روزه با سیمان 5/32 دارای مقاومت 15 مگاپاسکال میباشد که با افزایش رده مقاومتی سیمان به 5/52 این عدد به 35 مگاپاسکال افزایش یافته است. همچنین با افزایش سن نمونه از 7 روزه به 28 روزه افزایش مقاومت فشاری مشاهده میشود و این روند برای نمونه 28 روزه نیز همین گونه می باشد. بطور مثال برای نمونه 7 روزه سیمان با رده ی مقاومتی 5/32 و نسبت آب به سیمان 3/0 دارای مقاومت فشاری 15 مگاپاسکال میباشد و برای نمونه 28 روزه 55 مگاپاسکال میباشد. با افزایش نسبت آب به سیمان نیز روند مشابهی مشاهده میشود. در نمونهها با نسبت آب به سیمان 5/0 مقادیر مقاومت فشاری کمتر از مقادیر نسبت به آب به سیمان 3/0 میباشد که دلیل آن افزایش نسبت آب به سیمان است که تاثیر مستقیم بر حفرات هوا در بتن میگذارد و باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می شود.



شکل 3 - اثر رده مقاومتی سیمان بر مقاومت فشاری در سنین مختلف با: (a) $w/c=3/0$ و (b) $w/c=5/0$.

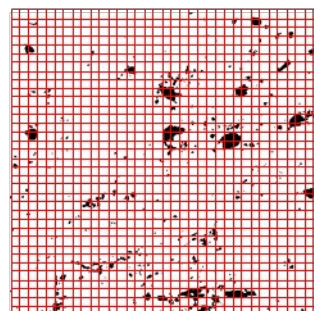
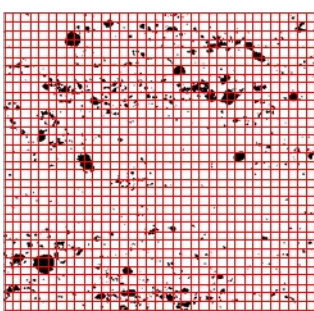
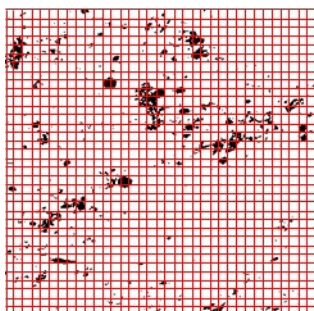
4.2. بررسی تخلخل با استفاده از تصاویر سطح مقطع

به دلیل انبوهی از تصاویر عکسبرداری شده نمونهها، بخشی از این سطح مقاطع در شکلهای 4 و 5 نمایش داده شده است.

سبزواری

براساس شکل 4، در نمونه‌های با نسبت آب به سیمان 5/0، با افزایش رده مقاومتی سیمان از 5/32 به 5/52 مگاپاسکال، میزان حفرات کاهش پیدا کرده است. بنابراین، نمونه‌های با رده مقاومتی بالای سیمان دارای تخلخل کمتری نسبت به سایر نمونه‌های این بخش می‌باشند.

در شکل 5، علاوه بر افزایش رده مقاومتی سیمان، نسبت آب به سیمان نیز از 5/0 به 3/0 تغییر میکند. در این حالت، کاهش بیشتر حفرات در نمونه مشاهده می‌شود. این تغییر باعث ایجاد تاثیر مثبت در روند کاهش حفرات میشود.

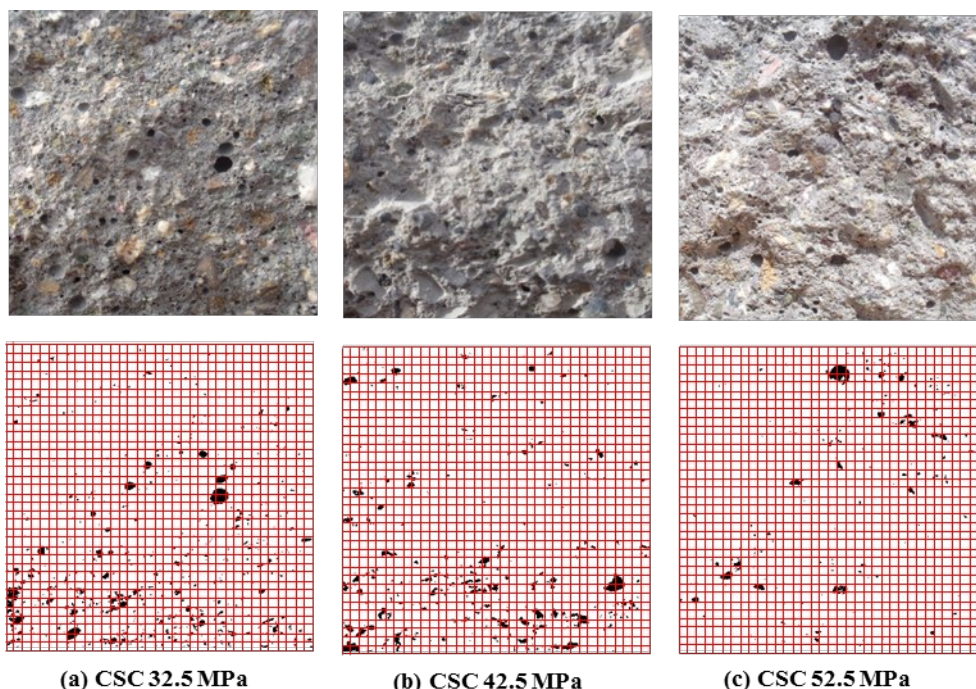


(a) CSC 32.5 MPa

(b) CSC 42.5 MPa

(c) CSC 52.5 MPa

شکل 4 - اثر رده مقاومتی بر میزان حفرات در نمونه‌های با نسبت آب به سیمان 5/0



شکل 5- اثر رده مقاومتی بر میزان حفرات در نمونه های با نسبت آب به سیمان 5/0 (a) و 3/0 (b, c)

مقایسه نتایج آزمایشگاهی تخلخل و نتایج به دست آمده از تصاویر در جدول 3 آمده است. مقایسه این نتایج در نسبت آب به سیمان و رده مقاومتیهای مختلف، بیانگر نزدیکی نتایج میباشد. این نزدیکی نتایج حاکی از آن است که روش به کار برده شده در این مقاله از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین، وجود این اختلاف اندک در نتایج به دست آمده از دو روش به علت خطاهای موجود در روش آزمایشگاهی و روش عکسبرداری میباشد.

جدول 3 - مقایسه نتایج آزمایشگاهی اندازه گیری تخلخل با نتایج تصاویر سطح مقطع نمونه ها

روش محاسبه تخلخل		CSC (MPa)		
		5/32	5/42	5/52
نتایج آزمایشگاهی 28 روزه	w/c=0.3	5/7	5	8/3
	w/c=0.5	11	9	8
تصاویر سطح مقطع	w/c=0.3	8	5/6	4
	w/c=0.5	12	5/10	9

بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش رده مقاومتی سیمان باعث کاهش تخلخل و افزایش مقاومت فشاری ملات سیمان میشود. همچنین، استفاده از روش عکسبرداری از سطح مقطع نمونه ها، محاسبه تخلخل را آسانتر و با دقت بالاتری فراهم نموده است.

5. نتیجه گیری

سبزواری

- 1- رده مقاومتی سیمان پارامتری تاثیرگذار بر تخلخل نمونه های ملات سیمان می باشد. با افزایش رده مقاومتی سیمان از 5/32 به 5/52 مگاپاسکال کاهش حدود 50 درصدی تخلخل مشاهده می شود.
- 2- رده مقاومتی سیمان پارامتری تاثیرگذار بر مقاومت فشاری ملات سیمان میباشد. افزایش رده مقاومتی سیمان باعث افزایش حدود 5 الی 10 درصدی مقاومت فشاری می-شود.
- 3- با کاهش نسبت آب به سیمان میزان تخلخل کاهش مییابد.
- 4- روند تاثیر رده مقاومتی سیمان بر میزان تخلخل در نمونه های 7 و 28 روزه مشابه می باشد.
- 4- نتایج تخلخل بهدست آمده از روش عکسبرداری و تصاویر سطح مقطع نمونهها و روش آزمایشگاهی، حاکی از نزدیکی نتایج میباشد و این روش می تواند در تخمین میزان تخلخل مورد استفاده قرار گیرد.

7. مراجع

1. Eskandari-Naddaf, H. and R. Kazemi, (2017), "ANN prediction of cement mortar compressive strength, influence of cement strength class." Construction and Building Materials, 138, pp. 1-11.
2. Eskandari-Naddaf, H. and R.J.P.M. Kazemi, (2018), "Experimental evaluation of the effect of mix design ratios on compressive strength of cement mortars containing cement strength class 42.5 and 52.5 MPa." Procedia Manufacturing, 22, pp. 392-398.
- 3- احمدی ، م. حسین زاده، م. ح. ، نجاتی، ح.ر.، (1397)، "بررسی اثر تخلخل و رطوبت در مکانیزم شکست ملات سیمان با استفاده از پارامترهای انتشار آوایی"، مجله مهندسی عمران مدرس، جلد 18 (1) ، ص.ص 91-100.
4. Uysal, H., Demirboga, R., Sahin, R., Gul, R.,(2004), "The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete, 34(5), pp. 845-848.
- 5- علی زاده، ع؛ نیکودل، م.ر.، خامه چیان، م.، (۱۳۹۵)، "تاثیرافزایش عیار سیمان بر مقاومت، جذب آب و تخلخل بتن در دو نسبت آب به سیمان ثابت"، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران، ایران.
6. ASTM, Commitee, A., C09. (2003), "ASTM C33-03, Standard Spesification for Concrete Agregates.", ASTM International.
7. Shah, A., Khan, S., Khan R., (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), pp. 513-517.
8. ASTM, Standard, A., C109/C109M.,(2008), "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens)", ASTM International, West Conshohocken PA,
9. ASTM, Standard, A., C305.(2012), "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency." West Conshohocken, PA: ASTM International.