

بررسی اثرات ذوب و یخبندان بر مقاومت فشاری و وزن بتن

حمید اسکندری^{۱*}، صادق امیری مندی^۲

۱- استادیار گروه عمران دانشگاه حکیم سبزواری، Hamidiisc@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه حکیم سبزواری، Sadeghamiri4@gmail.com

چکیده

دوام بتن در برابر ذوب و یخبندان و در شرایط محیطی متفاوت از خصوصیات مهم آن می باشد. در این مطالعه، ۳۶ نمونه استوانه‌ای بتنی با استفاده از ۹ طرح اختلاط مختلف و با استفاده از سه نوع سیمان با رده‌های مقاومتی ۳۲/۵، ۴۲/۵ و ۵۲/۵ مگاپاسکال و همچنین سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ ساخته شد و میزان کاهش وزن نمونه‌ها و همچنین مقاومت فشاری آنها قبل از قرارگیری در شرایط ذوب و یخبندان و همچنین بعد از تعداد چرخه‌های ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ اندازه‌گیری شده و تاثیرات فرآیند ذوب و یخبندان بر خصوصیات نمونه‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیمان‌های با رده مقاومتی بالاتر می‌تواند کاهش وزن کمتر و مقاومت فشاری بیشتری را به دنبال داشته باشد و این نتایج می‌تواند به عنوان یک مرجع در طراحی، نگهداری و پیش‌بینی طول عمر سازه‌های بتنی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ذوب و یخبندان، رده مقاومتی سیمان، نسبت آب به سیمان، کاهش وزن، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

دوام بتن به معنای توانایی باقی ماندن آن با کیفیت و حالت اولیه بدون هیچ گونه خرابی و آسیبی می‌باشد [۱، ۲]. عوامل آسیب‌های وارده به بتن می‌تواند به دو دسته زیر تقسیم شود: آسیب‌های ناشی از تاثیرات فیزیکی (مانند ذوب و یخبندان و سایش) و موارد ناشی از عوامل شیمیایی (مانند حمله سولفات‌ها و خوردگی مسلح کننده‌ها). با توجه به استفاده گسترده از سازه‌های بتنی توجه به موضوع دوام و مقاومت آنها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد [۳]. به دلیل نیازهای مختلف بسیاری از سازه‌های بتنی در مناطق سردسیر ساخته می‌شوند که ناگزیر در معرض عمل ذوب و یخبندان قرار می‌گیرند [۴-۶]. اعتقاد بر این است که مهمترین جنبه دوام بتن در مناطقی که در معرض سرما هستند مقاومت آن در برابر چرخه‌های ذوب و یخبندان است به طوری که این آسیب با پوسته پوسته شدن از سطح شروع شده و به عمق بتن گسترش می‌یابد [۷]. در نتیجه یکی از مهمترین عوامل مسئله دوام در محیط‌های سرد فرآیند ذوب و یخبندان‌های متوالی می‌باشد.

تاثیرات ذوب و یخبندان بر بتن‌های هوادار توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. Gorce [۸] یک مطالعه آزمایشگاهی در رابطه با مقاومت بتن هوادار و بدون هوا در برابر ذوب و یخبندان انجام داد. در ادامه Sabir و Kouyiali [۹] به بررسی دوام و مقاومت بتن هوادار در برابر فرآیند ذوب و یخبندان پرداخته‌اند. مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، کاهش وزن نیز در بتن‌های هوادار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. Wang و همکاران [۱۰] به بررسی بتن با نفوذپذیری کم و نیاز آن به حباب هوا برای دستیابی به دوام مورد نظر پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که به‌طور کلی

نبود هوا در بتن می‌تواند دوام کمی را به همراه داشته باشد. همچنین نتایج آنها در مورد نمونه‌های ساخته شده با طرح اختلاطی که از نفوذپذیری بسیار کم و مقاومت فشاری بالا و میزان هوای بسیار کمی برخوردار بود نیز دوام بالایی را نشان می‌دهد. با وجود انجام این پژوهش‌ها در جهت بررسی رفتار بتن‌های مختلف در شرایط چرخه‌های ذوب و یخبندان صورت گرفته است ولی همچنان این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تری در جهت بهبود شرایط آن نیاز دارد به ویژه اینکه تاثیر سیمان‌های با رده‌های مقاومتی مختلف که توسط استانداردهای معتبر [۱۱-۱۳] ارائه شده است برای دستیابی به بتن‌های با مقاومت بالاتر چندان مورد مطالعه قرار نگرفته است.

هدف از این پژوهش، بررسی تاثیرات ذوب و یخبندان بر مقاومت فشاری و وزن نمونه‌های بتنی معمولی با در نظر گرفتن سه نوع رده مقاومتی سیمان ۳۲/۵، ۴۲/۵ و ۵۲/۵ مگاپاسکال و همچنین مقادیر مختلف نسبت آب به سیمان می‌باشد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح و طرح‌های اختلاط

مصالح مصرفی در تولید نمونه‌ها، شامل سیمان تیپ II کارخانه‌های سیمان شاهرود و بجنورد می‌باشد. آب استفاده شده نیز از آب شرب شهر سبزوار تامین شده است. از ماسه رودخانه‌ای با مدول نرمی ۲/۶ به عنوان ریزدانه و درشت‌دانه نیز شامل مصالح سنگی با حداکثر بعد ۹/۵ میلیمتر می‌باشد. به منظور ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی، ۹ طرح اختلاط و با سه نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ ساخته شد که سیمان‌های مورد استفاده نیز از سه نوع مقاومت مختلف ۳۲/۵، ۴۲/۵ و ۵۲/۵ مگاپاسکال برخوردار بودند. جزئیات طرح اختلاط بتن‌های تولید شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر طرح اختلاط نمونه‌های ساخته شده.

شماره طرح	رده مقاومتی سیمان (MPa)	آب به سیمان	سیمان (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	ریزدانه (kg/m ³)	درشت‌دانه (kg/m ³)
۱	۳۲/۵	۰/۴	۵۰۵/۴	۲۰۲/۲	۱۰۱۰/۸	۶۳۱/۷
۲	۴۲/۵	۰/۴	۵۰۵/۴	۲۰۲/۲	۱۰۱۰/۸	۶۳۱/۷
۳	۵۲/۵	۰/۴	۵۵۱	۲۱۸/۸	۷۸۰/۶	۷۹۹/۵
۴	۳۲/۵	۰/۴۵	۷۱۵/۷	۳۲۲/۱	۷۱۵/۷	۵۹۶/۴
۵	۴۲/۵	۰/۴۵	۷۱۵/۷	۳۲۲/۱	۸۳۵	۴۷۷/۲
۶	۵۲/۵	۰/۴۵	۵۵۱	۲۴۸/۵	۷۵۰/۹	۷۹۹/۵
۷	۳۲/۵	۰/۵	۶۰۲/۶	۳۰۱/۳	۸۴۳/۶	۶۰۲/۶
۸	۴۲/۵	۰/۵	۶۰۲/۶	۳۰۱/۳	۸۴۳/۶	۶۰۲/۶
۹	۵۲/۵	۰/۵	۵۵۱	۲۷۵/۵	۷۲۳/۹	۷۹۹/۵

۲-۲- نمونه‌ها و انجام آزمایشات

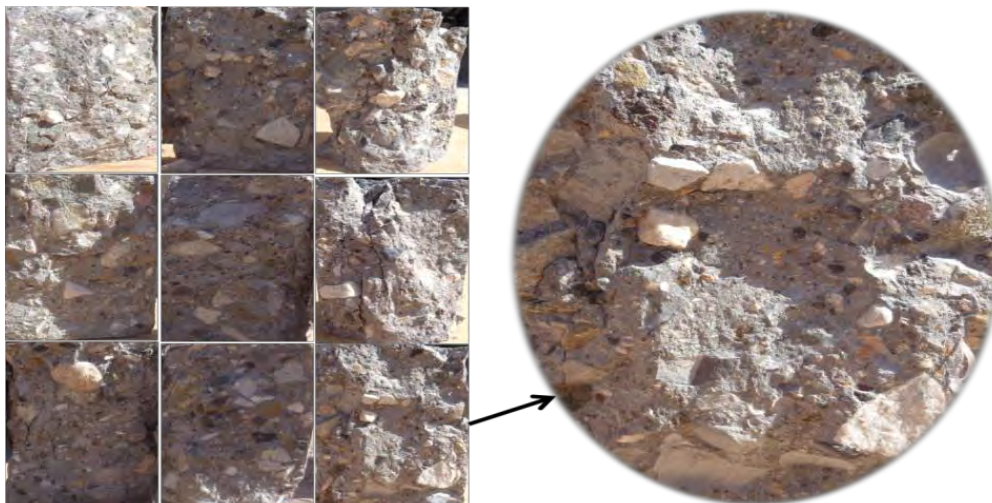
تعداد ۳۶ نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر در قالب‌های فلزی ساخته شده و بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و جهت عمل‌آوری در مخازن تعبیه شده با شرایط دمای 20 ± 5 درجه سانتیگراد قرار گرفتند. بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری اولین نمونه هر طرح جهت بررسی مقاومت فشاری قبل از ذوب و یخبندان مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن به دست آمد. سه نمونه دیگر هر طرح نیز جهت انجام آزمایش ذوب و یخبندان وارد دستگاه آزمایش شدند. دمای آزمایش بین 2 ± 5 -

و 2 ± 10 درجه سانتیگراد در حال تغییر بوده است. در هر چرخه، ابتدا دما از $10 +$ درجه سانتیگراد به $5 -$ رسیده و سپس عملیات گرمایش آغاز شده و دوباره به $10 +$ درجه سانتیگراد بر می‌گردد که کل این فرآیند در طول 12 ساعت صورت می‌پذیرد. مقاومت فشاری و مقادیر وزن نمونه‌ها قبل از عمل ذوب و یخبندان و همچنین در چرخه‌های 120 ، 240 و 360 هر یک از طرح‌ها اندازه‌گیری شده است.

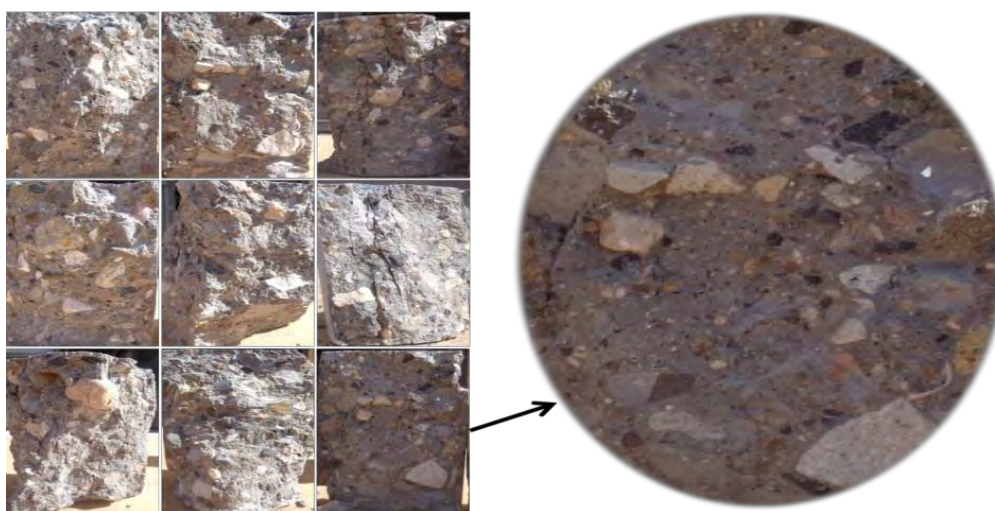
۳- بررسی نتایج

۳-۱- تجزیه و تحلیل سطوح شکست

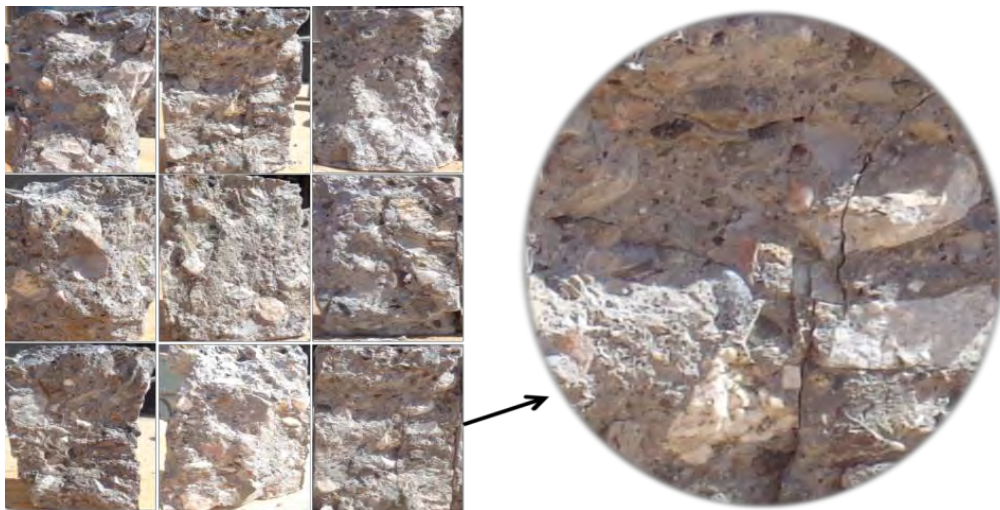
سطوح نمونه‌های شکسته شده در حالت قبل از عملیات ذوب و یخبندان و همچنین بعد از چرخه‌های 120 و 360 در شکل ۱ آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد چرخه‌ها تخلخل نمونه‌ها بیشتر شده و در سطح نمونه‌ها ترک ایجاد می‌شود. واضح است که انجام فرآیند ذوب و یخبندان موجب تغییر چندانی در موده‌های شکست نمونه‌ها نشده است و در حالت قبل از فرآیند و بعد از آن نمونه‌ها به طور مشابه شکسته شده‌اند. همچنین از تصاویر دریافت می‌شود که ترک‌های ایجاد شده در سطوح شکست دارای جهات مختلفی می‌باشند که می‌تواند ناشی از اثر درشت‌دانه‌ها در مسیر شکست اتفاق افتاده باشد.



(الف) نمایش سطوح شکست نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش ذوب و یخبندان.



(ب) نمایش سطوح شکست نمونه‌ها بعد از اعمال 120 چرخه.



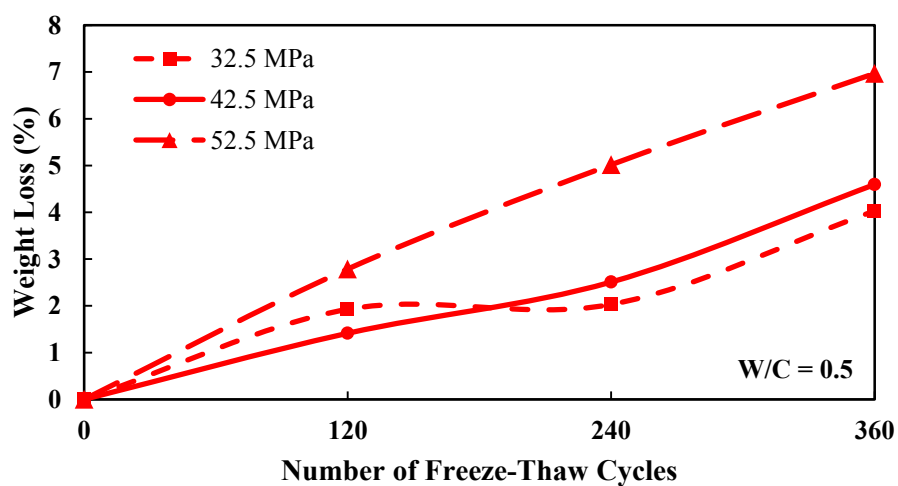
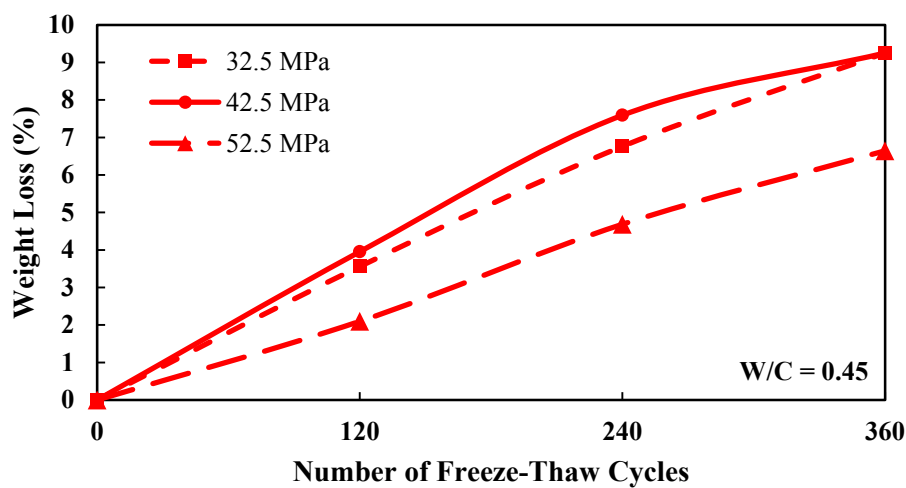
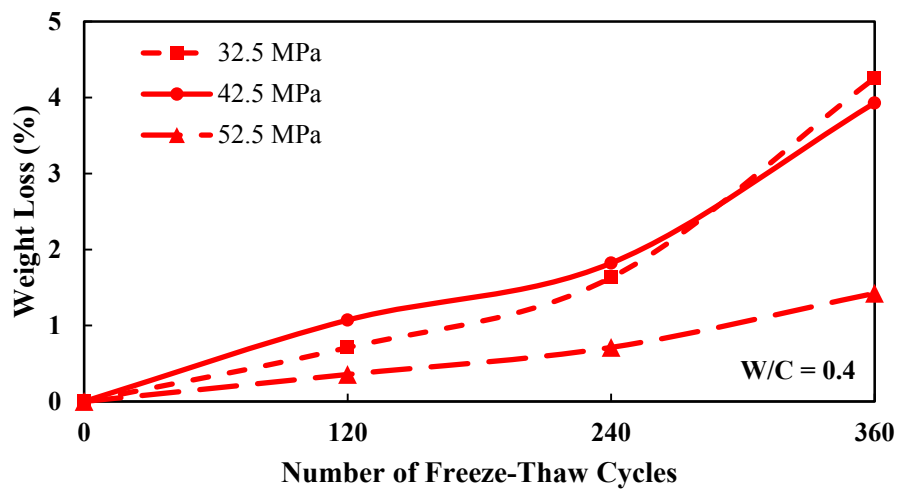
(ج) نمایش سطوح شکست نمونه‌ها بعد از اعمال ۳۶۰ چرخه.

شکل ۱- تصاویر سطوح شکست نمونه‌ها در حالت‌های مختلف قبل و بعد از آزمایش ذوب و یخبندان.

۳-۲- کاهش وزن نمونه‌ها

مقادیر کاهش وزن نمونه‌ها بعد از تعداد چرخه‌های مشخص در شکل ۲ نمایش داده شده است. به طور کلی مشاهده می‌شود که با افزایش میزان آب به سیمان از ۰/۴ تا ۰/۴۵ مقدار کاهش وزن افزایش می‌یابد به طوری که حداکثر درصد کاهش وزن در آب به سیمان ۰/۴۵ تقریباً دو برابر بیشینه آن در آب به سیمان ۰/۴ می‌باشد. افزایش تعداد چرخه‌ها نیز به تدریج تخلخل نمونه‌های بتنی را افزایش داده و در نتیجه کاهش وزن بیشتری را به دنبال خواهد داشت. سیمان‌های با رده‌های مقاومتی ۳۲/۵ و ۴۲/۵ مگاپاسکال تقریباً اعداد مشابهی را برای میزان کاهش وزن ارائه می‌کنند ولی برای سیمان رده ۵۲/۵ مگاپاسکال این امر متفاوت بوده به طوری که درصد کاهش وزن کمتری در نتایج آن مشاهده می‌گردد که می‌تواند به نفوذپذیری کمتر نمونه‌های ساخته شده با این نوع سیمان اطلاق شود چرا که با افزایش رده مقاومتی سیمان مقدار نرمی آن نیز افزایش یافته و مشمول ذرات ریزتری می‌شود. در نتیجه می‌تواند خاصیت پرکنندگی بیشتری داشته و در نهایت منجر به نفوذپذیری کمتر نمونه گردد. در ادامه مشاهده می‌شود که افزایش میزان آب به سیمان به ۰/۵ این روندها تغییر کرده و میزان درصد کاهش وزن نسبت به آب به سیمان ۰/۴۵ کمتر شده است.

به طور کلی می‌توان گفت که کاهش وزن نمونه‌ها به دلیل پوسته پوسته شدن آنها صورت می‌گیرد به طوری که در سازه‌های بتنی واقعی، سطوح آنها زمانی که در معرض ذوب و یخبندان ناشی از تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرند به طور واضح و مشخص پوسته پوسته می‌شوند. با توجه به اینکه نرخ چرخه‌های ذوب و یخبندان در آزمایشگاه بسیار بیشتر از مقداری است که در محیط طبیعی اتفاق می‌افتد، بنابراین مقدار پوسته شدن نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی شدیدتر و بیشتر از شرایط واقعی است به طوری که در سطح نمونه‌های آزمایشی حدوداً به عمق ۱ mm ورقه شدن و پوستگی مشاهده می‌شود که این امر می‌تواند با طراحی بتن‌های با مقاومت بالاتر و تولید بتن‌های با میزان تخلخل و نفوذپذیری کمتر کاهش یابد که می‌تواند با کاربرد سیمان‌های با رده مقاومتی بالاتر به این مهم دست یافت.



شکل ۲- کاهش وزن در نمونه‌های بتنی قرار گرفته در معرض ذوب و یخبندان برای مقادیر آب به سیمان مختلف.

۳-۳- مقاومت فشاری

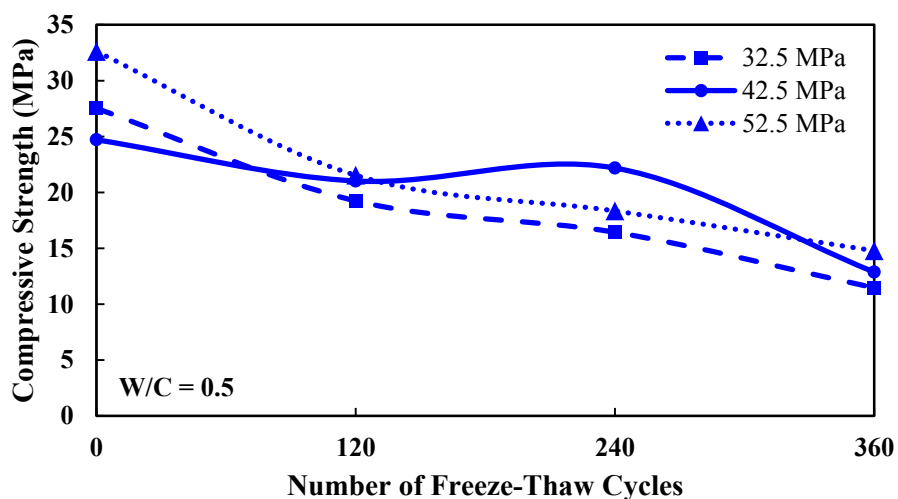
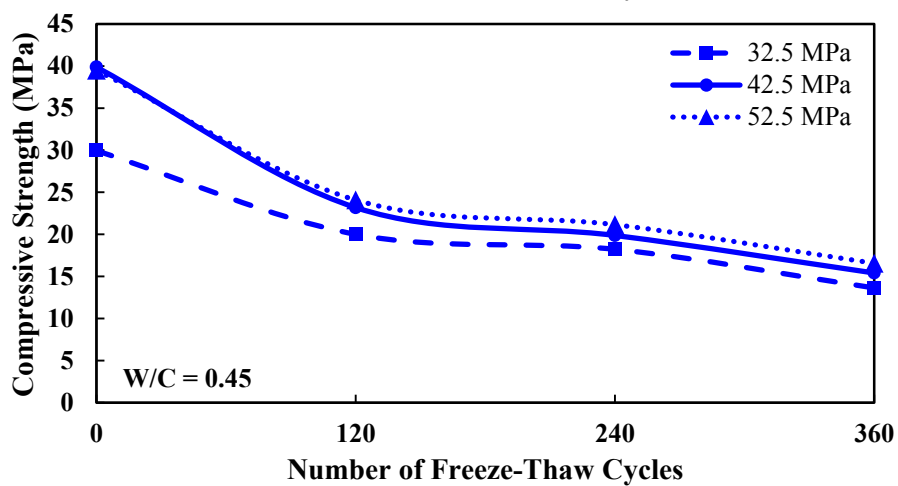
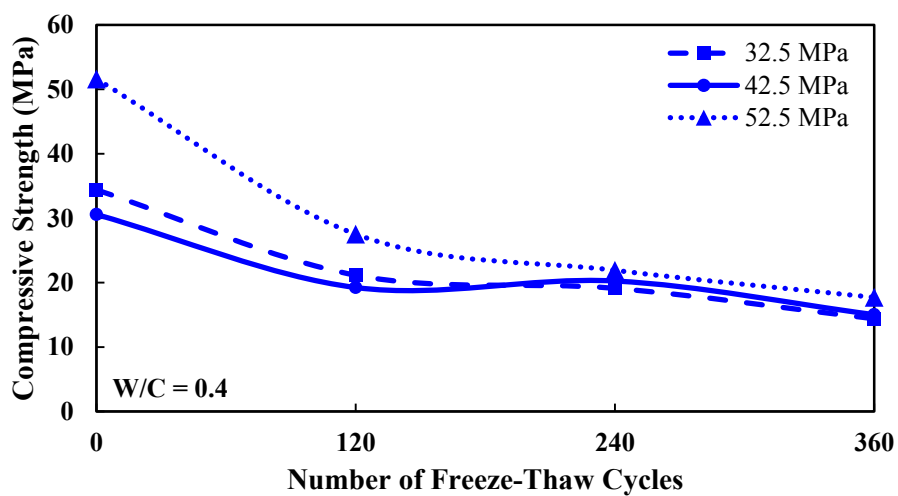
برای سازه‌های بتنی در مناطق سردسیر، پوسته پوسته شدن مصالح بتنی عمدتاً به دلیل رشد ترک‌های داخلی رخ می‌دهد که این فرایند به دلیل چرخه‌های سریع ذوب و یخبندان ایجاد شده‌اند. افت مقاومت نیز در حین این چرخه‌ها رخ می‌دهد، که بصورت چشمگیری در آنها روند افت مشاهده می‌شود. در نتیجه اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی بتن بعد از چرخه‌های ذوب و یخبندان ضروری به نظر می‌رسد. آزمایش بارگذاری بر روی نمونه‌ها با نرخ بارگذاری ۰/۲ تا ۰/۵ مگاپاسکال در هر دقیقه صورت گرفته است و مقاومت فشاری آنها با تقسیم کردن مقدار بار نهایی به سطح مقطع نمونه‌های استوانه‌ای به دست آمده و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای تمامی نمونه‌ها مقادیر مقاومت فشاری آنها با افزایش تعداد چرخه‌ها کاهش می‌یابد. بعد از اعمال فرآیند ذوب و یخبندان، میکروترک‌هایی در بتن ایجاد می‌شود که جهت و نحوه توزیع آنها در نمونه کاملاً اتفاقی می‌باشد. با اضافه شدن چرخه‌های ذوب و یخبندان، تعداد و ابعاد میکروترک‌ها در نمونه‌های شاهد رشد پیدا می‌کنند. زمانی که نمونه تحت بار فشاری قرار می‌گیرد، ترک‌ها در جهتی موازی جهت بارگذاری ایجاد شده و ابتدا گسترش و سپس رشد می‌کنند و در نتیجه سطح مقطع موثر در نمونه‌ها کاهش می‌یابد که این امر در ادامه موجب تمرکز تنش در نوک ترک‌ها و در نهایت منجر به کاهش مقاومت نهایی می‌گردد. در ادامه میانگین درصد کاهش برای چرخه‌های ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ برای مقادیر آب به سیمان مختلف در جدول ۲ محاسبه شده است.

جدول ۲: درصد کاهش مقاومت فشاری بعد از چرخه‌های مختلف.

مقدار میانگین کاهش مقاومت فشاری (%)			آب به سیمان (W/C)
۳۶۰ چرخه	۲۴۰ چرخه	۱۲۰ چرخه	
۵۴	۳۱	۲۶	۰/۴
۵۸	۴۵	۳۸	۰/۴۵
۵۸	۴۵	۴۱	۰/۵

مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد چرخه‌های ذوب و یخبندان و همچنین مقدار آب به سیمان مقدار کاهش مقاومت افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تاثیر مهم نسبت آب به سیمان در میزان دوام نمونه بتنی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که در چرخه‌های بالاتر از میزان اختلاف افت مقاومت کاسته می‌شود و تقریباً برای هر سه نوع آب به سیمان درصد افت یکسانی حاصل شده است. به عنوان مثال برای آب به سیمان‌های ۰/۴۵ و ۰/۵ در چرخه‌های ۲۴۰ و ۳۶۰ درصد افت مقاومت ثابت و به ترتیب برابر ۴۵ و ۵۸ درصد می‌باشد.

شکل ۳ مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های آزمایشگاهی را برای مقادیر آب به سیمان مختلف و در سه رده مقاومتی سیمان را در مقابل چرخه‌های ذوب و یخبندان مشخص نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر مقاومتی در طرح‌های ساخته شده با سیمان رده ۵۲/۵ مگاپاسکال حاصل شده است و به ترتیب برای سیمان‌های ۴۲/۵ و ۳۲/۵ مگاپاسکال این مقادیر کاهش یافته است که این امر بیانگر تاثیر بسزائی این پارامتر در نتایج نهایی می‌باشد. از سوی دیگر افزایش مقدار آب به سیمان نیز کاهش بیشینه مقاومت حاصله را در هر یک از شرایط قبل از آزمایش ذوب و یخبندان و بعد از آن به همراه دارد. با کمی دقت می‌توان دریافت که در بین چرخه‌های ۱۲۰ تا ۲۴۰ شیب نمودار افت مقاومت تقریباً ثابت می‌شود ولی این روند برای قبل و بعد از این بازه با شیب منفی بیشتری همراه می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که چرخه‌های ابتدایی و انتهایی می‌تواند در فرآیند ذوب و یخبندان تاثیر بیشتری داشته باشد.



شکل ۳- مقدار مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی قرار گرفته در معرض ذوب و یخبندان برای مقادیر آب به سیمان مختلف.

۷- نتیجه گیری

- در این پژوهش، با توجه به کار آزمایشگاهی انجام شده و فرآیند ذوب و یخبندان و دیگر آزمایشات صورت گرفته بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده، نتایج به شرح زیر حاصل می‌شود:
- ۱- مقدار کاهش وزن نمونه‌های بتنی با افزایش تعداد چرخه‌های ذوب و یخبندان زیاد می‌شود که این میزان با افزایش نسبت آب به سیمان رشد بیشتری می‌کند ولی مقایسه رده‌های مقاومتی سیمان نشان می‌دهد که استفاده از سیمان رده ۵۲/۵ مگاپاسکال می‌تواند منجر به کاهش وزن کمتری شود.
 - ۲- با افزایش چرخه‌های ذوب و یخبندان، از مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی کاسته شده به طوری که این روند بعد از رسیدن به تعداد ۱۲۰ چرخه شیب کمتری به خود می‌گیرد و سپس بعد از چرخه ۲۴۰ دوباره با شیب نزولی بیشتری ادامه می‌یابد.
 - ۳- وزن نمونه‌های بتنی با افزایش تعداد چرخه‌ها و همچنین افزایش نسبت آب به سیمان کاهش می‌یابد به طوری که کمترین میزان کاهش ثبت شده در آزمایشات، برای آب به سیمان ۰/۴ و بعد از ۱۲۰ چرخه به میزان ۲۶ درصد و بیشترین مقدار در نسبت آب به سیمان ۰/۵ و بعد از ۳۶۰ چرخه برابر ۵۸ درصد بوده است.
 - ۴- با توجه به اینکه معمولاً برای دستیابی به بیشترین میزان دوام در چرخه‌های ذوب و یخبندان، از کمترین نسبت آب به سیمان استفاده می‌شود، می‌توان همین میزان دوام مطلوب را با نسبت آب به سیمان بیشتری به دست آورد با این تفاوت که طراحی‌ها با سیمان‌های با رده مقاومتی بالاتر صورت پذیرد که این امر می‌تواند افزایش مقاومت فشاری و همچنین سهولت در اجرا را نیز به همراه داشته باشد.

مراجع

- [1] Karahan, O. and C.D. Atiş, *The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete*. Materials & Design, 2011. **32**(2): p. 1044-1049.
- [2] Binici, H., et al., *Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates*. Journal of Materials Processing Technology, 2008. **208**(1): p. 299-308.
- [3] Shang, H.-s., W.-q. Cao, and B. Wang, *Effect of Fast Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Ordinary-Air-Entrained Concrete*. The Scientific World Journal, 2014. **2014**.
- [4] Özgan ,E. and S. Serin, *Investigation of certain engineering characteristics of asphalt concrete exposed to freeze-thaw cycles*. Cold Regions Science and Technology, 2013. **85**: p. 131-136.
- [5] Richardson, A., K. Coventry, and S. Wilkinson, *Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fibre additions*. Cold regions science and technology, 2012. **83**: p. 49-56.
- [6] Subramaniam, K.V., M. Ali-Ahmad, and M. Ghosn, *Freeze-thaw degradation of FRP-concrete interface: impact on cohesive fracture response*. Engineering Fracture Mechanics, 2008. **75**(13): p. 3924-3940.
- [7] Shang, H.-S., Y.-P. Song, and J.-P. Ou, *Mechanical behaviour of air-entrained concrete*. Magazine of Concrete Research, 2009. **61**(2): p. 87-94.
- [8] Gokce, A., et al., *Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete*. Cement and Concrete Research, 2004. **34**(5): p. 799-806.
- [9] Sabir, B. and K. Kouyiali, *Freeze-thaw durability of air-entrained CSF concrete*. Cement and Concrete Composites, 1991. **13**(3): p. 203-208.
- [10] Wang, K., G. Lomboy, and R. Steffes, *Investigation into freezing-thawing durability of low-permeability concrete with and without air entraining agent*. 2009.
- [11] En, B., *197-1 (2000) Cement: composition, specifications and conformity criteria for common cements*. British Standards Institution, London, 2000.
- [12] Hirschi, T., et al., *Sika Concrete Handbook*. 2005, Sika Services AG, Zurich, Suíça.



**3.th International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development**
29-31 December 2015, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

- [13] BIS, I., *Indian Standard Plain and Reinforced Concrete-Code of Practice (fourth revision). 2000.*
Bureau of Indian Standards, New Delhi, 2000.