

## مقایسه‌ی مقاومت الکتریکی و فشاری بتن در چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی (کد مقاله 172D)

امین دقیقی<sup>۱</sup>، علی نحوی<sup>۱</sup>، دانا صمدی<sup>۲</sup>، تارا رحمانی<sup>۱</sup> و محمد شکرچی زاده<sup>۳</sup>

۱- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۲- دانشجوی عمران، دانشکده عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران و سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

تلفن تماس (امین دقیقی)

Amin.Daghighi@ut.ac.ir

### چکیده:

از دیرباز تا کنون یکی از پارامترهای تاثیر گذار در دوام بتن تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی در طول عمر سازه‌های بتنی می‌باشد. با توجه به اینکه برخی مناطق ایران دارای آب و هوای سرد و مرطوب است، چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی یکی از موارد تاثیر گذار در کاهش طول عمر مفید سازه‌ها در ایران می‌باشد. در این مقاله به منظور بررسی تأثیر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی بر دوام و مقاومت بتن، نمونه‌ها پس از ۲۸ روز عمل‌آوری تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی قرار گرفته و مقاومت الکتریکی و فشاری نمونه‌های بتنی در چرخه‌های متفاوت اندازه‌گیری شده و میزان کاهش مقاومت الکتریکی و فشاری با توجه به تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی با همدیگر مقایسه می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق به ما نشان می‌دهد که مقاومت ویژه الکتریکی و مقاومت فشاری بتن در هر چرخه رو به کاهش بوده و رابطه‌ی میزان کاهش مقاومت فشاری و مقاومت ویژه الکتریکی در سه نسبت آب به سیمان محاسبه می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** دوام، سازه‌های بتنی، چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی، مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری.

## ۱- مقدمه

از آنجا که ظهور و اولین استفاده عملی از بتن به عنوان مصالح ساختمانی در اواخر قرن نوزدهم بوده، به یکی از پرکاربردترین مصالح تبدیل شده و به طور گسترده ای در جهان تولید می‌شود. افزایش استانداردهای جامعه و زندگی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته منجر به تقاضای روز افزون برای مصالح بتن می‌شود و پیش‌بینی شده است که این روند برای بتن طوری باشد که به محبوبترین مصالح تبدیل شود [۱]. با این وجود، سازه‌های ماندگار، مانند سدهای نیروگاه‌های برق آبی، پل عبور از رودخانه‌ها و فانوس‌های دریایی برای قرن‌ها خدمت در نظر گرفته شده در حالی که همواره تحت حملات محیط اطراف خود قرار دارند.

بتن پتانسیل آسیب‌دیدگی در مقابل چرخه‌های ذوب و یخ را دارد، موسسه بتن آمریکا (ACI) مشخصاتی را برای حفاظت از بتن قرار داده شده در آب و هوای سرد ایجاد کرده، این موسسه هوای سرد را به عنوان دوره‌ای که دمای بیش از ۳ روز آن کمتر از ۴/۵ درجه سلسیوس باشد تعریف نموده است. بنابراین درک کامل ویژگی‌های بتن ساده [۲] پس از چرخه‌های ذوب و یخ به منظور پیش‌بینی واکنش سازه ای و عمر آن مهم است. دوام بتن در مقابل چرخه‌های ذوب و یخ در کشورهای سردسیر از جمله روسیه، چین، شمال اروپا و نواحی سرد و مرطوب ایران مانند کردستان و تبریز دارای اهمیت می‌باشد [۳]. چرخه‌های ذوب و یخ یکی از عوامل اصلی تخریب بتن در مناطق مرطوب و سرد سیر است. تخریب ناشی از انجماد آب در بتن پس از سرد شدن و ذوب شدن متعاقب آن بر اثر گرما می‌باشد. گذار فاز بتن با تغییر ابعاد و تغییر تنش‌های داخلی همراه است. چرخه‌های ذوب و یخ می‌تواند منجر به شکست نمونه‌های بتنی شود [۴].

با کاهش دمای بتن سخت و اشباع شده در هنگام بهره برداری، آب موجود در منافذ مویینه خمیر سخت شده سیمان به نحو مشابهی با یخ زدن در لوله‌های مویین سنگ‌ها یخ می‌زند و بتن منبسط می‌شود. اگر پس از آب شدن بعدی یخ زدن مجدداً اتفاق افتد انبساط بیشتر رخ می‌دهد و لذا چرخه‌های متوالی یخ زدن و آب شدن اثر تجمعی دارند این عمل عمدتاً در خمیر سخت شده سیمان اتفاق می‌افتد. منافذ بزرگ تر بتن که در اثر تراکم ناقص به وجود می‌آیند. معمولاً پر از هوا می‌باشند و بنابر این به میزان قابل ملاحظه در معرض اثر یخ واقع نمی‌شوند.

دوام بتن [۵] توانایی حفظ شکل اصلی و کیفیت آن بدون خرابی قابل ملاحظه در مدت زمان طولانی می‌باشد. عوامل آسیب دیدگی [۶،۷] ساختار بتن را در کل عمر طراحی می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: اثرات فیزیکی (مانند فرسایش و خرابی ناشی از چرخه‌ی ذوب و یخ) و اثرات شیمیایی (مانند حمله سولفات و خوردگی میلگرد های فولادی) و چون بتن به عنوان شالوده‌ی ساخت و ساز به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، تمام ویژگی‌های دوام بتن برای استفاده مستمر آن قابل توجه است. با توجه به نیاز به برنامه‌های عملی، بسیاری از سازه‌های بتن مسلح ساخته شده در مناطق سرد به ناچار در مقابل چرخه‌های ذوب و یخ قرار می‌گیرند [۸-۱۱]. یکی از دلایل اصلی مشکل دوام سازه‌های بتن آرمه در محیط سرد، خرابی‌های ناشی از عمل ذوب و یخ می‌باشد.

کارهای قبلی بر روی دوام مواد مبتنی بر سیمان در مقابل چرخه‌ی‌های مختلف ذوب و یخ بر عواملی چون تخریب خاصیت مکانیکی (به عنوان مثال، مدول و مقاومت) [۱۱-۱۳]، تغییر وزن [۱۴-۱۶]، تغییر طول [۱۷،۱۶]، تغییر میکروساختاری [۱۸] و تغییرنشانه‌های مافوق صوت [۱۹] صورت می‌گرفت. در حالیکه پیش از این نظارت بر چرخه‌ی ذوب و یخ کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت.

برای مطالعه روی پیشرفت خرابی یک نمونه در طی چرخه‌ی ذوب و یخ روش آزمون غیر مخرب و حساس در زمان واقعی لازم است. این مقاله از اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به عنوان یک آزمون غیر مخرب بهره برده، اگرچه قبلاً این روش برای نظارت بر روند انجماد بتن استفاده می‌شده [۲۰] ولی تا به حال ارتباط بین کاهش مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی بتن را در طی چرخه‌ی ذوب و یخ بررسی نشده است.

## ۲- روند آزمایشگاهی

### ۲-۱- طرح اختلاط

در این تحقیق در مجموع ۳ سری طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان های ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ و ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند. خلاصه طرح اختلاطها و همچنین سنین انجام هر آزمایش در جدول شماره ۱ آورده شده است. برای ساخت نمونه های بتنی، از سیمان پرتلند تیپ ۲ تولید کارخانه فیروزکوه و از سنگدانه درشت شکسته شده با حداکثر اندازه ۱۹ میلی متر (ترکیب ۱ به ۳ شن نخودی به بادامی) و ماسه گرد گوشه استفاده گردید. برای رسیدن به کارایی مطلوب از فوق روان کننده با پایه نفتالینی و برای ساخت و عمل آوری نمونه های بتنی از آب شرب شهر تهران استفاده شد.

جدول شماره ۱: طرح اختلاطهای مورد استفاده

کد طرح اختلاط	مقدار سیمان (Kg/m <sup>3</sup> )	نسبت آب به سیمان	ماسه (Kg/m <sup>3</sup> )	شن (Kg/m <sup>3</sup> )	فوق روان کننده (Kg/m <sup>3</sup> )
C 0.4	۴۰۰	۰/۴	۱۰۹۳	۷۱۰	۴
C 0.5	۴۰۰	۰/۵	۱۰۶۹	۶۹۴	۲/۴
C 0.6	۴۰۰	۰/۶	۱۰۴۴	۶۷۸	۰

ترکیب دانه بندی مصالح سنگی در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲: دانه بندی مصالح سنگی، درصد های ذیل، مربوط به درصد تجمعی عبوری از الکها می باشد

	۰/۰۷۵	۰/۱۵۰	۰/۳	۰/۶	۱/۱۸	۲/۳۶	۴/۷۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵
	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر	میلیمتر
ماسه	۱/۷	۳/۴	۱۴/۳	۲۵	۳۵	۵۶	۸۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
نخودی	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۶	۱۵/۵	۸۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
بادامی	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۴	۳۳	۹۶	۱۰۰

### ۲-۲- جزئیات و نحوه انجام آزمایش

پس از تراکم آزمون با میز ویبره و قالب گیری، آزمون ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد نگهداری شدند. پس از قالب برداری، آزمون ها تا دوساعت قبل از انجام آزمایش در محلول آب اشباع از آهک قرار گرفتند. آزمایش ها داخل آب با دمای

حدود ۱۷ درجه سانتیگراد قرار گرفته و به منظور دقت در کار به ازای هر آزمایش یخبندان و ذوب یخ، دو نمونه مکعبی ساخته شده است.

برای رسیدن به هدف فوق تعداد زیادی از نمونه‌های مکعبی بتنی با ابعاد  $15 \times 15 \times 15$  سانتی متر مطابق با روش B استاندارد [۲۱] ASTM-C666 تست آزمون ذوب و یخبندان انجام شد. مقاومت فشاری نمونه‌ها در ابتدا و پس از ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سیکل ( $17^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$ ) اندازه‌گیری گردید. میزان افت مقاومت فشاری و میزان افت مقاومت الکتریکی نمونه‌ها در قبل و بعد از چرخه‌های آزمایش به عنوان معیار سنجش دوام بتن در نظر گرفته شد.

-روش‌های آزمون (دوام بتن در برابر یخبندان)

برای تعیین دوام بتن در برابر یخبندان روش‌های آزمایش متعددی وجود دارد که مهمترین آن‌ها دستورالعمل‌های ASTM-C666 است. در زیر چند نمونه از آن‌ها شرح داده میشود.

الف) دستورالعمل A:

نمونه‌های بتن به تعداد لازم در چرخه‌های یخبندان بین  $17^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$  الی  $4^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد، تعداد چرخه‌ها ۳۰۰ است و یخبندان و ذوب نمونه‌ها در مجاورت آب انجام میشود.

ب) دستورالعمل B:

دقیقا مثل دستورالعمل A است، با این تفاوت که یخبندان نمونه در مجاورت آب و ذوب آن در مجاورت هوا انجام میشود. بعد از اتمام چرخه‌های یخبندان و ذوب میزان تخریب نمونه‌ها با معیارهای مختلفی سنجیده میشود که شامل موارد عمده زیر است:

۱- تغییر در مقاومت فشاری : افت بیش از ۱۰٪ نشان‌دهنده تخریب است.

۲- تغییر در وزن نمونه : افت بیش از ۵٪ نشان‌دهنده تخریب است . در صورتی که جدا شدن قطعاتی از نمونه با چشم رویت شود به شرط قابل توجه بودن میتوان حکم به تخریب نمونه داد.

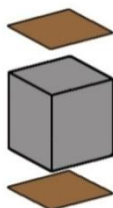
۳- تغییر در پاسخ امواج: با عبور امواج ماورای صوت از نمونه در قبل و بعد از آزمایش اگر به میزان ۴۰٪ افت در سرعت امواج عبوری مشاهده شد، نمونه تخریب شده است.

۴- تغییر در طول ابعادی نمونه: کرنش‌های نمونه با ابزارهای دقیق سنجیده میشود. در صورتی که از مقادیر توصیه شده تجاوز کند ( این مقادیر در مرجع‌های گوناگون و به ازای بتن‌های مختلف متفاوت است)، نمونه به حالت تخریب رسیده است.

برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی آزمون‌های بتنی، از آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی به روش ۲ نقطه ای که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است و برای هر سری نمونه، از دو آزمون برای تعیین مقاومت الکتریکی استفاده شد و میانگین دو آزمون به عنوان مقاومت الکتریکی نهایی در نظر گرفته شد. پس از تعیین مقاومت الکتریکی با دستگاه ۲ نقطه ای مقاومت الکتریکی ویژه از فرمول ۱ بدست می‌آید [۲۲].

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

فرمول شماره ۱



شکل شماره ۱: دستگاه مقاومت الکتریکی ۲ نقطه‌ای

### ۳- نتایج و تجزیه و تحلیل نمودارها

نتایج به دست آمده در جدول‌های ۳ تا ۵ نمایش داده شده است.

جدول شماره ۳: مقاومت الکتریکی و فشاری اندازه‌گیری شده با  $W/C=0/4$

تعداد سیکل‌های ذوب و یخ (N)	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده (Mpa)	۳۶/۸	۳۵/۶۱	۳۴/۲	۳۳/۱۸	۳۱/۸۸
درصد کاهش مقاومت فشاری	۰	۳/۲۴	۷/۰۹	۹/۸۴	۱۳/۳۷
مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده (kΩ.cm)	۱۰/۲۹	۹/۴۵	۸/۷۱	۸/۱۵	۶/۸۶
درصد کاهش مقاومت الکتریکی	۰	۸/۲۱۱	۱۵/۴۱۲	۲۰/۸۱۲	۳۳/۳۶۴

جدول شماره ۴: مقاومت الکتریکی و فشاری اندازه‌گیری شده با  $W/C=0/5$

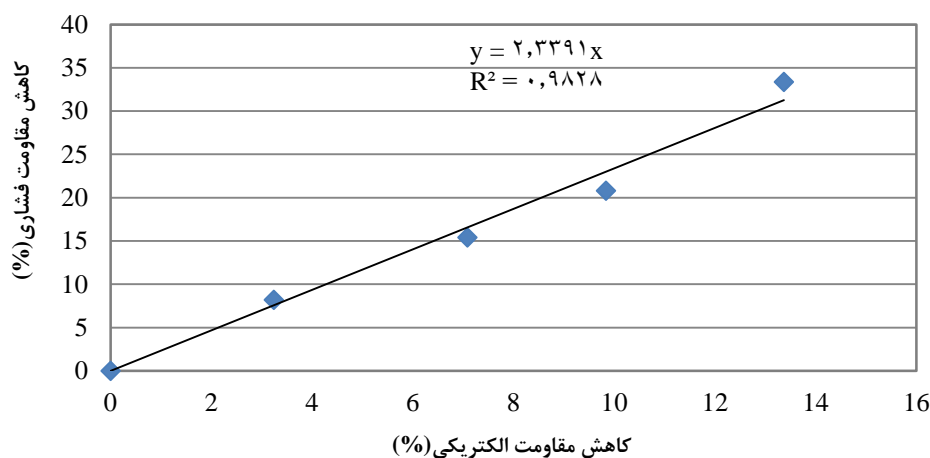
تعداد سیکل‌های ذوب و یخ (N)	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده (Mpa)	۲۹/۱	۲۷/۳۸	۲۵/۸	۲۴/۳۹	۲۲/۵۹
درصد کاهش مقاومت فشاری	۰	۵/۹۴	۱۱/۳۷	۱۶/۱۹	۲۲/۴
مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده (kΩ.cm)	۷/۸۱	۶/۸۳	۶/۴۵	۵/۲۷	۵/۰۱
درصد کاهش مقاومت الکتریکی	۰	۱۲/۶۴۴	۱۷/۵۳۱	۳۲/۶۲۸	۳۵/۹۲۸

جدول شماره ۵: مقاومت الکتریکی و فشاری اندازه‌گیری شده با  $W/C=0/6$

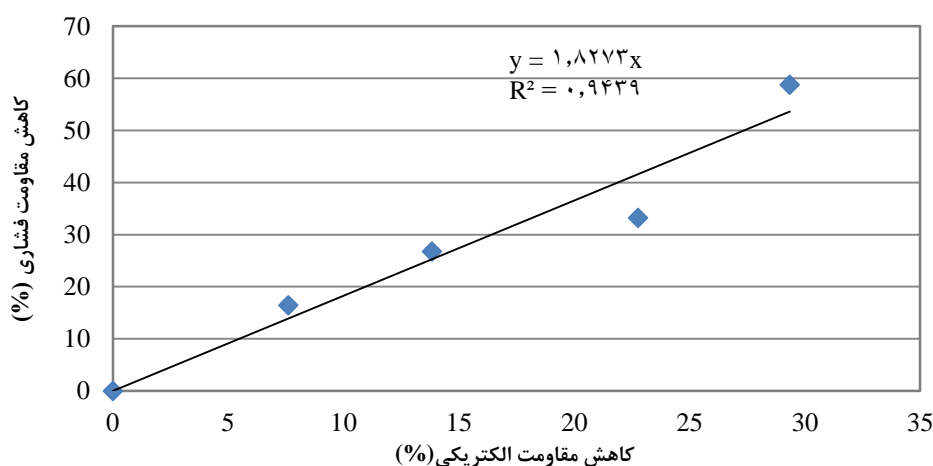
تعداد سیکل‌های ذوب و یخ (N)	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده (Mpa)	۲۲/۳	۲۰/۶۱	۱۹/۲۲	۱۷/۲۳	۱۵/۷۶

درصد کاهش مقاومت فشاری	۰	۷/۶۱	۱۳/۸۴	۲۲/۷۷	۲۹/۳۵
مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده (kΩ.cm)	۶/۸۴	۵/۷۲	۵/۰۱	۴/۵۷	۲/۸۲
درصد کاهش مقاومت الکتریکی	۰	۱۶/۴۸۱	۲۶/۷۶۸	۳۳/۲۰۹	۵۸/۷۸

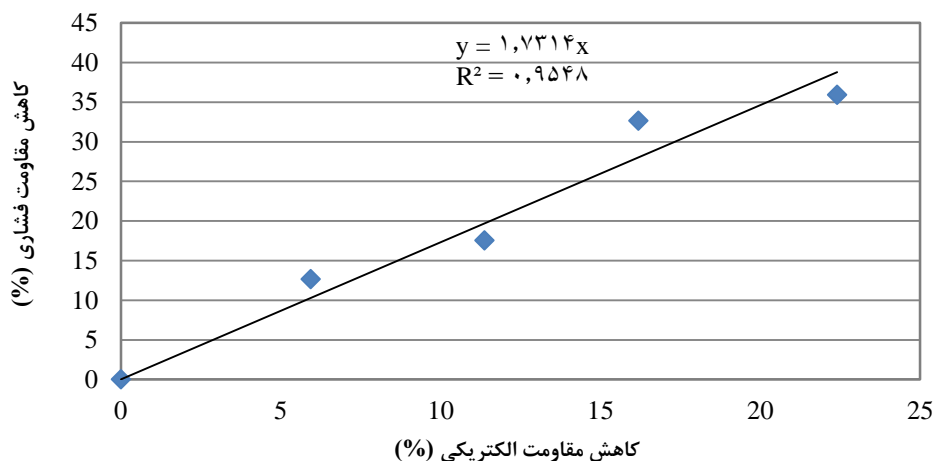
با توجه به نتایج بدست آمده به طور کلی می‌توان دریافت که با افزایش نسبت آب به سیمان میزان تخریب افزایش یافته است، همچنین بین درصد کاهش مقاومت الکتریکی و فشاری رابطه‌ی مستقیم وجود دارد. از آنجاییکه در سازه‌های ساخته شده امکان نمونه‌گیری و انجام آزمایش مقاومت فشاری، با دشواری و محدودیت‌های بسیار همراه است، یکی از راه‌های مناسب انجام آزمایش مقاومت الکتریکی می‌باشد. از آنجاییکه با توجه به نتایج به دست آمده مشخص است که بین درصد کاهش مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی رابطه‌ی مستقیم وجود دارد، پس لازم است که این رابطه به صورت یک معادله بیان گردد. در نمودارهای ۲ تا ۴ این رابطه محاسبه و نمایش داده شده است.



شکل شماره ۲: نمودار رابطه درصد کاهش مقاومت الکتریکی با فشاری با  $W/C=0/4$



شکل شماره ۳: نمودار رابطه درصد کاهش مقاومت الکتریکی با فشاری با  $W/C=0/5$



شکل شماره ۴: نمودار رابطه درصد کاهش مقاومت الکتریکی با فشاری با  $W/C=0.6$

در شکل‌های شماره ۲ تا ۴، در هر نمودار درصد کاهش مقاومت الکتریکی بر حسب درصد کاهش مقاومت فشاری آرایه شده و هر نقطه‌ای در نمودار به ترتیب نشان دهنده‌ی تعداد سیکل‌های ذوب یخ از صفر تا ۲۰۰ دوره می‌باشد. در هر نمودار بهترین خط ممکن از داده‌های بدست آمده گذرانده شده است. این نمودارها بیانگر این موضوع می‌باشد که در صورت موجود بودن نسبت آب به سیمان در هر نمونه و از طرفی درصد کاهش مقاومت الکتریکی هر نمونه تحت تاثیر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی به عنوان معلومات مساله، درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه به راحتی قابل استخراج می‌باشد. در هر نمودار بدون توجه به تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی، با قرار دادن درصد کاهش مقاومت الکتریکی به عنوان  $X$ ، درصد کاهش مقاومت فشاری تحت عنوان  $Y$  بدست می‌آید.

#### ۴- نتیجه گیری

۱. با افزایش نسبت آب به سیمان مقدار کاهش مقاومت فشاری و الکتریکی تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی افزایش می‌یابد.

۲. کاهش مقاومت الکتریکی و فشاری در چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی با یکدیگر رابطه مستقیم دارد.

۳. رابطه‌ی درصد کاهش مقاومت فشاری بر حسب درصد کاهش مقاومت الکتریکی در نمونه‌های بتنی با نسبت آب به سیمان  $0.4$  تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی از طریق فرمول  $y = 2.34x$  قابل محاسبه می‌باشد، که در آن  $x$  نمایانگر درصد کاهش مقاومت الکتریکی است.

۴. رابطه‌ی درصد کاهش مقاومت فشاری بر حسب درصد کاهش مقاومت الکتریکی در نمونه‌های بتنی با نسبت آب به سیمان  $0.5$  تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی از طریق فرمول  $y = 1.83x$  قابل محاسبه می‌باشد، که در آن  $x$  نمایانگر درصد کاهش مقاومت الکتریکی است.

۵. رابطه‌ی درصد کاهش مقاومت فشاری بر حسب درصد کاهش مقاومت الکتریکی در نمونه‌های بتنی با نسبت آب به سیمان ۰/۶ تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی از طریق فرمول  $y = 1.73x$  قابل محاسبه می‌باشد، که در آن  $x$  نمایانگر درصد کاهش مقاومت الکتریکی است.

با توجه به اینکه یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای بدست آوردن مقاومت الکتریکی سازه‌های بتنی، انجام آزمایش‌های درجا می‌باشد، پس توجه به این نکته خیلی مهم است که بدانیم سازه‌ها اگر در محیط‌هایی تحت چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پی‌درپی قرار داشته باشند، با داشتن مقاومت فشاری اولیه سازه و درصد کاهش مقاومت الکتریکی، مقدار مقاومت فشاری فعلی به راحتی قابل محاسبه می‌باشد.

## مراجع

- [۱] Detwiler, R.J.; Dalglish, B.J.; Williamson, R.B. Assessing the durability of concrete in freezing and thawing. *ACI Mater. J.* **1989**, *42*, 29–35.
- [۲] Lu, X.; Thomas Hsu, C.-T. Behavior of high strength concrete with and without steel fiber reinforcement in triaxial compression. *Cem. Concr. Res.* **2006**, *36*, 1679–1685.
- [۳] Gonzalo, M.-B.; Fernando, U.-N.; Osman, G.; Witold, B. Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation. *Composites Part A* **2011**, *42*, 567–572.
- [۴] Jingyao Cao, D.D.L. Chung; Damage evolution during freeze–thaw cycling of cement mortar: studied by electrical resistivity measurement. *Cem. Concr. Res.* **2002**, *32*, 1657–1661.
- [5] O. Karahan and C. D. Atis., “The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete,” *Materials and Design*, vol. 32, no. 2, pp. 1044–1049, 2011.
- [6] J. Setina, A. Gabrene, and I. Juhneva, “Effect of pozzolanic additives on structure and chemical durability of concrete,” *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 1005–1012, 2013.
- [7] Y. Yun and Y.-F. Wu, “Durability of CFRP-concrete joints under freeze-thaw cycling,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 65, no. 3, pp. 401–412, 2011.
- [8] E. Ozgan and S. Serin, “Investigation of certain engineering characteristics of asphalt concrete exposed to freeze-thaw cycles,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 85, pp. 131–136, 2013.
- [9] A. E. Richardson, K. A. Coventry, and S. Wilkinson, “Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fibre additions,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 83-84, pp. 49–56, 2012.
- [10] K. V. Subramaniam, M. Ali-Ahmad, and M. Ghosn, “Freeze/thaw degradation of FRP-concrete interface: Impact on cohesive fracture response,” *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 75, no. 13, pp. 3924–3940, 2008.
- [11] H.-S. Shang, T.-H. Yi, and Y.-P. Song, “Behavior of plain concrete of a high water-cement ratio after freeze-thaw cycles,” *Materials*, vol. 5, pp. 1698–1707, 2012.
- [12] H. Marzouk, D. Jiang, Effects of freezing and thawing on the tension properties of high-strength concrete, *ACI Mater. J.* 91 (6) (1994) 577– 586.
- [13] L. Biolzi, G.L. Guerrini, G. Rosati, Frost durability of very high performance cement-based materials, *J. Mater. Civil Eng.* 11 (2) (1999) 167– 170.
- [14] J.H. Rutherford, B.W. Langan, M.A. Ward, Use of control specimens in freezing and thawing testing of concretes, *Cem., Concr. Aggreg.* 16(1) (1994) 78– 82.
- [15] D. Bordeleau, M. Pigeon, N. Banthia, Comparative study of latex modified concretes and normal concretes subjected to freezing and thawing in the presence of a deicer salt solution, *ACI Mater. J.* 89(6) (1992) 547– 553.
- [16] B.B. Sabir, Mechanical properties and frost resistance of silica fume concrete, *Cem. Concr. Compos.* 19 (4) (1997) 285– 294.



- [17] H. Mori, Y. Ishikawa, T. Shibata, T. Okamoto, Deterioration of concrete using artificial lightweight aggregate under freezing and thawing conditions, *Zairyo/J. Soc. Mater. Sci., Jpn.* 48 (8) (1999) 889– 894.
- [18] T. Bakharev, L.J. Struble, Microstructural features of freeze – thaw deterioration of concrete, Proceedings of the 1994 MRS Fall Meeting on Microstructure of Cement-Based Systems/Bonding and Interfaces in Cementitious Materials, vol. 370, Materials Research Society, Pittsburgh, PA, 1995, pp. 83– 88.
- [19] N.M. Akhras, Detecting freezing and thawing damage in concrete using signal energy, *Cem. Concr. Res.* 28 (9) (1998) 1275– 1280.
- [20] H. Cai, X. Liu, Freeze– thaw durability of concrete: ice formation process in pores, *Cem. Concr. Res.* 28 (9) (1998) 1281– 1287.
- [21] ASTM Concrete standards. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, 666M-2003 (2008); ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2008.
- [22] COST 509, Corrosion and Protection of Metals in Contact with Concrete, Final report, R. N. Cox, R. Cigna, O. Vennesland, T. Valente (Eds.), European Commission, Directorate General Science, Research and Development, Brussels, EUR 17608 EN, 1997.

## **Comparison the Concrete Electrical Resistivity and Compressive Strength by Effect of freeze-thaw cycling**

**A.Daghighi<sup>1</sup>, A.Nahvi<sup>1</sup>, D. Samadi<sup>2</sup>, T. Rahmani<sup>1</sup> and M. Shekarchi<sup>3</sup>**

1. Research Assistant Construction Materials Institute, University of Tehran.
2. B.Sc. Student, School of civil engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Director of Construction Materials Institute, University of Tehran.

Tel (Construction Materials Institute) : 021-88968111

Tel (Amin Daghighi) : 09124588969

Email : Amin.Daghighi@ut.ac.ir

### **Abstract:**

One of the most important parameters in the concrete durability is freeze-thaw cycling. As we know, the most of Iran has dry weather; the freeze-thaw cycling is one of the impacts on reducing the lifetime of structures in Iran. In this paper we investigate the effect of freezing and thawing cycles on the durability and strength of concrete. After the specimens cured the electrical resistivity and compressive strength is determined for different cycles of freezing and thawing, then they compared with each other. The results of this study show that electrical resistivity and compressive strength of samples were decreased. The relationship of reduction in compressive strength and electrical resistivity calculated for three different w/c.

**Key Words:** Durability, Concrete structures, freeze-thaw cycling, electrical resistivity and compressive strength