

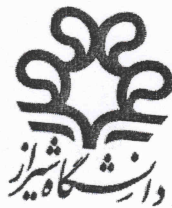


هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران

۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸

دانشگاه شیراز

شیراز



CODE: C1971

## بررسی افزایش دوام بتن در برابر سیکل های یخبندان و ذوب یخ

منصور قلعه نوی<sup>۱</sup>، مهدی اژدري مقدم<sup>۲</sup>، علی اکبر اورعی گلکمانی<sup>۳</sup>

۱-استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۲-استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳-کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان

mazhdary@hamoon.usb.ac.ir

### خلاصه

امروزه بتن جایگاه ویژه ای در ساخت انواع سازه ها دارد و در نتیجه این ماده به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح استفاده فراوانی می شود. با توجه به این مطلب، صنعت و تکنولوژی بتن ونو آوری در تولید این ماده، امکان تولید دستیابی آسان به بتن با عملکرد بالا را فراهم ساخته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی و مقایسه دوام بتن در برابر سیکل های یخبندان و ذوب یخ در صورت تغییر پارامترهای عیار سیمان، درصد میکرو سیلیس و ژل آن، درصد مواد مضاف و در نهایت تشخیص بهترین حالت ترکیب این مواد با سیمان در محیط بتن (درصد بهینه) به لحاظ دستیابی به حداکثر دوام می باشد. در این آزمایش نمونه ها در یک نسبت آب سیمان و بادو عیار سیمان ساخته شده که در هر یک از دو درصد میکروسیلیس و همچنین ژل آن (مکمل بتن) و پودر آهک به عنوان جایگزین سیمان مصرفی...

**واژه های کلیدی:** میکروسیلیس، حباب زا، چرخه های یخبندان و ذوب، دوام بتن، مقاومت

فشاری



## بررسی افزایش دوام بتن در برابر سیکل های یخبندان و ذوب یخ

منصور قلعه نوی<sup>۱</sup>، مهدی اژدری مقدم<sup>۲</sup>، علی اکبر اورعی گلمکانی<sup>۳</sup>

۱-استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۲-استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳-کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان

mazhdary@hamoon.usb.ac.ir

### خلاصه

امروزه بتن جایگاه ویژه ای در ساخت انواع سازه ها دارد و در نتیجه این ماده به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح استفاده فراوانی می شود. با توجه به این مطلب، صنعت و تکنولوژی بتن نوآوری در تولید این ماده، امکان تولید و دستیابی آسان به بتن با عملکرد بالا را فراهم ساخته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی و مقایسه دوام بتن در برابر سیکل های یخبندان و ذوب یخ در صورت تغییر پارامترهای عیار سیمان، درصد میکرو سیلیس و ژل آن، درصد مواد مضاف و در نهایت تشخیص بهترین حالت ترکیب این مواد با سیمان در محیط بتن (درصد بهینه) به لحاظ دستیابی به حداکثر دوام می باشد. در این آزمایش نمونه ها در یک نسبت آب سیمان و با دو عیار سیمان ساخته شده که در هر یک از دو درصد میکروسیلیس و همچنین ژل آن (مکمل بتن) و پودر آهک به عنوان جایگزین سیمان مصرفی و واتر پروف و روان کننده مواد هوازا به عنوان مواد افزودنی و پودر خاک سنگ به عنوان جایگزین ماسه و همچنین ترکیب این مواد بر روی هم مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا مصالح مورد استفاده اصلاح و در محدوده استاندارد قرار گرفت، سپس از بین دو نوع دوده سیلیس آن موردی که مقاومت مکانیکی بالاتری داشته، مورد استفاده قرار گرفت و به طور مشابه جهت دیگر مواد مضاعف مورد لزوم و موجود در کشور موارد ارزیابی انجام و استفاده شد. برای رسیدن به هدف فوق تعداد زیادی از نمونه های مکعبی بتنی با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر مطابق با روش B استاندارد ASTM-c666 تست آزمون یخبندان و ذوب یخ انجام شد. مقاومت فشاری نمونه ها در ابتدا و پس از ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ سیکل (۰°C- و ۰°C+) اندازه گیری گردید. میزان افت مقاومتی و میزان افت وزن نمونه ها در قبل و بعد از چرخه های آزمایش به عنوان معیارهای سنجش دوام بتن در نظر گرفته شده است.

کلمات کلیدی: میکروسیلیس، حباب زا، چرخه های یخبندان و ذوب، دوام بتن، مقاومت فشاری

### ۱. مقدمه

امروزه پیشرفت شتابان و فزاینده صنعت و تکنولوژی و دستیابی به نوآوری های روز افزون در زمینه مصالح و روشهای ساختمانی، تولید بتن توانمند را میسر ساخته است. تولید این نوع بتن ها با استفاده از ماده افزودنی میکروسیلیس به همراه فوق روان کننده ها و استفاده از نسبت آب به نسبت سیمان پایین امکان پذیر است. [۱-۲] یکی از دلایل هم استفاده از میکروسیلیس در بتن، دستیابی به مقاومت های فشاری بالاتر است. تحقیقات گوناگون نشان دهنده آن است که متناسب با هر نسبت آب به مواد سیمانی، کاربرد میکروسیلیس بیش از یک مقدار مشخص، نه تنها باعث افزودن مقاومت بتن نخواهد شد بلکه به عکس کاهش را نیز به همراه خواهد داشت [۳-۴] تفاوت اساسی بین میکروسیلیس و پوزولانهای معمولی این است که فعالیت پوزولانی میکروسیلیس سریع تر از سایر پوزولانها قابل حصول است [۵] سیلیس آمورف موجود در میکروسیلیس می تواند با محصولات هیدروآتاسیون وارد فعل و انفعالات شیمیایی شده و ساختار خمیر سیمان را اصلاح کند. در جریان هیدروآتاسیون سیمان پرتلند، بخش زیادی از فعالیت پوزولانی میکروسیلیس باعث تبدیل کریستالهای هیدروکسید کلسیم (که از هیدروآتاسیون سیمان بوجود می آیند) به ژل C-S-H (کلسیم سیلیکات هیدراته) می شود در نهایت ترکیب دو خاصیت پرکنندگی و پوزولانی میکروسیلیس در ایجاد یک جسم بسیار متراکم و کم تداخل خود را نشان میدهد [۶-۷]

همچنین یکی از جایگزینان سیمان پودر سنگ آهک می باشد. استفاده از این مصالح بخاطر در دستر بودن زیاد، هر روزه بیشتر می شود حتی استاندارد EN ۱۹۷-۱ اروپا در سال ۲۰۰۰ دو نوع سیمان پرتلند سنگ آهکی را وارد استاندارد سیمان اروپا کرده است. [۸] استفاده از این مصالح در ساخت بتن بسیار مفید تلقی می شود، زیرا هم باعث جلوگیری از آلودگی محیط زیست می شود و هم باعث ارزان تر شدن قیمت های بتن می گردد.



تحقیقات زیادی بر روی خواص بتن حاوی پودر سنگ آهک مثل مقاومت فشاری، زمان گیرش، اسلامپ، و یسکوزیته انجام می شود. [۸-۹] تحقیقاتی نیز بر روی ساخت بتن مقاومت بالا با استفاده از پودر سنگ انجام شده است و همچنین تحقیقاتی بر روی بهینه سازی طرح اختلاط با مقاومت بالایی انجام گرفته است [۹-۱۰]

## ۲. روشهای آزمون ( دوام بتن در برابر یخبندان و ذوب )

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

الف) دستور العمل ها A : ( ASTM Procedure A )

نمونه های بتن به تعداد لازم در چرخه های یخبندان بین ۷/۱۷- الی ۴+ درجه سانتیگراد قرار می گیرند. تعداد چرخه ها ۳۰۰ است. یخبندان و ذوب نمونه ها در مجاورت آب انجام می شود.

ب) دستور العمل B است : ( ASTM Procedure B )

دقیقا" مثل دستور العمل A است، با این تفاوت که یخبندان نمونه در مجاورت آب و ذوب آن در مجاورت هوا انجام می شود. بعد از اتمام چرخه های یخبندان و ذوب میزان تخریب نمونه ها با معیارهای مختلفی سنجیده میشود که شامل موارد عمده زیر است :

- ۱- تغییر در مقاومت فشاری : افت بیش از ۱۰٪ نشان دهنده تخریب است .
- ۲- تغییر در وزن نمونه : افت بیش از ۵٪ نشان دهنده تخریب است . در صورتی که جدا شدن قطعاتی از نمونه با چشم رویت شود به شرط قابل توجه بودن می توان 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 : کرنش های نمونه با ابزارهای دقیق سنجیده می شود در صورتی که از مقادیر توصیه شده تجاوز نکند ( این مقادیر در مرجع های گوناگون و به ازای بتن های مختلف متفاوت است ) ، نمونه به حالت تخریب رسیده است .

## ۳. مصالح مورد استفاده

مصالح مورد استفاده در این تحقیق عبارت بوده اند از :

- ۱- درشت دانه شکسته مطابق با دانه بندی شماره ۷ استاندارد ASTM - c33 [۱۱] با حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر و چگالی ۲/۶۵ و وزن خشک میله خورده  $1690 \frac{kg}{m^3}$  و درصد جذب آب 0.6٪ قبل از ساخت نمونه ها ، درشت دانه کاملا شسته تا سطح آن عاری از مواد مضر گردد و بطور طبیعی خشک گردیده است .
- ۲- ریز دانه مطابق دانه بندی مجاز ASTM - C33 با مدول نرمی ۲/۹ و چگالی ۲/۵۷ و درصد جذب آب ۰/۹ و به منظور دستیابی به دانه بندی واقع در محدوده مجاز استاندارد، ریز دانه الک شد و در دپوی جداگانه قرار گرفت .
- ۳- سیمان تیپ II دانه کارخانه قانن استان خراسان بوده است با وزن مخصوص  $3/15 t/m^3$  مطابق با استاندارد ASTM - C150 [۱۲]
- ۴- میکروسلیس با چگالی ۲/۱۲ بصورت پودر تولید شده در کارخانه های ایران .
- ۵- فوق روان کننده مصرفی..مطابق با تیپ CIF استاندارد ASTM - C494 ( 13 )
- ۶- مواد حباب زا
- ۷- واتر پروف یا آب بند بتن

## ۴. ساخت عمل آوری و آماده سازی نمونه ها

برای ساخت کلیه نمونه های بتنی از طرح اختلاط بتن بر اساس آیین ACI-211 [۱۴] استفاده شده به منظور دستیابی به مقاومت های بالاتر ، نتایج تحقیقات سایر تحقیق در ساخت بتن های با مقاومت بالا در طرح اختلاط بتن مد نظر قرار گرفت .



تمام نمونه ها پس از ساخت به صورت ۲۴ ساعت درون قالب بوده و پس از آن به منظور عمل آوری تا دو ساعت قبل آزمایش (که هر نوع آزمایش بعد از ۲۸ روز عمل آوری می باشد) داخل آب یا دمای حدود ۱۷ درصد سانتی گراد قرار گرفته و به منظور دقت در کار به ازای هر آزمایش یخبندان و ذوب یخ، سه نمونه مکعبی ساخته شده است.

#### ۴-۱ طرح اختلاط مصرفی در آزمایشها

- ✓ درصد میکروسیلیس و ژل میکروسیلیس مورد استفاده برابر ۷ و ۱۰ درصد مقدار سیمان است.
- ✓ مقدار واتر پروف مورد استفاده حدود ۱ درصد است.
- ✓ مقدار ماده فوق روان کننده مورد استفاده حدود ۲ درصد است.
- ✓ مقدار ماده هوازا برای هر کیلوگرم سیمان برابر یک میلی لیتر است.
- ✓ درصد پودر آهک مورد استفاده برابر ۱۵ درصد مقدار سیمان است.
- ✓ نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۰ در نظر گرفته شده است.
- ✓ عیار سیمان مصرفی در دو حالت برابر ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است.
- ✓ تمام نمونه ها به مدت ۲۸ روز در آب عمل آوری شده اند.

برای استفاده از دوده سیلیس مرغوب تر، از هر یک از دو نوع سیلیس موجود در آزمایشگاه با مشخصات فوق ۳ نمونه ۱۵\*۱۵\*۱۵ سانتیمتر برای هر یک از زمانهای ۳، ۷، ۲۸ روز ساخته شد. ۲۴ ساعت پس از ساخت بتن، نمونه ها از قالب ما خارج کرده و در آب ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. در موعد مقرر ۳ نمونه از هر بتن مورد آزمون قرار گرفت.

#### ۵. آزمایشهای و تحلیل نتایج

در شکل ۱ نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن بعد از ۲۸ روز در شرایط آزمایشگاهی نشان داده شده است. از نمودار فوق می توان نتیجه گرفت که:

الف - نمونه دارای ژل میکرو سیلیس بالاترین در صد آن (۱۰ در صد) بیشتر و نمونه ای که از پودر آهک استفاده شده کمترین مقاومت فشاری را دارد

ب - در ۹ نمونه ابتدای آزمایش بترتیب ترکیباتی که با ژل میکروسیلیس، میکروسیلیس، پودر خاک سنگ، واترپروف، معمولی، مواد حباب زا، پودر آهک ساخته، بیشترین مقاومت را دارا می باشند.

ج - نمونه ای که از مواد حباب زا تهیه شده، کمترین کاهش مقاومتی را بعد از انجام سیکلهای یخبندان و ذوب یخ از خود نشان می دهد. که تقریباً برابر  $2 \text{ MPa}$  می باشد.

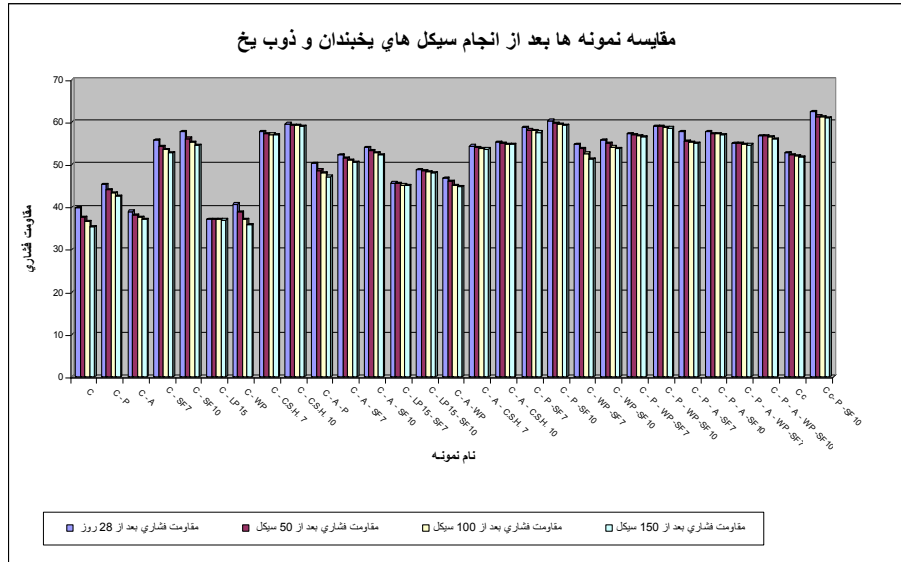
د - در مقایسه کلی بین ۹ نمونه اول می توان دریافت که بتنی که با واتر پروف ساخته شده است بیشترین افت مقاومتی را بعد از انجام سیکلهای یخبندان و ذوب از خود نشان می دهد که تقریباً برابر با  $5 \text{ MPa}$  می باشد و بعد از آن نمونه ای معمولی بیشترین افت مقاومتی را دارند.

ه - نمونه ای که دارای پودر آهک می باشد کمترین افت مقاومتی را در بین نمونه های بتنی بعد از انجام سیکلهای یخبندان و ذوب از خود نشان می دهد.



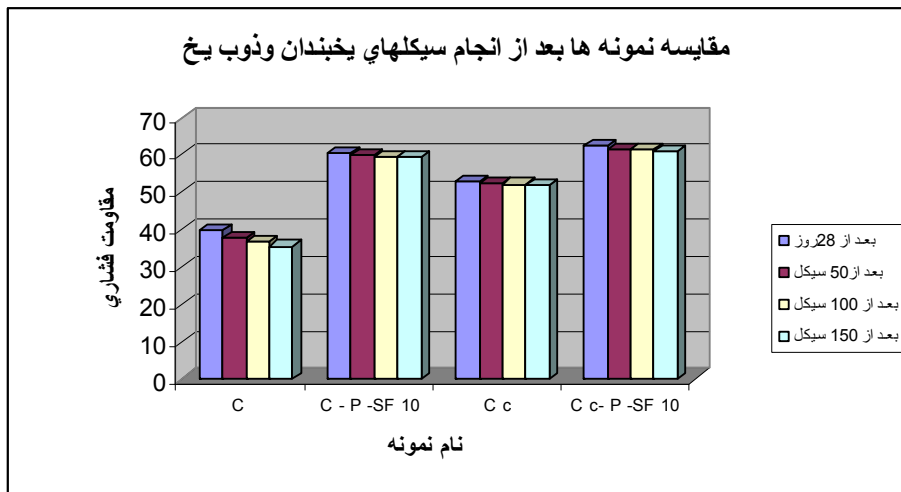
جدول ۱. طرحهای اختلاط

شماره و نام نمونه	سیمان (kg)	درشت دانه	ماسه	ماسه با پودر خاک سنگ	آب	میکرو سیلیس	حباب زا	پودر آهک	واتر پروف	زل یا مکمل
C	350	1052	867		140					
C - P	350	1052		867	140					
C - A	350	1052	751.1		140		6			
C - SF 7	325.5	1052	859.9		140	24.5				
C - SF 10	315	1052	854.7		140	35				
C - LP 15	297.5	1052	862.5		140			52.5		
C - WP	350	1052	867		140				0.35	
C - C.S.H. 7	325.5	1052	841.8		140	24.5				24.5
C - C.S.H. 10	315	1052	821		140	35				35
C - A - P	350	1052		751.1	140		6			
C - A - SF 7	325.5	1052	743.3		140	24.5	6			
C - A - SF 10	315	1052	738.1		140	35	6			
C - LP 15 - SF 7	273	1052	854.7		140	24.5		52.5		
C - LP 15 - SF 10	262.5	1052	849.5		140	35		52.5		
C - A - WP	350	1052	751.1		140		6		0.35	
C - A - C.S.H. 7	325.5	1052	725.2		140	24.5	6			24.5
C - A - C.S.H. 10	315	1052	704.5		140	35	6			35
C - P - SF 7	325.5	1052		859.9	140	24.5				
C - P - SF 10	315	1052		854.7	140	35				
C - WP - SF 7	325.5	1052	859.9		140	24.5			0.35	
C - WP - SF 10	315	1052	854.7		140	35			0.35	
C - P - WP - SF 7	325.5	1052		859.9	140	24.5			0.35	
C - P - WP - SF 10	315	1052		854.7	140	35			0.35	
C - P - A - SF 7	325.5	1052		743.3	140	24.5	6		0.35	
C - P - A - SF 10	315	1052		738.1	140	35	6		0.35	
C - P - A - WP - SF 7	325.5	1052		743.3	140	24.5	6		0.35	
C - P - A - WP - SF 10	315	1052		738.1	140	35	6		0.35	



شکل ۱. مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با نمونه های بتن بعد از ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ سیکل یخبندان و ذوب یخ

در شکل ۲ نمونه های با عیار مختلف سیمان نشان داده شده است.



شکل ۲- مقاومت فشاری با عیار سیمان متفاوت برخی از نمونه های ۲۸ روزه با نمونه های بتن بعد از ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ سیکل یخبندان و ذوب یخ

از نمودار فوق می توان نتیجه گرفت که:

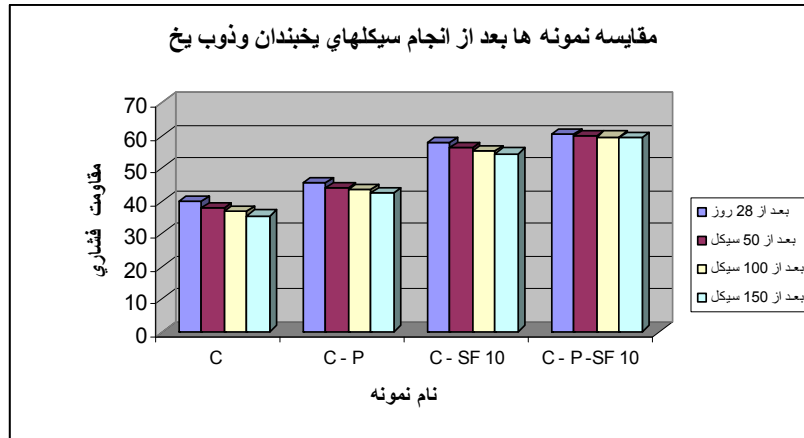
الف - در نمونه معمولی با عیار ۴۰۰ نسبت به عیار ۳۵۰ تقریباً  $10 \text{ MPa}$  افزایش مقاومتی وجود دارد.

ب - در نمونه ای که از پودر خاک سنگ و میکروسیلیس استفاده شده با عیار ۴۰۰ نسبت به عیار ۳۵۰ تقریباً  $2 \text{ MPa}$  افزایش مقاومتی وجود دارد.

از الف و ب می توان نتیجه گرفت در نمونه های معمولی با افزایش عیار سیمان، مقاومت شدیداً بالا رفته ولی در نمونه هایی که از میکروسیلیس و مواد مکمل استفاده می شود سرعت افزایش بسیار کند است.

ج - با افزایش عیار سیمان سرعت کاهش مقاومت بعد از افزایش سیکل های یخبندان و ذوب یخ کند می شود.

در شکل ۳ مقاومت فشاری نمونه ها با افزایش پودر سنگ در جایگزینی درصدی از ریزدانه تحت سیکل های یخبندان متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۳- مقاومت فشاری با افزایش پودر سنگ برخی از نمونه های ۲۸ روزه با نمونه های بتن بعد از ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ سیکل یخبندان و ذوب یخ

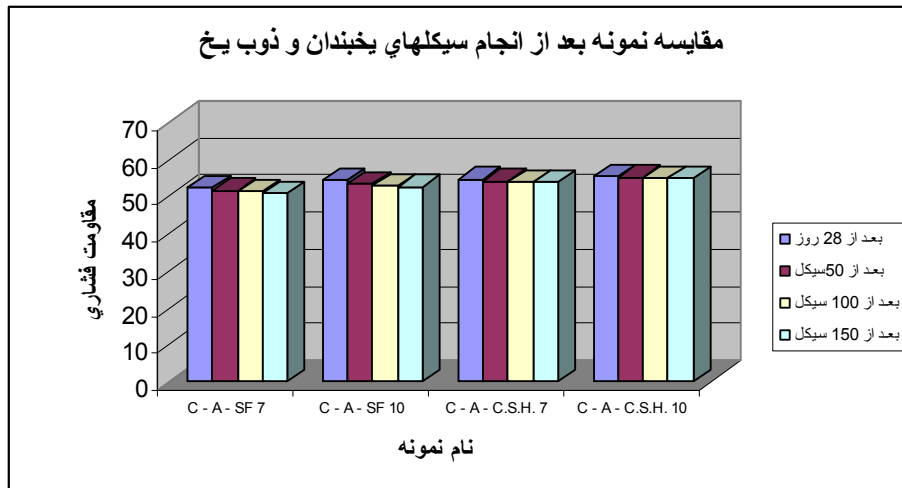
می توان نتیجه گرفت که:

الف - با مقایسه نمونه های معمولی تقریباً  $6 \text{ MPa}$  افزایش مقاومتی بوجود می آید.

ب - با مقایسه با نمونه هایی که از مواد ترکیبی دیگر ساخته شده اند نیز تقریباً  $6 \text{ MPa}$  افزایش مقاومتی دارند.

ج - در نمونه های ترکیبی نیز کاهش مقاومت بعد از انجام سیکل های یخبندان و ذوب یخ بوجود می آید.

شکل ۴ جهت مقایسه نمونه هایی که از مواد حبابزا با میکروسیلیس یا مکمل آن استفاده شده است ارائه میگردد. ملاحظه میگردد که نمونه ای که در آن ژل میکروسیلیس بکاررفته مقاومت بیشتری در مقایسه با نمونه ای که دارای میکروسیلیس می باشد دارا است. علاوه بر این کمترین افت مقاومت را بعد از انجام سیکلهای یخبندان و ذوب یخ از خود نشان می دهد.



شکل ۴- مقاومت فشاری نمونه های که از مواد حبابزا با میکروسیلیس یا مکمل استفاده شده است

### ۶. نتیجه گیری

در نهایت اثر ترکیبی مواد با هم که نتایج این تحقیق عبارتند از:



- ۱- همانطور که پیش بینی می‌شد با کاهش نسبت آب به سیمان افزایش مقاومت بتن حاصل گردیده است. این افزایش به خصوص در نمونه‌ای که مواد مضاف به بتن افزوده نشده است بیشتر مشهود است. در عین حال افزودن این ماده به جای ریزدانه بطور متوسط ۵ مگا پاسکال مقاومت را افزایش داده است.
- ۲- پودر خاک سنگ در بهبود مقاومت در برابر چرخه یخبندان - ذوب یخ نیز اثر مطلوبی دارد. بیشتر این اثر در نمونه اصلاح شده و نمونه دارای میکروسیلیس مشهود است. اثر این ماده در بهبود مقاومت بتن در برابر یخبندان در طرح‌های دارای مواد هوازا اندک است.
- ۳- استفاده از ماده میکروسیلیس برای بهبود دوام بتن در برابر چرخه های یخبندان - ذوب یخ مقاومتی نظیر نمونه‌های دارای مواد هوازا دارد و می‌توان برای به دست آوردن یک بتن با دوام نسبتاً مناسب در برابر یخبندان از این ماده استفاده شود.
- ۴- ترکیب مواد هوازا و میکروسیلیس اثر مطلوبی بر افزایش مقاومت در برابر یخبندان دارد. نمونه‌های به دست آمده از این طرح اختلاط دارای مقاومت بسیار خوبی در برابر چرخه‌های یخبندان - ذوب یخ هستند.
- ۵- نمونه‌ای که از ترکیب میکروسیلیس و پودر خاک سنگ تهیه شده است دارای مقاومتی نظیر نمونه‌های دارای مواد حباب‌زا و میکروسیلیس است و بسیار در برابر یخبندان مقاوم است

## ۷. مراجع

1. Mud, R., Miao, C., Luo X., and Sun W., (2002), " Interaction Between Loading, Freeze- Thaw Cycles, and Chloride Salt Attack of Concrete With and Without Steel Fiber Reinforcement ", Cement and Concrete Research, 34 , pp.1061—1066.
2. Mud, R., Miao, C., Luo X., and Sun W., (2002), " Effect of Chloride Salt , Freeze- Thaw Cycles and Externally Applied Load on the Performance of the Concrete ", Cement and Concrete Research, 34, pp.1859-1864.
۳. قدوسی، پ.، (۱۳۷۶) " مکانیزم و علل کاهش آسیب‌پذیری بتن دارای میکروسیلیس"، مجموعه مقالات بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، صفحه ۱۸۲-۱۹۶، تهران-ایران.
4. Patterson, K., and Sander P., (1997), "Chloride Threshold Levels, Corrosion Rates and Service Life for Cracked High-performance Concrete" Duality of Concrete, Proc. Of Fourth CANMET/ACI, International Conference, Sydney-Australia, pp 451-472.
5. Mullica, A., (1997), " Rational Use of Micro silica in Arid and Tropical Environs", Proc. of the International Seminar on the Use of Micro silica in Concrete, Building and Housing Research Center, Tehran-Iran, pp 84-99.
6. ACI Comminute 234, (1998), "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete", (ACI 243R-96), American Concrete Institute.
7. ACI Committee 363, (1998), "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete", (ACI 63R-92), American Concrete Instiute.
8. Tsvivilis, S., Chaniotakis, E., Kakali, G., and Batis, G.,(2002), "An Analysis of the Properties of Portland Limestone Cements and Concrete" Cement and Concrete Composites, 24, pp 371-378.
9. Vuk, T., Gabrovsek, R., and Kaucic, V., (2002), "The Influence of mineral Admixtures on sulfate Resistance of limestone Cement Pastes Aged in cold MgSo4 Solution", Cement and Concrete Research, 32, pp 943-948.
10. Shi, Y., Matsui, I., and Feng, N., (2002), "Effect of Compound Mineral powder on workability and Rheological Property of HPC", Cement and Concrete Research, 32(1), pp 71-78.
11. ASTM C33-93, (1997), "Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Book of ASTM Standards, V.04.02, pp 10-16.