

## بررسی تأثیر زئولیت در عیارهای مختلف سیمان بر روی مقاومت و نفوذ پذیری بتن

جمال احمدی \*

استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

حسام عزیزی

کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

میثم کوهی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

### چکیده

استفاده از مواد پوزولانی یکی از راهکارهای بهبود مقاومت و دوام بتن می باشد. واکنش‌های پوزولانی موجب پرشدن حفرات موجود در بتن و باعث کاهش تخلخل و نفوذ پذیری و در نتیجه افزایش دوام و مقاومت بتن می‌شود. زئولیت یکی از پوزولان‌های طبیعی است که در ایران به وفور یافت می‌شود و به راحتی قابل استخراج و فرآوری است. از این رو در این مقاله تأثیر کاربرد زئولیت بر مقاومت و نفوذ پذیری بتن با عیارهای سیمانی مختلف بررسی شده است. برای این منظور آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب موئینه، تعیین پروفیل یون کلر، پراش پرتو ایکس (XRD) بر روی نمونه‌های بتنی انجام شده است. در ساخت نمونه‌ها از عیارهای مختلف سیمان و همچنین درصد‌های مختلف زئولیت و آب به سیمان استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد افزوده شدن زئولیت به بتن موجب افزایش مقاومت و کاهش نفوذ پذیری نمونه‌ها نسبت به بتن مرجع شده است. همچنین نتایج آزمایش XRD و همچنین تصاویر بدست آمده از آزمایش SEM نشان می‌دهد که ریزساختار مربوط به نمونه‌های دارای زئولیت دارای تراکم بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون زئولیت می باشد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، دوام بتن، واکنش پوزولانی، جذب آب حجمی، جذب آب موئینه، XRD.

## ۱- مقدمه

ولی پور و همکارانش (۲۰۱۳) تأثیر جایگزینی سیمان با درصد-هایی از زئولیت، متاکائولن و میکروسیلیس، بر روی دوام بتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در این پژوهش نشانگر افزایش مقاومت در صورت استفاده از زئولیت، متاکائولن و میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی می‌باشد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از این پوزولان‌ها موجب افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌ها نسبت به بتن مرجع می‌شود. با توجه به آزمایش جذب آب نمونه‌ها، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در صورت استفاده از این پوزولان‌ها می‌توان مقدار جذب آب بتن را کاهش داد [۴].

السعادت ثابت و همکارانش (۲۰۱۳) تأثیر جایگزینی سیمان با درصدهایی از زئولیت، خاکستر بادی و میکروسیلیس، بر روی دوام بتن را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به هنگام انجام آزمایش اسلامپ به این نتیجه رسیدند که زئولیت نسبت به میکروسیلیس و خاکستر بادی بیشتر روانی بتن را کاهش داده بنابراین هنگام به-کارگیری زئولیت باید فوق روان کننده بیشتری مصرف شود. آن‌ها در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که به هنگام استفاده از این پوزولان‌ها، مقاومت فشاری و همچنین مقاومت الکتریکی نمونه‌ها به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین با استفاده از این پوزولان‌ها می‌توان مقدار جذب آب نمونه‌ها را کاهش داد [۵].

چان و همکارش (۱۹۹۹) تأثیر جایگزینی سیمان با درصدهایی از زئولیت، خاکستر بادی و میکروسیلیس، بر روی بتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان می‌دهد که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها با افزایش زئولیت تا ۱۵٪ افزایش یافته ولی بعد آن با افزایش زئولیت به ۳۰٪ مقاومت کاهش یافته است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که جذب سطحی اولیه بتن در زمان-های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه با اضافه کردن پوزولان کاهش پیدا کرده و در مورد زئولیت می‌توان گفت که کمترین جذب سطحی اولیه متعلق به بتن با ۱۵٪ زئولیت می‌باشد [۶].

احمدی و همکارش (۲۰۱۰) تأثیر جایگزینی سیمان با درصدهایی از زئولیت و میکروسیلیس، بر روی بتن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان می‌دهد که در صورت استفاده از زئولیت و میکروسیلیس، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی

دوام و مقاومت سازه‌های بتنی به‌ویژه در سازه‌های مرتبط با راه نظیر پایه پل‌ها یا اسکله‌های دریایی، به علت حجم بار ترافیکی و قرارگیری در معرض عوامل محیطی، توجه زیادی را در علم فناوری بتن به خود جلب کرده است [۱]. در این راستا تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا با استفاده از افزودنی‌ها، مقاومت و دوام بتن بهبود یابد. از جمله این موارد می‌توان به مطالعات انجام یافته زیر اشاره کرد:

پون و همکارانش (۲۰۰۵) با انجام آزمایش‌هایی بر روی سه نوع بتن معمولی، بتن با میکروسیلیس، و بتن با متاکائولن، مقاومت این بتن‌ها را در مقابل نفوذ یون‌های کلراید مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در این پژوهش نشانگر افزایش مقاومت در صورت استفاده از متاکائولن و میکروسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی می‌باشد. همچنین نتایج آزمایش نفوذ سریع یون کلر در بتن (RCPT) نشانگر کاهش نفوذ یون کلر در بتن در صورت استفاده از متاکائولن و میکروسیلیس می‌باشد [۲].

چینداپراسیرت و همکارانش (۲۰۰۷) با انجام آزمایش‌هایی بر روی ۶ نوع بتن، (بتن با سیمان پرتلند معمولی (OPC)، بتن حاوی خاکستر بادی (FA)، بتن حاوی خاکستر پسته ی برنج (RHA)، بتن حاوی خاکستر سوخت روغن خرما (POA)، بتن با ترکیب مساوی از خاکستر بادی و خاکستر پسته برنج (BRF) و بتن با ترکیب مساوی از خاکستر بادی و خاکستر سوخت روغن خرما (BPF)) مقاومت این بتن‌ها را در مقابل نفوذ یون‌های کلراید مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از FA و RHA، POA به عنوان پوزولان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند می‌تواند باعث افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری یون کلراید در بتن شود و همچنین استفاده از FA، RHA، POA باعث بهبود مقاومت در برابر نفوذ کلراید شده و عمل هیدراتاسیون را بهبود بخشیده که این موجب کاهش منافذ و نفوذپذیری در بتن می‌گردد. RHA در این مورد بهتر عمل کرده و پس از آن POA و FA عملکرد خوبی دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مخلوط با ترکیب FA و POA و همچنین ترکیب FA و RHA نیز مقاومت فشاری و مقاومت در برابر نفوذ را بهبود می‌بخشد [۳].

گزارش کرده است که با افزایش عیار سیمان، مقاومت الکتریکی بتن نیز کاهش می‌یابد. او علت این امر را در کاهش حجم سنگدانه‌ها جستجو و استدلال می‌کند که سنگدانه‌ها مقاومت الکتریکی بیشتری نسبت به خمیر هیدراته شده سیمان در برابر حرکت یون‌ها دارد و با کاهش حجم سنگدانه‌ها در مخلوط به علت افزایش عیار سیمان، مقاومت الکتریکی کل نمونه کاهش می‌یابد [۱۳]. هارت و همکاران (۲۰۰۴) کاهش مقاومت الکتریکی را با افزایش تخلخل خمیر سیمان مرتبط می‌دانند. آن‌ها نشان داده‌اند که با افزایش عیار سیمان، حجم خمیر و در نتیجه آن تخلخل مخلوط بتنی افزایش می‌یابد. افزایش تخلخل بتن، آب منفذی بیشتری را برای انتقال یون‌های در اختیار قرار می‌دهد که موجب کاهش مقاومت الکتریکی بتن می‌شود [۱۵].

با این وجود در برخی مطالعات روندی معکوس گزارش شده است. مطالعات شین و همکاران (۲۰۰۳) نشان داده است که با افزایش عیار سیمان، از ۲۰۰ تا  $500 \text{ kg/m}^3$  مقاومت فشاری بتن نیز افزایش می‌یابد. آن‌ها ادعا کرده‌اند که به علت بالا بودن سطح ویژه ذرات سیمان نسبت به سایر اجزای مخلوط، با افزایش عیار سیمان، دانسیته بتن افزایش یافته و در نتیجه بتن چگال‌تر می‌شود و به همین علت مقاومت فشاری نیز با افزایش عیار سیمان بیشتر می‌گردد. همچنین مشاهدات آن‌ها نشان می‌دهد که جذب آب بتن با افزایش عیار سیمان کاهش می‌یابد که علت احتمالی این امر را کاهش تخلخل بتن با افزایش ذرات ریز سیمان بیان کرده‌اند [۱۶].

یوگیت و همکاران (۲۰۰۷) نیز نتایج متفاوتی را برای تاثیر افزایش عیار سیمان بر نفوذ یون کلر گزارش کرده‌اند. آن‌ها با آزمایش عمق نفوذ کلر در عیارهای ۲۵۰، ۳۵۰ و  $450 \text{ kg/m}^3$  گزارش کرده‌اند که افزایش عیار سیمان موجب کاهش میزان عمق نفوذ کلر شده است [۱۰]. مرور نتایج متضاد و گزارش شده نشان دهنده اختلاف در نتایج مطالعات مختلف در زمینه تاثیر تغییر عیار سیمان در طرح مخلوط است.

هدف از این مقاله بررسی تاثیر عملکرد ژئولیت در بهبود مقاومت و نفوذپذیری بتن، با تغییر در مقدار عیار سیمان در طرح اختلاطهای ساخته شده می‌باشد. برای این منظور سه عیار متفاوت سیمان (۳۰۰، ۳۵۰ و  $400 \text{ kg/m}^3$ ) در بتن مرجع و بتن حاوی ژئولیت مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب

نمونه‌ها افزایش یافته و همچنین ضریب جذب آب و ضریب نفوذ ویژه اکسیژن در نمونه‌ها کاهش می‌یابد [۷].

کلهری و همکارش (۱۳۹۱) نیز بهبود خواص بتن در صورت استفاده از ژئولیت را گزارش کرده‌اند [۸].

از سوی دیگر، از جمله مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار بتن، تغییرات عیار سیمان در طرح مخلوط است. تغییر عیار سیمان در طرح مخلوط، با تغییر دو پارامتر مهم نسبت سنگ‌دانه به سیمان (A/C) و حجم خمیر می‌تواند خواص مکانیکی بتن را تحت تأثیر قرار دهد. در بخش قابل توجهی از مطالعات انجام یافته کاهش مقاومت فشاری با افزایش حجم خمیر سیمان (در بتن‌های با عیار سیمان بالا) گزارش شده است [۱۰ و ۹]. کولیس و جورجیون (۲۰۰۵) این کاهش مقاومت را به دلیل کاهش طول مسیر ترک ناشی از تنش فشاری برای شکست بتن دانسته‌اند. در نتیجه کاهش طول ترک، به انرژی کمتر یا اعمال بار کمتری برای شکست نیاز است و در نتیجه مقاومت فشاری کاهش می‌یابد [۹]. یوگیت و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده‌اند که در یک نسبت ثابت آب به سیمان، بسته به طرح اختلاط، با افزایش عیار سیمان در مخلوط، مقاومت بتن کاهش می‌یابد [۱۰ و ۲۲]. این پدیده به ویژه در نسبت آب به سیمان پایین خود را بیشتر نشان می‌دهد. داهیر و همکاران (۲۰۰۶) دلیل عمده تأثیر افزایش عیار سیمان را، تاثیر آن به ریزساختار بتن دانسته‌اند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش عیار سیمان، به صورت متناسب تخلخل در خمیر سیمان افزایش یافته و مقاومت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، آن‌ها افزایش آب انداختگی داخلی بتن و کاهش چسبندگی خمیر به سنگدانه‌ها را نیز جمله دلایل این پدیده ذکر کرده‌اند [۱۱]. پون و همکاران (۲۰۰۸) علت این امر را به کاهش مقاومت خمیر و چسبندگی بین خمیر و سنگدانه به علت کاهش حجم سنگدانه‌ها در مخلوط نسبت داده‌اند [۱۲].

گزارش‌های مشابهی از تاثیر منفی افزایش عیار سیمان بر نفوذپذیری و مقاومت الکتریکی بتن ارائه شده است [۱۳]. شاه و همکاران (۲۰۰۰) افزایش نفوذپذیری بتن را با افزایش عیار سیمان گزارش کرده‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند که با افزایش عیار سیمان در مخلوط در برابر حرکت مایعات، سنگدانه‌های کمتری مانع ایجاد می‌کند و پیچ و خم کمتری در مسیر وجود دارد که در نتیجه ضریب نفوذپذیری افزایش می‌یابد [۱۴]. همچنین شی (۲۰۰۴)

حجمی و جذب آب موئینه، تعیین پروفیل یون کلر، XRD بر روی نمونه‌های بتنی انجام شده است و با استفاده از روش SEM به مشاهده و مطالعه ریز ساختار بتن در نمونه های ساخته شده پرداخته شده است.

## ۲- مطالعات آزمایشگاهی

### ۱-۱- مصالح مصرفی

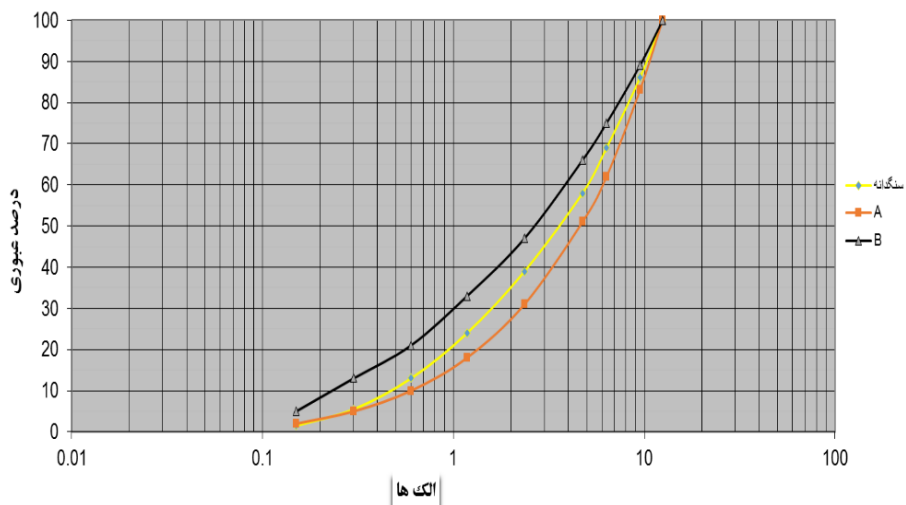
در این مطالعات از سیمان پرتلند تیپ ۲ آبیک قزوین برای ساخت نمونه ها استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است. ماسه تهیه شده از نوع رودخانه‌ای با وزن مخصوص ۲۵۳۰ kg/m<sup>3</sup> و شن تهیه شده از نوع شکسته با حداکثر اندازه دانه‌های

جدول ۱- مشخصات سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی	عناصر	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	IR	LOI	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	F CaO
درصد	۲۱،۳۱	۴،۶۱	۳،۶	۶۳،۲	۲،۴	۱،۹۷	۰،۶	۰،۴۳	۲،۰۵	۵۸	۱۷،۷	۵،۹	۱۱،۰۴	۰،۹۸	
خواص فیزیکی	انبساط	۰،۲		زمان گیرش	۲۱۵-۱۶۰		بلین	۳۰۰۷							
خواص مکانیکی	مقاومت فشاری	۳ روزه		۷ روزه	۲۸ روزه		۴۲۷	۳۰۸							
	Kg/cm <sup>2</sup>	۲۱۱													

جدول ۲- دانه بندی سنگدانه مصرفی

الک (mm)	۱۲،۵	۹،۵	۶،۳۵	۴،۷۵	۲،۳۸	۱،۱۹	۰،۶	۰،۳	۰،۱۵
درصد گذشته از الک	۱۰۰	۸۶	۶۹	۵۸	۳۹	۲۵	۱۵	۸	۳



شکل ۱- منحنی سنگدانه مصرفی.

جدول ۳- آنالیز شیمیایی زئولیت مصرفی

ترکیبات شیمیایی	SO <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
درصد	۰.۵	۱.۶۸	۶۷.۷۹	۱.۲	۱.۴۴	۱۳.۶۶

در این تحقیق از سه عیار سیمان مختلف ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ kg/m<sup>3</sup> حرف A نسبت آب به سیمان ۰.۴ و حرف B نسبت آب به سیمان ۰.۵ و همچنین سه درصد مختلف زئولیت (۰، ۱۰ و ۱۵٪ بر مبنای مطالعات مقدماتی آزمایشگاهی) و نیز دو نسبت آب به سیمان ۰.۴ و ۰.۵ استفاده شده است. در نوشتن کد طرح‌های مورد استفاده اختلاط مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مشخصات طرح اختلاط

کد طرح	W/C	C (kg/m <sup>3</sup> )	Zeo (%)	سنگدانه کل (kg/m <sup>3</sup> )	ریزدانه (kg/m <sup>3</sup> )	درشت دانه (kg/m <sup>3</sup> )	S/G	اسلامپ (cm)	SP (%)
A300-0	۰.۴	۳۰۰	۰	۱۹۴۴	۱۱۲۸	۸۱۶	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۸
A300-10	۰.۴	۲۷۰	۱۰	۱۹۲۸	۱۱۱۸	۸۱۰	۱.۳۸	۱۰-۸	۱.۲
A300-15	۰.۴	۲۵۵	۱۵	۱۹۲۰	۱۱۱۴	۸۰۶	۱.۳۸	۱۰-۸	۱.۵
A350-0	۰.۴	۳۵۰	۰	۱۸۵۲	۱۰۷۴	۷۷۸	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۶
A350-10	۰.۴	۳۱۵	۱۰	۱۸۳۳	۱۰۶۳	۷۷۰	۱.۳۸	۱۰-۸	۱
A350-15	۰.۴	۲۹۷.۵	۱۵	۱۸۲۴	۱۰۵۸	۷۶۶	۱.۳۸	۱۰-۸	۱.۲
A400-0	۰.۴	۴۰۰	۰	۱۷۶۰	۱۰۲۱	۷۳۹	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۴
A400-10	۰.۴	۳۶۰	۱۰	۱۷۳۹	۱۰۰۹	۷۳۰	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۸
A400-15	۰.۴	۳۴۰	۱۵	۱۷۲۸	۱۰۰۲	۷۲۶	۱.۳۸	۱۰-۸	۱
B300-0	۰.۵	۳۰۰	۰	۱۸۶۷	۱۰۸۳	۷۸۴	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۸
B300-15	۰.۵	۲۵۵	۱۵	۱۸۴۳	۱۰۶۹	۷۷۴	۱.۳۸	۱۰-۸	۱.۲
B350-0	۰.۵	۳۵۰	۰	۱۷۶۲	۱۰۲۲	۷۴۰	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۵
B350-15	۰.۵	۲۹۷.۵	۱۵	۱۷۳۵	۱۰۰۶	۷۲۹	۱.۳۸	۱۰-۸	۱
B400-0	۰.۵	۴۰۰	۰	۱۶۵۷	۹۶۱	۶۹۶	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۲
B400-15	۰.۵	۳۴۰	۱۵	۱۶۲۶	۹۴۳	۶۸۳	۱.۳۸	۱۰-۸	۰.۶

نمونه‌های آزمایشگاهی طبق طرح اختلاط ارائه شده در جدول ۳ و پس از ساخته شدن به مدت ۲۴ ساعت داخل قالب و در محیط آزمایشگاه در دمای ۲۲±۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند و سپس قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها تا روز مورد نظر در آب با دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها طبق برنامه زمان بندی انجام آزمایش‌ها، تحت آزمایش‌های مختلف قرار گرفتند. برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق استاندارد BS 1881-116 Part [۱۷] از نمونه‌های مکعبی ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلیمتری استفاده شده است. نمونه‌ها پس از ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری در آب، از آب خارج شده و پس از خشک شدن در محیط آزمایشگاه، مورد آزمایش فشاری قرار گرفتند. آزمایش جذب آب حجمی اولیه (۳۰ دقیقه) و نهایی (۷۲ ساعت)، طبق استاندارد ASTM C642 [۱۸] بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلیمتری انجام گرفت. آزمایش جذب آب موئینه نیز با استفاده از روش ارائه شده در RILEM CPC 11.2 [۱۹] بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلیمتری انجام شد. این آزمایش در فواصل زمانی ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت بر روی نمونه‌های مستغرق در آب به اندازه ۵ میلیمتر انجام پذیرفت. در این آزمایش بین جذر زمان ( $t^{1/2}$ ) با آب جذب شده (i) بر واحد سطح نمونه رابطه‌ای وجود دارد. شیب خط برازش شده بدون احتساب نقطه مرجع، ضریب جذب موئینه (S) با واحد  $m/h^{1/2}$  نامیده می‌شود. مقدار آب جذب شده هر نمونه در زمان t طبق رابطه (۱) و همچنین رابطه بین آب جذب شده و مجذور زمان طبق رابطه (۲) بیان می‌شود:

نمونه‌های آزمایشگاهی طبق طرح اختلاط ارائه شده در جدول ۳ و پس از ساخته شدن به مدت ۲۴ ساعت داخل قالب و در محیط آزمایشگاه در دمای ۲۲±۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند و سپس قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها تا روز مورد نظر در آب با دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها طبق برنامه زمان بندی انجام آزمایش‌ها، تحت آزمایش‌های مختلف قرار گرفتند. برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق استاندارد BS 1881-116 Part [۱۷] از نمونه‌های مکعبی ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلیمتری استفاده شده است. نمونه‌ها پس از ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری در آب، از آب خارج شده و پس از خشک شدن در محیط آزمایشگاه، مورد آزمایش فشاری قرار گرفتند. آزمایش جذب آب حجمی اولیه (۳۰ دقیقه) و نهایی (۷۲ ساعت)، طبق استاندارد

است. پدیده پراش پرتو ایکس XRD برای مطالعه ریز ساختار نمونه های ساخته شده در این پژوهش استفاده شده است. در روش SEM نیز (Scanning Electron Microscope) الکترون هایی با انرژی بالا توسط یک تفنگ الکترونی به نمونه تابیده می شود و این الکترون ها با نمونه برخورد کرده و پس از برگشت از نمونه الکترون های برگشتی به یک آشکارساز برخورد کرده و تصویر نمونه مشخص می شود.

$$i_t = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (1)$$

که در آن  $i_t$  میزان جذب آب در واحد سطح نمونه در زمان  $t$  بر حسب  $g/m^2$ ؛  $m_0$  وزن نمونه خشک بر حسب  $gr$ ؛  $m_t$  وزن نمونه در زمان  $t$  بر حسب  $gr$  و  $A$  نیز سطح مقطع نمونه بر حسب  $m^2$  است.

$$i = c + s\sqrt{t} \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $t$  زمان بر حسب  $hr$ ؛  $s$  ضریب جذب آب موئینه بر حسب  $m/hr^{1/2}$  و  $c$  ثابت جذب آب موئینه بر حسب  $m$  است.

برای تعیین پروفیل یون کلر از استاندارد ASTM C 1556 [۲۰] استفاده شده است. برای این منظور نمونه ها پس از ساخت، ۷ روز در آب عمل آوری شدند. پس از آن ۵ وجه از ۶ وجه نمونه پوشش داده شده تا نفوذ یون کلراید از یک وجه شبیه سازی شود. سپس این نمونه ها در محلول ۵٪ NaCl، به مدت ۹۰ روز غرقاب شدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر، نمونه ها از محلول در آورده شده و درون گرم خانه با تهویه مناسب و با دمای  $110 \pm 1$  درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه ها را از گرم خانه در آورده و پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه، ۴ سوراخ با قطر ۱۲ میلی متر به صورت خشک در عمق های ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و ۲۰-۳۰ میلی متر از سطح بدون پوشش با دریل حفر گردید. هر حفاری در عمق ۵ میلی متر متوقف شده و مواد سائیده شده از هر ۴ سوراخ جمع آوری شده و با هم ترکیب شدند، پس از عبور نمونه ها از الک نمره ۲۰، یون کلراید محلول در آب هر نمونه الک شده، توسط استاندارد ASTM C 1218 [۲۱] (به کمک محلول نترات نقره و پتاسیم کرومات) تعیین شد. همان گونه که اشاره شده از روش پراش پرتو ایکس (XRD) یا X-ray Diffraction بدلیل آنکه روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، در این مطالعات استفاده شده

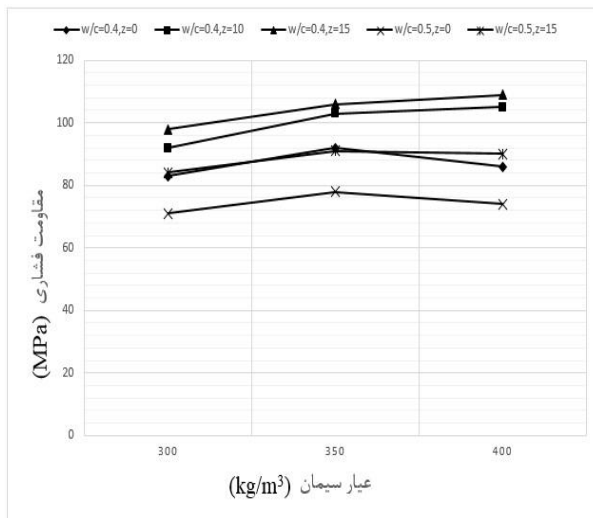
### ۳- نتایج آزمایش ها

#### ۳-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

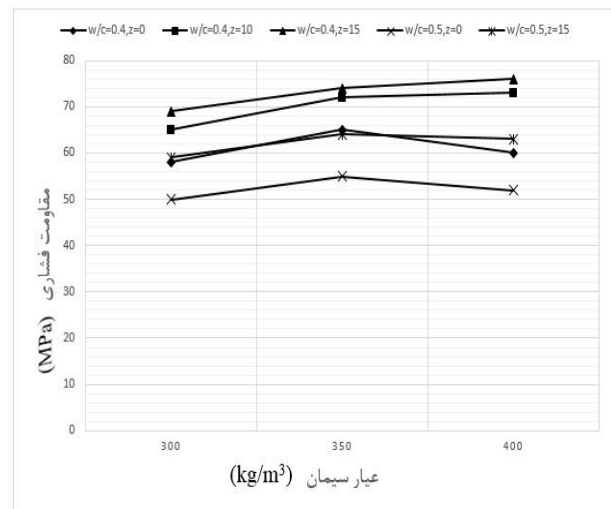
نتایج مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه نمونه ها برای ۱۵ طرح موجود در جدول ۵ و شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. برای بررسی تأثیر جای گزینی ژئولیت به جای بخشی از سیمان، با مقایسه نتایج بدست آمده از نمونه های مورد آزمایش، مشاهده می شود که با افزودن ژئولیت به مخلوط، افزایش قابل توجهی در مقاومت فشاری نمونه ها ایجاد شده است. با توجه به مقاومت فشاری بدست آمده از نمونه ها به نظر می رسد استفاده از ژئولیت به مقدار حدودا ۱۵٪ جایگزین سیمان موجب بهبود مقاومت فشاری نمونه ها می شود. همچنین با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰٫۴ به ۰٫۵، کاهش قابل توجهی در مقاومت فشاری ایجاد شده است. برای بررسی تأثیر عیار سیمان بر روی مقاومت فشاری نمونه ها، با مقایسه نتایج نمونه های بتنی بدون ژئولیت، مشاهده می شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰  $kg/m^3$  مقدار مقاومت فشاری افزایش می یابد و از عیار ۳۵۰ به ۴۰۰  $kg/m^3$  مقاومت فشاری کاهش می یابد، در این نمونه ها عیار سیمان ۳۵۰  $kg/m^3$  برای نمونه های بتنی بدون ژئولیت از لحاظ مقاومت فشاری بهینه بوده است.

جدول ۵- نتایج مقاومت فشاری نمونه ها

کد طرح	A300-0	A300-10	A300-15	A350-0	A350-10	A350-15	A400-0	A400-10	A400-15	B300-0	B300-15	B350-0	B350-15	B400-0	B400-15
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)	۵۸	۶۵	۶۹	۶۵	۷۲	۷۴	۶۰	۷۳	۷۶	۵۰	۵۹	۵۵	۶۴	۵۲	۶۳
مقاومت فشاری ۹۰ روزه (Mpa)	۸۳	۹۲	۹۸	۹۲	۱۰۳	۱۰۶	۸۶	۱۰۵	۱۰۹	۷۱	۸۴	۷۸	۹۱	۷۴	۹۰



شکل ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۹۰ روزه.



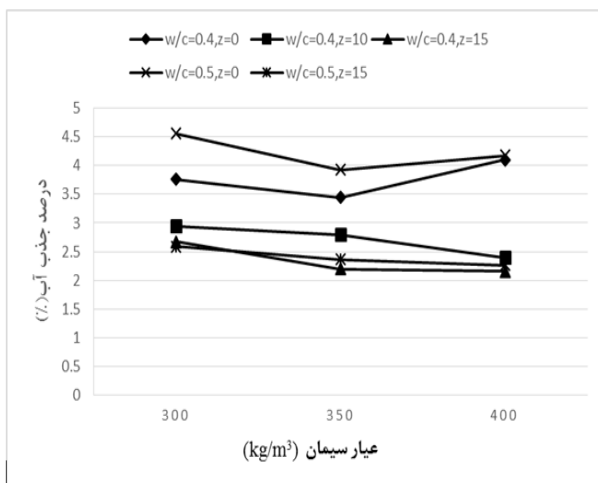
شکل ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه.

حفرات بیشتری از بتن پر شده و موجب بهبود ریز ساختار آن می‌شود و بتن مقاوم تری ایجاد خواهد شد.

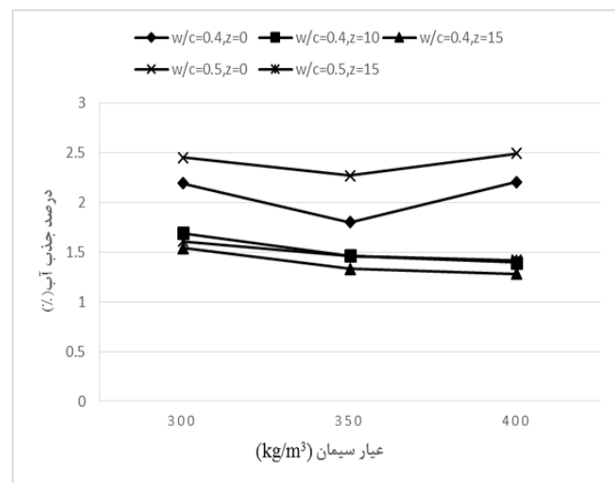
همچنین برای بررسی تأثیر هم‌زمان استفاده از زئولیت و تغییر عیار سیمان، با مقایسه نتایج نمونه‌های بتنی دارای زئولیت، مشاهده می‌شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰ و از ۳۵۰ به ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  مقدار مقاومت فشاری همچنان افزایش می‌یابد، در نتیجه با افزودن زئولیت امکان دستیابی به افزایش مقاومت فشاری در نسبت بالاتری از عیار سیمان فراهم می‌شود. دلیل این امر هم می‌تواند واکنش زئولیت با  $\text{Ca(OH)}_2$  (هیدراکسید کلسیم، CH) باشد چرا که هر چه عیار سیمان بیشتر باشد مسلماً  $\text{Ca(OH)}_2$  بیشتری با زئولیت واکنش داده و تولید ژل C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته) می‌کند که در نتیجه آن

### ۳-۲- نتایج آزمایش جذب آب حجمی اولیه و نهایی

نتایج این آزمایش شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزودن زئولیت به مخلوط، در عیار سیمان-های مختلف و در هر دو نسبت آب به سیمان، درصد جذب آب کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰٫۴ به ۰٫۵ درصد جذب آب حجمی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۵- نتایج جذب آب حجمی نهایی (۷۲ ساعت)



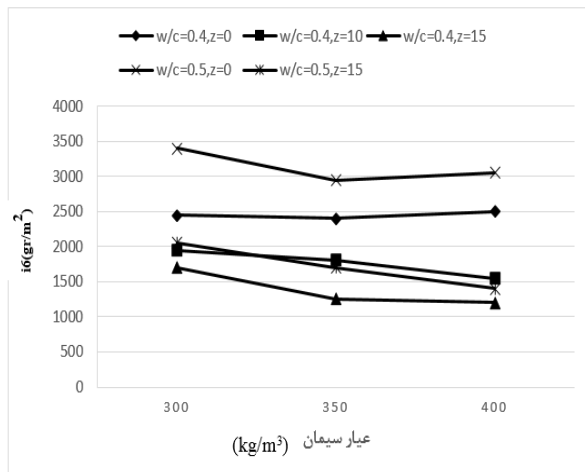
شکل ۴- نتایج جذب آب حجمی اولیه (۳۰ دقیقه)

سطح (i) و همچنین ضریب جذب آب موئینه (s) کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰٫۴ به ۰٫۵، ضریب جذب آب موئینه نمونه‌ها افزایش می‌یابد. با مقایسه نتایج نمونه‌های بتنی بدون زئولیت، مشاهده می‌شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  ضریب جذب آب موئینه کاهش می‌یابد و از عیار ۳۵۰ به ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  افزایش می‌یابد، به نظر عیار سیمان ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  برای نمونه‌های بتنی بدون زئولیت از نظر جذب آب موئینه نیز بهینه است. اما با مقایسه نتایج نمونه‌های بتنی دارای زئولیت، مشاهده می‌شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰ و از ۳۵۰ به ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  ضریب جذب آب موئینه کاهش می‌یابد، در نتیجه با افزودن زئولیت امکان دست‌یابی به کاهش نفوذپذیری در نسبت بالاتری از عیار سیمان فراهم شده است.

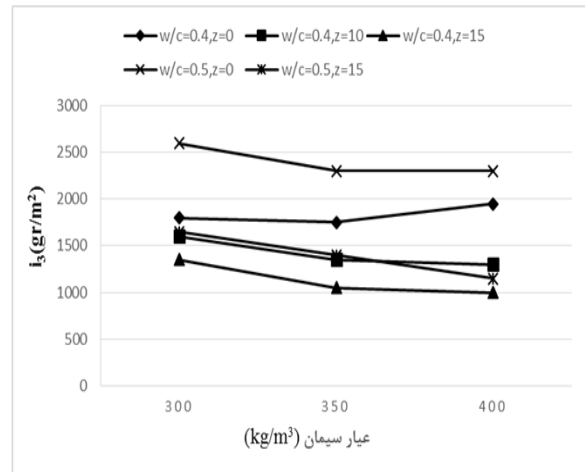
با مقایسه نتایج نمونه‌های بتنی بدون زئولیت، مشاهده می‌شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  درصد جذب آب کاهش می‌یابد و از عیار ۳۵۰ به ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  درصد جذب آب افزایش می‌یابد، به نظر عیار سیمان ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  برای نمونه‌های بتنی بدون زئولیت از نظر جذب آب حجمی نیز بهینه است. اما با مقایسه نتایج نمونه‌های بتنی دارای زئولیت، مشاهده می‌شود که با افزایش عیار سیمان از ۳۰۰ به ۳۵۰ و از ۳۵۰ به ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  درصد جذب آب کاهش می‌یابد، در نتیجه با افزودن زئولیت امکان دست‌یابی به کاهش نفوذپذیری در نسبت بالاتری از عیار سیمان فراهم شده است.

### ۳-۳- نتایج آزمایش جذب آب موئینه

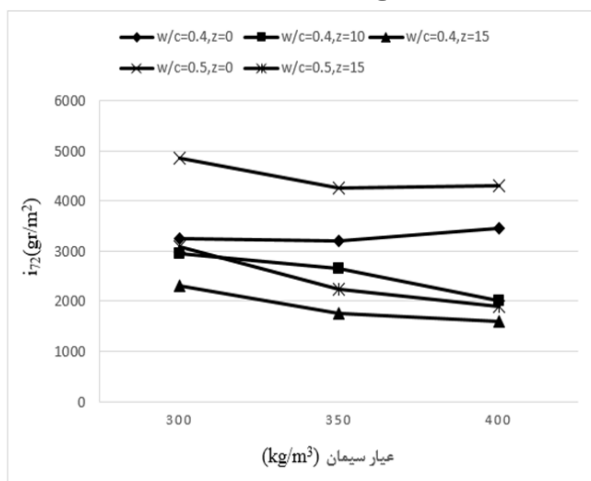
نتایج این آزمایش شکل‌های ۶ تا ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن زئولیت به مخلوط، در عیار سیمان‌های مختلف و در هر دو نسبت آب به سیمان، مقدار جذب آب در واحد



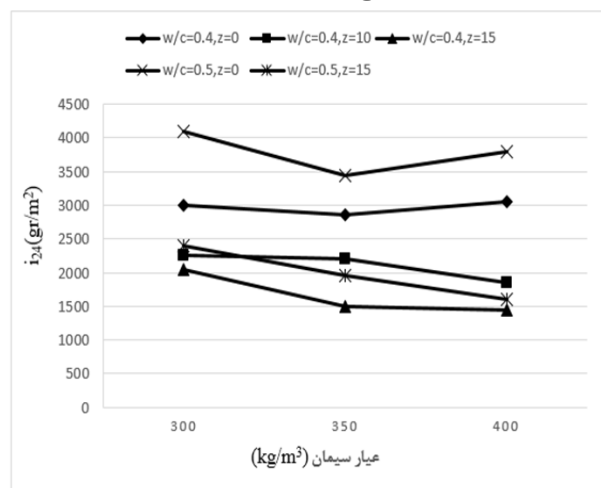
شکل ۷- نتایج جذب آب موئینه (۶ ساعت)



شکل ۶- نتایج جذب آب موئینه (۳ ساعت)



شکل ۹- نتایج جذب آب موئینه (۷۲ ساعت)



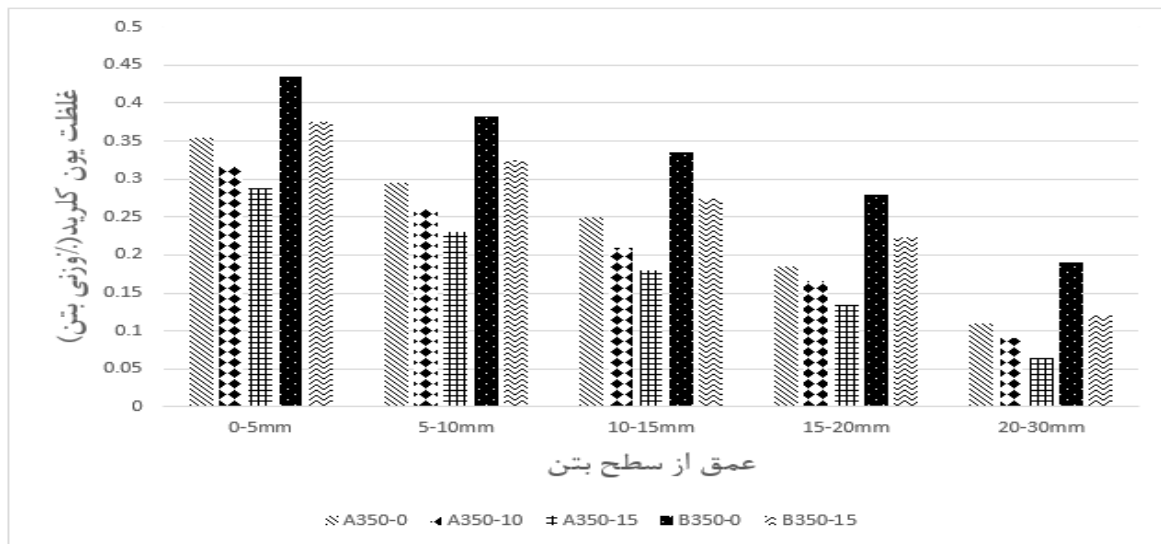
شکل ۸- نتایج جذب آب موئینه (۲۴ ساعت)



### ۳-۴- نتایج آزمایش تعیین پروفیل یون کلر

غلظت یون کلر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰,۴ به ۰,۵، غلظت یون کلر در نمونه‌ها افزایش می‌یابد. دلیل کاهش عمق نفوذ یون کلر اصلاح ریز ساختار بتن و در نتیجه کاهش نفوذ پذیری بتن بر اثر واکنش زئولیت با هیدروکسید کلسیم در حضور رطوبت آزاد داخل شبکه منافذ بتن می‌باشد.

در شکل ۱۰، نتایج آزمایش تعیین پروفیل یون کلر ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود و همان‌گونه که انتظار می‌رود، هرچه عمق نمونه بیشتر می‌شود غلظت یون کلر کم شده و همچنین مشاهده می‌شود که با افزودن زئولیت به مخلوط، در هر دو نسبت آب به سیمان،

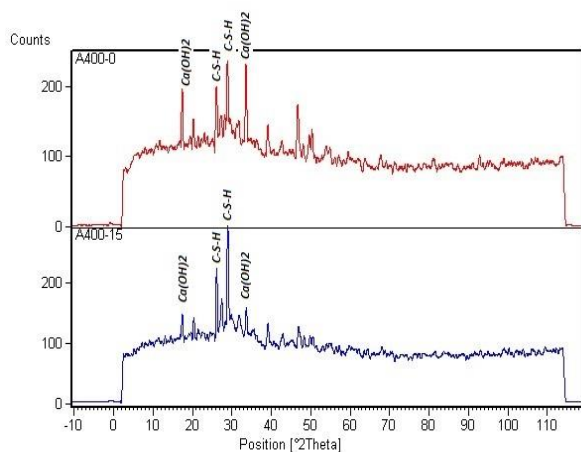


شکل ۱۰- نتایج آزمایش تعیین پروفیل یون کلر

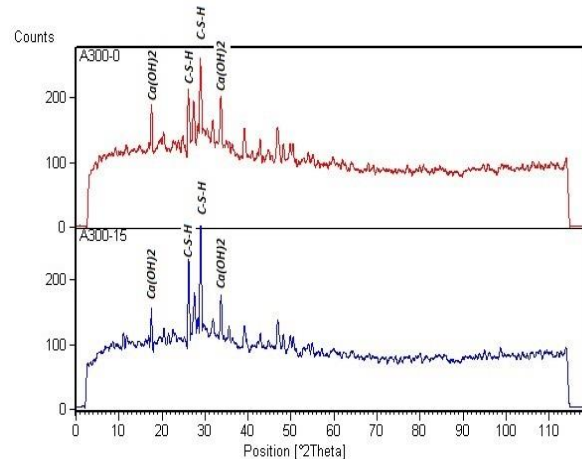
### ۳-۵- نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD)

پوزولانی) این ماده با هیدروکسید کلسیم موجود در بتن می‌شود و با مصرف هیدروکسید کلسیم مقدار این ماده را در بتن کاهش داده (با توجه به کاهش شدت در نمودار) و در عوض مقدار سیلیکات کلسیم هیدراته (ژل C-S-H) را افزایش می‌دهد. نتیجه اینکه بصورت غیر مستقیم از نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و نفوذ پذیری نمونه‌ها قابل پیش بینی بود.

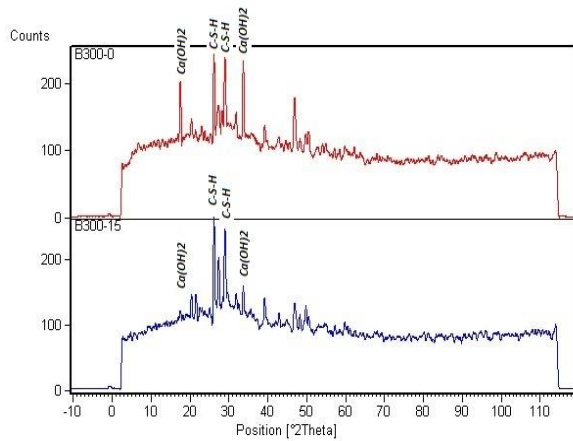
شکل ۱۱ تا ۱۴ نتایج پراش پرتو ایکس را برای نمونه‌های با عیار سیمانی ۳۰۰ و ۴۰۰ kg/m<sup>3</sup> و در دو نسبت آب به سیمان ۰,۴ و ۰,۵ با و بدون زئولیت نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج پراش پرتو ایکس نمونه‌هایی با و بدون زئولیت، مشاهده می‌شود که وجود زئولیت موجب ایجاد واکنش (واکنش



شکل ۱۲- طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌های A400-15 و A400-0



شکل ۱۱- طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌های A300-15 و A300-0

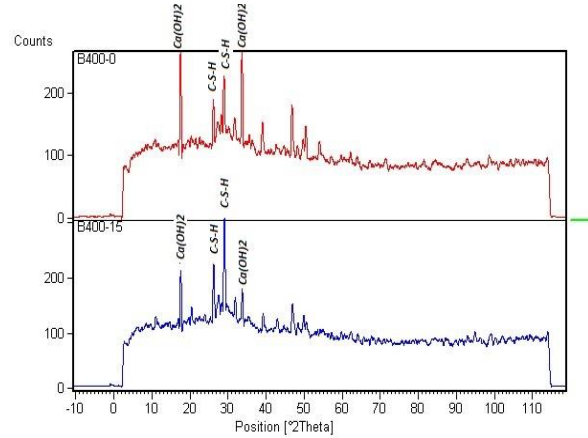


شکل ۱۴- طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌های B400-15 و B400-0

و از همگنی ساختار بتن کاسته می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

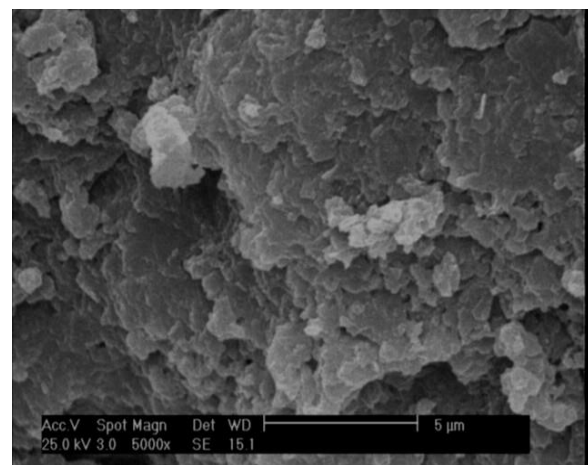
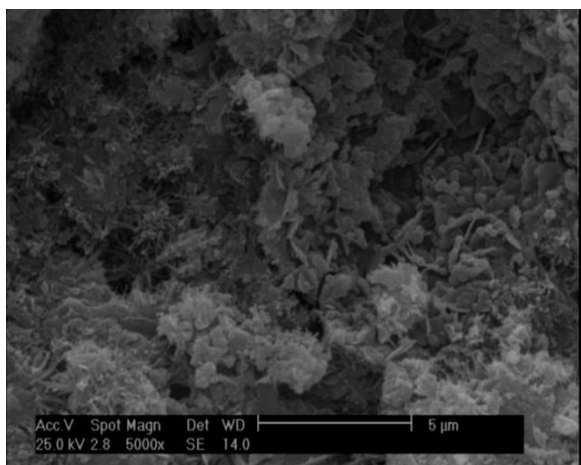
در این پژوهش به بررسی تأثیر ژئولیت به عنوان ماده افزودنی معدنی (پوزولان طبیعی) به صورت پودری به عنوان بخشی از سیمان مصرفی و نیز تأثیر تغییرات عیار سیمان هم به طور جداگانه و هم به طور همزمان با ژئولیت، بر روی مشخصه مقاومت و نفوذپذیری بتن‌های معمولی پرداخته شده است. در این راستا از سه عیار سیمان مختلف ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  و همچنین سه درصد مختلف ژئولیت (۰، ۱۰ و ۱۵٪) به عنوان جای‌گزین سیمان و دو نسبت آب به سیمان ۰٫۴ و ۰٫۵ استفاده شده است. نتایج بررسی‌های انجام گرفته و همچنین آزمایش‌های صورت پذیرفته را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود.



شکل ۱۳- طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌های B300-15 و B300-0

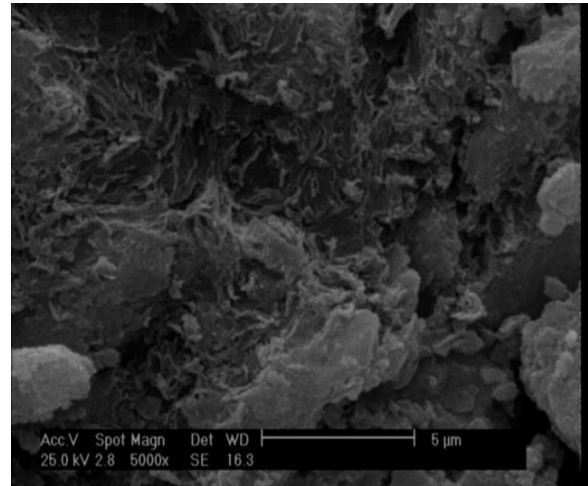
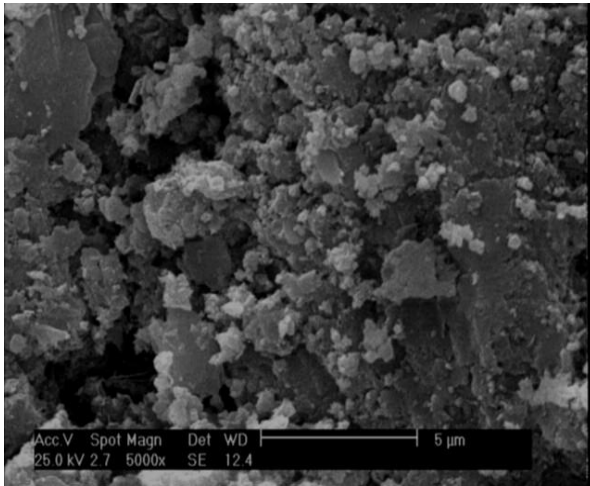
#### ۳-۶- نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل ۱۵ تا ۱۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی را برای نمونه‌هایی با عیار سیمانی ۳۰۰  $\text{kg/m}^3$  و دو نسبت آب به سیمان مختلف ۰٫۴ و ۰٫۵ با دو درصد ژئولیت مختلف ۰ و ۱۵، نشان می‌دهد. با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی، می‌توان دید که اضافه شدن ژئولیت موجب ریزتر شدن منافذ و کاهش خلل و فرج در نمونه می‌شود. در ساختار نمونه‌های بدون ژئولیت کریستال‌های بزرگ و متقاطع و منافذ بزرگ بین آن‌ها به راحتی قابل مشاهده است. در حالیکه با افزوده شدن ژئولیت ساختار نمونه بسیار همگن‌تر شده و منافذ ریزتر می‌شود. همچنین با مقایسه تصاویر می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰٫۴ به ۰٫۵، در ساختار نمونه‌ها منافذ بزرگ‌تر و خلل و فرج بیشتری دیده می‌شود.

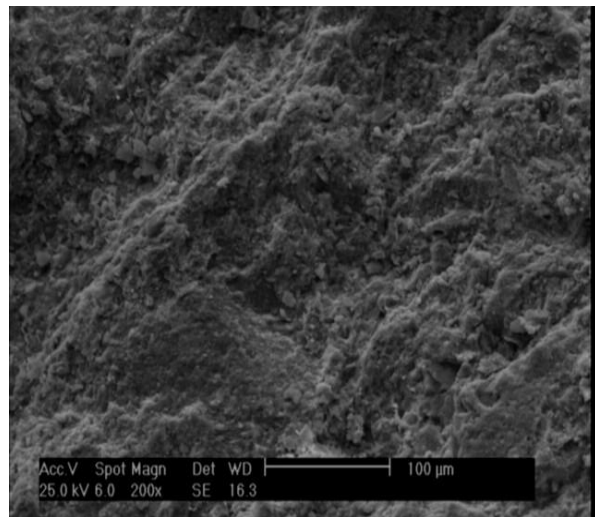
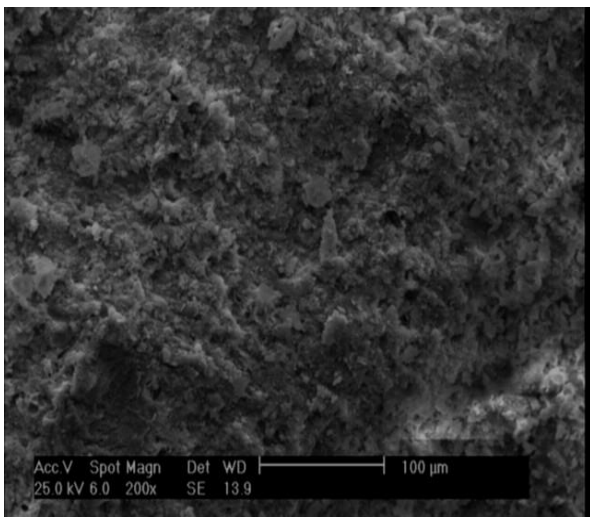


شکل ۱۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی با مقیاس ۵  $\mu\text{m}$  از نمونه با عیار سیمانی ۳۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰٫۴

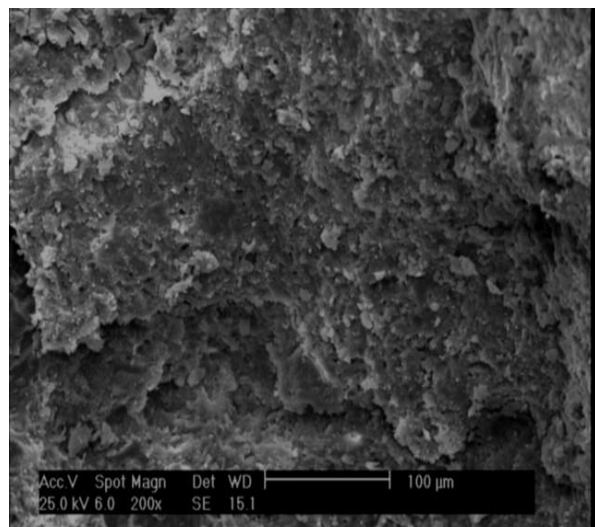
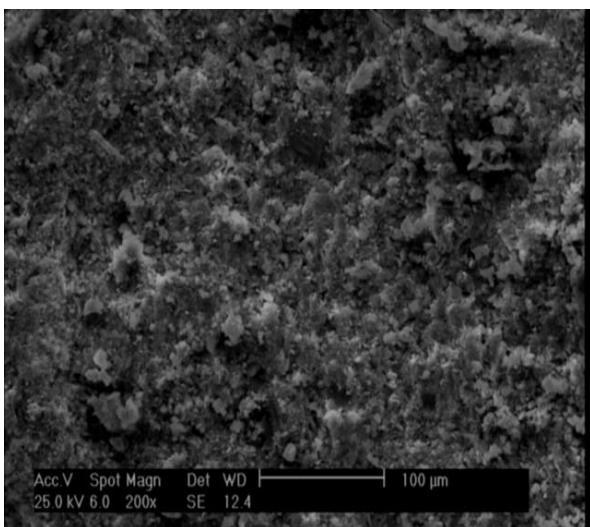
(تصویر سمت چپ نمونه بدون ژئولیت و تصویر سمت راست نمونه با ۱۵ درصد ژئولیت جایگزین سیمان).



شکل ۱۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی با مقیاس  $5 \mu\text{m}$  از نمونه با عیار سیمانی ۳۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰,۵ (تصویر سمت چپ نمونه بدون زئولیت و تصویر سمت راست نمونه با ۱۵ درصد زئولیت جایگزین سیمان).



شکل ۱۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی با مقیاس  $100 \mu\text{m}$  از نمونه با عیار سیمانی ۳۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰,۴ (تصویر سمت چپ نمونه بدون زئولیت و تصویر سمت راست نمونه با ۱۵ درصد زئولیت جایگزین سیمان).



شکل ۱۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی با مقیاس  $100 \mu\text{m}$  از نمونه با عیار سیمانی ۳۰۰ و نسبت آب به سیمان ۰,۵ (تصویر سمت چپ نمونه بدون زئولیت و تصویر سمت راست نمونه با ۱۵ درصد زئولیت جایگزین سیمان).

concrete". *Construction and Building Materials*, NO. 20, PP. 858–865, 2006.

[3] Chindaprasirt P, Rukzon S, Sirivivatnanon V. "Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash." *Construction and Building Materials*, NO. 22, PP. 932–938, 2008.

[4] Valipour M, Pargar F, Shekarchi M, Khani S. "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study." *Construction and Building Materials*, NO. 41, PP. 879–888, 2013.

[5] Alsadat sabet F, Libre N.A, Shekarchi M. "Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash." *Construction and Building Materials*, NO. 44, PP. 175–184, 2013.

[6] Chan Y.N, Ji X. "Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes." *Cement & Concrete Composites*, Vol. 21, PP. 293-300, 1999.

[7] Ahmadi B, Shekarchi M. "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material." *Cement & Concrete Composites*, Vol. 32, pp. 134-141, 2010.

[۸] کلهری، م.، ساییانی، م. «دوام بتن‌های حاوی زئولیت در برابر نفوذ یون‌های کلراید و خوردگی»، دومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، پردیس بندر عباس، ایران، ۱۳۹۱.

[9] Koliass S, Georgiou C. "Effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete." *Cement & Concrete Composites*, Vol. 27, pp. 211–216, 2005.

[10] Yegiter H, Yezici H. "Effect of cement type, water/cement ratio and cement content on sea water resistance of concrete." *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 1770–1776, 2007.

[11] Dahir R.K, McCarthy M.J, Tittle P.A.J. "Role of cement content in specification for concrete durability: Aggregate type Influences." *Structures & Buildings*, No. 159, pp. 229–242, 2006.

[12] Poon C.S, Lam S.C. "The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregate on the properties of pre-cast concrete blocks." *Cement & Concrete Composites*, Vol. 30, pp. 283–289, 2008.

[13] Shi C. "Effect of mixing proportions of concrete on its electrical conductivity and rapid chloride permeability test (ASTM C 1202 or

الف- افزودن درصدی از زئولیت (۱۵٪)، به طور قابل توجهی موجب بهبود مشخصه مقاومت فشاری نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق شده است، بنابراین به نظر می‌رسد جایگزینی حدوداً ۱۵٪ زئولیت به عنوان ماده افزودنی معدنی (پوزولان طبیعی) به صورت پودری به عنوان بخشی از سیمان مصرفی مناسب است. ب- استفاده از زئولیت موجب بهبود خواص نفوذپذیری بتن شده بگونه‌ایکه نفوذ آب و نفوذ یون کلر در بتن با توجه به آزمایش‌های جذب آب حجمی و موئینه و تعیین پروفیل یون کلر، به طور قابل توجهی کاهش یافته است.

پ- در بتن‌های معمولی بدون افزودن زئولیت، عیار سیمانی ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  بیشترین مقاومت فشاری و کمترین نفوذپذیری را نسبت به عیارهای سیمانی ۳۰۰ و ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  می‌دهد. در حالی که به هنگام افزودن زئولیت در بتن، عیار سیمانی ۴۰۰  $\text{kg/m}^3$  بیشترین مقاومت فشاری و کمترین نفوذپذیری را نسبت به عیارهای سیمانی ۳۰۰ و ۳۵۰  $\text{kg/m}^3$  می‌دهد. علت هم می‌تواند واکنش بیشتر زئولیت با هیدروکسید کلسیم ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) موجود در بتن به دلیل وجود بیشتر این ماده در بتن‌های با عیار بالا و تولید ژل C-S-H باشد که موجب بهبود ریزساختار بتن شده و خلل و فرج آن را کم کرده و موجب ساختار همگن تر بتن شده است.

ت- تصاویر بدست آمده از آزمایش SEM نشان می‌دهد که ریزساختار مربوط به نمونه‌های دارای زئولیت و نسبت آب به سیمان پایین متراکمتر از نمونه‌های بدون زئولیت می‌باشد و علاوه بر خلل و فرج کمتر، نمونه‌های همگن‌تری ساخته شده است. ث- نتایج آزمایش XRD نیز تأیید کننده نتایج قبل بوده و نشان می‌دهد که  $\text{Ca(OH)}_2$  در نمونه‌های دارای زئولیت به دلیل مصرف و واکنش با زئولیت کمتر شده و ژل C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته) بیشتری تولید کرده است و موجب بهبود ریز ساختار بتن و در پی آن بهبود خواص آن شده است.

## ۵- مراجع

- [1] Ozyildirim C. "High-performance concrete for transportation structures". *Concrete International Journal*, Vol. 15, No. 1, pp. 33-38, (1993).
- [2] Poon C.S, Kou S.C, Lam L. "Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume

ASSHTO T277) results." *Cement and Concrete Research*, No. 34, pp. 537 – 545, 2004.

[14] Shah S.P, in: Leung C.K.Y, Li Z, Ding J.T. (Eds). "High – performance concrete – Workability, strength and durability." Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 2000.

[15] Hartt W.H, Powers R.G, Leroux V, Lysogorski D.K. "A critical literature review of high performance corrosion reinforcement in concrete bridge application." Report No. FHWA-HRT-04-093, Federal Highway Administration, pp. 54, 2004.

[16] Shain R, Demirboga R. "The effect of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratio on the compressive strength and densities of concrete." *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1245–1249, 2003.

[17] BS 1881: part 116. "Methods for determination of compressive strength of concrete cubes." British Standard Institution, 1993.

[18] ASTM C 642-97. "Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete." Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1997.

[19] RILEM CPC11.21\_TC14\_CPC. "Absorbion of Water by Concrete by Capillary." E and FN SPON, Champman and Hall, 1994.

[20] ASTM C 1556-03, "Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion."

[21] ASTM C 1218-92, "Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", 1992.

[22] Soleimanirad M, Tadayon M, Rezaie F. "Influence of cement content on concrete performance in corrosive environments (sea water)." *Int. J.MAr.Sci.Eng.*, 3(2), 69-76, Spring 2013.

## Effect of Zeolite on the Strength and Permeability of Conventional Concrete with Different Content of Cement

J. Ahmadi \*

Assistant Prof., Civil Engineering Dept., Faculty of Eng., Zanjan University

H. Azizi

M.Sc. of Structural Engineering, Faculty of Eng., Zanjan University

M. Koohi

Student of Structural Engineering, Faculty of Eng., Zanjan University

### Abstract

Pozzolanic materials is one of the strategies to improve strength and durability of concrete. Pozzolanic reactions lead to filling the voids in the concrete and reduces porosity and permeability and thereby increase the durability and strength of concrete. Zeolite is a natural pozzolan is abundant in Iran and is easily extracted and processed. Therefore, in this study, Effect of zeolite on resistance and permeability of concrete with different grades of cement has been investigated. For this purpose, tests of strength, capillary water absorption, determination chloride ion profiles and X-ray diffraction (XRD) was conducted on specimens. In making specimens, various of cement content and different percentages of zeolite and water-cement ratio was used. The results show that addition of zeolite on concrete increased resistance and decreased permeability of specimens compared to the reference concrete. Also results of XRD and SEM images obtained from the tests show that microstructures of specimens containing zeolite, has a greater density than the zeolite without it.

**Keywords:** Zeolite, Durability, Pozzolanic reactions, Volumetric water absorption, Capillary water absorption, XRD.

---

\* Corresponding Author: j\_ahmadi@iust.ac.ir