

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

رشته عمران گرایش سازه های هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیر یون های اصلی موجود در آب دریا بر بتن ساخته شده با MNB

نگارنده : فهیمه طاهرپور کمیشانی

اساتید راهنما:

سید فضل الله ساغروانی

میثم جلالی

استاد مشاور:

امیر عارفی

شهریور ۱۳۹۵

دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فهیمه طاهرپور کمیشانی به شماره دانشجویی: ۹۲۰۹۲۸۴

تحت عنوان: تاثیر یون های اصلی موجود در آب دریا بر بتن ساخته شده با MNB

در تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : سید فضل الله ساغروانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر میثم جلالی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر محسن کرامتی		نام و نام خانوادگی : دکتر رامین امینی
			نام و نام خانوادگی : دکتر جلیل شفقائی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

بدینوسیله لازم می دانم در این تحقیق مراتب قدردانی و تشکر خالصانه خود را از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر ساغروانی و جناب آقای دکتر جلالی و نیز جناب مهندس امیر عارفی، مشاور محترم پروژه، از صمیم قلب ابراز دارم و از خداوند متعال سلامتی و بهروزی را برای ایشان خواستارم.

همچنین به مناسبت زحمات و کمک های بی دریغ و ارزشمند آقایان مهندس کلاتنری و مهندس جامعی که نقش مهمی را در پیشبرد این تحقیق ایفا کردند، کمال تشکر را دارم.

در پایان نیز بر اساس وظیفه و به صورت ویژه احترامات عالیّه خود را نسبت به استاد بزرگوار، سرکار خانم دکتر دهرآزما تقدیم می کنم که با ایفای نقش استادی و نیز کسب موفقیت ها و جایگاه های ارزشمند علمی الگوی بنده و سایر دختران فعال در عرصه مهندسی عمران بوده و هستند.

تعهدنامه

اینجانب فهیمه طاهرپور کمیشانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه "تأثیر یون‌های اصلی موود در آب دریا بر بتن ساخته شده با MNB" تحت راهنمایی دکتر سید فضل الله ساغروانی "متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام گردیده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جایگاه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت گردیده است.

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در این پایان نامه تاثیر یون های اصلی موجود در آب دریا بر بتن MNB (میناب^۱) به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای ساخت نمونه های بتنی از طرح اختلاط مصالح با نسبت آب به سیمان ۰,۶۱ استفاده گردید. برنامه آزمایش ها شامل ۶۶ نمونه مکعبی ۱۵ سانتی متری برای اندازه گیری مقاومت فشاری، شش تیر بتنی ۱۰ در ۱۰ در ۳۳ سانتی متری برای اندازه گیری مقاومت خمشی و ۶ نمونه استوانه ای ۱۵ در ۳۰ سانتی متری برای اندازه گیری مقاومت کششی است. در تمامی آزمایش ها از نمونه های سه تایی استفاده شده است. نمونه های ساخته شده پس از دوره های عمل آوری ۱، ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۵۰ روزه مورد آزمایش مقاومت های کششی، فشاری و خمشی قرار گرفتند. نتایج آزمایش ها نشان دادند که مقاومت فشاری بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا در سنین ۷ و ۲۸ روزه مشابه دیگر بتن های عمل آوری شده در آب دریا افزایش داشتند اما مقاومت طولانی مدت آن ها بر خلاف دیگر بتن های عمل آوری شده در آب دریا با کاهش مقاومت مواجه نمی شود. مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا با افزایش حدود ۶ درصدی و مقاومت کششی ۱ روزه بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا با افزایش قابل توجه حدود ۷۰ درصدی همراه بود. مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با ترکیب آب دریا و میناب در محیط دریایی تفاوت قابل توجهی با نمونه های ساخته شده با میناب نداشتند.

واژگان کلیدی: آب دریا؛ میناب؛ مقاومت فشاری؛ مقاومت کششی؛ مقاومت خمشی

^۱ میکرو نانو حباب هوا

فهرست عنوان‌ها

ح	چکیده
خ	فهرست عنوان‌ها
ر	فهرست شکل‌ها
ش	فهرست جدول‌ها
ص	فهرست نشانه‌ها
۱	فصل ۱ مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۱-۲- ضرورت انجام تحقیق
۳	۱-۳- زمینه نوآوری تحقیق
۳	۱-۴- معرفی ساختار پایان نامه
۵	فصل ۲ مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق
۶	۲-۱- مقدمه
۶	۲-۲- بتن
۶	۲-۳- استفاده از فناوری نانو بتن
۷	۲-۴- تاریخچه بتن در محیط‌های دریایی
۱۸	۲-۵- بتن‌های ساخته شده با نانو ذرات مختلف
۱۸	۲-۵-۱- نانو ذرات اکسید کلسیم
۱۹	۲-۵-۲- نانو لوله های کربنی
۲۰	۲-۵-۳- نانو ذرات اکسید آلومینیم
۲۰	۲-۵-۴- نانو ذرات اکسید آهن
۲۱	۲-۵-۵- نانو ذرات اکسید تیتانیوم

۲۱	۶-۲- کاربرد مواد افزودنی حباب زا در بتن و ویژگی‌های بتن حاوی این افزودنی‌ها
۲۲	۷-۲- بتن تولید شده با میکرو نانو حباب
۲۲	۱-۷-۲- کلیاتی درباره میکرو نانو حباب‌ها
۲۳	۲-۷-۲- ویژگی‌های بتن ساخته شده با میکرو نانو حباب
۲۵	فصل ۳ جزئیات و برنامه آزمایش‌ها
۲۶	۱-۳- برنامه آزمایش‌ها
۲۶	۲-۳- بتن
۲۷	۳-۳- طرح اختلاط
۲۸	۱-۳-۳- آب اختلاط
۲۸	۲-۳-۳- خصوصیات شیمیایی آب اختلاط
۲۸	۱-۲-۳-۳- آب شهری
۲۹	۲-۲-۳-۳- آب دریا
۳۰	۴-۳- تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌ها
۳۰	۱-۴-۳- آزمایش مقاومت فشاری
۳۱	۲-۴-۳- آزمایش مقاومت خمشی چهار نقطه ای
۳۳	۳-۴-۳- آزمایش مقاومت کششی
۳۳	۵-۳- نحوه اختلاط و قالب گیری
۳۳	۶-۳- شرح آزمایش‌ها
۳۳	۱-۶-۳- آزمایش مقاومت فشاری
۳۳	۲-۶-۳- آزمایش مقاومت خمشی
۳۶	۳-۶-۳- آزمایش مقاومت کششی (برزلی)
۳۷	فصل ۴ تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها

۳۸	 ۱-۴-مقدمه
۳۸	 ۲-۴-مقاومت فشاری بتن
۳۸	 ۱-۲-۴-بتن ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب دریا
۴۰	 ۲-۲-۴-بتن ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده در آب دریا
	 ۳-۲-۴-نمونه‌های ساخته شده با ترکیب آب دریا و میناب و عمل آوری شده
۴۳	 در آب معمولی
۴۸	 ۳-۴-آزمایش مقاومت خمشی
۴۸	 ۱-۳-۴-محاسبات
۵۱	 ۲-۳-۴-نتایج
۵۱	 ۴-۴-آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)
۵۱	 ۱-۴-۴-محاسبات
۵۲	 ۴-۲-۴-۴-نتایج
۵۳	 فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات برای مطالعه بعدی
۵۴	 ۱-۵-نتیجه گیری
۵۶	 منابع
۵۹	 پیوست الف

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱- جک هیدرولیکی استفاده شده برای آزمایش مقاومت فشاری ۳۱

شکل ۳-۲- دستگاه جک هیدرولیکی استفاده شده برای آزمایش مقاومت خمشی ۳۲

شکل ۳-۳- میله دوشاخه مورد استفاده در آزمایش مقاومت خمشی ۳۲

شکل ۳-۴- شکل هندسی دستگاه آزمون مقاومت خمشی بتن - روش بارگذاری چهار نقطه‌ای ۳۴

شکل ۳-۵- آزمایش مقاومت خمشی تیر بتنی ۳۴

شکل ۳-۶- آزمایش مقاومت کششی (برزیلی) ۳۶

شکل ۴-۱- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب

و عمل آوری شده در آب دریا و آب معمولی ۳۹

شکل ۴-۲- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب

و عمل آوری شده در آب دریا و آب معمولی ۳۹

شکل ۴-۳- نمودار مقاومت فشاری ۱۵۰ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب

و عمل آوری شده در آب دریا و آب معمولی ۴۰

شکل ۴-۴- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده

در آب دریا و آب معمولی ۴۱

شکل ۴-۵- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده

در آب دریا و آب معمولی ۴۲

شکل ۴-۶- نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده

در آب دریا و آب معمولی ۴۲

شکل ۴-۷- نمودار مقاومت فشاری ۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب دریا و عمل آوری شده

در آب معمولی ۴۳

شکل ۴-۸- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۲۵٪ آب دریا و ۷۵٪ آب حاوی

میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۴

شکل ۴-۹- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۵۰٪ آب دریا و ۵۰٪ آب حاوی

میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۴

شکل ۴-۱۰- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۷۵٪ آب دریا و ۲۵٪ آب

حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۵

شکل ۴-۱۱- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی میکرو نانو حباب

و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۵

شکل ۴-۱۲- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب دریا و عمل آوری شده

در آب معمولی ۴۶

شکل ۴-۱۳- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۲۵٪ آب دریا و ۷۵٪ آب

حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۶

شکل ۴-۱۴- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۵۰٪ آب دریا و ۵۰٪ آب

حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۷

شکل ۴-۱۵- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۷۵٪ آب دریا و ۲۵٪ آب

حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۷

شکل ۴-۱۶- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی میکرو نانو حباب

و عمل آوری شده در آب معمولی ۴۸

شکل ۴-۱۷- تیر بتنی قبل از اعمال بار در آزمایش مقاومت خمشی ۵۰

شکل ۴-۱۸- تیر بتنی بعد از اعمال بار در آزمایش مقاومت خمشی ۵۰

شکل ۴-۱۹- نمودار مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه‌های میناب عمل آوری شده در آب دریا و

آب شیرین ۵۱

شکل ۴-۲۰- نمودار مقاومت‌های کششی نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد ۱ روزه ۵۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۳-۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی ۲۷
- جدول ۳-۲- نسبت وزنی مواد بکار رفته در ساخت نمونه های بتن ۲۸
- جدول ۳-۳- مشخصات شیمیایی آب شهری ۲۹
- جدول ۳-۴- مقدار یون‌های آب دریای مورد استفاده ۳۰
- جدول ۳-۵- مشخصات جک هیدرولیکی Toni Technik (بر گرفته از کاتالوگ دستگاه) ۳۰
- جدول ۳-۶- قطر میله و تعداد ضربه‌ها برای نمونه‌های آزمون خمشی ۳۵

فهرست نشانه‌ها

a	میانگین فاصله بین مقطع ترک خورده و نزدیک ترین تکیه گاه
b	میانگین عرض آزمون در نقطه شکست
d	قطر آزمون
L	طول آزمون
P	حداکثر بار اعمال شده
R	مدول شکستگی
T	مقاومت کششی

فصل اول

مقدمه

میکرو-نانو حباب‌ها^۱، حباب‌های ریز حاوی گاز در محلول آبی هستند که به روش‌های مختلفی تولید می‌شوند. یکی از این روش‌ها کاویتاسیون هیدرودینامیکی^۲ است که در این تحقیق از آن استفاده شد. کاویتاسیون هیدرودینامیکی زمانی روی می‌دهد که به علت سرعت بالای جریان، فشار در یک نقطه در یک مایع به طور لحظه‌ای به زیر فشار بخار کاهش یابد.

میکرو-نانو حباب‌های هوا در بتن باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن می‌شود. دمای هیدراتاسیون و زمان گیرش اولیه و نهایی ترکیب سیمان با آب حاوی میناب نیز کاهش می‌یابد. از دیگر ویژگی‌های بتن حاوی میناب می‌توان به اسلامپ و روانی کمتر نسبت به بتن معمولی اشاره کرد. طبق نتایج حاصل از پژوهش‌های سابق، رفتار بتن حاوی میناب مشابه بتن دارای دیگر نانو ذرات می‌باشد و شباهتی به بتن هوادار ساخته شده با مواد افزودنی حباب‌زا ندارد (عارفی، ۱۳۹۳).

در این پایان نامه برای اولین بار تاثیر یون‌های اصلی موجود در آب دریا بر بتن ساخته شده با میناب مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار می‌رود که به کمک میکرو-نانو حباب‌ها بتوان به بتن مقاوم‌تری در محیط‌های دریایی دست یافت و راه‌حلی برای مقاوم سازی سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی ارائه کرد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

در یکصد سال اخیر به دلیل گسترش و اهمیت فعالیت‌های نفتی، حمل و نقل دریایی و همچنین توجه به استخراج معادن در بستر دریاها، فعالیت‌های ساختمانی مانند ساخت اسکله‌ها، سکوها و ... در مناطق ساحلی و اقیانوسی افزایش چشم‌گیری داشته است. اگرچه در گذشته از ملات‌های آبی در ساخت و سازه‌های دریایی استفاده می‌شد، اما امروزه، قسمت اعظم این بناها با بتن ساخته می‌شود.

¹Micro nano bubbles

²Hydrodynamic Cavitation

هرچند بتن دارای دوام و عملکرد سازه ای عالی می باشد، اما زمانیکه در معرض محیط دریایی قرار می گیرد، به علت خوردگی آرماتورهای بتن در نتیجه واکنش با یون های موجود در آب دریا و یا پوکیدگی بتن ناشی از مجاورت با نمک های موجود در آب دریا^۱، دچار زوال می شود. خرابی های سازه های بتنی در سواحل موجب خسارات جبران ناپذیری در ساختار سازه ها می شود. تعمیرات چنین سازه هایی بسیار پر خرج است و در صورتیکه با مواد مناسب و با استفاده از روش های صحیح انجام نشود، این خرابی ها مجددا در زمان های کوتاهی ظاهر می شوند. در این پژوهش با بررسی تاثیر یون های مضر دریا بر بتن میناب، مقاومت بهتر این بتن در محیط های دریایی را بررسی کرده در جهت افزایش دوام بتن در محیط های دریایی گام برداریم.

۱-۳- زمینه نوآوری تحقیق

در این پژوهش، برای نخستین بار بتن ساخته شده با میکرونانو حباب هوا (میناب) که در محیط های غیر دریایی دارای مقاومت فشاری، کششی و خمشی بیشتری در مقایسه با بتن بدون میکرو نانو حباب هوا است، در معرض آب دریا قرار داده شد تا تاثیر یون های مضر آب دریا بر مقاومت آن بررسی شود.

۱-۴- معرفی ساختار پایان نامه

این پایان نامه از ۵ فصل تشکیل شده است. در فصل اول آن به تعریف موضوع و ضرورت انجام تحقیق پرداخته می شود. در فصل دوم، تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق به طور خلاصه بیان می شود. مشروح آزمایش ها و تجهیزات استفاده شده در فصل سوم بیان می شود. نتایج حاصل از آزمایش ها و تحلیل آن ها در فصل چهارم بیان می شود. در پایان، نتیجه گیری و پیشنهادات برای پژوهش های آینده در فصل پنجم ارائه می شود.

¹Deterioration

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته و مبانی

تحقیق

۲-۱- مقدمه

این فصل به تحقیقات گذشته و مبانی تحقیق می‌پردازد. در ابتدا به توصیف بتن و کاربرد آن می‌پردازیم. پس از آن کاربرد فناوری نانو در صنعت بتن بیان می‌شود. بخش بعدی به تاریخچه بتن در محیط‌های دریایی می‌پردازد. سپس بتن‌های ساخته شده با نانو ذرات مختلف به طور خلاصه معرفی می‌شوند. در ادامه کاربرد مواد افزودنی حباب‌زا در بتن و ویژگی‌های بتن حاوی این افزودنی‌ها مطرح می‌شود. در پایان نیز بتن تولید شده با میکرو نانو حباب معرفی می‌شود.

۲-۲- بتن

بتن در مفهوم وسیع، به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد، گفته می‌شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان‌های هیدرولیکی و آب می‌باشد. بتن از پر کاربردترین مصالح ساختمانی است. ویژگی اصلی بتن ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن است. کاربرد بتن را می‌توان در تمامی کارهای عمرانی از قبیل ساختمان، مخازن و نیروگاه‌ها، سازه‌های دریایی مثل اسکله‌ها، جاده‌ها و راه‌ها، مسیرهای انتقال آب و سدها و ... مشاهده کرد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بهبود کیفیت بتن انجام شده است که اکثر آن‌ها تغییر در ترکیب بتن (که به آن طرح اختلاط بتن گفته می‌شود) را بررسی کرده‌اند، با این حال استفاده از افزودنی‌ها و همچنین جایگزین کردن مصالح متداول مورد استفاده در بتن با مصالح جدید همیشه مورد توجه بوده است.

۲-۳- استفاده از فناوری نانو در بتن

از مواد جدیدی که توانسته‌اند خواص مکانیکی و فیزیکی بتن را ارتقا دهند، نانو موادها هستند. نانو موادها با توجه به خصوصیات شان در سطوح بسیار ریز می‌توانند دنیای بتن را کاملاً متحول کنند.

استفاده از فناوری نانو در صنعت بتن به چند سال اخیر بر می‌گردد. از حدود ۸۰ سال پیش تاکنون استفاده از سیلیکا در ابعاد میکرون به صورت گسترده‌ای در بتن‌های پایه سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است. ثابت شده است که استفاده از ذرات ریزتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن گردیده است، با این حال کمبود دانش و درک ضعیف از اثر ذرات فوق ریز و نانو ذرات در تکنولوژی بتن، تحقیقات فراوانی را در این زمینه می‌طلبد.

علم نانو و مهندسی نانو که گاهی با عبارت بهسازی نانویی در بتن بیان می‌شوند، عناوینی هستند که برای توصیف دو مسیر در تحقیقات فناوری نانو در بتن استفاده می‌شوند (Scrivener, Raki, 2009). علم نانو به اندازه گیری و توصیف ساختار مواد پایه سیمانی در مقیاس نانو و میکرو برای درک بهتر رفتار در مقیاس بزرگ (ماکرو) و عملکرد آن از طریق استفاده از تکنیک‌های پیشرفته توصیف و مدل سازی مربوط به سطح اتمی یا ملکولی می‌پردازد. نانو مهندسی شامل تکنیک‌های دستکاری ساختار در مقیاس نانومتری به منظور ایجاد نسل جدید و مناسب کامپوزیت‌های سیمانی با رفتار مکانیکی ایده‌آل است و حتی می‌توان بتن با خواص جدیدی مثل مقاومت الکتریکی پایین، هوشمند بودن، خود تمیز کننده، خود ترمیم کننده، شکل پذیری بالا و ... به وجود آورد. فعالیت‌های تحقیقاتی اخیر در زمینه فناوری نانو در بتن شامل: بررسی ذاتی هیدراتاسیون در سیمان، تاثیر اضافه کردن نانو سیلیکا به بتن، اضافه کردن نانو ذرات به سیمان، بتن و پوشش‌های سیمانی و مشاهده تاثیرات آن‌ها بر رفتار و مشخصات ایجاد شده است (Perumalsamy & Chong, 2006).

۲-۴- تاریخچه بتن در محیط‌های دریایی

عموما تصور بر این است که بتن یکی از مصالح بسیار با دوام است. ولی تاریخچه‌ی بتن در محیط دریایی حاکی از آن است که در مقابل آب دریا به عنوان یکی از خورنده ترین محیط‌های طبیعی در جهان، بتن

از نقطه نظر دوام^۱ در معرض مشکلات جدی قرار دارد. دوام بتن به طور کلی به عنوان توانایی آن برای مقاومت در برابر تاثیرات محیط در عین حفظ عملکرد مطلوب آن اتلاق می شود (Hoff,1991).

زوال بتن را می توان به صورت پدیده ای توصیف کرد که طی آن مقاومت بتن با کنش عوامل متعدد مانند آتش ، بارگذاری، محیط و حملات شیمیایی (مانند یون های کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و پتاسیم) کاهش می یابد که این امر می تواند منجر به تخریب بتن شود (Scherer,1999).

پدیده حمله آب دریا به بتن حمله شیمیایی نامیده می شود. حمله شیمیایی توسط عوامل مختلف در آب دریا آغاز می شود. شدت حمله شیمیایی به عوامل تهاجمی^۲ استفاده شده در سیمان بستگی دارد. این عوامل به همراه تبخیر آب دریا با سیمان واکنش داده و ممکن است موجب خوردگی بتن شوند (Dhir, R and Newlands, M. (1999)).

زوال شیمیایی بتنی که در معرض آب دریا قرار می گیرد موضوع مورد علاقه محققان بتن در چند دهه اخیر بوده و یافته ها حقایق مهمی را نشان داده اند اما این موضوع همچنان یک موضوع پویا برای تحقیق و مطالعه بیشتر است (Kumar,2000).

زوال سریع توسط یون کلر انجام می شود. این یون به درون بتن حمله کرده و علی رغم اینکه واکنش بتن با یون های کلر جزئی است، به بتن خسارت وارد می کند. یون های کلر بر روند خوردگی و دیگر فاکتورهایی که بتن را در آب دریا تضعیف می کنند، اثر می گذارند. اگر از سنگدانه های واکنشی^۳ استفاده شود، کلسیم و پتاسیم نیز ممکن است با سیمان واکنش نشان دهند. یون منیزیم به طور کلی یون های دیگر را با سیمان مبادله کرده و آن را ضعیف می سازد. مطالعات و آزمایش ها نشان می دهند که در دمای پایین، احتمال حمله یون های سولفات بسیار زیاد است در حالی که در دمای بالا، احتمال حمله همه

¹durability

¹Aggressive Agents

²Reactive Aggregates

یون‌های دیگر بالاست. در آب و هوای گرم، حمله آب دریا بر سازه‌های بتنی بیشتر از آب و هوای سرد است (Mitchell, D and Frohnsdorff, G. (2004)).

به طور کلی فرآیند تخریب بتن‌هایی که در مجاورت آب دریاها هستند، ناشی از چندین عامل فیزیکی و شیمیایی است. پیش‌بینی عملکرد بتن در حضور آب دریا کار آسانی نیست، زیرا تعداد زیادی از واکنش‌های شیمیایی در شرایط غیرتعادلی، در حال انجام است و اطلاعات حاصل از شرایط تعادل ترمودینامیکی در بهترین شرایط، تنها می‌تواند به عنوان یک راهنما مورد استفاده قرار گیرد. آب دریا دارای یون‌های مخرب زیادی است که هر یک به طور جداگانه اثر نامطلوبی بر روی بتن دارند، اما ممکن است اثر تخریبی ترکیبی آن‌ها، کمتر از اثر هر کدام به صورت جداگانه باشد. تاثیر آب دریا بر بتن برای اولین بار در سال ۱۸۴۰ توسط ویکات و اسمیتون^۱ مورد بحث قرار گرفت. بررسی دو ساله آن‌ها بر موضوع تحقیقی با عنوان "مشکل بتن در آب دریا چیست" نشان داد که تعداد زیادی از سازه‌های دریایی در آب دریا در ایالات متحده، کانادا، کوبا و پاناما در معرض زوال شیمیایی قرار دارند (Tibbetts, 1968).

ترکیبات شیمیایی اولیه آب دریا در محل‌های مختلف متفاوت است، اما به طور کلی می‌توان گفت یون‌های کلر، سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم یون‌های اصلی موجود در آب دریا هستند. در آب دریا کلرید سدیم (NaCl) نمک غالب است (حدود ۸۸٪ وزن نمک) (MacCoy, 1996).

تحقیقات جدیدتر بر روی سازه‌های دریایی تخریب شده حاکی از آن است که در بتن نفوذپذیر علاوه بر حمله‌ی سولفات منیزیم حمله‌ی اسید کربنیک (ناشی از CO₂ محلول در آب دریا) نیز عامل مهمی است.

واکنش‌های شیمیایی آب دریا بر بتن عمدتاً ناشی از عملکرد مخرب سولفات منیزیم (MgSO₄) موجود در آب دریا بر سیمان است. سولفات‌های پتاسیم و منیزیم (K₂SO₄, MgSO₄) موجود در آب شور

¹Vicat & Smithon

می‌توانند موجب تخریب بتن شوند زیرا می‌توانند ابتدا با هیدروکسید کلسیم (Ca(OH)_2) واکنش دهند که در مجموعه سیمان تشکیل شده توسط دی کلسیم سیلیکات (C_2S) و تری کلسیم سیلیکات (C_3S) موجود است. حمله سولفات منیزیم (MgSO_4) بسیار مخرب است و موجب تشکیل هیدروکسید منیزیم محلول (Mg(OH)_2) می‌شود که به نوبه خود موجب واکنش نیروها برای تشکیل گچ می‌شود (Swamy, 1991).

یون‌های کلر می‌توانند در بتن نفوذ کرده و موجب تسریع خوردگی آرماتور شوند. واکنش شیمیایی خمیر سیمان با محتوای بالای کلر آب دریا عموماً کم بوده و موجب نگرانی اولیه نیست. یون‌های سدیم و پتاسیم ممکن است موجب واکنش قلیایی سنگدانه‌ها شده یا آن را تشدید کنند، در صورت استفاده از سنگدانه‌های واکنشی و یون‌های منیزیم و سولفات موجب تضعیف عملکرد خمیر سیمان می‌شوند [Uddin et al., 2004].

حمله یون‌های سولفات در حضور نفوذپذیری در سیمان، با فرآیند تبلور^۱ و تبلور مجدد^۲ افزایش می‌یابد. سولفات موجب تغییر شیمیایی در سیمان و کاهش مقاومت بندها می‌شود. زمانی که از سیمان پرتلند در مقدار زیاد استفاده می‌شود، به علت وجود یون‌های سولفات در سیمان، حمله شیمیایی به صورت گسترش ترک‌ها نیست بلکه به صورت خوردگی یا کاهش مولفه‌های اصلی تشکیل دهنده ماده است (Kansso, 2015).

در محیط‌هایی که یون‌های هیدروکسید با یون‌های کلر جایگزین می‌شوند، اثر اترینگیت سرکوب می‌شود. گسترش یا تورم اترینگیت با جذب آب در محیط‌های قلیایی بیشتر است. طراحی نامناسب اترینگیت یا انتخاب نامناسب مصالح ساخت و ساز بدون در نظر گرفتن فاکتورهای مناسب با توجه به مکانیسم گسترش سولفات موجب مشکلات زیادی می‌شود. زمانی که اثر یون سولفات به علت وجود

¹Crystallization

²Recrystallization

یون کلر سرکوب می‌شود، انتخاب نامناسب مصالح بر مقاومت بتن تاثیر گذار خواهد بود (Sulapha, P (2003), Wong, S., Wee, T. And Snaddi, S. (2003))

مورد خاصی از حمله سولفاتی، تشکیل با تاخیر اترنگیت^۱ (DEF) است. این پدیده در بتن ریزی‌های حجیم که گرمای هیدراتاسیون منجر به دماهای بالا در بتن می‌شود، قابل وقوع است. DEF موجب انبساط بتن در نتیجه تشکیل اترینگیت درون خمیر شده و می‌تواند آسیب شدیدی به سازه‌های بتنی وارد کند.

برخی مطالعات تاثیرات ترکیب و عمل آوری آب دریا بر مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان و بتن متناظر آن را نشان داده اند. تحقیقات نشان می‌دهد که آب دریا برای ترکیب و عمل آوری بتن ساده و آرماتوربندی شده در شرایط دریایی مفید است (Akinkurolere et al, 2007).

افزودن خاک رس به ترکیب بتن می‌تواند مقاومت فشاری بتن را در شرایط معمولی افزایش داده و عملکرد بتن سخت شده را برای مقاومت در برابر عوامل تهاجمی آب شور دریا افزایش دهد. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که کامپوزیت سرباره کوره مقاومت خوبی در محیط‌های دریایی داشته و سطح جایگزینی ریزدانه‌ها با سرباره کوره و سنگ بازالت تاثیر سودمندی بر افت مقاومت فشاری ناشی از حمله آب دریا و مقدار سایش دارد (Naghoj and Abdel-Rahmna, 2005).

برخی مطالعات نیز بر تاثیر غلظت‌های مختلف محلول‌های شیمیایی، کیفیت انواع بتن‌ها، سطح بار تنش اعمالی بر مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بتن و همچنین مکانیزم خوردگی آرماتور فولاد متمرکز بودند (Scheider and Chen, 2005).

تحقیقات نشان می‌دهد که بتن عمل آوری شده در یک محلول حاوی سولفات سدیم، افت حجم بتن بیشتری دارد. مطالعات اخیر بر عملکرد بتن تحت حمله سولفاتی نشان داد که این عملکرد باید به چند پدیده تقسیم شود: جذب و انتشار سولفات و تاثیر شرایط محیطی (Ferraris et al, 2006).

³Delayed ettringite formation

استفاده از نسبت‌های آب به سیمان پایین بزرگترین مقاومت را نسبت به حمله سولفاتی به بتن فراهم کرده و ترکیب سیمان پرتلند در ارتباط با عملکرد محلول‌های سولفاتی اهمیت کمتری دارد. به علاوه، فرآیند تبلور نمک بتن در مقایسه با واکنش شیمیایی آلومینات سولفات و هیدراتاسیون سیمان منابع خارجی، علت اصلی نگرانی می‌باشد. درواقع، بتن با تنش‌های ایجاد شده توسط تبلور نمک‌ها در حفره‌ها، تخریب می‌شود (Stark,2002, Mehta and Monteiro,2005).

تحقیقات انجام شده درباره استفاده از آب شور در تولید بتن نشان داد که مقاومت بتن تولید شده با آب شور حدود ۸٪ کمتر از مقاومت بتن تولید شده با آب شیرین می‌باشد. وجود کلر و سولفات در آب شور مقاومت بتن را کاهش می‌دهد (E.M.Mbadike,A.U.Elinwa,2011).

استفاده از آب دریا در ترکیب و عمل آوری بتن موجب افزایش مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی ۷ روزه و ۱۴ روزه آن در مقایسه با بتن ساخته شده و عمل آوری شده با آب شیرین می‌شود (Taylor&Francis,2014).

ابورای و سوامی^۱ با افزودن نمک طعام به نمونه‌های بتنی و انجام آزمایشاتی بر روی آن‌ها، ویژگی‌های مهندسی و دوام بتن ساخته شده با و بدون کلراید را در محیط‌های دریایی بررسی کردند. تحقیق آنها نشان داد که بتن‌های حاوی کلراید دارای مقاومت اولیه بیشتری در مقایسه با بتن‌های بدون کلراید هستند اما مقاومت طولانی مدت برای هر دو مورد مشابه است. هیچ قانون ساده‌ای درباره افزایش مقاومت طولانی مدت بتن حاوی نمک که در مجاورت محیط‌های دریایی قرار می‌گرفت، وجود ندارد. با این حال، بتن‌های حاوی کلراید در شرایط عمل آوری مورد بررسی دچار کاهش قابل توجه مقاومت با افزایش سن شدند اگر سازه در طول خدمت در معرض هوا نیز قرار گیرد، این امر خطر خوردگی آرماتور را افزایش می‌دهد. مخرب‌ترین تاثیر آب دریا بر سازه‌های بتنی از تاثیر کلر بر آرماتور فولادی و ساختمان نمک نشات می‌گیرد (Aburawi and Swamy,2008).

¹Aburawi & Swamy

الوتوج^۱ و همکاران تاثیر آب دریا را بر مقاومت فشاری بتن بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود ۱۴۰ نمونه مکعب بتنی ۱۵ سانتی‌متری را با استفاده از آب شیرین و آب دریا ساخته، نیمی از آن‌ها را در آب شیرین و نیمی از آن‌ها را در آب دریا عمل آوری کردند. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ و ۹۰ روزه شکسته شدند. این تحقیق افزایش مقاومت فشاری بتن را برای نمونه‌های بتنی ترکیب و عمل آوری شده با آب دریا نشان داد. مقاومت فشاری بتن زمانی که با آب شیرین ساخته و در آب دریا عمل آوری شد و در حالت برعکس آن نیز، افزایش یافت Olutoge, F (et al, 2014).

شایان^۲ و همکاران به منظور بررسی تاثیر آب دریا در تخریب ستون‌های پل، تاثیر سدیم کلراید را بر واکنش قلیایی سنگدانه‌ها^۳ (AAR) در شرایط عمل آوری مختلف بررسی کردند. در این تحقیق نمونه‌های بتن با سنگدانه‌هایی با واکنش پذیری مختلف در آب نمک (به جای آب دریا) در دماهای ۳۸، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد عمل آوری شدند. نتایج تحقیق نشان دادند که عمل آوری در آب نمک در دماهای کم یا زیاد تاثیر قابل توجهی بر AAR نداشت. در این تحقیق مشخص شد که زوال ستون‌های پیش تنیده در آب دریا که توسط شایان و موریس مطرح شده بود، عمدتاً ناشی از AAR و تشکیل با تاخیر اترینگیت (DEF) بوده و آب دریا نقش قابل توجهی در زوال ناشی از AAR ستون‌های مورد بررسی نداشته است (Shayan et al., 2010).

رتنو^۴ و همکاران، مقاومت فشاری استوانه‌های بتنی را برای عمل آوری ۷ روزه و ۱۴ روزه در آب دریا و آب شیرین بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی این تحقیق نشان دادند که مقاومت فشاری ۷ روزه و ۱۴ روزه نمونه‌های بتنی با عمل آوری آب دریا بزرگتر از نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی بودند. برای نمونه‌های ۷ روزه این افزایش حدود ۵،۲۵- ۲۹،۵۶٪ و برای نمونه‌های ۱۴ روزه این افزایش

²Olutoge

¹Shayan

²Alkali-Aggregate reaction

³Retno

مقاومت در محدوده ۳,۳۹-۱۱,۸۷٪ بوده است. نتایج نشان دادند که هر چه نسبت آب به سیمان کمتر باشد، مقاومت فشاری بتن بیشتر خواهد بود (M.I.Retno Susilorini et al. (2005)).

آکینکورلا^۱ و همکاران تاثیر آب نمک را بر مقاومت فشاری بتن بررسی کردند. این تحقیق نتایج یک برنامه آزمایشی در زمینه تاثیر آب نمک از تالاب لاگوس در نیاگارا را بر مقاومت فشاری ارائه می‌کند. در این تحقیق مکعب‌های بتنی ۱۵ * ۱۵ * ۱۵ سانتی‌متری با آب نمک و آب شیرین بتن ریزی شدند. نسبت وزنی بتن ۱:۲:۴ و نسبت آب به سیمان ۰,۶ بود. آن‌ها مجموعاً ۱۳۲ مکعب بتنی را بتن ریزی کردند که نیمی از آن‌ها با استفاده از آب شیرین و نیمی دیگر با آب نمک ساخته شده بودند. این نمونه‌ها در آب دریا و در آب نمک عمل آوری شدند. مکعب‌های بتنی برای مقاومت فشاری در ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روزه آزمایش شدند. آن‌ها گزارش کردند که مقاومت فشاری بتن در نمونه‌های حاوی آب نمک یا نمک اقیانوس در ترکیب و عمل آوری افزایش یافته اند (O. O. Akinkurolore et al., (2007)).

واگیان^۲ تاثیر ترکیب و عمل آوری بتن با آب دریا را بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی و پیوستگی بتن مورد بررسی قرار داد. ترکیبات بتن با تغییر سنگدانه‌ها، نسبت‌ها و انواع سیمان آماده شدند. شش گروه ترکیبات بتنی با آب شیرین ترکیب و عمل آوری شده، شش گروه با آب دریا ترکیب و عمل آوری شدند، چهار گروه با آب شیرین ترکیب و با آب دریا عمل آوری شدند. مقاومت فشاری و دیگر مقاومت‌های مربوطه بتن برای نمونه‌های ترکیب و عمل آوری شده در آب دریا در سنین اولیه تا ۴ روز افزایش داشتند، در حالی که مقاومت‌های مربوطه برای سنین بیشتر از ۲۸ روزه تا ۹۰ روز کاهش داشتند. کاهش مقاومت با افزایش زمان عمل آوری افزایش یافت. نمونه‌های بتنی در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه برای آزمایش‌های فشاری آزمایش شدند. همچنین این نمونه‌ها برای مقاومت کششی، خمشی و پیوستگی در ۲۸ و ۹۰ روزه آزمایش شدند. نمونه‌های آزمایشی با استفاده از دو نوع سیمان بتن ریزی

⁴Akinkurolore

¹ Wagian

شدند: سیمان پورتلند معمولی^۱ (OPC) و سیمان مقاوم در برابر سولفات^۴ (SRC). در این تحقیق از آب دریای حاوی ۴۰۰۰۰ ppm نمک محلول با pH حدود ۸٫۲ استفاده شد (Wagian. F. M, (2010)).

مبادیک و الینوا^۲ در تحقیقی تاثیر آب نمک در تولید بتن را بررسی کردند. در آزمایش آن‌ها ۹۰ نمونه مکعبی بتنی برای بررسی مقاومت فشاری ساخته شد. ۴۵ عدد از این نمونه‌ها با آب شیرین و ۴۵ نمونه دیگر با آب شور ترکیب شده بود. برای بررسی مقاومت خمشی نیز ۹۰ تیر بتنی، ۴۵ تیر با آب شیرین و ۴۵ تیر با آب شور ساخته شد. مکعب‌ها و تیرهای بتنی برای ۷، ۲۱، ۲۸، ۶۰ و ۹۰ روز عمل آوری شدند. میانگین مقاومت فشاری برای بتن ساخته شده با استفاده از آب شیرین در محدوده ۴۲٫۳۴-۲۷٫۳۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع و برای نمونه‌های ساخته شده با آب شور ۲۵٫۲۴-۳۸٫۸۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع بودند (در عمل آوری‌های ۷، ۲۱، ۲۸، ۶۰ و ۹۰ روزه). محدوده مقاومت خمشی بتن ساخته شده با آب شور ۵٫۹۸-۱۱٫۰۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع بود (ترکیب ۱:۱:۴٫۵۱ و نسبت آب به سیمان (۰٫۴۷)). برای طرح اختلاط ۱:۱:۴٫۰۳ و نسبت آب به سیمان (۰٫۵۵)، میانگین مقاومت فشاری ساخته شده از آب شیرین و آب شور به ترتیب در محدوده‌های ۲۷٫۲۶-۴۰٫۸۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ۲۴٫۶۸-۳۹٫۱۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع و مقاومت خمشی برای بتن ساخته شده از آب شیرین و آب شور به ترتیب در محدوده ۶٫۵۵-۱۱٫۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ۶٫۲۶-۱۰٫۷۶ نیوتن بر میلی‌متر مربع قرار داشتند. برای طرح اختلاط ۱:۱:۴٫۲۴ و نسبت آب به سیمان ۰٫۵، میانگین مقاومت فشاری بتن ساخته شده با آب شیرین و آب شور به ترتیب در محدوده‌های ۲۵٫۰۵-۳۸٫۱۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ۲۳٫۵۸-۳۶٫۰۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع و مقاومت خمشی برای آب شیرین و آب شور به ترتیب در محدوده‌های ۶٫۱۸-۹٫۸۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ۶٫۱۵-۱۰٫۳۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع قرار داشتند. نتایج آزمایش نشان دادند که با افزایش زمان عمل آوری، مقاومت آن افزایش یافت. استفاده

^۲Ordinary Portland Cement

^۳Mbadike & Elinwa

از آب شور در ساخت بتن مقاومت بتن را در حدود ۸٪ کاهش داده است (E.M.Mbadike, A.U.Elinwa (2011)).

امانوئل^۱ و همکاران آزمایش‌هایی را برای مشاهده اثرات آب اقیانوس و مرداب بر R.C.C^۲ انجام دادند. آن‌ها ترکیب ۱:۳:۶ را برای تحقیق خود انتخاب کردند. نمونه‌های بتنی تقویت شده را با استفاده از آب اقیانوس و مرداب و برخی نمونه‌ها را نیز با آب شیرین آماده کردند. نمونه‌ها را در عمق ۱,۵ متری زیر اقیانوس و مرداب برای ۱۵۰ روز دفن کردند. آن‌ها دریافتند که نمونه‌های زیر اقیانوس و مرداب افزایش مقاومت فشاری داشته‌اند که این افزایش به ترتیب از ۱۰,۵۷ و ۱۰,۶۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع در هفتمین روز به ۷,۰۵ و ۱۸,۰۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع در ۲۱مین روز ۱۴,۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع در هفتمین روز به ۱۷,۰۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع و ۱۸,۰۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع نمونه آب شیرین بود (Akinsola Olufemi Emmanuel et al., (2012)).

کریشنام^۲ و همکاران تاثیر آب دریا را بر مقاومت فشاری و خمشی سیمان پرتلند معمولی مورد مطالعه قرار دادند. نمونه‌ها با ترکیب آب آشامیدنی و عمل‌آوری در آب دریا و ترکیب آب دریا و عمل‌آوری در آب دریا آماده شدند. این نمونه‌ها ۵۴ مکعب، ۵۴ استوانه و ۵۴ تیر شامل نمونه‌های شاهد نیز بودند. که آن‌ها را برای ۷، ۲۸ و ۹۰ روز عمل‌آوری کردند. سپس رفتار مقاومت فشاری، مدول گسیختگی و مقاومت خمشی را بررسی کردند. نمونه‌های شاهد با OPC و با استفاده از آب آشامیدنی برای ترکیب و عمل‌آوری آماده شدند. آن‌ها هیچ کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری نمونه‌ها در نتیجه ترکیب آب دریا و ترکیب و عمل‌آوری با آب دریا در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده نکردند (P.Krishnam Raju et al., (2014)).

¹Emmanuel

²Krishnam

ویدل^۱ و همکاران تاثیر متاکولین^۲ (MK)، خاکستر سوخت ساییده^۳ PFA و ترکیبات MK و PFA را بر دوام بتن در محیط‌های دریایی مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها از ۱۱ اختلاط با مقدار ترکیب PC-PFA-MK 390 kg/m^3 و نسبت w/b ۰٫۵ با ترکیبات MK-PFA مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های شاهد تنها با استفاده از PC و نمونه‌های اصلی با جایگزینی ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ سیمان با MK و PFA ساخته شدند. به دلیل ملاحظات اقتصادی مقدار MK جز برای میزان جایگزینی ۱۰٪ بیشتر از PFA نبود. کارایی نمونه‌ها در محدوده ۱۳۰-۳۵ میلی‌متر قرار داشت. نمونه‌ها با قالب‌های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر ساخته شده و از ۲۸ روز تا ۱۸ ماه در آب دریا عمل آوری شدند. آزمایش‌های مقاومت برای دوره‌های عمل آوری ۲۸ روز، ۲، ۴، ۱۰ و ۱۸ ماه انجام شدند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که با جایگزینی MK و PFA به جای PC کاهش قابل توجهی در عمق نفوذ کلر رخ می‌دهد. این کاهش با افزایش مقدار جایگزینی و زمان عمل آوری افزایش می‌یابد. این امر به تغییرات نسبی نفوذ ذاتی و ظرفیت چسبندگی کلر با سن مربوط به ترکیبات چسبنده مختلف نسبت داده می‌شود. در ترکیبات سه گانه PC-PFA-MK، MK تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر عمق نفوذ و غلظت کلر دارد. در عمل آوری کوتاه مدت (۲ ماه و ۴ ماه) افزایش مقدار MK عموماً موجب کاهش عمق نفوذ و غلظت می‌شود. جایگزینی ۳۰٪ PC با PFA به طور خاص در کاهش عمق نفوذ و غلظت کلر خصوصاً در عمل آوری‌های طولانی مدت موثر است. در ترکیبات دوگانه، افزودن MK و PFA به ترتیب موجب افزایش قابل توجه و کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی می‌شود. در عمل آوری‌های طولانی مدت (۱۸ ماه) MK و PFA هر دو، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهند. هم ترکیبات دوگانه (PC-PFA) و هم ترکیبات سه گانه موجب افزایش قابل توجه مقاومت فشاری عمل آوری شده در آب دریا می‌شود. هنگامیکه از MK در بتن PC و PC-PFA استفاده می‌شود، افت مقاومت نمونه‌های عمل آوری شده در آب دریا به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (S.Wild et al., 2015).

¹Wild

²Metakaolin

³Pulversied fuel ash

عارفی^۱ کاربرد میکرو نانو حباب‌های هوا (MNAB) را در آب مورد استفاده در بتن مورد بررسی قرار داد. به منظور بررسی تاثیر میناب بر ملات و بتن مجموعه آزمایش‌هایی طراحی و انجام گرفتند. مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بتن معمولی با بتن میناب با مصالح و طرح اختلاط مشابه مقایسه شدند. افزودن میناب چگالی آب و در نتیجه نسبت آب به سیمان را تغییر نمی‌دهد. نتایج تحقیق نشان دادند که میناب می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی بتن را در عین کاهش کارایی آن به طور موثری ارتقا بخشد. مشاهده شد که مقاومت کششی و فشاری به ترتیب ۱۶٪ و ۱۹٪ افزایش یافت در حالی که دما در طول گیرش به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داشته است. زمان اولیه و نهایی گیرش نیز کاهش یافته است یعنی این نوع بتن باید در زمان کوتاهی در مقایسه با بتن معمولی بتن ریزی شود (Arefi et al., 2016).

۲-۵- بتن‌های ساخته شده با نانو ذرات مختلف

تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد نانو موادهای مختلف در بهبود ویژگی‌های بتن انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به nano-SiO₂، Carbon nanotube (CNT)، nano-Al₂O₃، nano-Fe₂O₃، nano-TiO₂ و ... اشاره کرد.

۲-۵-۱- نانو ذرات اکسید سیلیسیم

با استفاده از نانو ذرات سیلیس می‌توان میزان تراکم ذرات را در بتن افزایش داده که این امر به افزایش چگالی میکرو و نانو ساختارهای تشکیل دهنده بتن و در نتیجه بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌انجامد (Pradesh, 2012).

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که افزودن نانو سیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذ پذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر

¹Arefi

حمله‌های شیمیایی می‌شود. آزمایش‌هایی که بر روی نانو سیلیس انجام شده، نشان داده‌اند که این ذرات نه تنها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکرو سیلیس ارائه می‌کنند (Chong & Garbczi, 2002).

اضافه کردن ۱۰ درصد نانو سیلیس باعث افزایش ۲۶ درصدی مقاومت فشاری بتن گردید درحالی‌که همین مقدار میکروسیلیس افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری بتن را در بر داشت (Scrivener, 2009). حتی اضافه کردن مقدار اندک ۰/۲۵ درصدی نانو سیلیس باعث ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری و ۲۵ درصد افزایش مقاومت خمشی می‌گردد (Garboczi, 2009).

۲-۵-۲- نانو لوله‌های کربنی

نانو لوله‌های کربنی^۱ استوانه‌های تو خالی از تک ورقه‌های گرافیتی هستند که به شکل استوانه پیچیده شده‌اند این مواد دارای خواص ساختاری و مکانیکی و الکترونیکی فوق العاده‌ای هستند که ناشی از خواص ویژه پیوندهای کربن و تقارن استوانه‌ای آن‌هاست. از نانو لوله‌های کربنی جهت ترمیم، تقویت و بهسازی در طرح اختلاط بتن استفاده می‌شود. افزودن نانو لوله‌های کربنی به سیمان موجب افزایش استحکام کششی و فشاری بتن و همچنین سبب افزایش مقاومت در برابر حملات شیمیایی می‌شود که این امر دوام و پایداری بتن را به دنبال دارد. از آنجایی که نانو لوله‌های کربن از کربن گرافیتی ساخته شده‌اند، مقاومت بسیار خوبی در برابر حملات شیمیایی داشته و نیز پایداری حرارتی خیلی خوبی دارند. در صورت افزودن نانو لوله‌های کربنی به میزان نیم الی یک درصد وزنی ملات بتن به آن خواص نمونه‌ها به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. نانو لوله‌های کربنی به صورت تک جداره و یا چند جداره مورد استفاده قرار می‌گیرند (Pradesh, 2012).

¹Carbon Nano Tubes

۲-۵-۳- نانو ذرات اکسید آلومینیم

Al_2O_3 با هیدروکسید کلسیم ناشی از هیدراسیون سیلیکات کلسیم واکنش می‌دهد، میزان واکنش پوزولانی^۱ متناسب با مقدار سطح موجود برای واکنش است. اضافه کردن نانو Al_2O_3 باعث بهبود مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن می‌گردد. از طرفی نانو Al_2O_3 باعث افزایش مدول الاستیسیته بتن نیز می‌گردد، افزودن ۰.۵٪ نانو Al_2O_3 (با اندازه متوسط ذرات حدود ۱۵۰ nm) مدول الاستیسیته نمونه‌های ۲۸ روزه ۱۴۳٪ افزایش می‌یابد، این درحالی است که مقاومت فشاری افزایش چشمگیری ندارد.

بررسی نتایج مختلف آزمایشگاهی حاصل از افزودن nano- Al_2O_3 به سیمان نشان داده است که کارایی این نوع سیمان‌ها نسبت به سیمان‌های معمولی کمتر است (Nazari et al, 2010).

۲-۵-۴- نانو ذرات اکسید آهن

بتن دارای نانو ذرات آهن ($nano-Fe_2O_3$)، مقاومت فشاری و کششی بیشتری نسبت به بتن معمولی دارد. طبق پژوهش‌های انجام شده توسط عبدلی یزدی^۲ و همکاران، درصد بهینه مصرف نانو ذرات آهن در بتن ۳٪ است، در صورتی که با افزایش درصد نانو آهن تا ۵٪ مقاومت بتن به صورت خطی کاهش می‌یابد. با اضافه کردن nano- Fe_2O_3 میزان افزایش مقاومت فشاری نسبت به مقاومت کششی بیشتر است، دلیل این پدیده نیز وجود میکرو ترک‌هایی در بتن است که این ترک‌ها در کشش تاثیر بیشتری دارند (Abdoli Yazdi et al, 2011).

طبق آزمایش‌های نظری^۳ و همکاران، به کارگیری حداکثر ۲٪ nano- Fe_2O_3 در بتن باعث کاهش زمان گیرش اولیه و نهایی بتن و افزایش مقاومت کششی و خمشی آن می‌گردد. درصد بهینه برای افزایش مقاومت خمشی و کششی ۱٪ است که بیشترین مقاومت را موجب می‌شود. افزایش مقاومت خمشی

^۱Pozzolanic Reaction

^۲Abdoli Yazdi

^۳Nazari

به دلیل مصرف سریع Ca(OH)_2 که در طی هیدراتاسیون سیمان پرتلند شکل گرفته است، می- باشد (Nazari et al, 2010).

۲-۵-۵- نانو ذرات اکسید تیتانیوم

خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیتیک، یکی از مهم ترین موارد استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان است. آلودگی های طبیعی و صنعتی مثل NO_x ، مونوکسید کربن، VOC ها، کلروفلو ها و آلدئیدهای ناشی از اتومبیل ها و پساب های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می شوند [Murata et al, 1999]. برای فعال شدن اثر خود تمیز شوندگی در اکسید تیتانیوم، نور طبیعی روز، رطوبت هوا و اکسیژن مورد نیاز است. استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیز کنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراسیون و کاهش زمان گیرش (Jayapalan & Kurtis, 2009) و همچنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می شوند (Zhang, 2006). یکی از معایب این روش، کاهش کارایی تجزیه کنندگی آن با گذشت زمان است (Lackhoff, 2003).

طبق مطالعات انجام شده، استفاده از nano-TiO_2 تا حداکثر ۲٪ باعث کاهش روانی بتن می گردد (Nazari et al. 2010).

۲-۶- کاربرد مواد افزودنی حباب زا در بتن و ویژگی های بتن حاوی این افزودنی ها

امروزه مواد افزودنی مولد حباب هوا تقریباً برای تمامی بتن ها عمدتاً به منظور بهبود مقاومت در برابر یخبندان و زمانی که در معرض آب و مواد شیمیایی قرار گرفته است توصیه می شود. با این حال، مزایای مهم دیگری در هر دو بتن تازه و سخت شده وجود دارد.

بتن دارای هوا یا با استفاده از سیمان حباب زا یا با اضافه کردن افزودنی های حباب زا در زمان ترکیب شدن مخلوط بتن تولید می شود. مواد افزودنی حباب هواساز آنیونی، آبگریز و دارای بار الکتریکی هستند،

مواد افزودنی بدون بار نیز در دسترس است. بار الکتریکی منفی جذب بار مثبت ذرات سیمان می‌شود که در برقراری ثبات در حباب‌ها کمک می‌کند.

حباب‌های هوای تزریق شده با حفره‌های هوای محبوس که در تمام بتن در نتیجه‌ی مخلوط کردن و برهم زدن مخلوط بتن رخ می‌دهد و تا حد زیادی تابعی از خصوصیات دانه‌هاست، فرق دارد. حباب‌های هوای تزریق شده در اندازه قطر بسیار کوچک، بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر می‌باشد، در حالی که حفره‌های محبوس شده معمولاً ۱۰۰۰ میکرومتر (۱ میلی متر) و یا بزرگتر هستند.

قطر اکثر حباب‌های هوای تزریق شده در بتن‌های معمولی بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر می‌باشد. حباب‌ها به هم پیوسته نیستند، آن‌ها به خوبی پراکنده شده و به طور تصادفی توزیع شده‌اند. میزان هوای محبوس شده در بتن با اندازه‌ی بزرگترین دانه برابر ۲۵ میلی‌متر تقریباً ۱,۵٪ می‌باشد، در حالی که در بتن با ترکیبات مشابه برای مقاومت در برابر سیکل یخبندان باید کل هوای موجود در بتن حدود ۶٪ باشد که این هم شامل حباب‌های بزرگ (به دام افتاده) و هم حباب‌های ریزتر (تزریق شده) می‌شود.

۷-۲- بتن تولید شده با میکرو نانو حباب

۷-۲-۱- کلیاتی درباره میکرو نانو حباب‌ها

حباب‌ها از نظر ساختاری به دو دسته گاز-گاز و مایع-گاز تقسیم می‌شوند. و خود حباب‌های مایع-گاز به دو دسته حباب‌های کروی و حباب‌های دیسکی تقسیم می‌شوند.

میکرو نانو حباب‌ها حفره‌هایی حاوی گاز در محلول آبی هستند. علت تولید این حفره‌ها فرآیند کاویتاسیون هیدرودینامیکی در حضور هسته گازی یا گاز هسته زایی شده در آب است. فرآیند هسته زایی در مایع سبب چرخش ذرات گاز در میدان داخلی هسته می‌شود که باعث ایجاد میدان الکترواستاتیکی به دور هسته می‌گردد و این میدان الکترو استاتیکی با ذرات باردار دور هسته که تشکیل لایه دوگانه را داده‌اند به طور مداوم در تبادل شار الکتریکی ثابتی هستند. این افزایش یا کاهش تبادل

شار الکتریکی و همچنین افت پتانسیل شیمیایی هسته، باعث رشد یا انقباض هسته و به تبع آن بزرگتر یا کوچکتر شدن لایه دوگانه می‌گردد. بزرگ یا کوچک شدن لایه دوگانه باعث بزرگ یا کوچک شدن نیروی کشش سطحی می‌شود. به همین دلیل نانو حباب‌ها یا میکرو حباب‌ها به کمک انتشار ذرات و متناسب با مقدار پتانسیل اطراف محلول و مقدار پتانسیلی که باعث فوق اشباع و یا زیر اشباع شدن بشود، شروع به رشد کردن و یا کوچک شدن در طول زمان می‌کنند (مظفری نائینی، ۹۲).

۲-۷-۲- ویژگی‌های بتن ساخته شده با میکرو نانو حباب

عارفی در سال ۱۳۹۳ آزمایشات مختلفی بر روی بتن ساخته شده با میکرو نانو حباب انجام داد که نتایج زیر از این آزمایش‌ها بدست آمد

استفاده از آب حاوی میکرو نانو حباب‌ها برخلاف عملکرد حباب‌های معمول در ساخت بتن حباب دار که با کمک مواد شیمیایی مضاف ساخته می‌شوند باعث کاهش روانی و اسلامپ بتن می‌شود. مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی میکرو-نانو حباب به طور میانگین ۱۵ درصد بیشتر از مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی می‌باشد. مقاومت خمشی بتن حاوی میکرو-نانو حباب بیشتر از مقاومت خمشی بتن معمولی می‌باشد. مقاومت کششی بتن حاوی میکرو-نانو حباب از بتن معمولی بیشتر است. آزمایشات کاهش شدید زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان با آب حاوی میکرو-نانو حباب را نشان دادند. براساس استاندارد شماره ۳۹۲ ایران و ASTM C 191 برای محاسبه زمان گیرش اولیه سیمان مدت زمان متناظر با نفوذ ۲۵ میلی‌متر ملاک محاسبه قرار گرفت، این مقدار برای ترکیب سیمان و آب حاوی میکرو-نانو حباب برابر ۲۳,۳ دقیقه و برای ترکیب سیمان و آب معمولی برابر ۸۶ دقیقه می‌باشد. مدت زمان گیرش نهایی نیز برای نمونه نانو برابر ۱۳۵ دقیقه و برای نمونه معمولی برابر ۲۵۶ دقیقه می‌باشد.

فصل سوم

جزئیات و برنامه آزمایش‌ها

۳-۱- برنامه آزمایش‌ها

در این پژوهش به طور کلی ۶۶ نمونه مکعبی ۱۵ سانتی‌متری برای آزمایش‌های مقاومت فشاری شامل ۹ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب دریا، ۹ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب شیرین، ۹ نمونه ساخته شده با آب شیرین و عمل آوری شده در آب دریا، ۹ نمونه ترکیب شده با آب شیرین و عمل آوری شده با آب شیرین، ۳۰ نمونه ساخته شده با ترکیبات مختلف آب دریا و میناب (۰-۱۰۰٪، ۲۵-۷۵٪، ۵۰-۵۰٪، ۷۵-۲۵٪، ۵۰-۵۰٪ و ۱۰۰-۰٪) و عمل آوری شده در آب شیرین؛ ۶ نمونه استوانه ای ۱۵ در ۳۰ سانتی‌متری برای آزمایش‌های مقاومت کششی شامل ۳ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب دریا و ۳ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب شیرین و ۶ نمونه تیر بتنی ۱۰ در ۱۰ در ۳۳ سانتی‌متری برای آزمایش‌های مقاومت خمشی شامل ۳ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب دریا و ۳ نمونه ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب شیرین ساخته شدند. در کلیه آزمایش‌ها از نمونه‌های سه تایی استفاده شد. نمونه‌های ساخته شده پس از دوره‌های عمل آوری ۱، ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۵۰ روزه مورد آزمایش‌های مقاومت کششی، فشاری و خمشی قرار گرفتند.

۳-۲- بتن

بتن ماده‌ای شبیه به سنگ است که از مخلوط کردن مقدار متناسبی از سیمان، شن، ماسه، آب و افزودنی‌های دیگر به دست می‌آید. توده اصلی بتن، سنگ دانه‌های درشت و ریز (شن و ماسه) است و فعل و انفعال شیمیایی بین آب و سیمان که به صورت شیرهای اطراف سنگدانه‌ها را پوشانده است باعث یکپارچه شدن و چسبیدن سنگدانه‌ها به یکدیگر می‌شود. این سنگدانه‌ها اسکلت اصلی بتن را تشکیل داده و نیروی وارد بر بتن را تحمل می‌کنند. آب نیز در این مخلوط موجب ایجاد واکنش شیمیایی در سیمان می‌شود که سخت شدن مخلوط بتن را پس از طی دوره حدود بیست و هشت روز و رسیدن به

مقاومت نهایی بتن به همراه دارد. شن و ماسه حدود ۶۵ درصد مخلوط بتن و مابقی را خمیر سیمان و درصد بسیار کمی هوا تشکیل می‌دهد.

۳-۳- طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن بدین معناست که اجزا بتن یعنی سیمان، آب، شن و ماسه را به چه نسبتی مخلوط کنیم تا بتن ساخته شده به مشخصات از پیش تعیین شده دست یابد. پس از مخلوط کردن بتن، تمام قسمت‌های مخلوط باید دارای وزن مخصوص، درصد هوا، اسلامپ، سنگدانه و خمیر سیمان یکسان بوده و مخلوط به دست آمده همگن و یکنواخت باشد.

در این تحقیق با بهره‌گیری از آیین‌نامه بتن ایران از مصالح سنگی شامل شن و ماسه رودخانه‌ای با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر، سیمان تیپ ۲ شرکت سیمان شاهرود و آب لوله کشی شده در طرح اختلاط بتن استفاده شد. مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی در جدول شماره (۳-۱) و توزیع وزنی و حجمی مصالح در جدول شماره (۳-۲) آمده است.

بر این اساس نسبت وزنی آب به سیمان برابر با ۰,۶۱ است.

جدول ۳-۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

مشخصات شیمیایی	میانگین	استاندارد کارخانه ای
SiO ₂	۲۱,۱۱	حداقل ۲۰,۵
Al ₂ O ₃	۴,۴۱	حداکثر ۵
Fe ₂ O ₃	۳,۹۵	حداکثر ۵
CaO	۶۳,۵۵	----
MgO	۱,۵۲	حداکثر ۲,۵
SO ₃	۲,۷۴	حداکثر ۲,۹
K ₂ O	۰,۵۵	-----
Na ₂ O ₃	۰,۴۱	----
LOI	۲,۲۲	حداکثر ۲,۹

جدول ۳-۲- نسبت وزنی مواد بکار رفته در ساخت نمونه‌های بتن

مصلح	واحد	وزن
وزن کل بتن برای متر مکعب	Kg	۲۲۷۵
وزن سیمان	Kg	۳۱۱
وزن آب	Kg	۱۹۰
وزن ماسه	Kg	۸۵۲
وزن شن بین ۵ تا ۱۲ میلی‌متر	Kg	۴۶۱
وزن شن بین ۱۲ تا ۱۹ میلی‌متر	Kg	۴۶۱
نسبت آب به سیمان		۰,۶۱

۳-۳-۱- آب اختلاط

بنابر نیاز آزمایش‌ها، آب به کار رفته در اختلاط بتن متفاوت بود. برخی از نمونه‌ها با آب لوله کشی ساخته شدند. در برخی از نمونه‌ها آب حاوی نانو میکرو حباب مورد استفاده قرار گرفت. برای برخی از آزمایشات از آب دریا به عنوان آب اختلاط استفاده شد. در مواردی نیز از ترکیب آب دریا و آب حاوی نانو میکرو حباب با نسبت‌های مختلف ۱۰۰ به صفر، ۷۵ به ۲۵، ۵۰ به ۵۰، ۲۵ به ۷۵ و صفر به ۱۰۰ استفاده شد.

۳-۳-۲- خصوصیات شیمیایی آب اختلاط

۳-۳-۲-۱- آب شهری

آب لوله کشی مورد استفاده در آزمایش از آب شهری شهر شاهرود و بدون هیچگونه ناخالصی افزودنی به عنوان سیال پایه گرفته شد. برای تولید میکرو نانو حباب هوا دستگاه تولید میکرو نانو حباب واقع در آزمایشگاه نانو سیالات (شماره ثبت ۸۳۹۹۸) به کار گرفته شده، از هوای محیط برای ایجاد نانو حباب استفاده شد. اندازه گیری خصوصیات اولیه از قبیل اکسیژن محلول، رسانایی محلول، pH و دما از دستگاه

SmartCHEM-Lab شرکت TPS و با استفاده از سنسورهای مربوطه انجام گردید. مشخصات آب شهری در جدول (۳-۳) نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- مشخصات شیمیایی آب شهری

مقدار	واحد	موارد اندازه گیری
۸,۱۵		pH
۵۸۱	μs	Conductivity
۰,۴۱	NTU	Turbidity
۲۱	$^{\circ}C$	Temperature
۳,۲۲	ppm	Dissolved Oxygen
۰,۱۴۷	abs	Absorption
۲۷۴	ppm	TDS

۳-۳-۲- آب دریا

آب دریای مورد استفاده در آزمایش، از شبه جزیره میانکاله محدوده شهرستان نکا واقع در استان مازندران تهیه شده است. نمونه‌گیری در فصل بهار انجام شد. غلظت نمک این آب ۸,۵ ppt بود. pH آن نیز برابر ۸,۳۲ بود. مقدار pH و کلر آب با استفاده از دستگاه SmartCHEM-Lab و با سنسورهای مربوطه اندازه‌گیری شدند، اما دیگر یون‌های آب به علت عدم وجود مواد لازم در آزمایشگاه، در آزمایشگاه پارک علم و فن آوری استان سمنان اندازه‌گیری شدند. مقدار این یون‌ها در جدول (۳-۴) آورده شده است.

جدول ۳-۴- مقدار یون‌های آب دریای مورد استفاده

مقدار	واحد	یون
۱۹۰۰	ppm	Cl ⁻
۱,۱	ppm	NO ₃ ⁻
۱۸۰۰	ppm	SO ₄ ²⁻
۸۶,۹۷	ppm	K ⁺
۱۹۰	ppm	Ca ²⁺
۳۹۰۰,۸	ppm	Na ⁺
۳۹۴,۸	ppm	Mg ²⁺

۳-۴- تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌ها

۳-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

از جک هیدرولیکی ساخت شرکت Toni Technik با سرعت بارگذاری ۱ mm/min (شکل ۳-۱) برای انجام آزمایش مقاومت فشاری استفاده شده است. مشخصات این جک هیدرولیکی در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

جدول ۳-۵- مشخصات جک هیدرولیکی Toni Technik (بر گرفته از کاتالوگ دستگاه)

ویژگی‌های خاص	حداکثر نیروی فشاری	حداکثر نیروی خمشی	سیستم اندازه گیری	گزینه‌ها
سیستم چند منظوره با امکانات انعطاف پذیر ، به خصوص برای تحقیق و توسعه	تا ۲۰۰ kN ۱۰۰۰ kN	تا ۲۰ kN ۱۰۰ kN	ToniTrol testXpert	گزینه‌های اضافی مجزا و انعطاف پذیر برای سخت افزار و نرم افزار؛ گزینه‌های مختص کاربر



شکل ۳-۱- جک هیدرولیکی استفاده شده برای آزمایش مقاومت فشاری

۳-۴-۲- آزمایش مقاومت خمشی چهار نقطه ای

برای انجام این آزمایش نیز از جک هیدرولیکی ساخت شرکت Toni Technik با سرعت بارگذاری 1 mm/min (شکل ۳-۲) استفاده شده است. همچنین به منظور اعمال بار از دو نقطه بر روی نمونه از پد دو شاخه ای (شکل ۳-۳) استفاده شده است.



شکل ۳-۲- دستگاه جک هیدرولیکی استفاده شده برای آزمایش مقاومت خمشی



شکل ۳-۳- میله دوشاخه مورد استفاده در آزمایش مقاومت خمشی

۳-۴-۳- آزمایش مقاومت کششی

در آزمایش مقاومت کششی نیز از جک هیدرولیکی Toni Technik با سرعت بارگذاری ۱ mm/min استفاده شده است.

۳-۵- نحوه اختلاط و قالب گیری

برای ساخت و عمل آوری بتن، آیین نامه بتن ایران به کار گرفته شد. با توجه به صفر در نظر گرفتن رطوبت مصالح در طرح اختلاط، مصالح پیش از استفاده در داخل اون قرار داده شدند تا رطوبت آن به صفر برسد. سپس ابتدا سنگدانه‌ها شامل شن و ماسه در مخلوط کن مخلوط شدند، در ادامه با اضافه کردن سیمان، اختلاط ادامه یافت و در مرحله بعد آب افزوده شده و به مدت ۴ دقیقه کاملاً مخلوط گردید. پس از آن بتن طی سه مرحله درون قالب‌های فولادی ریخته و با ۲۵ ضربه میله مخصوص (به قطر ۱۶ میلی‌متر و طول ۶۰ سانتی‌متر) متراکم شده، سپس سطح آن‌ها صاف گردید. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و درون حوضچه آب قرار گرفتند.

۳-۶-۲- شرح آزمایش‌ها

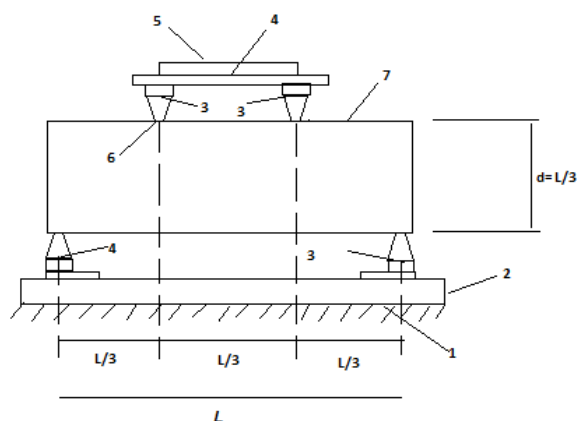
۳-۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری

این آزمایش طبق استاندارد شماره ۳۲۰۶ ایران در سنین ۷ و ۲۸ و ۱۵۰ روزه توسط جک هیدرولیکی و با سرعت بارگذاری ۱ mm/min انجام گردید. برای انجام آزمایش نمونه‌های مکعبی استاندارد ۱۵ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۶-۲- آزمایش مقاومت خمشی

این آزمایش بر اساس استاندارد شماره ۴۹۰ ایران به صورت تست چهار نقطه‌ای (شکل ۳-۴) و ساخت و عمل آوری نمونه‌های مورد آزمایش نیز مطابق استاندارد ۵۸۱ ایران انجام شد.

- ۱- پایه ماشین آزمون
- ۲- آهن ناودانی یا صفحه فولادی
- ۳- گلوله فولادی
- ۴- میله فولادی
- ۵- سر ماشین آزمون
- ۶- خط توزیع بار در امتداد عرض نمونه
- ۷- نمونه مورد آزمون



شکل ۳-۴- دستگاه آزمون مقاومت خمشی بتن - روش بارگذاری چهار نقطه‌ای



شکل ۳-۵- آزمایش مقاومت خمشی تیر بتنی

نمونه‌های آزمون باید درحالی که محور طولی آن افقی است ساخته شود، بتن مصرفی، در دو لایه برابر ریخته شده و هر لایه به کمک کوبیدن متراکم می‌گردد. لایه تحتانی را باید چنان بکوبیم که میله کوبنده در تمام عمق آن نفوذ کند و سپس سطح فوقانی آن را با تخته ماله صاف می‌کنیم. لایه فوقانی را کمی بیش از گنجایش قالب ریخته و آن را می‌کوبیم به طوری که نیمی از ضربه‌ها در لایه زیرین نفوذ کند.

تعداد ضربه‌ها و ابعاد میله کوبنده در جدول شماره ۳-۶ داده شده است.

جدول ۳-۶- قطر میله و تعداد ضربه‌ها برای نمونه‌های آزمون خمشی

تعداد ضربه‌ها برای هر میله	قطر میله (میلی‌متر)	سطح نمونه‌ها (سانتی‌متر مربع)
۲۵	۱۰	تا ۱۶۰
یک ضربه برای هر ۵، ۶ سانتیمتر	۱۰	از ۱۶۱ تا ۳۲۰
یک ضربه برای هر ۱۳ سانتیمتر مربع	۱۶	از ۳۲۱ به بالا

با توجه به سطح نمونه‌ها که برابر ۳۳۰ سانتی‌متر مربع است، از میله با قطر ۱۶ میلی‌متر و تعداد ۲۵ ضربه برای هر لایه استفاده گردید.

بعد از کوبیدن هر لایه، اطراف قالب با فرو بردن سر ماله بنائی بطور عمودی در قالب، متراکم گردید. بعد از این کار بتن اضافی سطح فوقانی قالب با کمچه برداشته شد.

نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و برای مدت زمان مربوط به هر آزمایش در حوضچه‌های عمل آوری قرار گرفتند.

۳-۶-۳- آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)

برای انجام این آزمایش استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران و برای ساخت و عمل آوری نمونه‌ها نیز استاندارد شماره ۵۸۱ ایران مورد استفاده قرار گرفت.

در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شده است. نمونه‌های ساخته شده بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج شده و جهت عمل آوری در حوضچه آب قرار گرفتند.



شکل ۳-۶-۳- آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)

فصل چهارم

تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها

این فصل به ارائه نتایج و بحث درباره آن‌ها اختصاص دارد. آزمایش‌های انجام شده‌ای که روند اجرایی آن در فصل قبل ذکر شده، نتایجی به دست داده است که مقاومت فشاری، خمشی، کششی و همچنین اثرات استفاده از درصدهای مختلف آب دریا در حین ساخت بتن، در این فصل آمده است.

۴-۲- مقاومت فشاری بتن

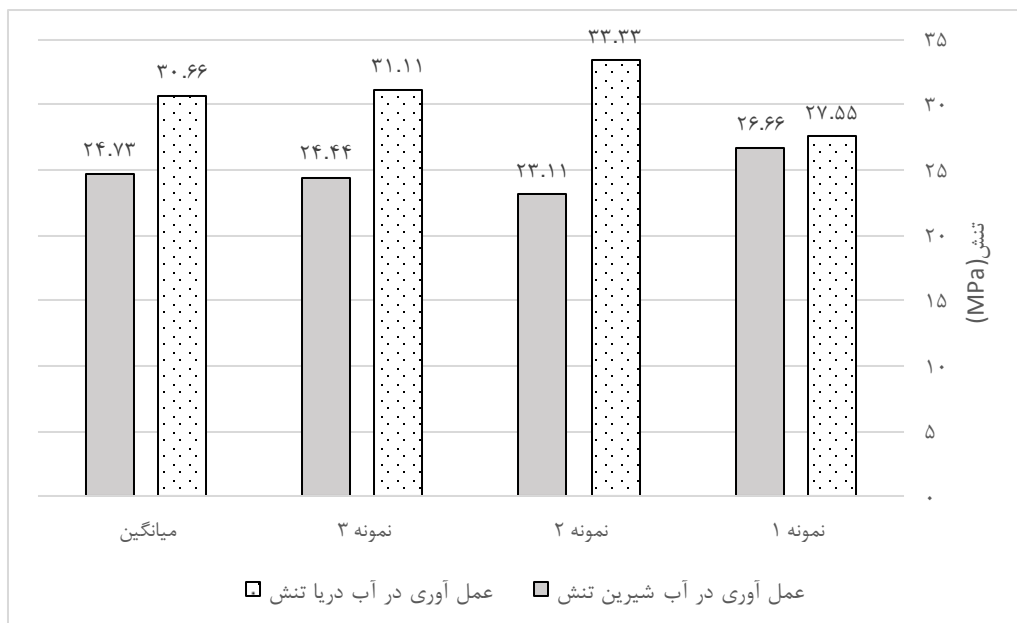
۴-۲-۱- بتن ساخته شده با میناب و عمل آوری شده در آب دریا

بتن ساخته شده با میکرو نانو حباب (میناب) دارای خواص مکانیکی متفاوتی از بتن ساخته شده با آب معمولی است (عارفی، ۹۳). حال اگر عمل آوری این بتن در آب معمولی و آب دریا انجام شود، رفتارهای متفاوتی از بتن را می‌توان مشاهده کرد. درحالی که بتن ساخته شده با میناب در آب دریا عمل آوری شود، بطور متوسط ۲۴ درصد در مقاومت ۷ روزه آن افزایش مشاهده می‌شود (شکل ۴-۱). این بتن‌ها با عیار سیمان ۳۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شده اند و بطور متوسط مقاومت ۷ روزه ۳۰,۶۶ و ۲۴,۷۳ مگا پاسکال را به ترتیب برای عمل آوری در آب دریا و آب معمولی از خود نشان دادند.

رفتار مقاومت فشاری بتن پس از ۲۸ روز نیز همانند مقاومت ۷ روزه آن با عمل آوری در آب دریا بهبود می‌یابد (شکل ۴-۲). بر اساس یافته‌های این پژوهش به طور متوسط ۲۹ درصد افزایش مقاومت فشاری ناشی از عمل آوری در آب دریا برای بتن ساخته شده با میناب مشاهده می‌شود.

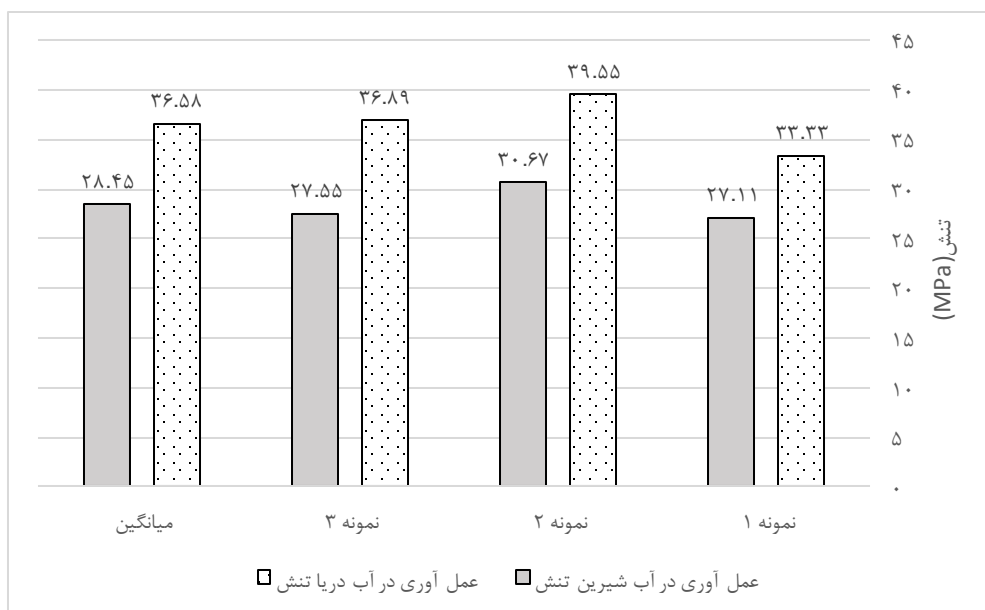
مقاومت فشاری بتن ساخته شده با میناب پس از ۱۵۰ روز عمل آوری در آب دریا نسبت به بتن میناب عمل آوری شده در آب معمولی، حدود ۶ درصد افزایش داشته است (شکل ۴-۳).

نتایج مربوط به این آزمایش در شکل‌های (۴-۱) تا (۴-۳) ارائه شده اند.



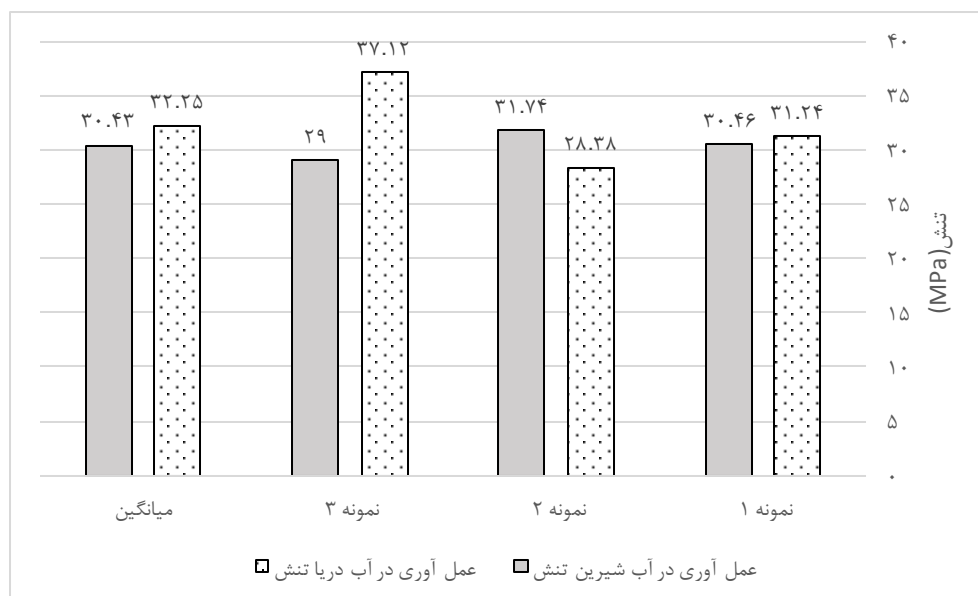
شکل ۴-۱- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب و عمل آوری شده در

آب دریا و آب معمولی



شکل ۴-۲- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب و عمل آوری شده در

آب دریا و آب معمولی



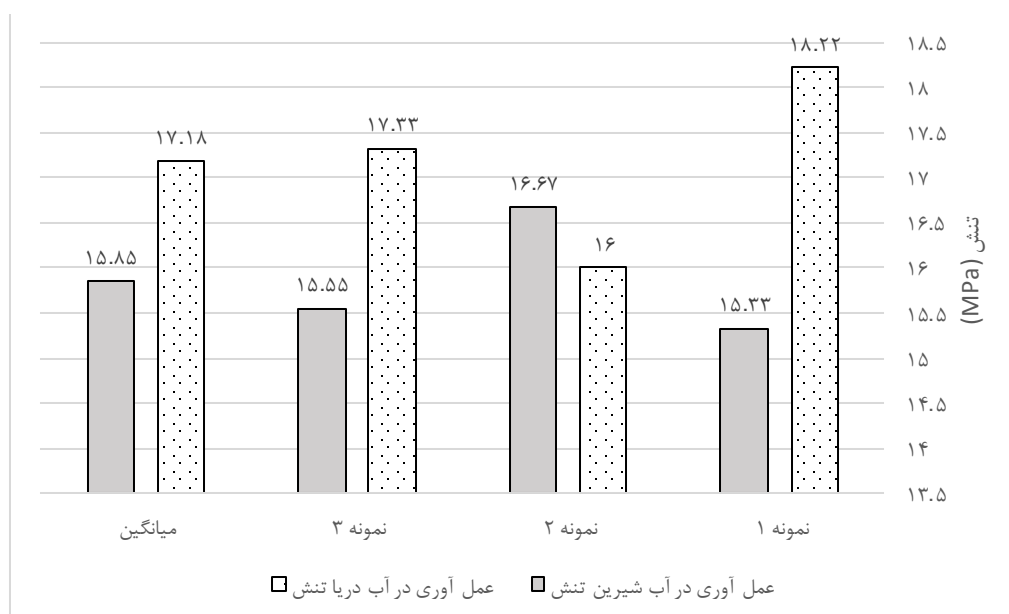
شکل ۴-۳- نمودار مقاومت فشاری ۱۵۰ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی نانو میکرو حباب و عمل آوری شده در آب دریا و آب معمولی

همانگونه که در نمودارها نشان داده شده است، مقاومت نهایی بتن میناب بر خلاف بتن معمولی با عمل آوری در آب دریا با کاهش مقاومت مواجه نشده است. اگرچه علت دقیق و مشخص این امر خارج از محدوده این پژوهش است ولی باتوجه به مطالعات انجام شده می‌توانیم فرض‌هایی داشته باشیم. در مطالعات انجام شده که در فصل دوم نیز مطرح شد، مشاهده کردیم که تشکیل با تاخیر اترینگیت که در اثر افزایش دمای هیدراتاسیون در طول عمل آوری بتن رخ می‌دهد موجب انبساط و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. می‌دانیم که دمای هیدراتاسیون بتن میناب کمتر از دمای بتن معمولی است (عارفی، ۹۳) بنابراین این امر می‌تواند مانع از تشکیل با تاخیر اترینگیت و در نتیجه افت مقاومت نهایی بتن شود.

۴-۲-۲- بتن ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده در آب دریا

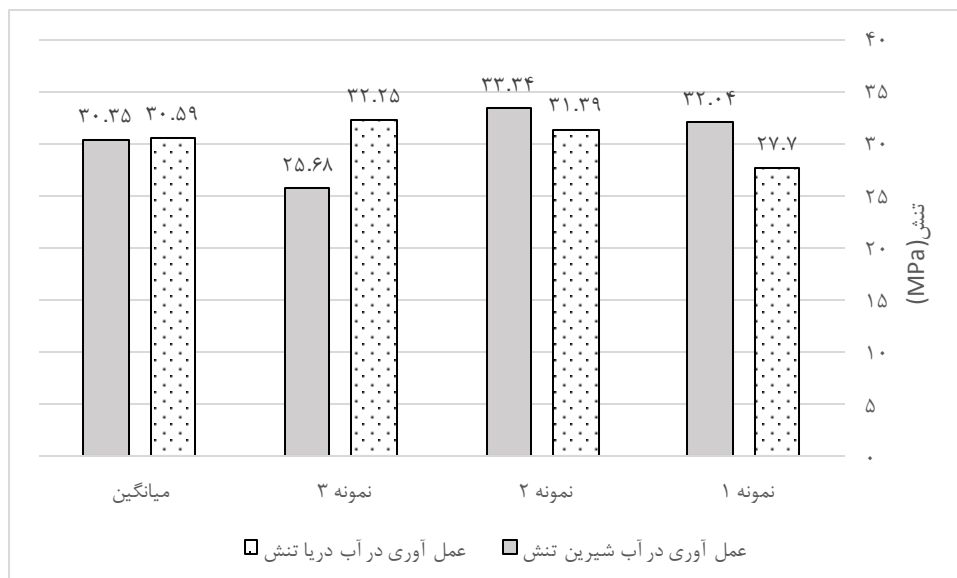
۱۸ نمونه نیز با آب معمولی ساخته و در آب دریا و آب معمولی عمل آوری شدند. آزمایش مقاومت فشاری بر روی این نمونه‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای را در مقاومت فشاری نمونه‌های عمل آوری شده در

آب دریا نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی نشان ندادند. مقاومت ۷ روزه نمونه‌های عمل آوری شده در آب دریا حدود ۸ درصد نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی افزایش داشته است (شکل ۴-۴). عمل آوری ۲۸ روزه نمونه‌ها در آب دریا تغییر خاصی در مقاومت فشاری آن‌ها نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی نداشته است (شکل ۴-۵). مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های عمل آوری شده در آب دریا با کاهش حدود ۶ درصدی مواجه شدند (شکل ۴-۶).



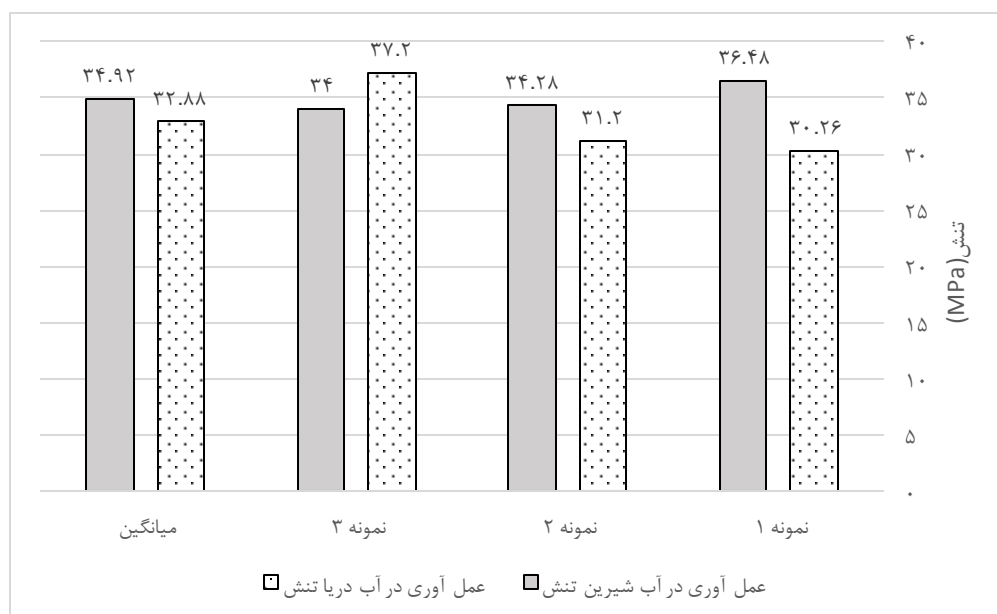
شکل ۴-۴- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده در آب دریا و آب

معمولی



شکل ۴-۵- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده در آب دریا و آب

معمولی

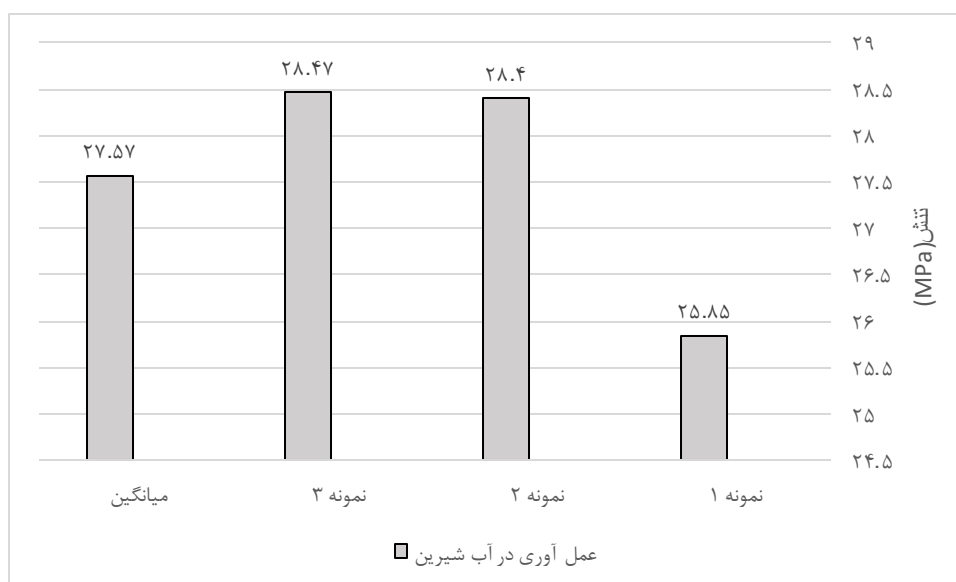


شکل ۴-۶- نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب معمولی و عمل آوری شده در آب دریا و آب

معمولی

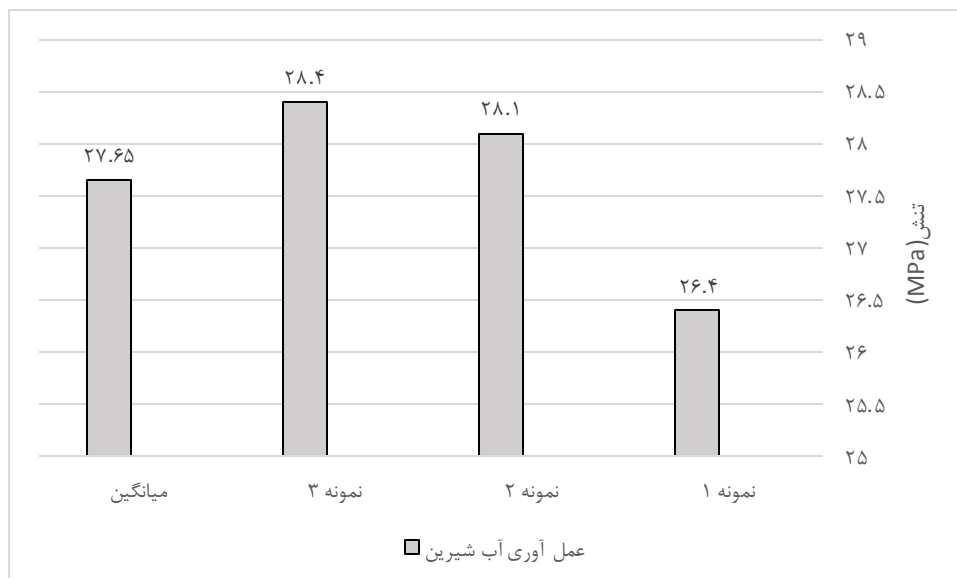
۳-۲-۴- نمونه‌های ساخته شده با ترکیب آب دریا و میناب و عمل آوری شده در آب معمولی

۳۰ نمونه نیز با ترکیب آب دریا و آب حاوی میکرو نانو حباب به عنوان آب ترکیبی ساخته شد. ساخت این نمونه‌ها با ۵ نسبت مختلف (۰-۱۰۰٪، ۲۵-۷۵٪، ۵۰-۵۰٪، ۷۵-۲۵٪، ۱۰۰-۰٪) انجام شده و پس از عمل آوری در آب معمولی، مقاومت فشاری آن‌ها اندازه گیری شد. در شکل‌های ۴-۷ تا ۴-۱۶ این مقاومت‌ها نشان داده شده اند.

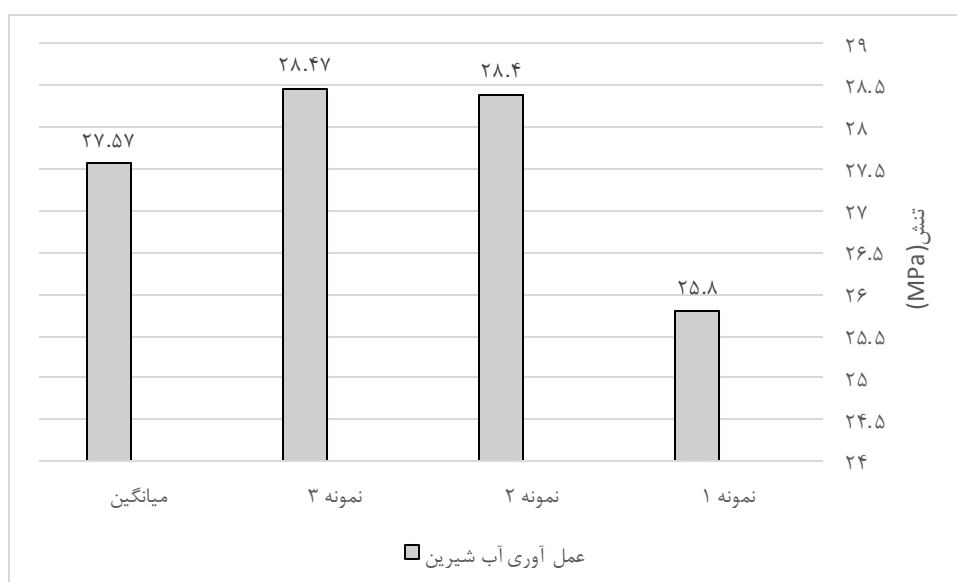


شکل ۴-۷- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در

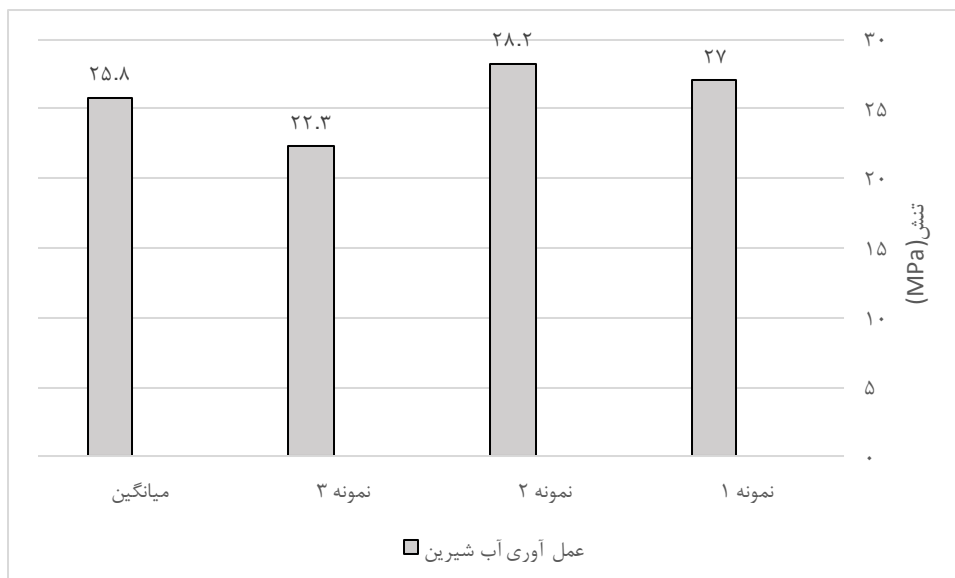
آب معمولی



شکل ۴-۸- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۷۵٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۲۵٪ آب دریا و عمل آوری شده در آب معمولی

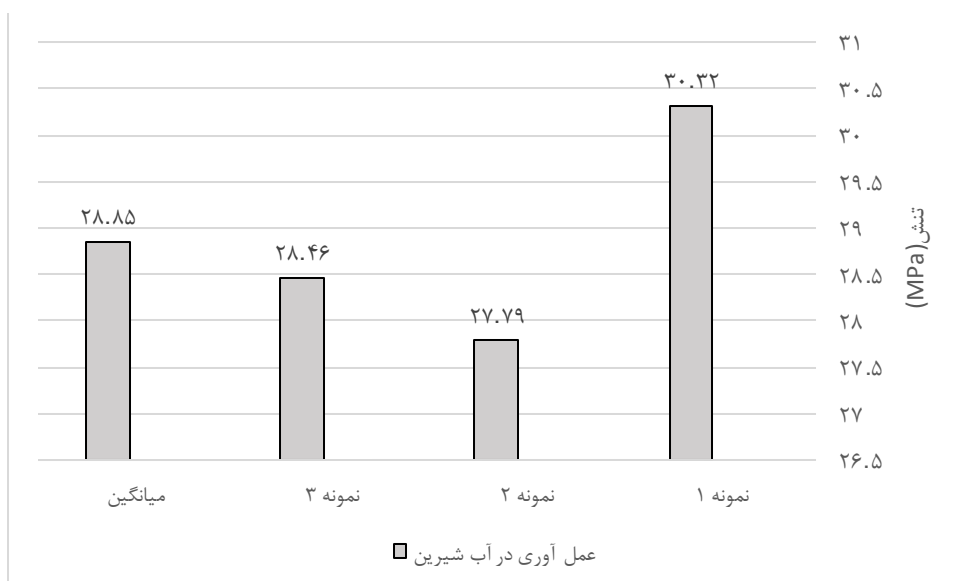


شکل ۴-۹- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۵۰٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۵۰٪ آب دریا و عمل آوری شده در آب معمولی

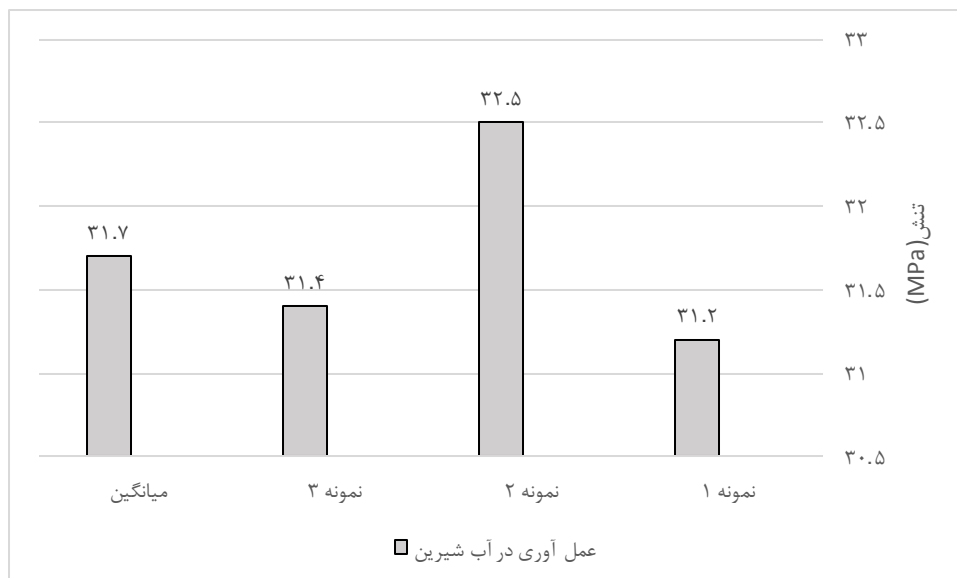


شکل ۴-۱۰- نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۲۵٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۷۵٪ آب

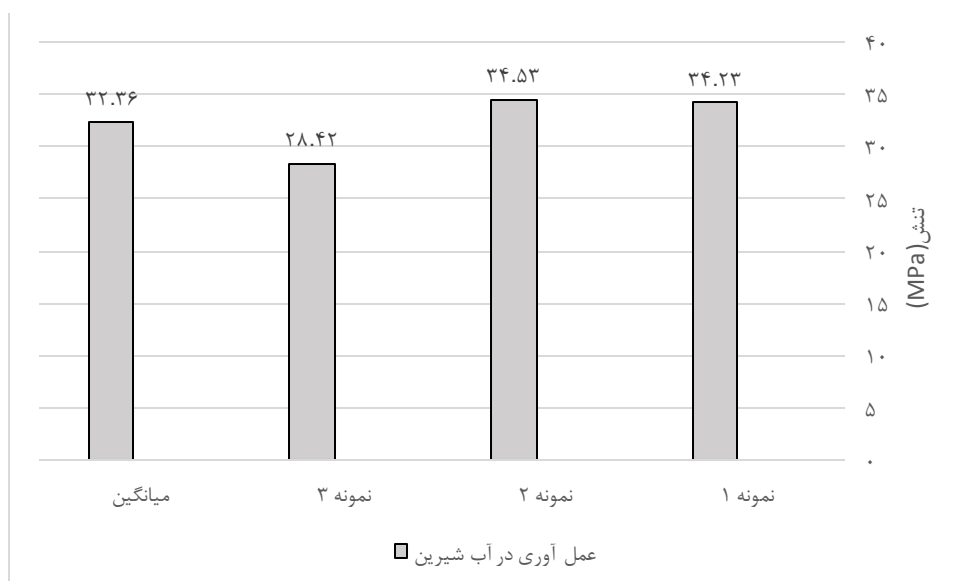
دریا و عمل آوری شده در آب معمولی



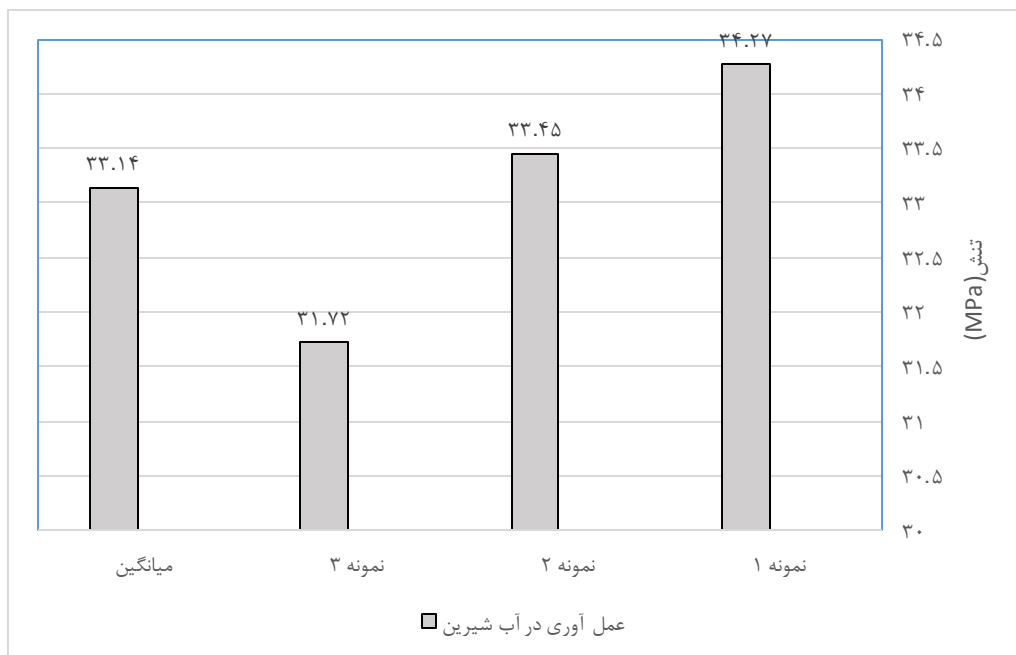
شکل ۴-۱۱- نمودار مقاومت فشاری ۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب دریا و عمل آوری شده در آب معمولی



شکل ۴-۱۲- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب حاوی میکرو نانو حباب و عمل آوری شده در آب معمولی

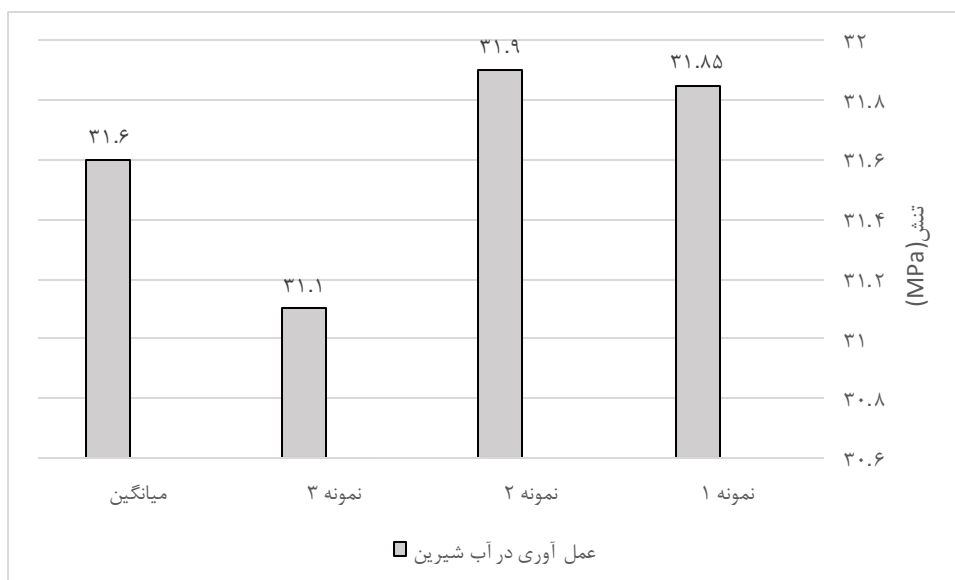


شکل ۴-۱۳- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۷۵٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۲۵٪ آب دریا و عمل آوری شده در آب معمولی



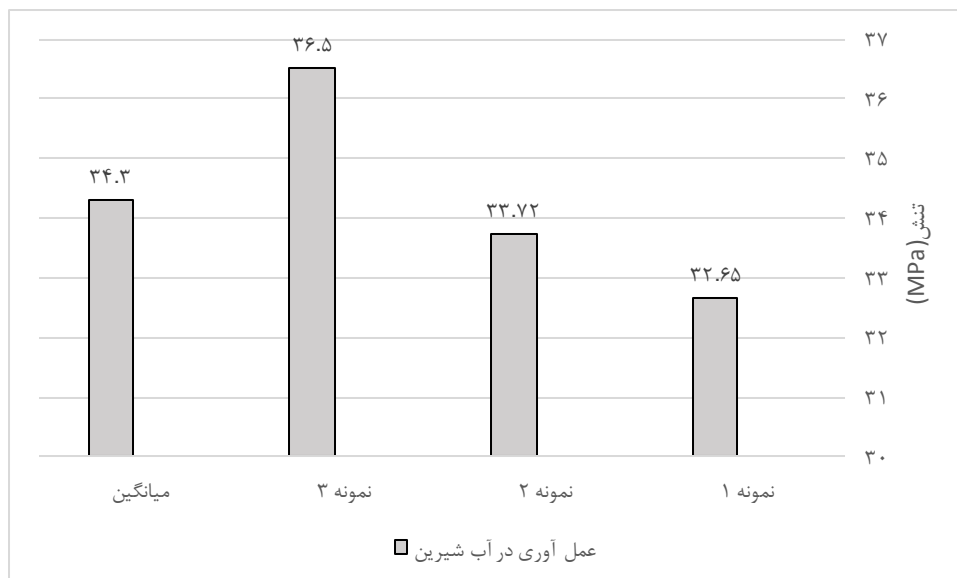
شکل ۴-۱۴- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۵۰٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۵۰٪ آب

دریا و عمل آوری شده در آب معمولی



شکل ۴-۱۵- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با ۲۵٪ آب حاوی میکرو نانو حباب و ۷۵٪ آب

دریا و عمل آوری شده در آب معمولی



شکل ۴-۱۶- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های ساخته شده با آب دریا و عمل آوری شده در آب معمولی

۴-۳- آزمایش مقاومت خمشی

این آزمایش مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۰ (ISIRI 490) انجام شد.

۴-۳-۱- محاسبات

الف- چنانچه ترک تازه به وجود آمده در سطح تنش در درون یک سوم طول دهانه وسط قرار بگیرد، محاسبه شکستگی از معادله ۳ تعیین می‌شود.

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (۱)$$

که در آن:

R = مدول شکستگی (مگا پاسکال)

P = حداکثر بار اعمال شده توسط دستگاه آزمون (نیوتن)

L = طول دهانه (میلی‌متر)

b = میانگین عرضه آزمون در نقطه شکست (میلی متر)

d = میانگین عمق آزمون در نقطه شکست (میلی متر)

یادآوری ۱: وزن میله نباید در محاسبات فوق منظور شود.

ب- چنانچه ترک بوجود آمده در سطح تنش خارج از یک سوم طول دهانه وسط بیشتر از ۵ درصد از

طول دهانه نباشد، مدول شکستگی از معادله ۴ تعیین می شود.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (۲)$$

که در آن:

R = مدول شکستگی (مگا پاسکال)

P = حداکثر بار اعمال شده توسط دستگاه آزمون (نیوتن)

a = میانگین فاصله بین مقطع ترک خورده با نزدیک ترین تکیه گاه (میلی متر)

b = میانگین عرض آزمون در نقطه شکست (میلی متر)

d = میانگین عمق آزمون در نقطه شکست (میلی متر)

ج- چنانچه ترک بوجود آمده در سطح تنش خارج از یک سوم طول دهانه وسط، بیشتر از ۵ درصد طول

دهانه باشد نتایج آزمون غیرقابل قبول می باشد.



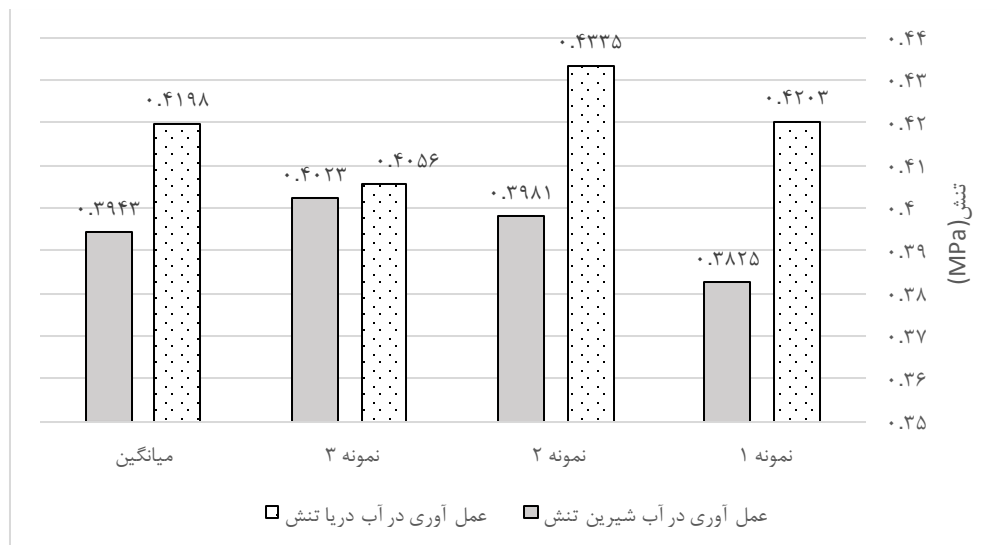
شکل ۴-۱۷- تیر بتنی قبل از اعمال بار در آزمایش مقاومت خمشی



شکل ۴-۱۸- تیر بتنی بعد از اعمال بار در آزمایش مقاومت خمشی

۴-۳-۲- نتایج

آزمایش مقاومت خمشی انجام شده بر روی تیرهای بتنی نشان دادند که مقاومت خمشی ۲۸ روزه تیرهای بتنی عمل آوری شده در آب دریا نسبت به تیرهای عمل آوری شده در آب معمولی حدود ۶ درصد افزایش داشته اند (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۹- نمودار مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه‌های میناب عمل آوری شده در آب دریا و آب شیرین

۴-۴- آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)

جزئیات این آزمایش از استاندارد شماره ۶۰۴۷ ایران (ISIRI 6047) گرفته شده است.

۴-۴-۱- محاسبات

مقاومت کششی دو نیم شدن برای استوانه‌های ۳۰*۱۵ سانتی‌متر و سرعت اعمال بار در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ کیلو نیوتن در دقیقه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$T = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (۳)$$

که در آن:

T = مقاومت کششی دو نیم شدن، کیلو پاسکال (کیلو نیوتن بر متر مربع)

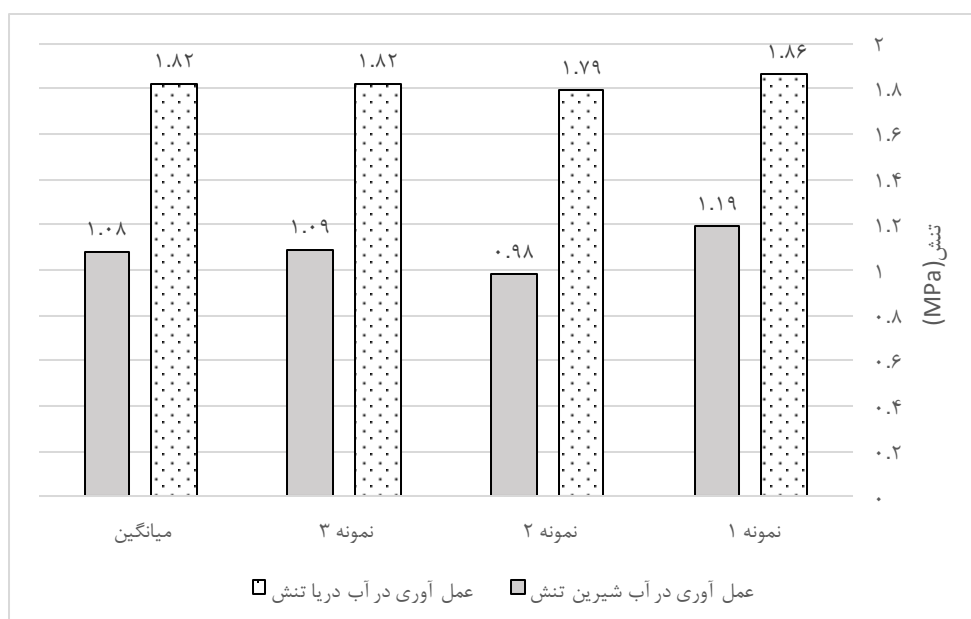
P = حداکثر بار اعمال شده، کیلو نیوتن

L = طول آزمون، متر

d = قطر آزمون، متر

۴-۴-۲- نتایج

طبق رابطه مذکور و اعداد بدست آمده از تست فشار نمونه‌های استوانه ای، مقاومت کششی بدست می‌آید. مطابق نتایج بدست آمده، مقاومت کششی ۱ روزه نمونه‌های عمل آوری شده در آب دریا حدود ۷۰ درصد بیشتر از نمونه‌های عمل آوری شده در آب معمولی است (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰- نمودار مقاومت‌های کششی نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد ۱ روزه

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

برای مطالعه بعدی

۵-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه اثر مواد نانو حباب بر روی بتن بررسی شد. در این ارتباط حدود ۱۰۰ نمونه به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج حاصل از تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- مقاومت فشاری ۷ روزه بتن معمولی عمل آوری شده در آب دریا نسبت به نمونه‌های مشابه عمل آوری شده در آب شیرین حدود ۱۰ درصد افزایش داشت.
- مقاومت فشاری طولانی مدت بتن معمولی عمل آوری شده در آب دریا که در سن ۹۰ روزه اندازه گیری شد حدود ۶ درصد کمتر از مقاومت فشاری نمونه‌های مشابه عمل آوری شده در آب شیرین بود.
- مقاومت فشاری بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا در سنین ۷ و ۲۸ روزه در مقایسه با بتن میناب عمل آوری شده در آب شیرین افزایش حدود ۳۰ درصدی را در پی داشت.
- این افزایش مقاومت در طولانی مدت کاهش یافت به طوری که افزایش مقاومت فشاری ۱۵۰ روزه بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا نسبت به بتن میناب عمل آوری شده در آب شیرین در حدود ۶ درصد بود.
- مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا نسبت به نمونه‌های مشابه عمل آوری شده در آب شیرین افزایش حدود ۶ درصدی داشته است.
- مقاومت کششی ۱ روزه بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا در مقایسه با بتن میناب عمل آوری شده در آب شیرین افزایش قابل توجه حدود ۷۰ درصدی را به همراه داشت.
- مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی ساخته شده با ترکیبات مختلف آب دریا و میناب و عمل آوری شده در آب شیرین تفاوت قابل ملاحظه‌ای با نمونه‌های بتن میناب عمل آوری شده در آب دریا نداشتند. مقاومت فشاری این نمونه‌ها در محدوده ۲۵,۵۷-۲۸,۸۵ نیوتن

بر میلی‌متر مربع و مقاومت ۲۸ روزه این نمونه‌ها در محدوده ۳۱,۶۳-۳۳,۱۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع قرار داشتند.

- تغییر نسبت ترکیب آب دریا و آب حاوی نانو میکرو حباب در ساخت بتن تاثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری بتن نداشته است.

در آخر پیشنهاد می‌شود که تاثیر یون‌های مضر آب دریا بر بتن میناب آرماتور بندی شده نیز در آینده بررسی شود.

- Aburawi, M. M., & Swamy, R. N. (2008). *Influence of salt weathering on the properties of concrete*. The Arabian Journal for Science and Engineering, 33(1).
- Adeyemi, O. F., & Modupeola, A. G. (2014). *The effect of sea water on compressive strength of concrete*. International Journal of Engineering science Invention, 3, 23-31.
- Akshat Dimri, Jay Kr. Varshney, V. K. Verma Sandeep Gupta (2015). *A Review on Strength of Concrete in Seawater*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4(3)
- Arefi, A., Saghravani, S. F. A., & Mozaffari Naeeni, R. (2016). Mechanical behaviour of concrete made with Micro-Nano Air Bubbles. Civil engineering Infrastructures Journal, 49(1), 141-149.
- Bai, J., Wild, S., Sabir. B.B. (2003). Chloride Ingress and Strength loss in concrete with different PC-PFA-MK Binder compositions exposed to synthetic sea water. Cement and Concrete Research.
- Balaguru, P. N., & Chong, k. (2006), *Nanotechnology and concrete research opportunities*, Recent Developments and Future Perspectives, 15-28, Denver, USA.
- Chong, K. P., & Garboczi, E. J. (2002). *Smart and designer structural material systems*. Progress in Structural Engineering and Materials, 4(4), 417-430.
- Dhir, R. K., Newlands, M. D. (1999). *A study of CEN test method for measurement of the carbonation depth of hardened concrete*. Materials and structure, 33, 135-142.
- Hoff, G.C. (1991). *Durability of offshore and marine concrete structures*, 2nd international conference, 33-64.
- Kansso, M. (2015), Bachelor of engineering Thesis, *Study of concrete degradation in salt water*, Civil department, Charles Darwin University.
- Kumar, S. (2000). *Influence of water quality on the strength of plain blended cement concrete in marine environments*. Cement and Concrete Research, 30(30), 345-350.

- Liu, H., Tai, N., and Lee, W. (2002). *Effect of seawater on compressive strength of concrete cylinder reinforced by non-adhesive wound hybrid polymer composites*. Composites Science and Technology, 62 (16), 2131–2141.
- Mbadike, E. M. (2011). *Effect of salt water in the production of concrete*. Nigerian Journal of Technology, 30(2).
- McCoy, W.J. (1996). *Mixing and curing water for concrete, Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials, STP 169-A*. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 515–521.
- Mehta, P.K., & Monteiro, P. (2005). *Concrete: microstructure, properties, and materials*, 3rd New York: McGraw-Hill Professional, 135–136.
- Naghoj, N.M. & Abdel-Rahmna, N. (2005). *Enhancing the performance of concrete subjected to salty seawater*, In: *Admixtures – enhancing concrete performance*, the international conference, 35-40, Dundee, Scotland, UK. London.
- Neville, A.M. 1995, *Properties of Concrete*. 4th Edition, Pitman Publishing Company Ltd.
- Nishida, T., Otsuki, N., Ohara, H., Gurba-say, Z. M., Nagata, T. (). *Some considerations for the applicability of sea water as mixing water in concrete*, Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technology.
- Olutoge, F., Adeyemi, & Amusan, G. Modupeola, (2014). *The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete*. International Journal of Engineering Science Invention, 3(7), 23-31
- Otsuki, N., Furuya, D., Saito Tsuyoshi, & Tadokoro, Y. (2011), *Possibility of sea water as mixing water in concrete*, 36th conferece on Our World in Concrete and Structures, Singapore.
- Pravallika, S. B., Lakshmi, V. (2014). *A study on fly ash concrete in marine environment*. International Journal of Innovative Research in science, Engineering and Technology.
- Raju, P. K., Ravindra, V., & Bhanusingh. M. (2014). *An investigation on Strengths of concrete for Marine works using OPC and sea water*, SSRG-IJCE.
- Raki, L., Beaudoin, J. J., Alizadeh. R. (2009). *Nanotechnology applications for sustainable cement-based products*, 3rd international symposium on nanotechnology in construction, 119-224, Prague, Czech Republic.

Schneider, U., & Chen, S.W., (2005). *Deterioration of high-performance concrete subjected to attack by the combination of ammonium nitrate solution and flexural stress*. Cement Concrete Research, 35 (9), 1705–1713.

Scrivener, K.L. (2009). Nanotechnology and cementitious materials, 3rd international Symposium on nanotechnology in construction, 37-42, Prague, Czech Republic.

Shayan, A., Xu, A., Chirgwin, G., Morris, H. (2010). *Effects of sea water on ARR expansion of concrete*. Cement and Concrete Research, 40.

Stark, D., (2002). *Performance of concrete in sulfate environments*, R&D Serial No. 129. Skokie, IL: Portland Cement Association (PCA).

Swamy, R. N. (1991). The alkali-Silica reaction in concrete, London Spon Press.

Tibbetts, D. C. (1968). *Performance of concrete in sea water*, Canadian Building Series, No 2, 159-180.

Uddin, T., Hidenori, H., & Yamaji, T., (2004). *Performance of seawater-mixed concrete in the tidal environment*. Cement and Concrete Research, 34 (4), 593–601.

Wegian, F. M. (2010). *Effect of seawater for mixing and curing on structural Concrete*. The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering, 3(4) 235-243.

عارفی، ا.، (۱۳۹۳)، پایان نامه ارشد: "کاربرد میکرو نانو حباب و نانو مواد در بهبود رفتارهای مکانیکی و عایق بودن مصالح ساختمانی (با تاکید بر بتن)"، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مظفری نائینی، ر.، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو- میکرو حباب هوا"، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پیوست الف:

در این پیوست، جداول مربوط به اندازه گیری ابعاد و پتانسیل زتا نمونه های ۱ روزه ضمیمه شده است.

برگرفته از: (مظفری نائینی ر، ۱۳۹۲)



NanoQ Report

Sample

Name : MNB
Measured on : 10/4/2013 10:59:59
by : admin
Mode: Acquisition
Profil: Admin

Comments from user:

iOP

Name Mr.Mozaffarei Operating mode Continuous

Dispersant / solvent properties

Refractive Index (nd) : 1.33
Viscosity : 0.891

Particles refractive Index

Real Part : 1.560
Imaginary Part : 0.01

Device settings

Time interval : 10.000µs
Number of channels : 400

SOP comment :
Default Procedure

Analysis mode

- ☒ Cumulants
☒ Pade-Laplace

Results

- ☒ Intensity
☒ Volume
☒ Number

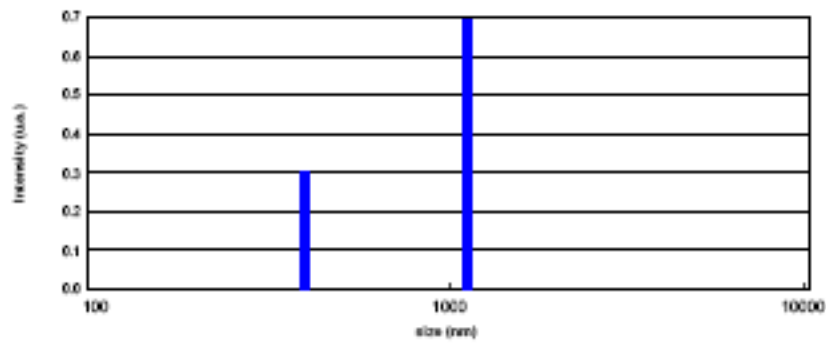
Measure conditions

Temperature : 25.0°C
Acquisitions : 0
Average count rate : 131.60 kcps
Duration : 0h 1min 27s
Laser power : 50%
DTC position : DOWN
Wavelength : 657.00

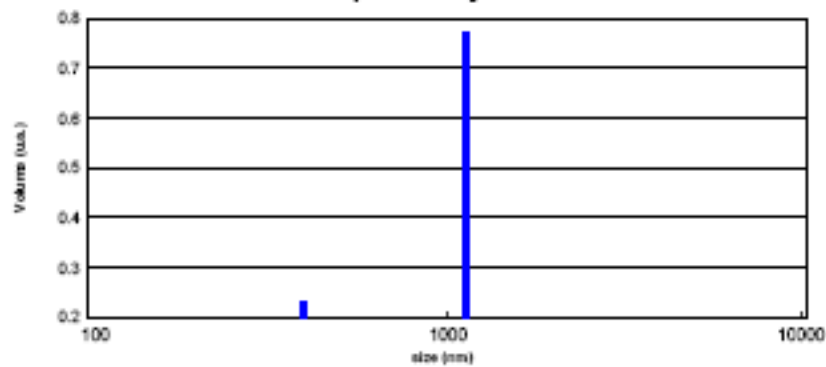
Pade-Laplace method

Dv10: 389.15 Dv60: 1 122.32 Dv90: 1 122.32
Dmean intensity: 898.70 Dmean volume: 953.38 Dmean number: 478.75

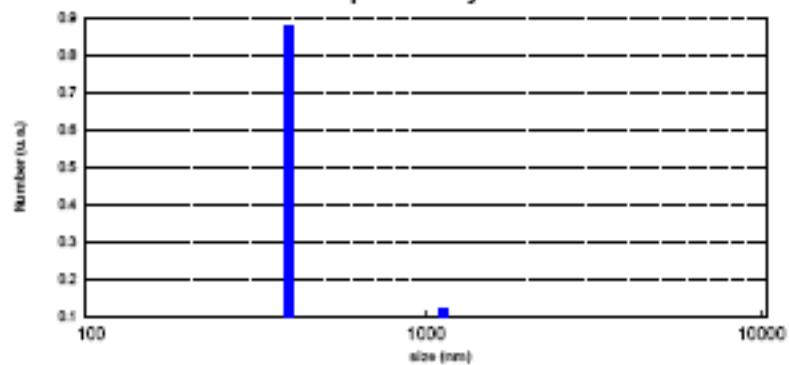
Size dispersion by Intensity



Size dispersion by Volume



Size dispersion by Number

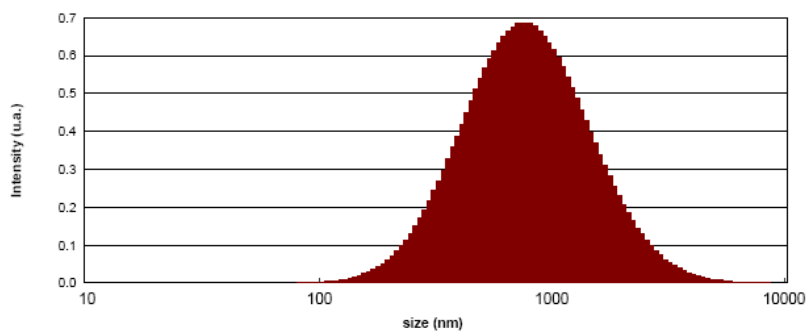


Size (nm)	Intensity	Number	Volume
389.15	0.30	0.88	0.23
1,122.32	0.70	0.12	0.77

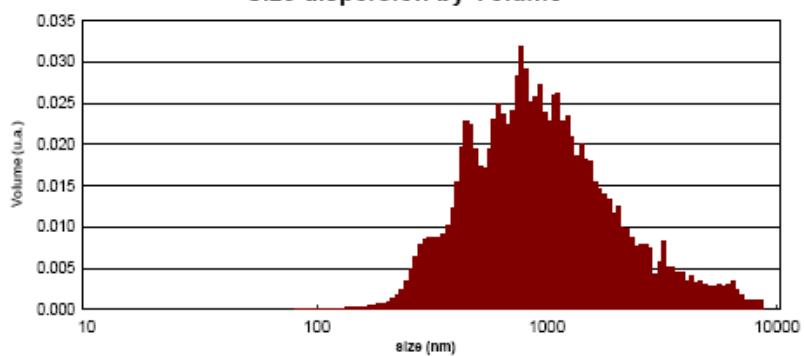
Cumulants method

					Zaverage (nm):	696.57	
Dv10:	407.49	Dv50:	891.49	Dv90:	2 571.08	PDI:	0.4340
Dmean Intensity:	941.55	Dmean volume:	1 278.66	Dmean number:	364.24		

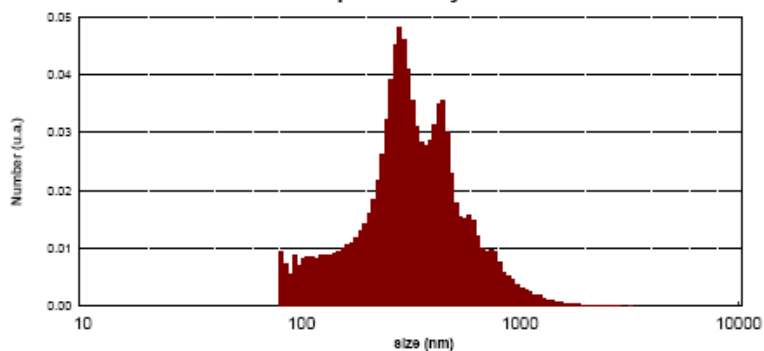
Size dispersion by Intensity



Size dispersion by Volume



Size dispersion by Number



Size (nm)	Intensity	Number	Volume
81.30	0.00	0.01	0.00
85.14	0.00	0.01	0.00
89.15	0.00	0.01	0.00
93.35	0.00	0.01	0.00
97.75	0.00	0.01	0.00
102.36	0.00	0.01	0.00
107.18	0.00	0.01	0.00
112.23	0.01	0.01	0.00
117.52	0.01	0.01	0.00
123.06	0.01	0.01	0.00
128.86	0.01	0.01	0.00
134.93	0.01	0.01	0.00
141.29	0.02	0.01	0.00
147.95	0.02	0.01	0.00
154.92	0.02	0.01	0.00
162.22	0.03	0.01	0.00
169.87	0.04	0.01	0.00
177.88	0.04	0.01	0.00
186.26	0.05	0.01	0.00
195.04	0.06	0.01	0.00
204.23	0.07	0.02	0.00
213.85	0.08	0.02	0.00
223.93	0.10	0.02	0.00
234.49	0.11	0.03	0.00
245.54	0.13	0.03	0.00
257.11	0.15	0.04	0.00
269.22	0.17	0.05	0.01
281.91	0.19	0.05	0.01
295.20	0.22	0.05	0.01
309.11	0.24	0.04	0.01
323.68	0.27	0.04	0.01
338.93	0.30	0.03	0.01
354.91	0.33	0.03	0.01
371.63	0.36	0.03	0.01
389.15	0.39	0.03	0.01
407.49	0.42	0.03	0.02
426.69	0.45	0.03	0.02
446.80	0.48	0.04	0.02
467.86	0.51	0.03	0.02
489.91	0.54	0.02	0.02
513.00	0.57	0.02	0.02
537.17	0.59	0.02	0.02
562.49	0.61	0.02	0.02
589.00	0.63	0.02	0.02
616.76	0.65	0.01	0.02
645.83	0.67	0.01	0.02
676.26	0.68	0.01	0.02
708.13	0.68	0.01	0.02
741.51	0.69	0.01	0.03
776.45	0.69	0.01	0.03
813.05	0.68	0.01	0.03
851.36	0.68	0.01	0.03
891.49	0.67	0.01	0.03
933.50	0.65	0.00	0.03
977.50	0.64	0.00	0.02
1,023.56	0.62	0.00	0.02
1,071.80	0.59	0.00	0.03
1,122.32	0.57	0.00	0.03
1,175.21	0.54	0.00	0.02
1,230.59	0.52	0.00	0.02
1,288.59	0.49	0.00	0.02

1,349.32	0.46	0.00	0.02
1,412.91	0.43	0.00	0.02
1,479.50	0.40	0.00	0.02
1,549.23	0.37	0.00	0.02
1,622.24	0.34	0.00	0.02
1,698.69	0.31	0.00	0.01
1,778.75	0.28	0.00	0.01
1,862.58	0.26	0.00	0.01
1,950.36	0.23	0.00	0.01
2,042.28	0.21	0.00	0.01
2,138.53	0.19	0.00	0.01
2,239.31	0.16	0.00	0.01
2,344.85	0.15	0.00	0.01
2,455.36	0.13	0.00	0.01
2,571.08	0.11	0.00	0.01
2,692.25	0.10	0.00	0.01
2,819.13	0.08	0.00	0.01
2,951.99	0.07	0.00	0.00
3,091.11	0.06	0.00	0.01
3,236.79	0.05	0.00	0.01
3,389.34	0.05	0.00	0.01
3,549.07	0.04	0.00	0.01
3,716.34	0.03	0.00	0.00
3,891.48	0.03	0.00	0.00
4,074.88	0.02	0.00	0.00
4,266.93	0.02	0.00	0.00
4,468.02	0.02	0.00	0.00
4,678.59	0.01	0.00	0.00
4,899.09	0.01	0.00	0.00
5,129.97	0.01	0.00	0.00
5,371.74	0.01	0.00	0.00
5,624.90	0.01	0.00	0.00
5,890.00	0.00	0.00	0.00
6,167.58	0.00	0.00	0.00
6,458.25	0.00	0.00	0.00
6,762.62	0.00	0.00	0.00
7,081.33	0.00	0.00	0.00
7,415.07	0.00	0.00	0.00
7,764.53	0.00	0.00	0.00
8,130.46	0.00	0.00	0.00
8,513.64	0.00	0.00	0.00

ZETA COMPACT REPORT

MNB-2

201304/10

Experiment Parameters

Dielectric constant:	78.91	Temperature :	23.63 °C
Electric Field:	8.41 V/cm	pH:	0.00
Conductivity:	0.022 mS/cm	Viscosity :	0.9189 mPas

Statistics

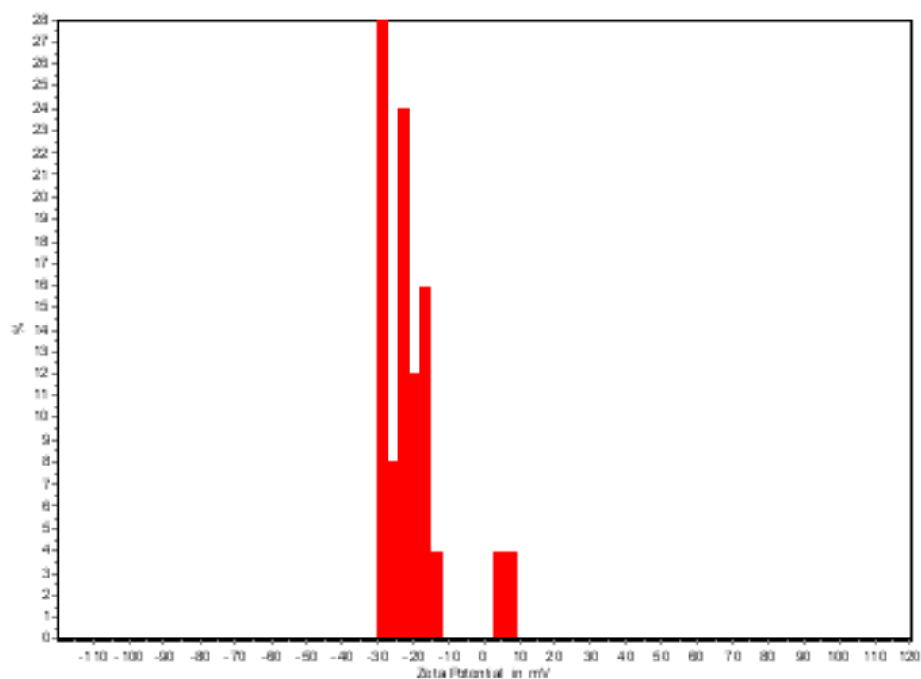
Mobilities :

Mean :	-1.54 $\mu\text{m}^2/\text{Vs}$
Standard Deviation :	0.66
Number of Trackings :	25

Zeta Potential:

Mean :	-20.28 mV
Standard Deviation :	8.73
Coefficient :	13.15

Mobilities Distribution



Abstract

In this thesis, the influence of major ions of seawater on MNB concrete was investigated experimentally. A mixture of water-to-cement ratio of 0.61 was used to make concrete samples. The experimental settings included sixty six (66) concrete cubes of 15 cm to measure the compression strength, six (6) concrete beams of 10 * 10 * 33 cm to measure the flexural strength and six concrete cylinder of 15 * 30 cm to measure the tensile. All tests were performed with triple samples. The samples were cured at 1, 7, 28, 90 and 150 days and then their compression, tensile and flexural strengths were tested. The results showed that compression strength of MNB concrete cured in sea water at ages 7 and 28 days increased like other concretes cured in sea water but unlike other concretes their long compression strength won't be decreased with curing in sea water. The 28- days- flexural strength and 1-day- tensile strength of MNB concrete cured in sea water was increased about 6% and 70 % respectively. The compression strength of specimens made with combination of sea water and MNB was not so different with specimens made with MNB.

Keywords: Sea water; MNB; compression strength; tensile strength; flexural strength



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

MSc Thesis in Water and Environmental Engin

Effects of main sea ions on concrete made with MNB

By: Fahimeh Taherpour Komishani

Supervisors:

Dr. S.f.Saghravani

Dr.M. Jalali

Advisor:

A. Arefi

September 2016