

ارزیابی تاثیر دو پوزولان طبیعی بر شاخص‌های مقاومت، جذب و نفوذ

آب در سازه‌های بتنی در معرض آب (کد D)

محمود تقدوسی علی^{۱*}، نیما کرمزاده^۲، حسین بهرامی^۳، سید محمد سجادی عطار^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

m.taghdisi@kmsu.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

n.karamzadeh@kmsu.ac.ir

^۳ استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

Hossein_bahrami1979@yahoo.com

^۴ مدیر گروه عمران دانشگاه فنی و حرفه‌ای دانشکده شهید منتظری مشهد

sajjadi297@yahoo.com

چکیده:

با پیشرفت سازه‌های بتنی و کاربردهای مختلف سیمان در این حوزه، امروزه تحقیقات گسترده‌ای در زمینه دوام و مدل سازی رفتار بتن در حال انجام است و ارتقاء کیفی مقاومت و دوام در راستای سند جامع بتن ۱۴۰۴ مورد توجه قرار گرفته است. افزایش دوام بتن علاوه بر نقش اساسی در توسعه پایدار، در زمینه حفظ محیط زیست و منابع تجدیدناپذیر نیز حائز اهمیت است. از این رو در این مقاله با هدف بررسی شاخص‌های مقاومتی و دوام بتن به کار گرفته شده در سازه‌های مجاور آب، دو پوزولان بیش آقاج خراسان و معدنی از منطقه خراسان شمالی با تغییر درصد جایگزینی سیمان، عیار سیمان و نسبت آب به سیمان ارزیابی شده‌اند. از آنجا که در سازه‌های دریایی، آب بانفوذ به داخل بتن خرابی‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی را سبب می‌شود؛ یکی از شاخص‌های مهم در بررسی دوام میزان نفوذ آن در مقابل آب است. در این مقاله شاخص‌های مقاومت فشاری، جذب و میزان نفوذ آب ارزیابی شده است. در طرح‌های مخلوط از نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ و عیارهای مواد سیمانی ۳۷۵ و ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب و نیز از نمونه‌های دو پوزولان جایگزین سیمان به میزان ۲۰، ۳۵ و ۱۰ درصد جایگزینی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد با افزودن این دو پوزولان در بتن، بهبود مقاومت و کاهش نفوذ در بلند مدت حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: بتن، شاخص دوام، پوزولان‌های طبیعی، شاخص مقاومت، شاخص نفوذ، شاخص جذب

Assessment of the strength, durability and water absorbance performances of the two natural pozzolans in concrete structures exposed to marine environments

Mahmood Taghdisi Elli^{۱*}, Nima Karam Zadeh^۲, Hossein Bahrami^۳ Seyyed Mohammad Sajjadi Attar^۴

^۱ Master Student of Offshore Structural Engineering, Khorramshahr Marine Science and Technology University

^۲ Assistant professor at Khorramshahr Marine Science and Technology University, River and Coastal Engineering Department

^۳ Assistant professor at Khorramshahr Marine Science and Technology University, River and Coastal Engineering Department

^۴ head of department of Shahid Montazeri University of Mashhad

Abstract:

With the development of concrete structures and various cement applications, nowadays extensive researches has been done about durability and modeling the behavior of concrete structures. In order to improve the quality and durability of concrete, this issue is considered in ۱۴۰۴ Iran comprehensive document. Increasing durability of concrete has important role in sustainable development, also in conservation of environment and nonrenewable resources is important. In this paper, to assessment of strength and durability of concrete in maritime structures, two natural pozzolans, Bish Aghaj Khorasan and mineral places in north Khorasan, has been analyzed in cement replacement percentage, cement content and water to cement ratio.

Since in the maritime structures, water absorbance into the concrete can cause physical and chemical damage, one of the most important criteria in the durability is water absorbance. In this paper, strength, absorbance and water permeability are assessed. In the mix control Water to cement ratio is chosen ۰,۳ and ۰,۳۴. Also, concrete content is ۳۷۵ and ۴۲۵ kg/m^۳ and two pozzolans as a cement with ۱۰, ۲۰, ۳۰ replacement percentage are used.

Results have shown that these pozzolans improve resistance and decrease water absorbance in long term.

Keywords: Concrete, Durability, Natural Pozzolans, resistance, absorbance, water permeability

۱. مقدمه

امروزه در کشور با توجه به توسعه همه جانبه و روز افزون مناطق جنوبی حاشیه خلیج فارس، به علت افزایش ترانزیت دریایی و بهره برداری و استخراج منابع نفت و گاز، نیاز به ساخت و اجرای انواع سازه‌های بتنی در سطح وسیع در سال‌های آتی این مناطق وجود دارد. اکنون نیز بسیاری از انواع سازه‌های دریایی بتنی این مناطق در مراحل ساخت است و مرتباً نیز گزارش‌هایی از خرابی‌های این نوع سازه‌ها حتی قبل از رسیدن به بهره برداری منتشر می‌شود. لذا انجام تحقیقات بیشتر به منظور ارائه راهکارهایی برای ساخت بتن با دوام در این منطقه کاملاً احساس می‌شود [۱].

طبق تعریف ACI ۲۰۱ دوام بتن حاوی سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقابله با عوامل هوازدگی، تهاجم شیمیایی، سایش و یا هر فرآیندی که به آسیب دیدگی می‌انجامد، گفته می‌شود. بنابراین، بتن پایا بتنی است که تا حدود زیادی شکل اولیه و کیفیت و قابلیت خدمت‌رسانی خود را در شرایط محیطی حاکم حفظ نماید [۲]. سازه‌هایی همچون باراندازها و اسکله‌های بتنی و پل‌های ارتباطی آن، سازه‌های بتنی فراساحلی، پوشش بتنی پیش ساخته و درجا، ساخت قطعات پیش ساخته غیر مسلح یا مسلح برای حفاظت از موج شکن‌ها و تاسیسات بندری و غیره از جمله مواردی است که مصرف بتن با دوام و قطعات بتنی با عمر زیاد را می‌طلبد [۳].

به منظور افزایش دوام و کاهش میزان نفوذ خمیر سیمان دو روش پیشنهاد می‌شود؛ اول کم کردن نسبت آب به سیمان و دوم استفاده از مواد جایگزین سیمان یا پوزولان‌ها می‌باشد. کاهش نسبت آب به سیمان علاوه بر از دست دادن کارایی، به تنهایی برای کاهش منافذ خمیر سیمان کافی نیست. استفاده از مواد پوزولانی، نقش به‌سزایی در کاهش نفوذ پذیری ایفا می‌کند و در جهت توسعه پایدار و حفظ محیط زیست و منابع طبیعی تجدید ناپذیر به کار می‌آید. بنابراین، یکی از راه‌های کاهش مصرف سیمان، استفاده از مواد مکمل سیمان و پوزولان است [۳].

پی بردن به دوام بتن در شرایط مختلف نیاز به قرار گرفتن در این شرایط و طی شدن زمان قابل توجه دارد. معمولاً امکان انجام تحقیق در شرایط واقعی وجود ندارد و یا از حوصله دست اندرکاران خارج است. برای اینکه مشخص شود یک بتن در چنین شرایطی بطور مناسب و مطلوب عمل می‌کند نیاز به آزمایش‌هایی کوتاه مدت دارد که در این آزمایش‌ها عوامل تهاجمی یا اعمالی تشدید می‌شود (تسریع شده) و یا آزمایش به صورت تسریع نشده و در شرایط معمولی انجام می‌گردد که در این حالت دوم، معیار مقایسه تغییر می‌کند [۳]. برای اندازه‌گیری نفوذ بتن روش‌های مختلفی از جمله روش آیین‌نامه پایایی بتن مقاومت فشاری، نفوذ تحت فشار و جذب آب وجود دارد. در این مقاله از روش‌های مستند آیین‌نامه پایایی بتن جهت بررسی پارامترهای دوام استفاده شده است.

در این مقاله، با استفاده از پوزولان‌های طبیعی سعی بر افزایش دوام بتن است که برای ارزیابی بهبود کیفیت بتن از معیارهای دوام (مقاومت فشاری، نفوذ تحت فشار آب و جذب آب کوتاه مدت) استفاده شده است. در ادامه، کار آزمایشگاهی، نتایج و نیز بحث و نتیجه‌گیری قرار دارد.

۲. روش کار آزمایشگاهی

از آنجا که هدف این تحقیق بررسی پارامترهای مقاومتی و دوام بتن‌های معمول مورد استفاده در مناطق دریایی ایران نظیر خلیج فارس و دریای عمان است، در طرح‌های مخلوط بتن پارامترهای مؤثری چون روانی بتن، حداکثر اندازه سنگدانه و دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها ثابت نگاه داشته شد و با تغییر نسبت آب به مواد سیمانی، عیار مواد سیمانی و همچنین درصد استفاده از پوزولان طبیعی، تغییرات پارامترهای مختلف مطالعه شد.

۲.۱. مصالح مصرفی

سیمان

سیمان پرتلند یک سیمان هیدرولیکی است؛ به این معنا که با مخلوط نسبت‌های مناسب با آب، در زیر آب و همچنین هوا سخت می‌شود. نام این ماده چسبنده از تشابه ظاهری آن در حالت سخت شده با سنگ پرتلند انگلیس منشأ گرفته است. سیمان مصرفی برای ساخت مخلوط‌های بتن این مقاله از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ محصول کارخانه سیمان زاوه تربت بوده است که خواص شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان زاوه تربت

آزمون فیزیکی سیمان زاوه تربت																
مانده روی الک (۹۰μ)	بلین Cm ^۲ /gr	زمان گیرش (دقیقه)		مقاومت فشاری (Kg/Cm ^۲)												
		زمان گیرش اولیه	زمان گیرش نهایی	۱ روز	۲ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز								
۳۰/۰٪	۲۹۵۲	۱۳۰	۱۹۰	-	-	۲۳۱	۳۹۲	۵۳۶								
انقباض سیمان		حرارت هیدراسیون cal/gr		<table border="1"> <caption>Compressive strength data from graph</caption> <thead> <tr> <th>Time</th> <th>Strength (Kg/Cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3day</td> <td>231</td> </tr> <tr> <td>7day</td> <td>392</td> </tr> <tr> <td>28day</td> <td>536</td> </tr> </tbody> </table>					Time	Strength (Kg/Cm ²)	3day	231	7day	392	28day	536
Time	Strength (Kg/Cm ²)															
3day	231															
7day	392															
28day	536															
اتوکلاو (%)	لوشاتلیه (mm)	۷ روز	۲۸ روز													
۰/۱۲	تایید است	-	-													
ترکیب شیمیایی (%) و فازهای سیمان زاوه																
IR	SiO _۲	Al _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	CaO	MgO	SO _۳	Na _۲ O	K _۲ O								
۰/۲۰	۲۱/۲۴	۵/۰۱	۳/۶۵	۶۴	۲/۸۸	۱/۶۰	۰/۳۹	۰/۵۹								
Loss	cl	C _۳ S	C _۲ S	C _۳ A	C _۴ AF	C _۴ AF+۲C _۳ A		F/CaO								
۰/۷۰	۰/۰۱۶	۵۵/۶۴	۱۸/۹۴	۷/۱۰	۱۲/۴۳	۱۹/۵۳		-								

در این پژوهش از پوزولان بیش آجاج خراسان و معدنی از منطقه خراسان شمالی استفاده شد که خواص شیمیایی و مکانیکی آن در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد. پوزولان بیش آجاج، یک پوزولان سیلیسی آلومیناتی است و از معدنی به همین نام که در فاصله ۳۸ کیلومتری شهرستان قوچان و در قسمت جنوب غربی بزرگراه مشهد-قوچان قرار دارد، گرفته شده است. از این پوزولان در ساخت سیمان پوزولانی در کارخانه سیمان شرق مشهد استفاده می‌شود.

جدول ۲: مشخصات شیمیایی پوزولان طبیعی مناطق بیش آقاج و خراسان شمالی

ترکیب شیمیایی و فازهای پوزولان بیش آقاج (%)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Loss
۵۴٫۴۷	۱۳٫۸۷	۳٫۸	۶٫۲	۱٫۳	۰٫۶۲	۱٫۴۱	۰٫۴۸	۱۷٫۸۵
ترکیب شیمیایی و فازهای پوزولان خراسان شمالی (%)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	LoI
۵۸٫۶۱	۱۸٫۰۲	۵٫۵۹	۴٫۳۶	۰٫۳۴	۱٫۱۹	۱٫۷۶	۱٫۵۲	۶٫۲۷

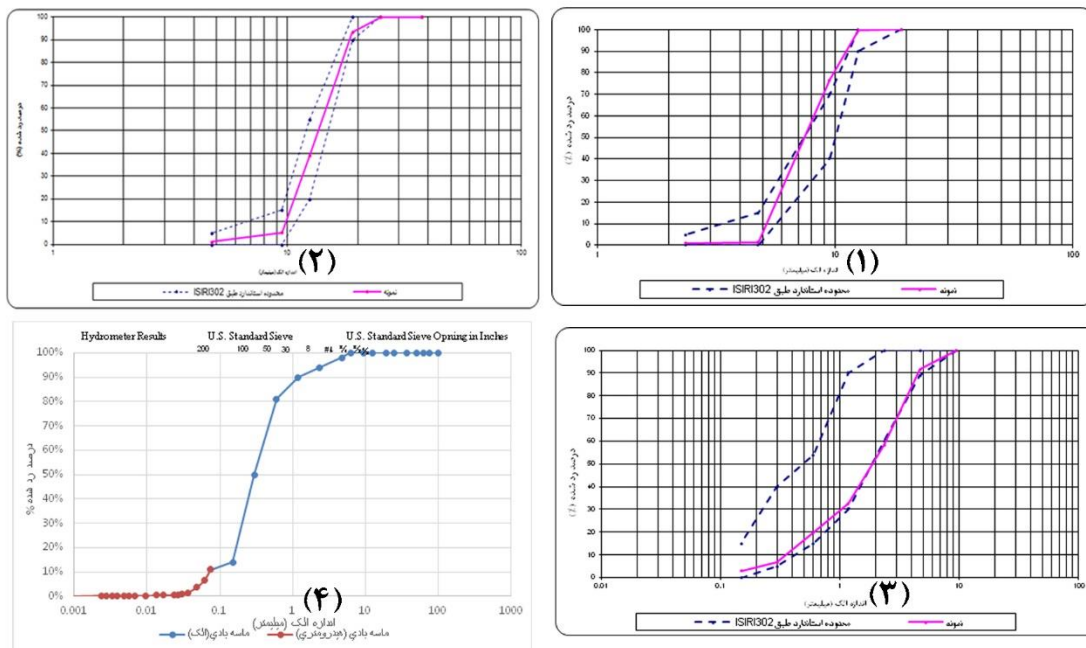
۲٫۲. دانه‌بندی مصالح سنگی

در طرح‌های ساخته‌شده، از مصالح مصرفی محورهای سرخس و کلات استفاده شده است. مصالح سنگی محور کلات به دلیل واکنش کمتر با قلیای سیمان نسبت به مصالح محور سرخس ارجح است. نتایج دانه‌بندی شن بادامی، شن نخودی، ماسه شسته و ماسه‌بادی به ترتیب در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۳: نتایج دانه‌بندی شن بادامی، شن نخودی، ماسه شسته، ماسه‌بادی

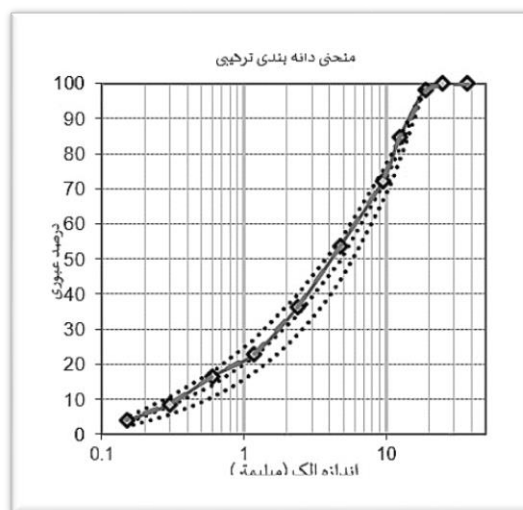
دانه‌بندی مجزای مصالح (درصدهای عبوری)						محدوده ترکیبی دانه‌بندی طبق رابطه اصلاح‌شده فولر تامسون		
شماره و اندازه الک		شن متوسط (بادامی)	شن ریز (نخودی)	ماسه	ماسه‌بادی	n	n	n
mm	-					۰٫۳۵	۰٫۴۵	۰٫۵۵
۲۷٫۵	۱۱/۲ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۵	۱ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۳/۴ اینچ	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۲٫۵	۱/۲ اینچ	۳۹	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۸۴	۸۱	۷۸
۹٫۵	۳/۸ اینچ	۵	۷۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۷۱	۶۷
۴٫۷۵	نمره ۴	۱	۲	۹۲	۹۹	۵۵	۴۹	۴۴
۲٫۳۶	نمره ۸	-	۱	۵۸	۹۸	۴۰	۳۴	۲۸
۱٫۱۸	نمره ۱۶	-	-	۳۲	۹۵	۲۷	۲۲	۱۸
۰٫۶	نمره ۳۰	-	-	۲۰	۹۰	۱۸	۱۴	۱۱
۰٫۳	نمره ۵۰	-	-	۷	۶۹	۱۱	۸	۶
۰٫۱۵	نمره ۱۰۰	-	-	۳	۳۲	۵	۳	۲

در نمودار ۱ نمودار دانه‌بندی بادامی، نخودی، ماسه و ماسه‌بادی مشاهده می‌شود. طبق این نمودار مصالح انتخابی در محدوده استاندارد بوده و در این محدوده کنترل شده‌اند.



نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی بادامی (۱)، منحنی دانه‌بندی نخودی (۲)، منحنی دانه‌بندی ماسه (۳)، منحنی دانه‌بندی ماسه‌بادی به روش هیدرومتری (۴)

در نمودار ۲ منحنی دانه‌بندی ترکیبی مصالح سنگی موجود با نسبت‌های شن بادامی و نخودی به ترتیب ۲۵٪ و ۱۸٪ (مجموع شن ۴۳٪) و ماسه طبیعی و بادی به ترتیب ۵۰٪ و ۷٪ (مجموع ماسه ۵۷٪) با استفاده از مربع-خط نشان داده شده است (درصدهای ارائه‌شده به صورت حجمی از کل مصالح سنگی در یک مترمکعب بتن است).



نمودار ۲: منحنی ترکیبی مصالح سنگی

۱.۱. افزودنی شیمیایی

بهبود خواص مکانیکی و دوامی (افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری) در بتن متناسب با کاهش نسبت آب به سیمان است. فوق روان کننده‌ها به عنوان مواد افزودنی شیمیایی، در واقع کاهنده قوی آب در بتن (بدون کاهش روانی بتن) می‌باشند و می‌توانند

ذرات سیمان و پوزولان را به خوبی در آب و مخلوط بتن تازه پراکنده کنند. ماده فوق روان کننده مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلی کربوکسیلات بانام تجاری ZP محصول شرکت Zhikava (ژیکاوا) است. با توجه به اینکه این روان کننده پایه پلی کربوکسیلیک اتری داشته و دارای زنجیره های مولکولی نیز است؛ در شروع فرآیند هیدراسیون سیمان و مواد پوزولانی به کمک خاصیت افزایش الکتریسیته ساکن ذرات را به خوبی پخش نموده در ادامه حضور زنجیره های جانبی موجب ممانعت شدید از تجمع مجدد ذرات شده و آن ها را به صورت مجزا و پراکنده نگه می دارد. این مواد افزودنی به صورت محلول به بخشی از آب مصرفی اضافه و به بتن داخل میکسر اضافه می شود. آزمایش درصد مواد جامد برای به دست آوردن میزان مواد جامد مواد افزودنی پایه ی کربوکسیلات شرکت ژیکاوا مطابق استاندارد ASTM C ۴۹۴ (استاندارد مشخصات شیمیایی روان کننده) انجام شده است

۲.۳. طرح مخلوط بتن

از آنجاکه هدف این تحقیق، بررسی پارامترهای مقاومتی و دوام بتن های معمول مورد استفاده در مناطق دریایی ایران نظیر خلیج فارس و دریای عمان است، در طرح های مخلوط از نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ و عیارهای مواد سیمانی ۳۷۵ و ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. نمونه هایی با استفاده از دو نوع پوزولان طبیعی جایگزین سیمان به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۵ درصد جایگزینی ساخته شد تا اثر پوزولان طبیعی نیز مطالعه شود. در نتیجه تعداد مخلوط های مورد مطالعه ۱۴ مخلوط است که جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ۴: مشخصات ساخت طرح‌های مخلوط بتن

	طرح اختلاط	وزن مصالح (kg/m^3)							نسبت آب به سیمان	
		بادامی SSD	نخودی SSD	ماسه SSD	ماسه بادی	عیار سیمان	درصد مواد جایگزین سیمان	پوزولان طبیعی (p۱, p۲)		افزودنی
۱	C۵۰-P۰-۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۴۲۵	۰٪	۰	۲,۵۵	۰,۳
۲	C۴۰-P۰-۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۷۵	۰٪	۰	۲,۲۵	۰,۳۴
۳	C۵۰-P۱-۳۵٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۲۷۶,۳	۳۵٪	۱۴۸,۷۵	۲,۵۵	۰,۳
۴	C۴۰-P۱-۳۵٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۲۴۳,۸	۳۵٪	۱۳۱,۲۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۵	C۵۰-P۱-۲۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۴۰	۲۰٪	۸۵	۲,۵۵	۰,۳
۶	C۴۰-P۱-۲۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۰۰	۲۰٪	۷۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۷	C۵۰-P۱-۱۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۸۲,۵	۱۰٪	۴۲,۵	۲,۵۵	۰,۳
۸	C۴۰-P۱-۱۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۳۷,۵	۱۰٪	۳۷,۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۹	C۵۰-P۲-۳۵٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۲۷۶,۳	۳۵٪	۱۴۸,۷۵	۱۶,۳۲	۰,۳
۱۰	C۵۰-P۲-۲۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۴۰	۲۰٪	۸۵	۱۰,۲۵	۰,۳
۱۱	C۵۰-P۲-۱۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۸۲,۵	۱۰٪	۴۲,۵	۵,۹۱	۰,۳
۱۲	C۴۰-P۲-۳۵٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۲۴۳,۸	۳۵٪	۱۳۱,۲۵	۱۴,۳۵	۰,۳۴
۱۳	C۴۰-P۲-۲۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۰۰	۲۰٪	۷۵	۸,۷۹	۰,۳۴
۱۴	C۴۰-P۲-۱۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۳۷,۵	۱۰٪	۳۷,۵	۵,۱	۰,۳۴

۲.۴. شرایط عمل آوری آزمونها

آزمونه‌های بتنی پس از قالب‌گیری به مدت ۲۴ ساعت زیر چتایی مرطوب نگهداری شد. پس از باز کردن قالب‌ها، آزمونه‌ها به مدت ۲۷ روز در حوضچه آب با دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲.۵. روش‌های آزمایش

مقاومت فشاری

در این تحقیق مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ISIRI ۳۲۰۶ انجام شده است [۴]. آزمونه‌ها بعد از ۲۷ روز عمل‌آوری از آب خارج شدند و سطح آن‌ها خشک گردید. سپس آن‌ها را در دستگاه تعیین مقاومت فشاری قرار داده و مقاومت فشاری نمونه‌ها تعیین شد.

آزمایش جذب آب کوتاه مدت

در آیین‌نامه پیشنهادی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس، معیارهایی برای شرایط مختلف محیطی حاکم به روش BS ۱۸۸۱ part ۱۲۲ ارائه شده است [۵]. به این ترتیب پس از ۲۸ روز عمل‌آوری، نمونه‌ها از حوضچه آب خارج شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در گرمخانه قرار داده شدند و بعد از آن توزین و دوباره در گرمخانه قرار داده شدند. خشک کردن آزمونه‌ها تا جایی ادامه پیدا کرد که اختلاف جرم دو اندازه‌گیری متوالی در فاصله ۲۴ ساعت کمتر از 0.5% درصد شد. سپس آزمونه‌ها غرقاب شدند و پس از 0.5 ± 30 دقیقه، آزمونه‌ها از آب خارج شده و سطح آن‌ها با پارچه خشک گردید و دوباره توزین شدند.

مقدار جذب آب کوتاه مدت ۳۰ دقیقه بر اساس رابطه (۱) تعیین می‌شود.

رابطه (۱)

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{W - W_0}{W_0} * 100$$

که در آن W جرم آزمونه اشباع با سطح خشک و W_0 جرم آزمونه خشک است.

عمق نفوذ تحت فشار آب

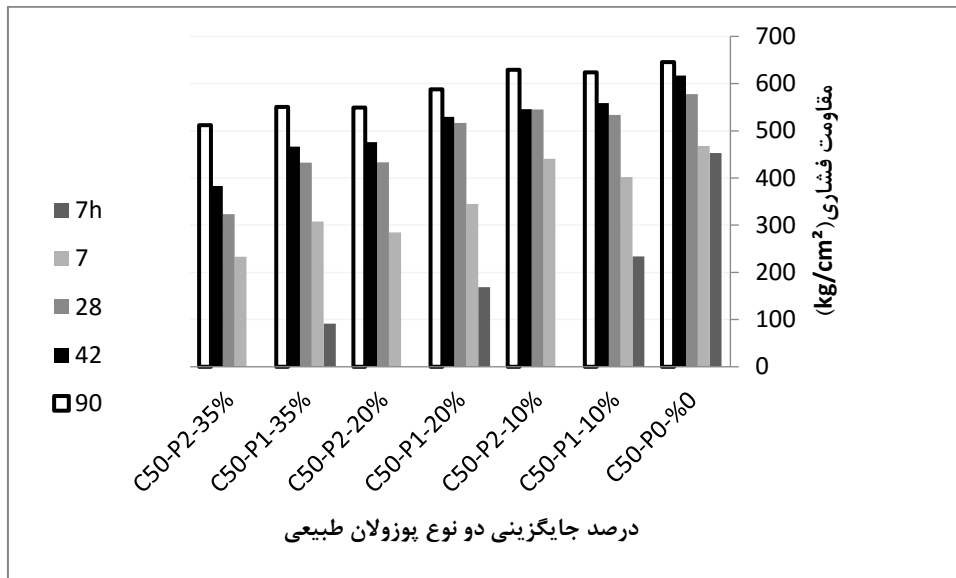
در EN ۱۲۳۹۰-۸ با تغییرات مختصر، این آزمایش با سهولت بیشتر ارائه شد که در آن نمونه بتنی سه روز از سطح زیرین تحت فشار 0.5 MPa قرار می‌گیرد و سپس حداکثر عمق نفوذ آب به دست می‌آید که پارامتری در جهت ارزیابی نفوذ آب در بتن است [۶].

برای تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن از روش EN ۱۲۳۹۰-۸ استفاده شد. آزمونه‌ها به شکل مکعبی $15 * 15 * 15$ ساخته شده‌اند [۶]. بلافاصله بعد از باز کردن قالب نمونه، سطحی که قرار است در معرض فشار آب قرار گیرد، با برس سیمی زبر و خشن شد. در زمان آزمایش نمونه ۲۸ روز در حوضچه آب با دمای تقریبی 20 درجه سانتی‌گراد قرار گرفته بود. سپس نمونه در دستگاه قرار داده و فشار 0.5 MPa به مدت ۷۲ ساعت اعمال گردید. بعد از اعمال فشار در زمان مشخص، نمونه از دستگاه خارج و سپس سطوح نمونه از آب اضافی پاک و سپس نمونه در جهت عمود به سطوح تحت فشار آب نصف شد. به محض اینکه سطح نصف شده مقداری در هوا خشک شد، عمق نفوذ آب به وضوح ملاحظه گردید، روی نمونه، میزان پیشروی آب علامت‌گذاری شد. در انتها حداکثر عمق نفوذ با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت گردید.

۳. نتایج

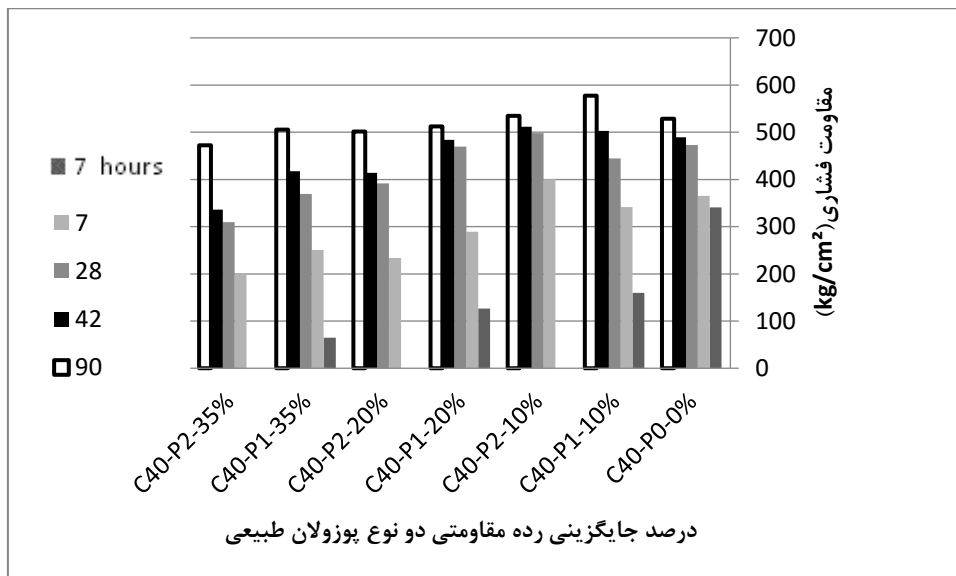
۳.۱. مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۷ سانتی تا ۹۰ روز در دو رده مقاومتی متفاوت در نمودار ۳ تا نمودار ۸ ارایه می شود.



نمودار ۳: مقاومت فشاری بتن برای رده مقاومتی C50 دو نوع پوزولان طبیعی

با توجه به سند چشم انداز ۱۴۰۴ که از اهداف این پژوهش بوده است، بتن هایی با دو نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ با هدف رسیدن به رده مقاومتی C50 و C40 ساخته ایم. نمودار ۳ نشان دهنده ی این است که نمونه های حاوی درصد های ۲۰ و ۳۵ پوزولان P2 در ۲۸ روز و همچنین نمونه حاوی درصد ۱۰ پوزولان P1 در ۲۸ روز عملکرد مناسبی نداشته اند. در مقایسه دو پوزولان استفاده شده می توان گفت که پوزولان بیش آقاچ عملکرد بهتری نسبت به خراسان شمالی داشته است. همانطور که در نمودار ۳ دیده می شود، میزان مقاومت کسب شده نسبت به مقاومت نهایی در نمونه های حاوی پوزولان خراسان شمالی در بین سنین ۷ تا ۹۰ روز به مراتب کمتر از نمونه های حاوی پوزولان بیش آقاچ می باشد. افزایش مقاومت در این بازه زمانی را می توان به واکنش های پوزولانی نسبت داد.

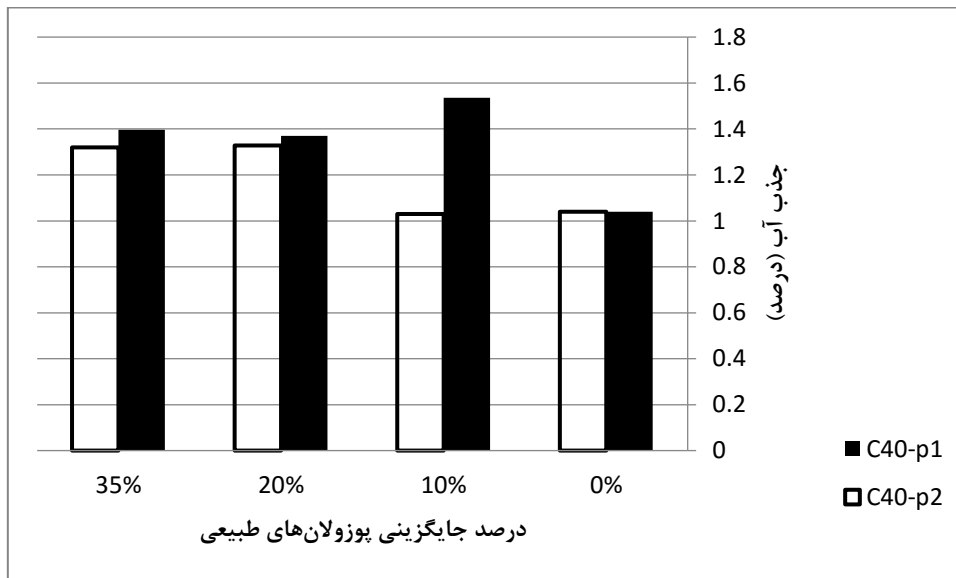


نمودار ۴: مقاومت فشاری بتن برای رده مقاومتی C40 دو نوع پوزولان طبیعی

نمودار ۴ نشان دهنده‌ی این است که نمونه‌های حاوی درصد‌های ۲۰ و ۳۵ پوزولان P۲ در ۷ تا ۴۲ روز عملکرد مناسبی نداشته‌اند. در مقایسه دو پوزولان استفاده شده می‌توان گفت که پوزولان بیش آجاج عملکرد بهتری نسبت به خراسان شمالی داشته است.

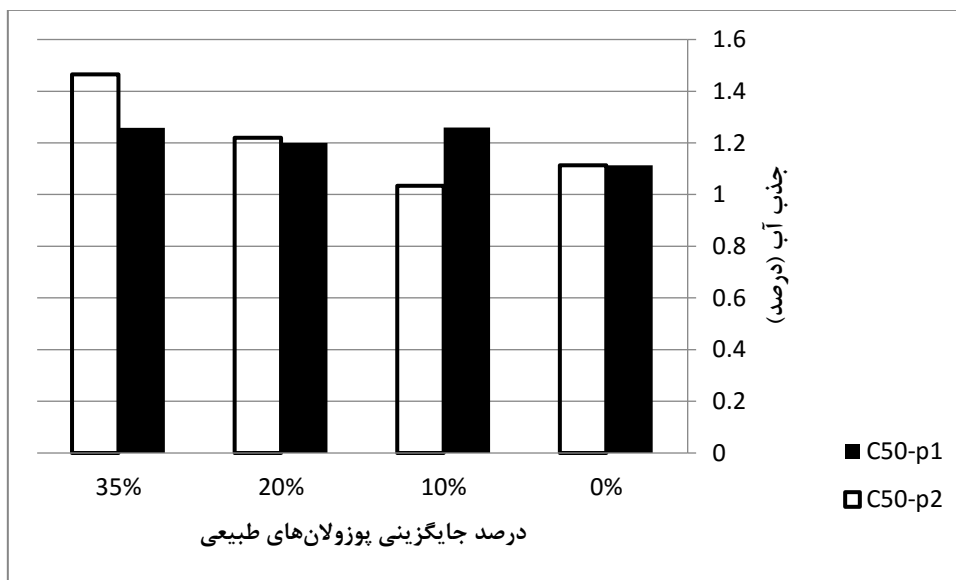
۳.۲. آزمایش جذب آب کوتاه مدت

در نمودار ۵ و نمودار ۶ میزان آب جذب شده در واحد حجم نمونه‌ها دیده می‌شود.



نمودار ۵: جذب آب کوتاه مدت برای رده مقاومتی C۴۰ و ۲۸ روزه

نمودار ۵ نشان می‌دهد، جذب آب بتن نمونه‌ی شاهد در رده‌ی مقاومتی C۴۰ حدود ۱ می‌باشد. نمونه‌های با درصد جایگزینی ۲۰% و ۳۵% بیش آجاج و خراسان شمالی جذب آب یکسان و حدود ۱/۳ درصد داشته است.

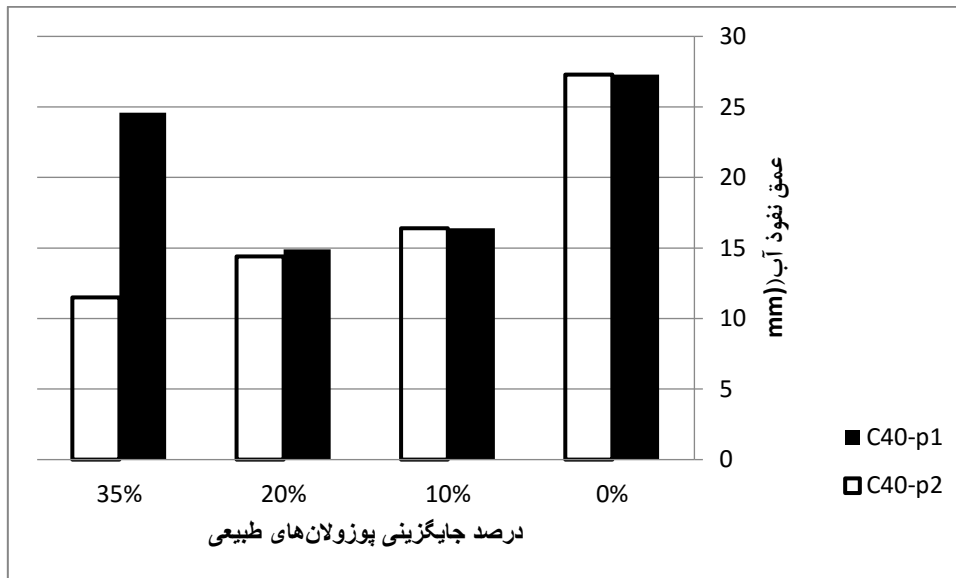


نمودار ۶: جذب آب کوتاه مدت برای رده مقاومتی C۵۰ و ۲۸ روزه

نمودار ۶ نشان می‌دهد در نسبت آب به مواد سیمانی ثابت، در اکثر موارد افزایش مواد سیمانی باعث افزایش جذب آب نیم ساعته بتن شده است. در رده مقاومتی C۵۰ جذب آب دو نوع پوزولان یکسان و حدود ۱/۱ درصد می‌باشد. در مجموع، جذب آب بیش آجاج در تمام درصد جایگزینی‌ها حدود ۱/۲ و نزدیک به ۰/۱ بیشتر از شاهد می‌باشد.

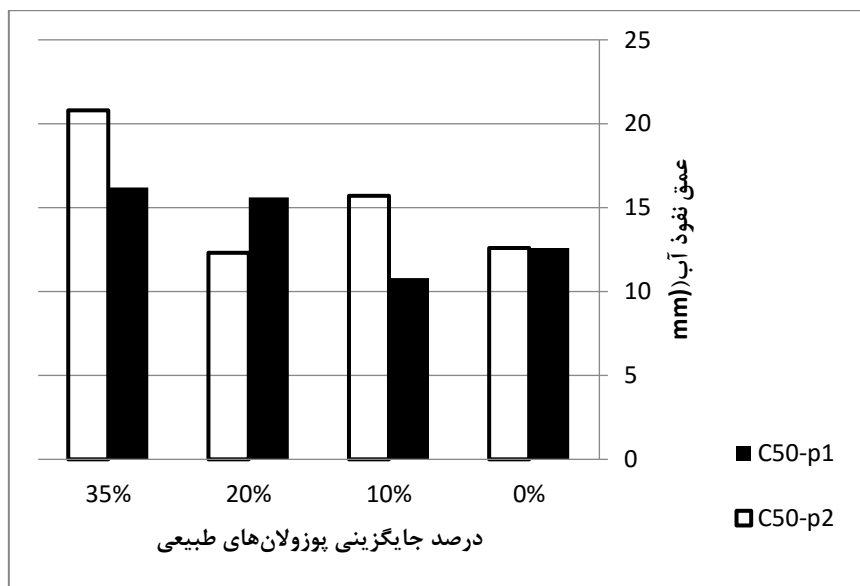
۳.۲. نفوذ تحت فشار آب

نتایج آزمایش‌های نفوذ در نمودار ۷ و نمودار ۸ نمودار ۷ ارائه شده است.



نمودار ۷: عمق نفوذ آب تحت فشار برای رده مقاومتی C40 و ۲۸ روزه

همانطور که نتایج نمودار ۷ نشان می‌دهد، در تمامی مخلوط‌ها با رسیدن به سن عمل‌آوری مشخص به دلیل تکمیل شدن واکنش‌های پوزولانی و تولید ژل سیلیکاتی و کاهش اندازه حفرات میزان نفوذ آب کاهش یافته است. در نمودار ۷ نمونه‌های حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۵ درصد پوزولان نوع ۲ و همچنین ۱۰ و ۲۰ درصد پوزولان نوع ۱ نفوذ به مراتب کمتری نسبت به نمونه شاهد از خود نشان داده‌اند.



نمودار ۸: عمق نفوذ آب تحت فشار برای رده مقاومتی C50 و ۲۸ روزه

در نمودار ۸ نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد پوزولان نوع ۱ و همچنین ۲۰ درصد نوع ۲ نفوذ کمتری نسبت به نوع شاهد از خود نشان داده‌اند. نتایج نشانگر آن است که نمونه‌ی کنترل و نمونه‌های حاوی پوزولان بیش‌آجاج و خراسان شمالی با نرمی انتخابی جوابگوی این محدودیت نمی‌باشد. همچنین با افزایش درصد پوزولان در برخی از درصد‌های جایگزینی نمونه‌ها از میزان نفوذ کاسته شده است.

۴. نتیجه گیری

تحقیق حاضر که در آزمایشگاه خط ۲ قطار شهری مشهد انجام پذیرفته، محوریت تحقیق در ارتباط با پارامترهای دوام با نگرش چشم‌انداز بتن ۱۴۰۴ است؛ و پارامترهای دیگر به طور جانبی مورد توجه قرار گرفته است. با جمع‌آوری اطلاعات بیشتر و با تکیه بر سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در آینده، امکان توسعه نتایج و موضوعات کاربردی فراهم خواهد شد. قابل ذکر است که تمام نتیجه‌گیری‌های انجام شده برای تحقیق حاضر و نمونه‌های ساخته شده با شرایط آن‌ها صادق می‌باشد؛ و لزوماً برای هر طرح مخلوط دیگر با شرایط متفاوت قابل استفاده نیست. حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ی ۱۹ میلی‌متر با سنگدانه‌ی درشت نیم شکسته و سنگدانه‌ی ریز نسبتاً گردگوشه و بافت دانه‌بندی متوسط تا نسبتاً ریز و همراه سیمان زاوه می‌باشد.

استفاده از ۱۰٪ پوزولان بیش‌آقاج جایگزین سیمان، منجر به کاهش حدود ۱۲٪ ای مقاومت فشاری بتن ۲۸ و ۴۲ روزه، کاهش ۴۰٪ ای عمق نفوذ و نفوذ یون کلرید و شدیدتر شدن کاهش جذب آب اولیه ۲۸ روزه شده است. افزودن پوزولان خراسان شمالی نیز نفوذپذیری کمتری نسبت به نمونه شاهد داشته است و کاهش جذب آب اولیه، شدیدتر می‌باشد. نتیجه‌گیری می‌شود با افزودن این دو پوزولان در بتن، بهبود مقاومت و عمق نفوذ و جذب آب اولیه در بلند مدت حاصل شده است و عملکرد در نسبت آب به سیمان کمتر، بهتر می‌باشد. با رسیدن به شاخص‌های دوام، بتن با دوام به دست آمده است.

تشکر و قدردانی

لازم است از همکاری مجموعه خط ۲ قطار شهری مشهد، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا (قرب قائم)، گروه مهندسی مشاور ایمن‌سازان، موسسه مهندسی رهاب که تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی شود. همچنین، از مرکز تحقیقات کارخانه سیمان که زحمت مشاوره و تأمین پوزولان‌های مصرفی در این پژوهش را برعهده داشتند و نیز شرکت ژیکواوا، که فوق روان کننده را برای این پژوهش تأمین و امکان استفاده از دستگاه آزمایش نفوذ بتن تحت فشار آب را مهیا کردند، لازم به سپاسگزاری است.

۵. مراجع

۱. تدین، محسن؛ محمد حسین تدین و علی تدین، ۱۳۹۴، نقش عیار سیمان بر کیفیت بتن در شرایط محیطی خلیج فارس، کنفرانس بین‌المللی خلیج فارس: بتن پایا، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان،
۲. علی‌اکبر رمضانیاپور، "شناخت بتن (مصالح خواص تکنولوژی)", انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۹، تهران، ایران
۳. علی‌اکبر رمضانیاپور، منصور پیدایش "بتن در محیط دریایی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تابستان ۱۳۸۵، تهران، ایران
۴. استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۰۶، تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن

۵. Testing concrete. Method for determination of water absorption. (۲۰۱۶). BSI (Vol. BS 1881-122:2011).
۶. Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure. (۲۰۰۹), (Vol. BS EN 12390-8:2009): BSI.