

تأثیر املاح شیمیایی بر دوام بتن در شبکه های آبیاری و زهکشی

مهدی شادمند^{۱*}، یعقوب محمدی^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، Shadmand90@gmail.com

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیلی، Yaghoubm@uma.ac.ir

چکیده

با توجه به شرایط آب و هوایی و محیطی مناطق مختلف ایران و مساعد بودن زمین های زراعی، رشد و توسعه صنعت کشاورزی باید از الویت های اصلی دولت ها باشد. در این راستا نحوه آبیاری و زهکشی از معیار های اولیه توسعه این بخش خواهد بود. یکی از راه های صحیح آبیاری و زهکشی، پوشش بتنی کانال های آبرسانی می باشد که برای نگهداری آن در دراز مدت، شناسایی اثرات مواد شیمیایی موجود در آب و خاک بر مقاومت و دوام بتن ضروریست. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی مشخص شده است که تنها توجه به مقاومت فشاری به عنوان یک معیار برای طرح بتن برای محیط ها و کاربردهای مختلف نمی تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در درازمدت در سازه های بتنی ایجاد می گردد. چند سالی است که مسأله دوام بتن در محیط های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. مشاهده خرابی هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن ها در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشور های در حال توسعه، مهندسان را به سمت طرح بتن هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم سوق داده است. به همین منظور در پژوهش حاضر برای بررسی دوام بتن در شبکه های آبیاری، نمونه های بتنی از سه نوع دانه بندی مختلف و با سه تیپ سیمان یک، دو و پنج استفاده شد. نمونه ها پس از ساخت به مدت ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ روز در سه محیط آب معمولی، آب حاوی ۵ درصد سولفات و محیط واقعی (کانال آبیاری ولکس رشت) نگهداری شده و پس از بیرون آوردن از آب به منظور بررسی دوام بتن آزمایشاتی از قبیل مقاومت فشاری، درصد جذب آب بتن و نفوذ پذیری بتن بروی هریک از آنها صورت پذیرفت.

واژه های کلیدی: نفوذپذیری بتن، درصد جذب آب، مقاومت فشاری، شبکه های آبیاری و زهکشی

۱- مقدمه

با توجه به شرایط آب و هوایی و محیطی مناطق مختلف ایران و مساعد بودن زمین های زراعی، رشد و توسعه صنعت کشاورزی باید از الویت های اصلی دولت ها باشد. در این راستا نحوه آبیاری و زهکشی از معیارهای اولیه توسعه این بخش خواهد بود. یکی از راه های صحیح آبیاری و زهکشی، پوشش بتنی کانال های آبرسانی می باشد، برای نگهداری آن در دراز مدت شناسایی اثرات مواد شیمیایی موجود در آب و خاک بر مقاومت و دوام بتن ضروریست. هر ساله بخش بزرگی از درآمد کشور صرف سرمایه گذاری در طرح های عمرانی و ملی بخصوص شبکه های آبیاری و زهکشی می شود. توسعه شبکه های آبیاری به منظور افزایش راندمان و جلوگیری از مشکلات و معضلات فراوانی از جمله هدر رفت آب، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، باتلاقی شدن مزارع می شود و علاوه بر آن عدم کشت محصول مناسب و شور شدن زمین ها موجب از بین رفتن تدریجی بافت خاک می گردد. با احداث شبکه های مدرن از مشکلات فوق کاسته شده و با حفر زهکش ها و احداث کانال های بتنی و متعاقب آن بهره برداری صحیح و مصرف بهینه آب علاوه بر برداشت محصولات و جلوگیری از باتلاقی شدن اراضی در مجاور کانال های آبیاری سنتی می توان اراضی را احیاء کرد. در چند سال اخیر، با توجه به سرمایه گذاری انجام شده و طرح های دراز مدت دولت در توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی، ضروری است که بحث مقاومت

و دوام بتن پوشش کانال ها بررسی گردد و در نهایت با ارایه راهکار مناسب و منطقی در حفظ سرمایه های ملی گام مثبت برداشته شود.

بتن معمولی دارای معایب فراوانی از جمله مقاومت کششی و خمشی پائین، ضعف در برابر پدیده ذوب، انجماد و مواد شیمیایی و نفوذپذیری بالا است و بطور کلی رابطه اساسی معکوسی بین مقاومت و تخلخل در یک جسم جامد مانند بتن برقرار است که این دلیل منشأ اکثر خرابی ها در آن خواهد بود. ازسویی دیگر مرغوبیت و کیفیت بتن ضمن آنکه به خواص مکانیکی آن نسبت داده می شود، به پایایی و دوام آن نیز مربوط می شود. شرایط نامناسب جوی می تواند صدمات و خساراتی را به بتن هایی با مقاومت مطلوب وارد نماید؛ به عبارت دیگر واکنش های شیمیایی بین شرایط محیطی و بتن سخت شده می تواند منجر به تضعیف بتن گردد. در ارتباط با کانال های انتقال آب نیز که همواره از محیط های با شرایط خورنده عبور می کنند دو عامل کلور سدیم و سولفات سدیم تاثیر بسزایی در خرابی بتن دارند. از طرفی رطوبت و شرجی بودن هوا و آلودگی خاک منطقه و آب های زیر زمینی آغشته به مواد شیمیایی مضر نیز از دیگر عواملی است که می تواند منجر به آسیب پذیری کانال ها گردد.

یکی از مشکلات اساسی سازه های هیدرولیکی خوردگی شیمیایی ناشی از یون سولفات موجود در خاک و آب مجاور اعضای بتنی است که این امر محققین زیادی را به بحث در ارتباط با دوام بتن در مجاورت محیط های خورنده وادار نموده است. انجام مطالعه در مورد پدیده هایی که بر دوام بتن تأثیر می گذارند و نیز در نظر گرفتن تأثیرات متقابل و اندرکنش بین آنها الزامی است.

دوام سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس که یکی از مهاجم ترین شرایط محیطی، از لحاظ دوام سازه های بتنی مسلح در دنیا محسوب می شود مورد مطالعه قرار گرفت و با استفاده از نرم افزار DuraPGulf عمر مفید سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس تخمین زده شد [۱]. بررسی کاهش وزن و مقاومت فشاری نمونه های بتنی واقع در محیط های سولفات سدیم و سولفات منیزیم نشان داد که هر دو محیط سولفات منیزیم و سدیم، باعث کاهش مقاومت نمونه ها می شوند، اما نمونه های قرار گرفته در سولفات منیزیم کاهش مقاومت بیشتری دارند. همچنین تغییر وزن نمونه های قرار گرفته در آب خالص و سولفات سدیم، پس از ۹۰ روز ناچیز بود؛ اما نمونه های واقع در سولفات منیزیم دارای تغییر وزن مشهود بودند [۲]. خواص مکانیکی بتن با استفاده از نسبت های مختلف پوزولان طبیعی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این موضوع بود که جایگزینی ۲۰ درصد پوزولان طبیعی به جای سیمان سبب بهبود دوام بتن شده است [۳]. علل بروز ترک های متعدد در پوشش بتنی کانال های واحد کشت و صنعت نیشکر شعبیه در استان خوزستان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق با انجام یک سلسله آزمایش های آزمایشگاهی و صحرایی و بررسی نمونه خاک برداشت شده از بستر کانال های تخریب شده مشخص شد که تورم عامل اصلی تخریب پوشش بتنی کانال های واحد شعبیه می باشد [۴]. مسائل مختلف و راه حل های ممکن پیرامون بروز خوردگی در سازه های دریایی و تأسیسات مورد بحث و بررسی قرار گرفت [۵]. تأثیرات دانه بندی و اثر خاکستر پسته برنج در پایین آوردن درصد جذب آب بتن با حفظ حداکثر مقاومت و حداقل وزن مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج حاصل بیانگر آن می باشد که استفاده از دانه های گرد گوشه در این طرح تأثیرات زیادی در پایین آوردن درصد جذب آب بتن داشته است. همچنین استفاده از خاکستر پسته برنج به میزان ۲۰ درصد وزنی سیمان باعث افزایش دوام بتن شده و درصد جذب آب بتن را نیز پایین آورده است [۶]. نشست و تخریب پوشش بتنی بر اثر روانگرایی، انحلال پذیری و فرسایش و تأثیر املاح موجود در آب نظیر سولفات و کلر و کربنات، بهره برداری و نگهداری نامناسب و وجود عناصر نظیر گچ به جهت خاصیت انحلال پذیری در آب تشخیص داده شد [۷]. دوام نمونه های بتن مسلح ساخته شده با سیمان های نوع II، V و سرباره ای و پوزولانی مورد بررسی قرار گرفت [۸]. دوام نمونه های بتنی در موقعیت های خورنده متفاوت مغروق، جزر و مدی، پاششی، اتمسفری، محیط آزاد آزمایشگاه و حوضچه عمل آوری آب شیرین مورد بررسی قرار گرفت [۹]. اثر خصوصیات شیمیایی خاک بستر در پایایی کانال های بتنی پیش ساخته آبیاری مورد مطالعه قرار گرفت که در این پژوهش هدف اصلی اثر سولفات ها و کلرورهای موجود در خاک بر پایایی سازه های بتنی در تماس با خاک بوده است [۱۰]. تأثیر خاکستر پسته

برنج در ایجاد مقاومت در برابر خوردگی مورد بررسی قرار گرفت و از سه نمونه پوسته شلتوک برنج لنجون، طارم و مخلوط استفاده کردند و نتایج حاصله بیانگر آن بود که نمونه های بتن با پوزولان طارم و مخلوط در مقایسه با دیگر نمونه های بتن ماکزیمم مقاومت فشاری معنی دار را دارند [۱۱]. ارزیابی دوام دراز مدت نمونه های بتنی ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی، سرباره و خاکستر بادی در شرایط محیطی دریایی در سواحل ژاپن تحت شرایط جزر و مد صورت گرفت [۱۲]. دوام بتن مسلح با استفاده از سیمان ها و پوزولان های مختلف در شرایط محیطی خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی از سیمان های نوع ۲ و نوع ۵، سرباره ای و پوزولان استفاده شد و مخلوط ها به همراه مقادیری مواد مکمل سیمان، در شرایط مختلف بررسی شدند [۱۳].

۲- مواد و روشها

۲-۱- نحوه انجام آزمایشات

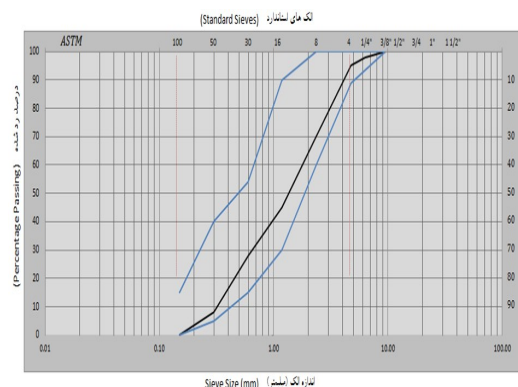
در این تحقیق به تعداد ۷۲۹ نمونه بتنی ساخته شده است. در ساخت بتن های مذکور از سیمان های پرتلند تیپ I، II و V و همچنین از سه نوع دانه بندی مختلف برای ماسه ها استفاده شده است که دانه بندی شن در تمامی نمونه ها ثابت نگه داشته شده است. ویژگی های مکانیکی و پایداری نمونه ها بعد از ساخت و نگهداری در سه محیط آب معمولی، حاوی ۵ درصد سولفات منیزیم و محیط واقعی (بتن قرار داده شده در کانال ولکس رشت) در سنین ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روزه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲-۲- مصالح سنگی مورد استفاده

شن و ماسه مصرف شده در این طرح از نوع شکسته، تهیه شده از معدن پی سنگ گستر گنجه رستم آباد واقع در ۶۴ کیلومتری شهر رشت تهیه گردیده که برای جلوگیری از تغییر دانه بندی حین انجام کار، کلیه مصالح مورد نیاز طرح در ابتدا تهیه و بصورت یکجا در آزمایشگاه بتن تحکیم بنای خزر دپو شد و آزمایش های مربوط به تعیین منحنی دانه بندی درشت دانه و ریز دانه روی آن ها انجام گرفت.

۲-۲-۱- ماسه

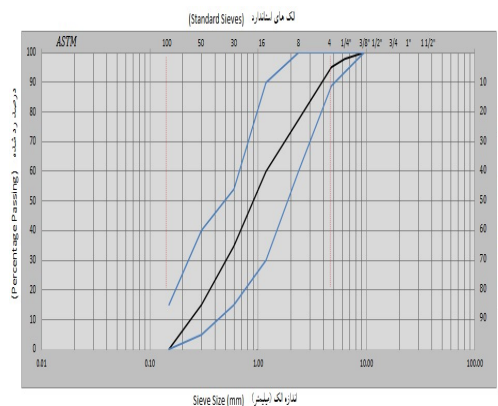
وزن مخصوص ظاهری ماسه در حالت اشباع با سطح خشک ۱٫۸ تن بر متر مکعب و میزان جذب آب ۳٫۲ درصد می باشد، برای اینکه تاثیر دانه بندی در طرح اختلاط بتن دیده شود از سه نوع دانه بندی مختلف ماسه استفاده نمودیم که هر کدام دارای مدول نرمی مختلفی بوده اند و نمودارهای دانه بندی هر کدام به تفکیک در اشکال (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است.



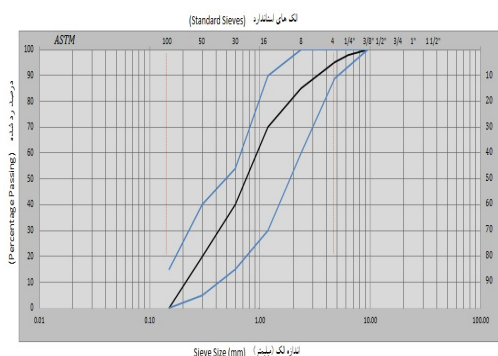
شکل ۱: نمودار دانه بندی ماسه با مدول نرمی ۲٫۹۲

دبیرخانه کنگره بین المللی معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه

دبی ۱۳۹۴



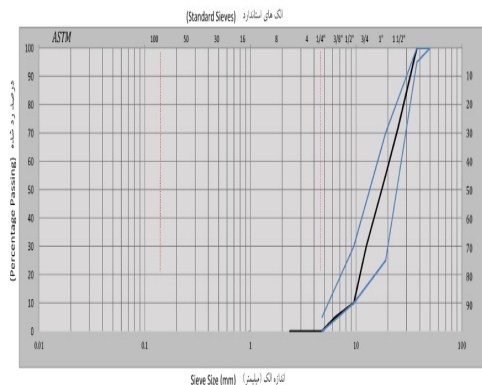
شکل ۲: نمودار دانه بندی ماسه با مدول نرمی ۲,۸۵



شکل ۳: نمودار دانه بندی ماسه با مدول نرمی ۲,۷۹

۲-۲-۲- شن

وزن مخصوص ظاهری شن در حالت اشباع با سطح خشک ۲,۰۵ تن بر متر مکعب و میزان جذب آب آن ۱,۹۸ درصد می باشد. کیفیت دانه بندی شن در شکل (۴) ارائه شده است. در طرح های اختلاط این پروژه نمودار دانه بندی شن ثابت نگه داشته شده است.



شکل ۴: نمودار دانه بندی شن

۲-۳- سیمان پرتلند

در این پروژه از سه تیپ سیمان پرتلند نوع I، II و V کارخانه سیمان تهران استفاده شده است که خصوصیات هر سیمان در بخش بعدی آورده خواهد شد.

۲-۴- آب

طبق آیین نامه بتن ایران، آب مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف بوده و از مصرف آب حاوی مقدار زیادی از هر نوع ماده که قادر به صدمه زدن به بتن و آرماتور می باشد از قبیل روغن ها، قلیایی ها، املاح و مواد آلی خوداری گردد. به طور کلی، آب آشامیدنی برای ساخت بتن رضایت بخشی تلقی می شود. طبق آیین نامه بتن ایران، PH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کمتر و از ۸٫۵ بیشتر باشد.

۲-۵- مواد افزودنی

ماده افزودنی، ماده ای است به غیر از سیمان پرتلند، سنگدانه و آب که به صورت پودر و یا مایع، به عنوان یکی از مواد تشکیل دهنده بتن برای اصلاح خواص بتن، کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به آن افزوده می شود.

۲-۵-۱- فوق روان کننده

به دلیل نسبت آب به سیمان پایین و هم چنین مصرف ماسه با مدول نرمی پایین در طرح اختلاط که با توجه به افزایش سطح مخصوص، آب مورد نیاز در بتن را افزایش می دهد، از این رو برای کاهش آب مورد نیاز مخلوط، از فوق روان کننده Super Plasticizer 130 (افزودنی فوق روان کننده بتن با خاصیت دیرگیری) استفاده شده است. همچنین از این فوق روان کننده برای تولید بتن در شرایط آب و هوایی نامساعد و گرم استفاده می شود. مقدار مصرف این محلول طبق توصیه کارخانه ۰٫۸ تا ۲٫۵ درصد وزنی سیمان می باشد. برای تعیین مقدار دقیق مصرف توصیه می شود که مخلوط های آزمایشی ساخته و آزمایش شوند. این ماده با انواع سیمان پرتلند از جمله سیمان ضد سولفات (S.R.C) سازگار می باشد، در این پژوهش فوق روان کننده به میزان ۱٫۵ درصد وزنی سیمان لحاظ شده است. این ماده را می توان بطور جداگانه به بتن مخلوط شده یا بطور مستقیم به آب اختلاط، پیش از افزودن آب به سنگدانه، اضافه کرد. در صورت اضافه کردن آن به بتن آماده، لازم است که مخلوط کردن به مدت حداقل یک دقیقه به ازای هر متر مکعب ادامه یابد. مصرف بیش از اندازه، گیرش اولیه بتن را به تاخیر می اندازد، لذا می بایست پس از باز کردن قالب ها تا سخت شدن بتن فرآیند عمل آوری ادامه داشته باشد.

۲-۵-۲- افزودنی آب بند کننده بتن (واترپروف) Plasto Proof N

این ماده افزودنی مایعی است که هم بعنوان روان کننده موثر و هم بعنوان آب بند کننده بتن مورد استفاده قرار می گیرد و مطابق با ASTM-C-497-81 Type A می باشد. در این پژوهش نسبت وزنی واتر پروف ۰٫۵ درصد وزنی سیمان اختیار شده است.

۲-۶- طرح اختلاط

برای بدست آوردن بتن با خصوصیات و عملکرد مورد نظر، اولین قدم انتخاب اجزای مصالح است. قدم بعدی روندی است که به تعیین اختلاط موسوم است و توسط آن ترکیب صحیح اجرای بتن بدست می آید. تعیین نسبت های اختلاط بتن، مرحله ای است که با آن می توان به ترکیب مناسب سیمان، سنگدانه ها، آب و مواد افزودنی برای ساخت بتن از طریق مشخصات

مربوطه رسید. مهمترین نکته در تعیین شن و ماسه این موضوع می باشد که در تمامی نمونه ها نسبت شن به ماسه برابر $G/S=0.832$ بوده ولی همانگونه که در نمودارهای دانه بندی ماسه مشاهده می شود برای طرح اختلاط، ماسه با مدول نرمی مختلف را تعیین شده بدون اینکه تغییر محسوسی در نسبت شن به ماسه وجود داشته باشد.

جدول ۱: مقادیر وزنی و حجمی برای تهیه یک مترمکعب بتن تازه در حالتی که مصالح کاملاً خشک باشند

نوع مصالح	مقدار حجمی Liter	مقدار وزنی (kg)	وزن واحد حجم
آب	۱۶۸	۱۶۸	۱
سیمان	۱۱۱,۱	۳۵۰	۳,۱۵
ماسه	۵۳۹	۹۴۴	۱,۷۵
شن	۵۴۵	۷۸۵	۱,۴۴
واتر پروف (Plast Proof N)	۱,۵۹	۱,۷۵	۱,۱
فوق روان کننده (Super Plasticizer 130)	۴,۹۵	۵,۲۵	۱,۰۶

۲-۷- ساخت و نگهداری نمونه ها

پس از تهیه مصالح و تعیین مشخصات مورد نیاز، طرح اختلاط بتن به روش ACI-211 صورت پذیرفت و بر این اساس، نمونه های بتنی برای سه نوع دانه بندی مختلف ولی طرح اختلاط ثابت ساخته شده اند. کلیه نمونه ها با اسلامپ ۵۰ میلیمتر ساخته شد و در کلیه مخلوط ها از فوق روان کننده به میزان ۰,۵ درصد وزنی سیمان استفاده گردید تا نسبت آب به سیمان برای کلیه مخلوط ها ثابت و برابر ۰,۴۸ اختیار گردد. همچنین به منظور اهمیت آب بندی بتن کانال ها در کلیه نمونه ها از واتر پروف به میزان ۰,۵ درصد وزنی سیمان استفاده شد. پس از تهیه هر مخلوط با ریختن آن داخل قالب و متراکم نمودن آن و نگهداری در داخل قالب به مدت ۲۴ ساعت و سپس خارج کردن از قالب، نمونه ها به منظور عمل آوری به مدت ۷، ۲۸ و ۹۰ روز در سه محیط آب معمولی، محیط مخرب حاوی محلول ۵ درصد سولفات منیزیم و محیط واقعی (کانال آبیاری محله ای قدیمی در رشت معروف به کانال ولکس) نگهداری و در سنین مختلف، آزمایش های مورد نظر بر روی آنها انجام شد. نحوه نگهداری نمونه ی بتنی در محیط های آب معمولی و واقعی در اشکال (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل ۵: نحوه نگهداری نمونه های بتنی در محیط آب معمولی



شکل ۶: نحوه نگهداری نمونه های بتنی در محیط واقعی (کانال آبیاری ولکس رشت)

برای در نظر گرفتن شرایط مخرب سولفاتی نمونه ها در محیطی سولفاتی و در تانکی از جنس فایبر گلاس نگهداری شدند. محلولی حاوی ۴ درصد سولفات منیزیم تهیه و در داخل تانک ریخته شد و سپس نمونه ها در داخل آن قرار گرفتند. به دلیل وجود واکنشهای شیمیایی سیمان، برای ثابت نگه داشتن مقدار PH محلول در حدود ۶ [۱۴]. از محلول اسید کلریدریک ۰,۱ نرمال استفاده گردید. کنترل مقدار PH از طریق افزودن اسید فوق در مدت زمان نگهداری نمونه ها ادامه داشت.

۳- بررسی آزمایشات انجام شده

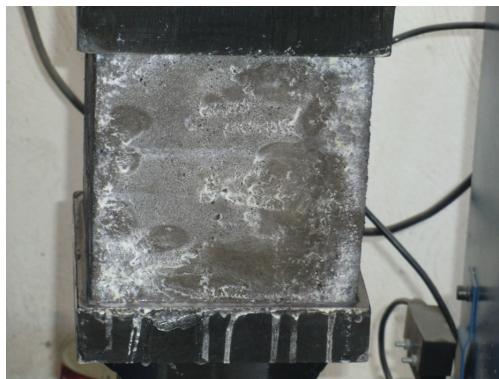
برای بررسی دوام بتن آزمایشات مختلفی از قبیل تعیین مقاومت فشاری، درصد جذب آب نمونه ها و نفوذپذیری بتن در سه محیط مختلف، محیط آب معمولی و محیط حاوی ۵ درصد یون سولفات منیزیم و محیط واقعی انجام پذیرفت، همچنین بررسی شکل ظاهری نمونه ها در شرایط محیطی مختلف انجام پذیرفت که بدین منظور تعداد ۷۲۹ نمونه ساخته شد، قابل ذکر می باشد که برای هر آزمایش ۳ نمونه بتنی ساخته شده و دو نتیجه ای شرایط نزدیک به هم داشته انتخاب شده و در بخشهای بعدی به این نتایج اشاره می شود.

۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

در این آزمایش برای هر محیط و هر طرح اختلاط ۳ نمونه بتنی ساخته شد که نتایج یکی از آنها مورد استفاده قرار گرفت. همان طور که اشاره شد نمونه های بتنی در محیط های آب معمولی آب معمولی، محیط سولفاتی و محیط واقعی نگهداری شدند. همچنین مقاومت فشاری نمونه های بتنی در هریک از سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه تعیین گردید. تغییر در مقاومت فشاری نمونه های موجود در محیط مخرب سولفاتی و واقعی نسبت به نمونه های موجود در محیط آب معمولی به عنوان معیاری جهت کنترل دوام بتن ها در محیط مخرب سولفاتی و واقعی در نظر گرفته می شود.



شکل ۷: آزمایش مقاومت فشاری نمونه بتنی نگهداری شده در آب معمولی



شکل ۸: آزمایش مقاومت فشاری نمونه بتنی نگهداری شده در محیط سولفاته



شکل ۹: آزمایش مقاومت فشاری نمونه بتنی نگهداری شده در محیط واقعی

۳-۲- آزمایش درصد جذب آب

حجم فضای منافذ در بتن، متمایز با سهولتی که سیال می تواند به داخل آن نفوذ نماید، به وسیله جذب آب سنجیده می شود؛ این دو کمیت الزاما با یکدیگر ارتباط ندارند. جذب آب را معمولا به وسیله خشک نمودن نمونه تا جرم ثابت، غوطه ور نمودن آن در آب و سنجش افزایش جرم، به صورت درصدی از جرم خشک می سنجند. با بکاربردن روش های مختلف، نتایج نیز متفاوت خواهد بود. یک دلیل برای این تغییرات در مقادیر جذب آب، آن است که از یک طرف، خشک شدن در دمای معمولی ممکن است در خارج نمودن تمام آب موثر نباشد؛ از طرف دیگر، خشک شدن در دماهای زیاد ممکن است قسمتی از آب ترکیب شده را نیز خارج نماید. بنابراین، جذب آب را نمی توان به عنوان سنجشی از کیفیت بتن به کار برد، اما اغلب بتن های خوب، دارای جذب آبی خیلی کمتر از ۱۰ درصد جرمی می باشند؛ اگر حجم اشغال شده بوسیله آب محاسبه شود، اختلاف در وزن مخصوص آب و بتن باید در نظر گرفته شود.

آیین نامه ASTM C 642-90 یک آزمایش جذب آب بر روی چندین قسمت کوچک از بتن را با خشک نمودن در ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد و سپس غوطه ور نمودن در آب در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد برای حداقل ۴۸ ساعت، تجویز می نماید. الزامات بخش ۱۲۲ آیین نامه BS 1881:1983 مشابه می باشند، به جز اینکه آزمایش، بر روی نمونه های مغزه کامل انجام شود.



شکل ۱۰: توزین نمونه ها بعد از خشک نمودن در اون

۳-۳- آزمایش نفوذ پذیری

نفوذپذیری مشخصه ای از بتن است که به وسیله آن می توان میزان سهولت یا صعوبت عبور سیال از داخل بتن را به دست آورد. کاهش نفوذپذیری به عنوان کلید پایایی بتن شناخته شده است. در این پژوهش، میزان نفوذ آب در بتن در سه محیط مورد بررسی قرار گرفته است. نفوذپذیری بتن یکی از خواص مهم بتن در رابطه با دوام آن است، که این خاصیت، تسهیلاتی را فراهم می کند که آب یا سیالات دیگر بتوانند از میان بتن جریان پیدا کرده و مواد مضر و آسیب رسان را با خود به درون بتن حمل نمایند.

مساله دیگری در مورد آزمایش های نفوذپذیری وجود دارد که عمدتاً در مورد بتن های با کیفیت خوب مطرح است و آن این است که هیچ گونه جریانی در این نوع بتن وجود ندارد. آب تا عمق معینی به داخل بتن نفوذ می کند. در این زمینه فرمولی توسط Valenta توسعه یافته که عمق نفوذ را به ضریب نفوذ پذیری معادل k (بر حسب متر بر ثانیه) با آنچه که در قانون دارسی به کار برده شد، به صورت زیر تبدیل می نماید:

$$k = \frac{e^2 v}{2ht} \quad (1)$$

که در آن e عمق نفوذ در بتن بر حسب متر، h ارتفاع آب بر حسب متر، t زمان قرار گرفتن تحت فشار بر حسب ثانیه و v بخشی از حجم بتن اشغال شده به وسیله منافذ می باشد. مقدار v معرف منافذ جدا از هم مانند حباب های هوا می باشد که فقط تحت فشار با آب پر می شوند و می توانند از افزایش در جرم بتن در خلال آزمایش محاسبه گردند، با توجه به اینکه فقط منافذ بخشی از نمونه که آب به آنها نفوذ می کند، باید در نظر گرفته شوند، نوعاً v بین ۰٫۰۲ و ۰٫۰۶ قرار دارد. ارتفاع آب همراه با فشار، که معمولاً در دامنه بین ۰٫۱ و ۰٫۷ Mpa است، اعمال می شود.

عمق نفوذ آب از مشاهدات سطح نمونه هایی که ترکانده شده اند، پس از زمان معین به دست می آید (بتن مرطوب تیره تر است). این عمق نفوذ آب، مقدار e در معادله Valenta، که در فوق داده شده است، می باشد.

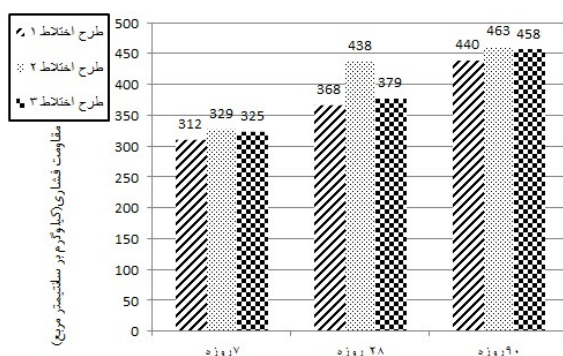
همچنین می توان از عمق نفوذ آب به عنوان ارزشیابی کیفی بتن استفاده نمود؛ عمقی کمتر از ۵۰ mm بتن را در رده «غیر قابل نفوذ»، و عمقی کمتر از ۳۰ mm بتن را در رده «غیر قابل نفوذ تحت شرایط مخرب» قرار می دهد.



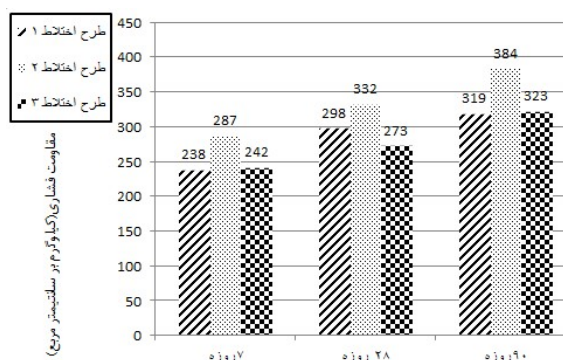
شکل ۱۱: نمونه های استوانه ای تحت آزمایش نفوذپذیری

۴- ارزیابی نتایج مقاومت فشاری (سنین مختلف، طرح متغیر، شرایط محیطی ثابت، سیمان ثابت)

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری که در سنین مختلف برای سه طرح متغیر با سیمان ثابت و طرح در سه شرایط مختلف انجام شد، در این قسمت مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.



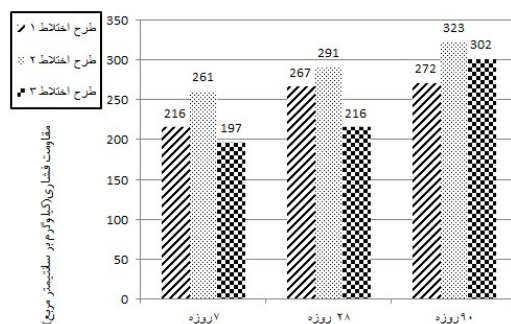
شکل ۱۲: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ یک در شرایط آزمایشگاهی



شکل ۱۳: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ یک در شرایط سولفاتی

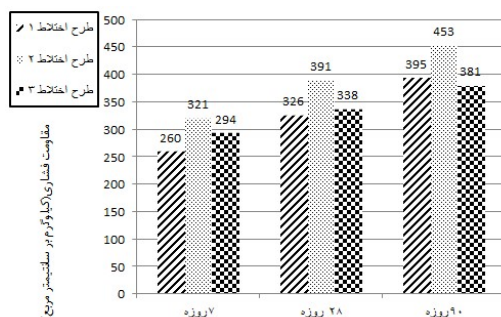
دبیرخانه کنگره بین المللی معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه

دبی ۱۳۹۴

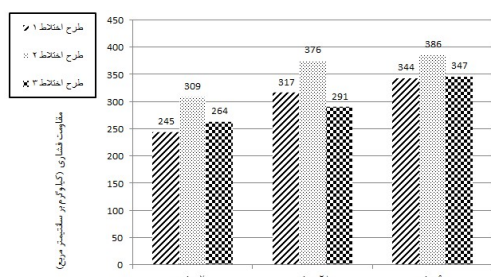


شکل ۱۴: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ یک در شرایط واقعی

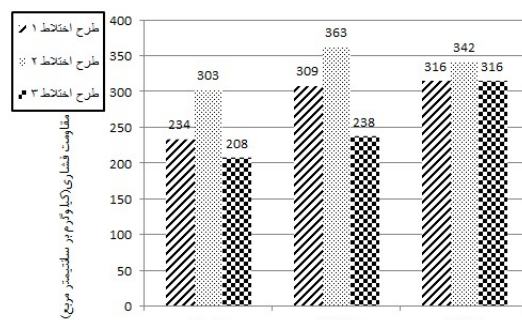
از ملاحظه نمودارهای اشکال (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) این نتیجه حاصل می شود که سیمان تیپ یک در طرح اختلاط ۲ در تمامی شرایط دارای مقاومت بیشتری از طرحهای دیگر برخوردار می باشد و نکته قابل توجه اینجاست که کاهش مقاومت فشاری در شرایط مخرب واقعی و سولفاته در طرح اختلاط ۲ و ۳ نسبت به طرح اختلاط ۱ قابل محسوس می باشد و این موضوع بیانگر این است که طرح اختلاط ۲ سبب دوام بیشتری برای بتن در هر نوع شرایط محیطی می باشد.



شکل ۱۵: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ دو در شرایط آزمایشگاهی

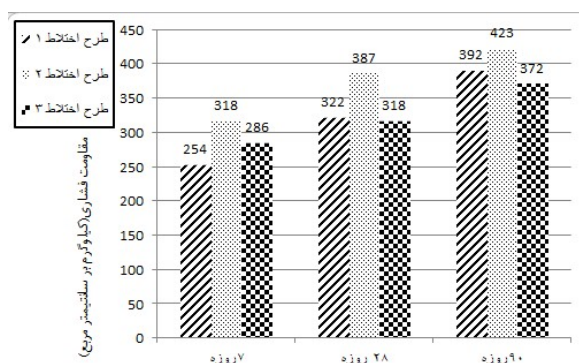


شکل ۱۶: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ دو در شرایط سولفاتی

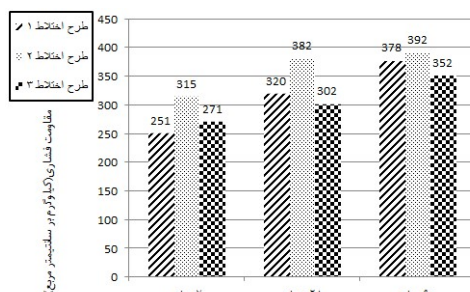


شکل ۱۷: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ دو در شرایط واقعی

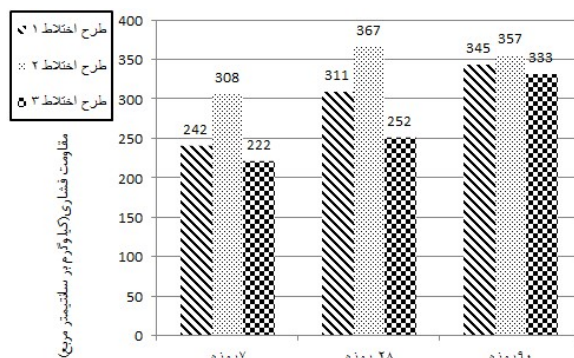
از تحلیل نمودارهای اشکال (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) در می یابیم که مقاومت فشاری نمونه بتنی در طرح اختلاط ۳ در شرایط واقعی با سیمان مصرفی تیپ ۲ در سنین ۷ و ۲۸ روزه اختلاف چندانی نداشته ولی در سن ۹۰ روزه با افزایش چشمگیر مقاومت فشاری روبرو هستیم و این موضوع بیانگر این است که سیمان تیپ ۲ در سنین بالاتر به مقاومت بیشتری می رسد به عبارتی با رشد مقاومت روبرو است. نکته قابل توجه در تمامی نمونه های بتنی استفاده از طرح اختلاط ۲ می باشد که سبب افزایش مقاومت نمونه های بتنی نسبت به سایر نمونه ها شده است.



شکل ۱۸: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ پنج در شرایط آزمایشگاهی



شکل ۱۹: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ پنج در شرایط سولفاتی

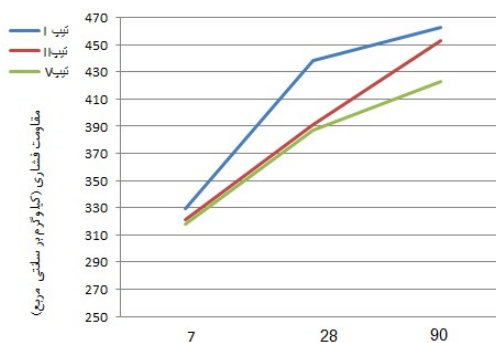


شکل ۲۰: نمودار مقاومت فشاری برای سیمان تیپ پنج در شرایط واقعی

از مشاهده شکل های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) مشاهده می شود که استفاده از سیمان تیپ ۵ همانند استفاده از سیمان تیپ ۲ سبب افزایش مقاومت در دراز مدت برای نمونه ها می شود همانگونه که در محیط واقعی مشاهده می شود، استفاده از طرح اختلاط ۲ همانند سایر نمونه ها در صورت استفاده از سیمان نوع ۵ نیز از سایر طرح های دیگر دارای مقاومت فشاری بیشتری می باشد.

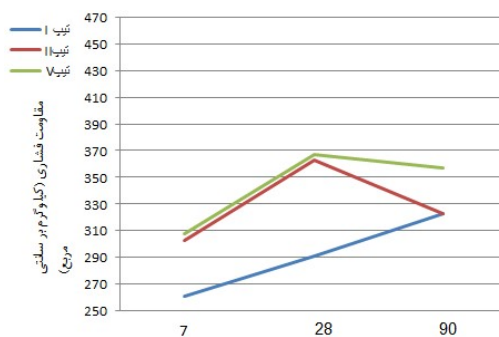
۵- مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری در محیط های مختلف

در این بخش مقاومت فشاری حاصل از نمونه های بتنی در سه شرایط مختلف و سه سن مختلف ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه به صورت نمودارهای خطی در اشکال (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) نشان داده شده است. قابل ذکر است که این نتایج برای طرح اختلاط ۲ که بهینه ترین طرح می باشد انتخاب شده است. همچنین در این نمودارها تیپ سیمان های مختلف مقایسه شده است.

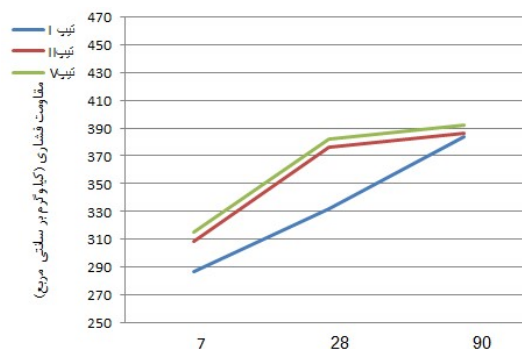


شکل ۲۱: مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری در محیط آزمایشگاهی

دبیرخانه کنگره بین المللی معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه
دبی ۱۳۹۴



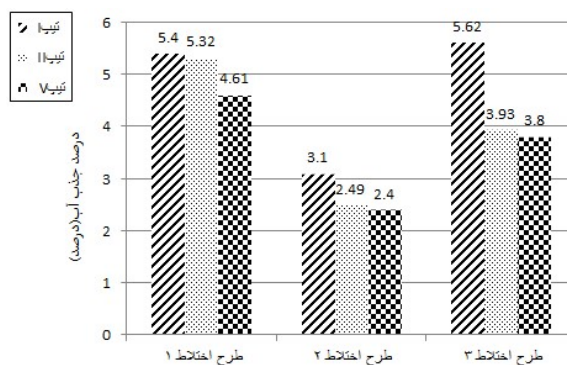
شکل ۲۲: مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری در محیط واقعی



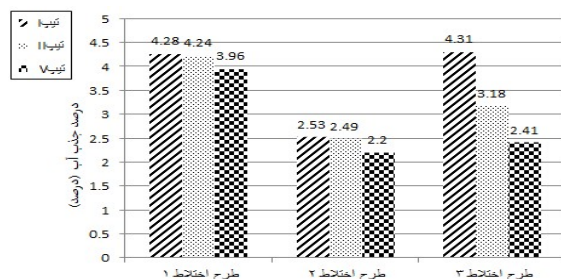
شکل ۲۳: مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری در محیط سولفات

۶- ارزیابی نتایج آزمایش درصد جذب آب بتن

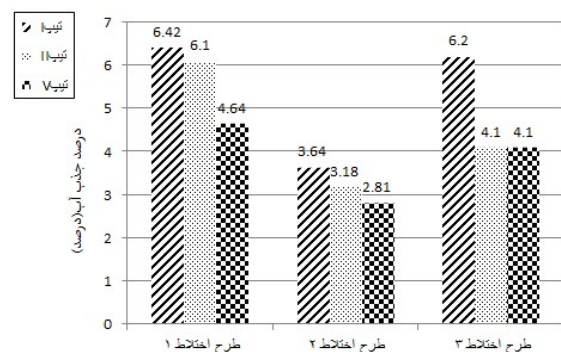
نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب بتن در سن ۹۰ روزه در نمودارهای اشکال (۲۴)، (۲۵)، و (۲۶) ارائه گردیده است.



شکل ۲۴: نمودار درصد جذب آب بتن در شرایط آزمایشگاهی



شکل ۲۵: نمودار درصد جذب آب بتن در شرایط سولفاتی



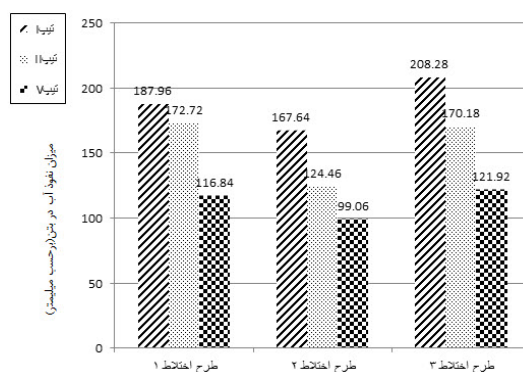
شکل ۲۶: نمودار درصد جذب آب بتن در شرایط واقعی

همان طور که مشاهده می گردد، کمترین جذب آب در طرح اختلاط دو با استفاده از سیمان تیپ ۵ بدست می آید و همچنین می توان دریافت که طرح اختلاط یک تاثیر چندانی در پایین آوردن درصد جذب آب با سیمانهای مختلف ندارد. از مشاهده نتایج بالا متوجه می شویم، نمونه هایی که در محیط واقعی قرار گرفته نسبت به نمونه هایی که در محیط آب معمولی و سولفاته قرار گرفته اند دارای درصد جذب آب بیشتری هستند. بیشترین درصد جذب آب در طرح اختلاط ۳ ملاحظه می شود، و طرح اختلاط دو با سیمان تیپ ۵ کمترین درصد جذب آب در بتن را داشته است.

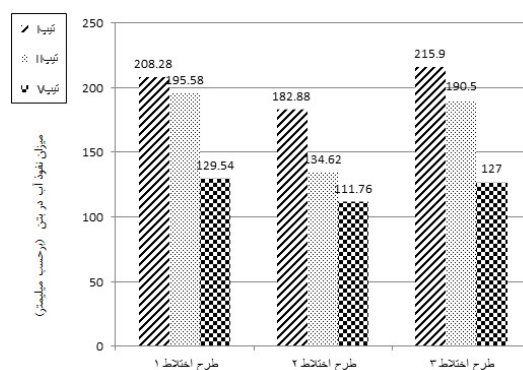
۷- ارزیابی نتایج آزمایش نفوذپذیری آب در بتن

در این بخش به ارزیابی نتایج حاصل از نفوذ پذیری آب در بتن پرداخته می شود. برای این منظور با در نظر گرفتن طرح اختلاط ثابت با یک تیپ سیمان ثابت نفوذ پذیری آب در بتن بعد از ۹۰ روز در شرایط و ساعات مختلف مورد مقایسه قرار می گیرد.

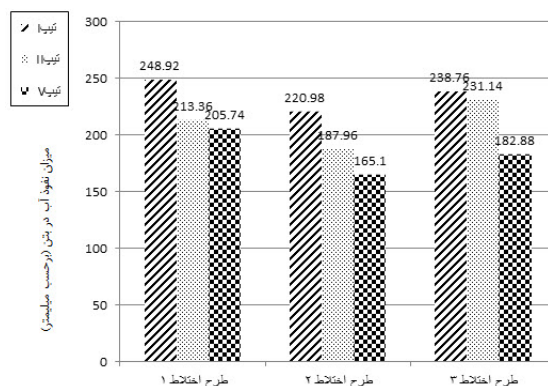
دبیرخانه کنگره بین المللی معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه
دبی ۱۳۹۴



شکل ۲۷: نمودار میزان نفوذ آب در بتن شرایط آزمایشگاهی (۷۲ ساعته)



شکل ۲۸: نمودار میزان نفوذ آب در بتن شرایط سولفاته (۷۲ ساعته)



شکل ۲۹: نمودار میزان نفوذ آب در بتن شرایط واقعی (۷۲ ساعته)

از مشاهده نتایج بالا متوجه می شویم، نمونه هایی که در محیط واقعی قرار گرفته نسبت به نمونه هایی که در محیط آب معمولی و سولفاته قرار گرفته اند تحت نفوذ بیشتر آب قرار دارند. بیشترین نفوذ آب در طرح اختلاط ۳ در شرایط آزمایشگاهی و سولفاتی ملاحظه می شود و طرح اختلاط دو با سیمان تیپ ۵ کمترین نفوذ آب در بتن را داشته و دوام این نمونه ها بیشتر از بقیه خواهد بود.

۸- نتایج

به طور کلی می توان از آزمایشات انجام شده نتایج زیر را بدست آورد :

- ۱- عامل اصلی خرابی نمونه های بتنی در محیط واقعی املاح زیاد موجود در آب بوده است.
- ۲- در کانالهای انتقال آب، نفوذپذیری مهمترین عامل سنجش دوام بتن در دراز مدت است.
- ۳- نتایجی که از آزمایش های مقاومت فشاری در محیط های مختلف بدست آمد، برای طرح اختلاط های مختلف تفاوت چشمگیری داشتند؛ به گونه ای که نمونه بتنی ساخته شده در محیط آزمایشگاهی (قرار گرفته در محیط آب معمولی) با سیمان تیپ ۱ پس از سن ۹۰ روز به مقاومت ۴۴۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع رسیده است. این در حالیست که مقاومت فشاری همین طرح اختلاط (نوع ۱) با سیمان تیپ ۵ برای محیط واقعی سولفاته و مخرب بالاتر از سیمان تیپ ۱ در محیط مخرب بدست آمده است.
- ۴- در بین ۳ طرح اختلاط انتخابی در این پژوهش مقاومت فشاری طرح اختلاط ۳ با سیمان تیپ ۱ بیشتر از طرح اختلاط های دیگر در شرایط آزمایشگاهی بوده است به گونه ای که مقاومت فشاری آن برابر ۴۸۷ کیلو گرم بر سانتی متر می باشد. ولی در محیط های مخرب سیمان تیپ ۵ با طرح اختلاط نوع ۲ از انواع دیگر طرح اختلاط دارای مقاومت فشاری بالاتری بوده است و نتایج آن بیانگر این است که طرح اختلاط ۲ با سیمان تیپ ۵ دارای دوام بیشتری در محیط های مخرب هستند.
- ۵- املاح موجود در محیط واقعی بسیار زیاد بوده به طوری که در برخی از نمونه های بتنی پس از سن ۹۰ روز نسبت به سن ۲۸ روزه نمونه بتنی با کاهش مقاومت روبه رو شد.
- ۶- با مشاهده نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت فشاری طرح اختلاط دو می توان پی برد که این طرح در مقایسه با طرح های دیگر طور کلی دارای مقاومت فشاری بیشتری می باشد.
- ۷- از آنجا که نفوذ پذیری معیاری مناسب برای دوام بتن می باشد، پس از قرار گرفتن نمونه ها در سن ۹۰ روز زیر دستگاه نفوذپذیری، نمونه های قرار گرفته در شرایط محیط واقعی دارای نفوذپذیری بیش تری نسبت به سایر نمونه ها در محیط های مختلف بوده اند.
- ۸- کمترین نفوذ پذیری مختص نمونه های قرار گیری در محیط آب معمولی با سیمان تیپ ۵ و طرح اختلاط نوع دو بوده که برابر ۹,۹ سانتی متر می باشد. همچنین نفوذ پذیری برای همین نمونه در محیط واقعی برابر ۱۶,۵ سانتی متر بوده است.
- ۹- به طور کلی تغییر در مقاومت فشاری و درصد جذب آب نمونه های موجود در محیط مخرب سولفاتی و واقعی نسبت به نمونه های موجود در محیط آب معمولی را می توان به عنوان معیاری جهت کنترل دوام بتن ها در محیط مخرب سولفاتی و واقعی در نظر گرفت. از سوی دیگر آزمایش نفوذپذیری در مقایسه با دو آزمایش دیگر می تواند به عنوان یک معیار مناسب تر جهت تشخیص دوام نمونه های بتنی در محیط های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- [۱] دوستی، علی؛ مرادی مرنی، فرید؛ شکرچی زاده، محمد، ۱۳۸۷، دوام بتن در محیط خلیج فارس، مرکز تحقیقات سازمان بنادر و دریانوردی، علمی تخصصی دریایی و بندری ص ۲۱-۴۱.
- [2] Young-Shik, P., Jin-kook, S., Jae-Hoon, L. and Young-Shik, P. (2002) "Strength deterioration of high strength concrete in sulfate environment", Cement and Concrete Research, Vol. 24, pp. 305-316.
- [3] Afsoos Biria, P. Kaafi Siaestalkhi Improvement of Concrete's Durability and Permeability By Adding Natural Pozzolans 1st International Congress on Durability of Concrete, (ICD2012), Trondheim, Norway, ReferenceNo, ICDC2012-D12-0002IR, www.icd 2012.com.
- [۴] رحیمی، حسن؛ باروتکوب، شهرام، ۱۳۷۵، ترک خوردگی پوشش بتنی کانال ها بر اثر پتانسیل پنهان تورم، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۷، شماره ۴.

- [۵] پیدایش، منصور، ۱۳۸۳، کنترل خوردگی در سازه های دریایی و تاسیسات بندری، ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.
- [۶] کافی، پویا؛ افسوس بی ریا، حامد، ۱۳۹۰، تاثیرات دانه بندی و اثر خاکستر پسته برنج در پایین آوردن درصد جذب آب بتن با حفظ حداکثر مقاومت و حداقل وزن، کارگاه دستاوردهای تحقیقاتی بهینه سازی مخازن آب شرب.
- [۷] موسوی جهرمی، حبیب؛ قوی، ایاز، ۱۳۸۵، بررسی علل تخریب لاینینگ کانال پمپاژ شماره ۳ شبکه آبیاری و زهکشی مغان اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی.
- [۸] رمضانپور، علی اکبر؛ پور خورشیدی، علیرضا، بی تا، بررسی دوام سازه های بتنی دریایی با سیمان ها و پوزولان های مختلف در شرایط محیطی خلیج فارس هفتمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.
- [۹] محمودی، امین؛ افشین، حسن؛ حکیمزاده، حبیب، ۱۳۸۸، بررسی دوام بتن مسلح در ناحیه پاششی (Splash Zone) و ناحیه اتمسفری (Atmospheric Zone) محیط دریایی خورنده شدید هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
- [۱۰] پوراربابی، غفوری، ۱۳۸۹، اثر خصوصیات شیمیایی خاک بستر در پایداری کانال های بتنی پیش ساخته آبیاری، سومین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای.
- [۱۱] مرشدی، آذر، و ماندانا ندیمی، ۱۳۸۸، تاثیر خاکستر پسته برنج در ایجاد مقاومت به خوردگی بتن های آمیخته به آن، یازدهمین کنگره ملی خوردگی ایران، کرمان، انجمن خوردگی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۱۲] دوستی، علی؛ مرادی مرنی، فرید؛ شکرچی زاده، محمد، ۱۳۸۷، دوام بتن در محیط خلیج فارس، مرکز تحقیقات سازمان بنادر و دریانوردی، علمی تخصصی دریایی و بندری ص ۲۱-۴۱.
- [۱۳] رمضانپور، پور خورشیدی، پرهیزکار، رئیس قاسمی، «بررسی دوام بتن مسلح با سیمان ها و پوزولان های مختلف در شرایط محیطی خلیج فارس»، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، ۱۳۸۲
- [14] Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M., 1993. Concrete: structures, properties and materials, Prentice Hall, USA.