تحقیقات بتن
سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم
زمستان ۹۸
ص ۱۳۳ – ۱۲۳
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۴
تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۲۹

یادداشت پژوهشی

بررسی تاثیر عیار سیمان و هوازا بر مقدار جذب آب موئینه در پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب

رضا بهراملو *
بخش تحقیقات فنی و مهندسی- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
سعید گوهری
گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده
جذب آب موئینه بتن یکی از شاخصهای اصلی دوام بتن در برابر یخبندان- ذوب متناوب در مناطق سردسیرمی‌باشد، به گونه‌ای که بر اساس تحقیقات موجود، با کاهش آن می‌توان از دوام بتن اطمینان داشت. در این پژوهش تاثیر مقادیر مختلف افزودنی حباب‌ساز و عیار سیمان بر میزان جذب آب موئینه بتن سخت شده مناسب برای پوشش کانال‌های آبرسانی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ۱۵ طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/٤٥ و کاربرد ۵ سطح عیار سیمان ۲۷۵، ۳۲۵، ۳۵۰، ۳۷۵و ٤۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و سه سطح افزودنی حباب هواساز صفر ، ۰/۰۱و ۰/۰۳ درصد وزنی سیمان مصرفی، در نظر گرفته شد. سپس آزمایش‌های مختلف شامل: تعیین مجموع هوای بتن(عمدی و غیر عمدی)، چگالی و مقدار اسلامپ بر روی بتن تازه و آزمایش‌های روند تغییرات جذب آب موئینه، بر روی آزمونه‌های بتن سخت شده انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه نشان داد که با افزایش عیار سیمان در مخلوط‌های بدون افزودنی هواساز و با افزایش مقدار مصرف افزودنی هواساز در یک عیار ثابت، کارایی بتن تازه افزایش می‌یابد. همچنین در مخلوط‌های بدون حباب‌هواساز، با افزایش عیار سیمان مقدار هوای کل کاهش و چگالی افزایش یافت. با افزایش مقدار حباب هواساز مصرفی، در عیارهای ۲۷۵ و ۳۲۵ (عیارهای کمتر از ۳۳۰) کیلوگرم بر مترمکعب به دلیل تاثیر آن بر کارایی، مقدار هوای کل مخلوط کاهش و چگالی افزایش یافت ولی برای عیارهای بالای ۳۳۰ (۳۵۰، ۳۷۵ و ٤۰۰) کیلوگرم بر مترمکعب، مقدار هوای کل افزایش و چگالی کاهش نشان داد. نتایج آزمایش بر روی آزمونه‌های بتن سخت نشان داد که با افزایش عیار سیمان مقدار جذب آب موئینه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار حباب هواساز، مقدار جذب آب موئینه برای عیار سیمان کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۷۵ و ۳۲۵) افزایش و برای عیار سیمان بیشتر از آن (۳۵۰، ۳۷۵ و ٤۰۰کیلوگرم بر مترمکعب) کاهش یافته است. با بررسی نتایج ارائه شده مشخص گردید که برای مخلوط بتنی مناسب برای پوشش بتنی در کانالهای آبیاری (با بزرگترین قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) در مناطق سردسیر که برای داشتن دوام در برابر یخبندان-ذوب نیاز به افزودن حباب ساز می‌باشد، عیار سیمان نباید کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد تا ضمن دستیابی به درصد هوای لازم (حدود ۵-٦درصد) از تاثیر مثبت افزودنی در کاهش جذب آب موئینه و دوام لازم پوشش بتنی اطمینان حاصل نمود. در عیارهای بالای ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف زیادی بین ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد افزودنی حباب هواساز نیست و لذا برای جلوگیری از هزینه اضافی مقدار ۰/۰۱ درصد وزن سیمان توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: جذب آب موئینه، پوشش بتنی، کانال‌های آبیاری، افزودنی حباب هواساز، دوام بتن.

* نویسنده مسئول: bahramloo@gmail.com

۱- مقدمه

یکی از عوامل اصلی کاهنده دوام[1] پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در مناطق سردسیر، پدیده فیزیکی یخ‌زدن- ذوب‌شدن[2] متناوب می‌باشد. تخریب ناشی از این پدیده در اثر وجود همزمان دو عامل یخ‌زدن- ذوب‌شدن متناوب و همچنین اشباع شدن بتن در اثر جذب آب صورت می‌گیرد. برای کاهش خسارت ناشی از یخ‌زدن- ذوب‌شدن متناوب، ضروری است از وقوع تناوب مکرر یخ‌زدن- ذوب‌شدن و یا از جذب آب توسط بتن واشباع شدن آن جلوگیری نمود. ملاک ارزیابی کیفیت پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در شرایط مختلف محیطی، در عمل همانند سازه‌های غیر آبی بر اساس مقدار مقاومت فشاری بوده و پوشش بتنی کانال‌های آبیاری کشور بر اساس ضوابط و معیارهای فنی مندرج در نشریهٔ ۱۰۸[۹] به اجرا در می‌آید. در این نشریهٔ بتن با دوام بتنی معرفی شده که دارای مقاومت نسبتا زیاد بوده و به نحو صحیح اجرا شده است. در این نشریه اگرچه برای اجرای پوشش بتنی استفاده از بتن حباب‌دار نیز اشاره شده ولی مقدار آن برای شرایط مختلف مشخص نشده است. رمضانیانپور و شاه‌نظری[۶] خرابی بتن سخت شده براثر سیکل‌های مکرر ذوب و یخ‌زدگی‌در هوای سرد را در سازه‌های آبی (نظیر کانال‌ها که در صورت عدم رعایت استانداردهای تجویزی طراحی و ساخت بتن، امکان جذب آب و اشباع شدن آن‌ها وجود دارد)محتمل‌تر می‌دانند تا سایر سازه-های بتنی.بدیهی است در اغلب موارد بروز پدیده یخ‌زدن- ذوب‌شدن یک پدیده طبیعی بوده و جلوگیری از آن خارج از توان و اختیار بشر است. لذا تنها راه جلوگیری از تخریب بتن، کاهش جذب موئینه آب توسط بتن و عوارض احتمالی ناشی از جذب آب زیاد و اشباع شدن آن خواهد بود [۵]. طبق تعریف کمیته۲۰۱ انجمن بتن آمریکا[۶] ، دوام بتن حاوی سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقابله با اثرات هوازدگی، تهاجم شیمیایی، سایش و یا هر فرآیندی گفته می‌شود که به آسیب دیدگی بتن می‌انجامد. بهراملو [۳] در بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در دشت همدان نتیجه گرفته است که عامل اصلی تخریب بتن، به رغم مقاومت قابل قبول آن در روزهای اول بتن‌ریزی، بی توجهی به پارامترهای دوام بتن در اقلیم سرد و یخ-زدن-آب‌شدن متناوب براثر جذب آب موئینه بالا می‌باشد. بر اساس تحقیقات وی‌مهمترین عوامل اثرگذار برنفوذپذیری بتن، نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان و دانه‌بندی مصالح سنگی است. تدین[۴] گزارش نمود در نشریهٔ ۱۰۸ به مسئلهٔ دوام پوشش بتنی توجهی نشده و ملاک ارزیابی کیفیت بتن تنها مقاومت فشاری است. در حالی که همواره بین مقاومت فشاری و دوام رابطهٔ مستقیم وجود ندارد. امروزه حباب هوا تقریبا برای همه بتن‌ها خصوصا برای بهبود مقاومت در برابر یخ‌زدن- آب‌شدن، در معرض آب و مواد شیمیایی یخ‌زدا به کار می-رود [۶]. حباب‌های هوای وارد شده عملکردی همانند حفره‌هایی در خمیر سیمان دارند که آب یخ‌زده و مهاجرت کرده می‌تواند وارد آن شده و با کاهش فشار، مانع از تخریب بتن گردد. حباب هوا در بتن می تواند به صورت عمدی[3](با استفاده از مواد حباب هواساز) و یا به صورت حباب هوای محبوس[4] ایجاد گردد. مقدار معمول هوای محبوس در بتن‌ها ۱ تا ۲ درصد است. حباب‌های هوای وارد شده به صورت عمدی بر عکس حباب هوای محبوس، بسیار کوچک وبه قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون بوده و پایایی بتن را در برابر رطوبت و یخ زدن و ذوب‌شدن‌های مکرر افزایش داده و در عین حال دوام آن بتن را در برابر فسادسطحی ناشی از کاربرد مواد یخ‌زدای شیمیایی ارتقاء می‌دهد. اولین مسئله در کاربرد حباب سازها در خیلی از موارد، میزان استفاده از آن‌ها در بتن‌های مختلف است. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که هر ۱٪ هوای موجود در بتن حدود ۵٪ مقاومت فشاری آنرا کاهش داده و بر سایر پارامترها نیز تاثیر گذار است[۴]. به همین دلیل ضروری است میزان مناسب کاربرداین ماده‌در بتن‌های مختلف در زمان اجرا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و مقدار بهینه آن با توجه به نوع‌پروژه و کیفیت بتن مورد نیاز مشخص گردد. پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری معمولا یک سازه باربر نبوده و نیاز به مقاومت فشاری زیادی ندارد. بلکه هدف از آن ایجاد یک پوشش محافظ بادوام در شرایط محیطی برای کنترل تلفات نشت آب می‌باشد. در شرایط اقلیمی سرد، یکی از عوامل اصلی تخریب پوشش بتنی کانال‌ها، یخ‌زدن-ذوب-شدن‌های متناوب آن می‌باشد[۶]. با توجه به خصوصیات مفید حباب-های هواساز، استفاده از این ماده در بتن پوشش کانال‌ها، می‌تواند در بهبود دوام این سازه بسیار مفید واقع شود. استفاده از پوشش بتنی در کانال‌های انتقال آب به لحاظ مزیت‌های اجرایی و دوام،در ایران و سایر کشورها، بیش از سایر پوشش‌ها رواج داشته است[۹]. الزامات اساسی بتن خوب در حالت سخت شده عبارت است از مقاومت

[1] - Durability
[2] - Freezing-thawing
[3] - Entrained Air
[4] - Entarapped Air

فشاری رضایت بخش و دوام کافی[۱۰]. آزمایش‌های ارزیابی دوام درتعیین کیفیت بتن، بسیار زمان‌بر، مخرب و پر هزینه‌اند و به همین دلیل در پروژه‌های اجرایی کمتر به کار برده شده و بیشتر پارامترهای مقاومتی بررسی و ملاک ارزیابی کیفیت بتن قرار می‌گیرد[۴]. در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری تخریب‌های گسترده‌ای در اثر یخ‌زدن-ذوب‌شدن متناوب اتفاق افتاده و ضروری است تاثیر مقادیر مختلف حباب هواساز بر میزان جذب آب آنها مورد بررسی قرار گرفته ومیزان بهینه جهت ارتقاء دوام در برابر این پدیده مخرب مشخص گردد. در تحقیق حاضر تاثیر هوادهی در آزمونه با عیارهای مختلف سیمان بر شاخص جذب آب موئینه بتن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

سیمان، آب، مواد حباب هواساز و سنگدانه‌ها مهمترین مصالح مورد استفاده در مخلوط‌های بتنی این پژوهش بوده‌اند.

۲-۱- سیمان

سیمان به کار رفته در طرح و تهیه مخلوط‌های بتنی این تحقیق، سیمان پرتلند نوع ۲ هگمتانه بوده است. سیمان تیپ ۲ سیمانی متوسط تا حدی کندگیر و نیز تا حدی مقاوم در برابر حمله سولفات‌هاست که برای استفاده در سازه‌های آبی مناسب است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این نوع سیمان در جداول شماره ۱ و۲ بر اساس آزمایش‌های به عمل آمده‌بر روی آنها ارائه شده است.

۲-۲- آب

به طور کلی آب قابل آشامیدن که فاقد مزه و بوی مشخص باشد را می‌توان به عنوان آب مناسب در ساختن بتن به کار برد. در تهیه مخلوط‌ها مختلف بتن‌از آب شرب شهر همدان استفاده شد. میزان پی. اچ. این آب در حدود ۷/۵ و غلظت یون کلر آن نیز ۱۳۴ میلی اکی‌والان بر لیتر گزارش شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

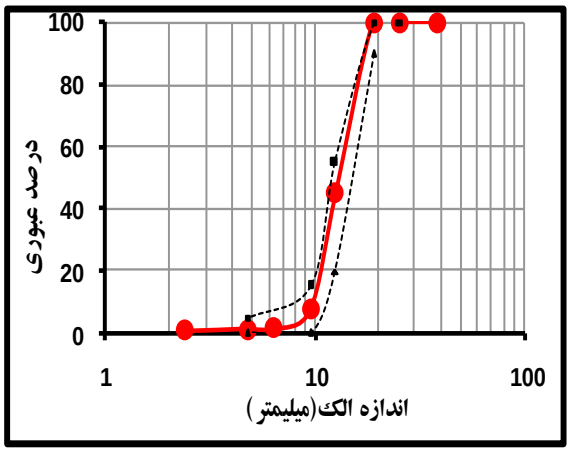
مشخصات فیزیکی	مقدار
وزن مخصوص (گرم بر سانتیمترمکعب)	۳/۱۴
سطح مخصوص (سانتیمترمربع بر گرم)	۳۰۷۸
گیرش اولیه (دقیقه)	۱۳۵
گیرش نهایی (دقیقه)	۱۸۷
مقاومت فشاری ۳ روزه (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)	۲۱۷
مقاومت فشاری ۷ روزه (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)	۳۱۴
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)	۴۰۴
انبساط اتوکلاو (٪)	۰/۱۶

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

اجزاء و ترکیبات	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	K_2O	سایر اکسیدها
درصد وزنی در سیمان	۶۲/۴	۲۱/۰۷	۲/۸۹	۴/۹۹	۳/۶۴	۲/۳۱	۰/۶۵	۲/۰۵

۲-۳- سنگدانه

سنگدانه‌های مصرفی در این تحقیق شامل ماسه و شن(نخودی و بادامی) از نوع نیمه شکسته بوده و از کارخانه شرکت بتن بریس صنعت همدان تهیه شد. در نشریه ۱۰۸ سازمان برنامه و بودجه[۸] برای پوشش بتنی کانال-های آبیاری با ضخامت حدود ۵ سانتیمتر، قطر بزرگترین اندازه سنگدانه به ۱۹ میلیمتر محدود شده است. ماسه مصرفی، ماسه طبیعی شکسته با مدول نرمی ۳/۸ و شن مصرفی، شن طبیعی با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات فنی سنگدانه‌های مصرفی در جدول ۳ارائه شده است. مخلوط سنگدانه حاوی ۶۰ درصد ریزدانه، ۱۰ درصد نخودی و ۳۰درصد بادامی می‌باشد که دانه‌بندی آن در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی در مخلوط

جدول ۳- مشخصات فنی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

نوع سنگدانه	شن بادامی	شن نخودی	ماسه
اندازه (میلیمتر)	۱۹-۱۲	۱۲-۵	کمتر از ۵
چگالی اشباع(گرم بر سانتیمترمکعب)	۲/۶۸	۲/۶۷	۲/۶
درصد ظرفیت جذب آب اشباع(٪)	۰/۷	۰/۸	۳/۲
درصد وزنی مصرف در بتن	۳۰	۱۰	۶۰

۲-٤- مواد افزودنی شیمیایی

ماده افزودنی ماده‌ای است به غیر از سیمان پرتلند، سنگدانه و آب که به صورت پودر یا مایع به عنوان یکی از مواد تشکیل دهنده بتن و برای اصلاح خواص بتن، کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به آن افزوده می‌شود. در تحقیق حاضر از دونوع افزودنی حباب هواساز[1] و روان کننده[2] استفاده شده است.

۲-۵- مواد حباب هواساز

مواد حباب هواساز، رایج‌ترین مواد افزودنی هستند که در بتن‌های در معرض یخ‌زدن-ذوب‌شدن متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد در داخل بتن حباب‌های هوایی به قطر حدود ۰/۰۵ میلیمتر ایجاد می‌کنند. در این پژوهش جهت ایجاد حباب هوا از یک محلولی استفاده شد که به شکل مایع بوده و آن را شرکت شیمی‌ساختمان ایران با نام تجاری فستیزال‌ایر تولید می‌نماید. در این پژوهش مخلوط‌های بتنی برای سه حالت بدون حباب ساز، ۰/۰۱ درصد وزن سیمان و ۰/۰۳ درصد وزن سیمان حباب ساز، تهیه گردید.

۲-٦- افزودنی روان‌کننده

روان‌کننده می‌تواند تا ۵ درصد مصرف آب مورد نیاز را کاهش دهد. روان‌کننده مورد استفاده در این پروژه برای تنظیم کارایی و ایجاد همگنی مناسب مخلوط بتنی، با پایه پلی کربوکسیلات[3] با نام تجاری فرکوپلاست پی۱۰-ان[4] متعلق به شرکت شیمی ساختمان می‌باشد. این ماده روان‌کننده غیر از روان کنندگی، خاصیت دیگری ندارد و جزو روان کننده‌های خنثی است. میزان مصرف روان کننده در حدی بود تا به کارایی (اسلامپ) مود نظر در پوشش کانال‌های آبیاری تامین گردد (بین ۰/۱ تا ۰/۵ درصد وزن سیمان).

۲-۷- طرح اختلاط بتن

جهت ارائه طرح اختلاط در این پژوهش از روش ملی طرح مخلوط بتن استفاده شد[۱۲]. معیارهای مورد نظر در ارائه طرح اختلاط شامل: مقاومت مشخصه استوانه‌ای ۳۰ مگاپاسکال، اسلامپ ۵۰ تا۹۰ میلیمتر، نسبت آب به سیمان۰/۴۵، عیار سیمان ۲۷۵، ۳۲۵، ۳۵۰، ۳۷۵ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ، حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر و درصد حباب‌هوا ۰ ، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، می‌باشند. در استاندارد شماره ۲۰۱ راهنمای دوام بتن امریکا[۱۳]درصد حباب هوای مورد نیاز در بتن برای شرایط شدید، قرارگیری در معرض سیکل‌های ذوب و یخبندان (همانند مخازن و کانال‌های انتقال آب در مناطق سردسیر) برای بتنی با حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹ میلیمتر، ۶٪ وزن سیمان توصیه شده است. رمضانیانپور و همکاران[۶] میزان مصرف مواد حباب‌زا را بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵ درصد سیمان توصیه نموده‌اند. در این تحقیق مطابق جدول ۴، تعداد ۱۵ طرح اختلاط بتن برای ۵ عیار سیمان مذکور با حباب هوا و بدون حباب هوا با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و سیمان نوع ۲ هگمتانه تهیه شد. مقدار حباب هوا در مخلوط بتنی معمولی و بدون افزودنی هوازا، ۱/۵ درصد می‌باشد[۶] که در جدول اعمال شده است.

۲-۸- ساخت نمونه و روش آزمایش بتن تازه

برای ساخت نمونه‌ها از مخلوط‌کن ۶۰ لیتری پره‌ای استفاده شد. پس از اختلاط کامل بتن و به دست آوردن مخلوط یکنواخت، آزمایش‌های بتن تازه مطابق شکل ۲ انجام گردید. آزمایش اسلامپ بر روی تمام مخلوط‌های ساخته شده طبق استاندارد ASTM C143 [۱۶] پس از تعیین اسلامپ، در صورت مناسب بودن کارایی (بین ۲۰ تا ۱۰۰ میلیمتر)، آزمایش تعیین درصد حباب

[1] - Air Entrainment Admixture
[2] - Plasticizer
[3] - Polycarboxylate
[4] - P10-N

هوای موجود در بتن تازه و چگالی آن مطابق استاندارد ASTM C231 [۱۷] با استفاده از مخروط ناقصی استفاده شد که حجم داخلی آن ۵۰۵۰ سانتیمترمکعب و وزن خالی ظرف ۷۲۸۵ گرم ، بر روی طرح‌ها انجام شد.

جدول ۴- مشخصات طرح‌های مختلف مخلوط بتنی تهیه شده

کد طرح	عیار سیمان (kg/m^3)	مقدار آب (kg/m^3)	مقدار سنگدانه (kg/m^3)ssd	حبابساز مصرفی (درصد وزن سیمان)	روانساز مصرفی (درصد وزن سیمان)
NC-275	۲۷۵	۱۲۴	۱۹۸۵	۰	۰/۵
NC-275-a1	۲۷۵	۱۲۴	۲۰۰۳	۰/۰۱	۰/۴
NC-275-a2	۲۷۵	۱۲۴	۲۰۲۲	۰/۰۳	۰/۳
NC-325	۳۲۵	۱۴۶	۱۸۷۳	۰	۰/۳
NC-325-a1	۳۲۵	۱۴۶	۱۸۹۴	۰/۰۱	۰/۲
NC-325-a2	۳۲۵	۱۴۶	۱۹۲۵	۰/۰۳	۰/۱
NC-350	۳۵۰	۱۵۷	۱۸۶۵	۰	۰
NC-350-a1	۳۵۰	۱۵۷	۱۸۵۱	۰/۰۱	۰
NC-350-a2	۳۵۰	۱۵۷	۱۸۲۵	۰/۰۳	۰
NC-375	۳۷۵	۱۶۹	۱۸۳۰	۰	۰
NC-375-a1	۳۷۵	۱۶۹	۱۸۱۹	۰/۰۱	۰
NC-375-a2	۳۷۵	۱۶۹	۱۷۹۰	۰/۰۳	۰
NC-400	۴۰۰	۱۸۰	۱۷۶۹	۰	۰
NC-400-a1	۴۰۰	۱۸۰	۱۷۵۰	۰/۰۱	۰
NC-400-a2	۴۰۰	۱۸۰	۱۷۳۴	۰/۰۳	۰

شکل ۲- آزمایشهای بتن تازه (از راست به چپ: تعیین اسلامپ، هوای کل و چگالی)

۲-۹- آزمایش‌های بتن سخت شده

پس از انجام آزمایش بر روی بتن تازه، با استفاده از قالب‌گیری و تراکم بتن تازه، آزمونه‌ها تهیه و روی آنها با گونی مرطوب پوشانده شد تا شرایط اشباع برای شروع عمل‌آوری به مدت ۲۴ ساعت تامین گردد. بعد از آن آزمونه‌ها از قالب بیرون آورده و در داخل مخزن آب قرار گرفت. بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب با دمای آزمایشگاه(۱۹ تا ۲۳ درجه سانتیگراد)، نمونه‌های بتنی از آب بیرون آورده شده و آزمایش‌های لازم انجام شد. آزمونه‌های بتنی بعد از ۲۴ ساعت از قالب بیرون آورده و بر اساس مشخصات مخلوط نامگذاری شدند. نمونه‌ها تا سن آزمایش (۲۸ روزه) در مخزن آب در دمای آزمایشگاه (۱۹ تا ۲۳ درجه سانتیگراد) عمل‌آوری شدند.

نحوه انجام آزمایش جذب آب موئینه

آزمایش جذب آب موئینه طبق استاندارد ASTM C1585 ، [۱۸] انجام شد. نمونه‌ها در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد در آون خشک شده و سپس به گونه‌ای در بالای سطح آب قرار داده شدند

که ۲ تا ۴ میلی‌متر آن داخل آب باشد. در این استاندارد برای تعیین عمق نفوذ موئینه آب از رابطه ۱ استفاده شده است:

$$I = \frac{m_t}{A \times \rho} \qquad (۱)$$

که در آن:

I= عمق نفوذ آب (میلیمتر)،

m_t= تغییر جرم نمونه بتنی در زمان t (گرم)،

A= مساحت سطح مقطع آزمونه ها (میلیمتر مربع) و

ρ = جرم مخصوص آب (۰/۰۰۱ گرم بر میلیمترمربع)

نمونه‌های مورد آزمایش استوانه‌ای به ارتفاع ۵ و قطر ۱۰ سانتیمتر بودند ولی برای دقت بیشتر در شروع آزمایش با استفاده از کولیس، مقادیر قطر و ارتفاع آزمونه‌ها تعیین گردید. سپس بجز سطح دایره ای پائین آزمونه، مابقی قسمتهای عایق گردید و جرم خشک آنها با ترازو توزین گردید. پس از قرارگیری نمونه در ظرف آب، مطابق شکل در زمان‌های مختلف و ترجیحاً پس از ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۶۰ دقیقه و روز اول تا هشتم، وزن نمونه اندازه‌گیری و یادداشت گردید. با داشتن اختلاف توزین در هر مرحله و سایر پارامترها، با استفاده از رابطه ۱ مقدار جذب آب موئینه بر حسب میلیمتر تعیین گردید. این عمل معمولا بعد از هشت روز تغییری نداشت و لذا اندازه گیریها مطابق این استاندارد بعد از آن خاتمه یافت.

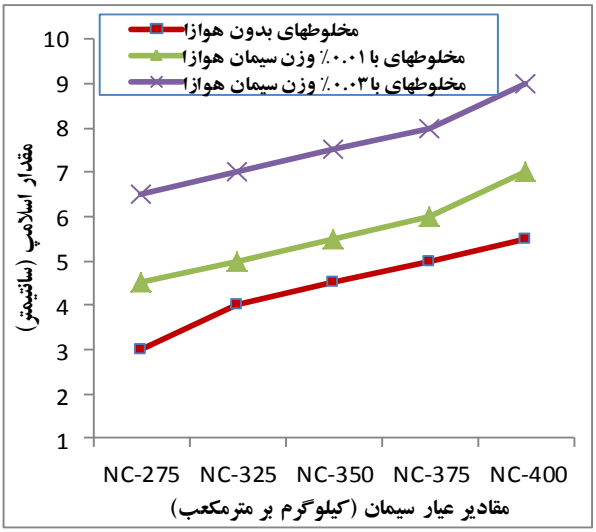
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمایش روی بتن تازه

در جدول ۵ مقادیر اسلامپ، چگالی و هوای کل مخلوط بتن تازه برای ۱۵ طرح مورد آزمایش ارائه شده است. مطابق این جدول و شکل ۳ افزایش عیار سیمان باعث افزایش کارایی و اسلامپ بتن گردید ه است. همچنین در یک عیار مشخص افزایش مقدار مصرف افزودنی حباب هواساز منجر به افزایش کارایی مخلوط بتنی گردیده است. با افزایش عیار سیمان، مقدار سیمان به سنگدانه افزایش یافته و خمیر مخلوط بتنی نسبت به سنگدانه بیشتر شده و لذا منجر به کارایی بهتر خواهد شد. و از طرف دیگر حباب تولید شده با کاربرد افزودنی، باعث حرکت روانتر مواد بر روی حباب که همانند غلطکی در داخل بتن عمل می‌کند گردیده و مقدار اسلامپ را افزایش داده است.

جدول ۵- پارامترهای بتن تازه در طرح‌های مختلف اختلاط

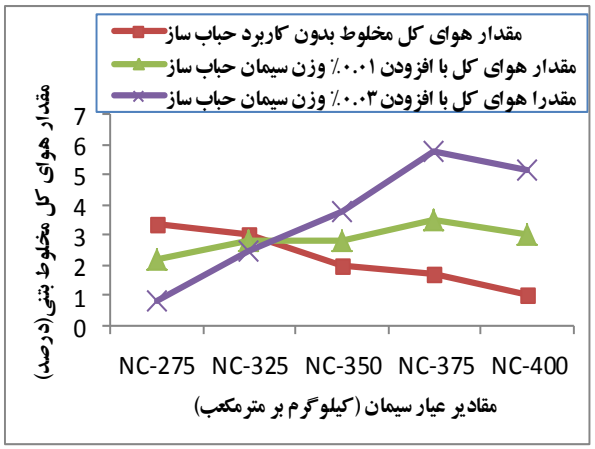
کد طرح	اسلامپ (cm)	چگالی اشباع (gr/cm^3)	مقدار هوای کل (٪)
NC-275	۳	۲/۳۰	۳/۴
NC-275-a1	۴/۵	۲/۳۴	۲/۲
NC-275-a2	۶/۵	۲/۳۸	۰/۸
NC-325	۴	۲/۳۴	۳/۰
NC-325-a1	۵	۲/۳۵	۲/۸
NC-325-a2	۷	۲/۳۶	۲/۵
NC-350	۴/۵	۲/۳۵	۲/۰
NC-350-a1	۵/۵	۲/۳۳	۲/۸
NC-350-a2	۷/۵	۲/۳۰	۳/۸
NC-375	۵	۲/۳۸	۱/۷
NC-375-a1	۶	۲/۳۴	۳/۵
NC-375-a2	۸	۲/۲۹	۵/۸
NC-400	۵/۵	۲/۴۲	۱
NC-400-a1	۷	۲/۳۸	۳/۰
NC-400-a2	۹	۲/۳۲	۵/۲



شکل ۳- تاثیر عیار سیمان و افزودنی حباب ساز بر اسلامپ

در شکل ۴ مقدار هوای کل شامل مجموع هوای عمدی (ناشی از افزودنی حباب هواساز) و هوای غیر عمدی (ناشی از تراکم) مخلوطهای بتنی ارائه شده است. هوای غیر عمد برای مخلوطهایی با عیارهای مختلف، همزمان با افزایش عیار و افزایش اسلامپ، کاهش داشته است. افزودن حباب هواساز در دو عیار سیمان ۲۷۵

و ۳۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب که مطابق شکل ۳ از اسلامپ پائینی برخوردار هستند، باعث روانی و کارایی بهتر مخلوط گردیده و لذا تراکم بهتر مخلوط را به دنبال داشته و در نتیجه از مقدار هوای کل آنها کاسته شده است. تقریبا در عیار ۳۳۰ کیلو گرم بر مترمکعب، سه خط صفر، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد افزودنی هواساز باهم تلاقی دارند و برای عیارهای بالاتر از آن، افزودنی هواساز باعث افزایش هوای کل مخلوط گردیده است. در عیار ۴۰۰ کیلوگرم به دلیل هوای غیر عمد بسیار پائین (کمتر از ۱ درصد)، مقدار مجموع هوای مخلوط پس از افزودن هواساز نیز کمتر از مخلوط با عیار ۳۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب شده است.

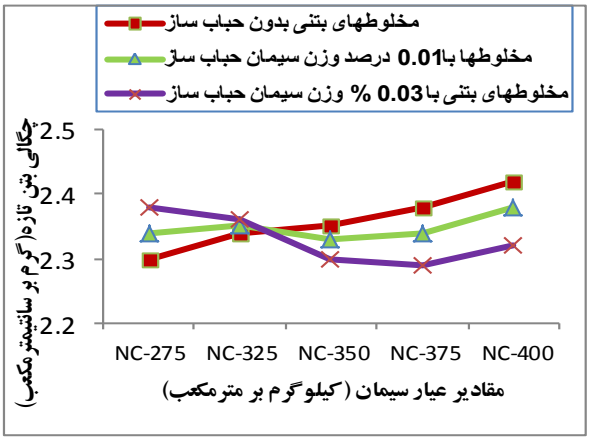


شکل ۴- تاثیر افزودن هوازا بر میزان هوای کل مخلوط بتنی

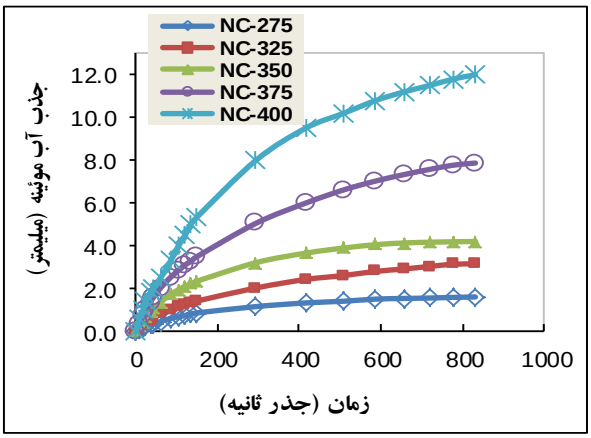
در شکل ۵ تاثیر افزایش مقدار هوازا بر میزان چگالی خشک و اشباع آزمونه‌ها ارائه شده است. مطابق این نمودار افزایش عیار سیمان که افزایش اسلامپ، کاهش هوای کل و در نتیجه امکان تراکم بهتر مخلوط را به دنبال دارد، باعث افزایش چگالی گردیده است. برای عیارهای کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب، به دلیل نقشی که افزودنی هواساز در تراکم بهتر و کاهش هوای این مخلوط‌ها دارد، باعث افزایش چگالی و برای مخلوطهای با عیار بالای ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب با اسلامپ مناسب، منجر به افزایش حباب هوای عمدی و در نتیجه هوای کل کردیده و کاهش چگالی را به دنبال دارد.

۳-۲- نتایج آزمایش جذب آب موئینه روی بتن سخت شده

در شکل ۶ تغییرات مقادیر جذب آب موئینه برای طرح‌هایی با ۵ عیار سیمان ۲۷۵، ۳۲۵، ۳۵۰، ۳۷۵ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در زمان‌های مختلف تا ۸ روز ارائه شده است. مطابق این شکل در مخلوط‌های شاهد و بدون هواساز، افزایش عیار سیمان باعث افزایش جذب آب موئینه گردیده است. مطابق این نمودار، کمترین و بیشترین مقدار جذب آب موئینه به ترتیب مربوط است به عیارهای ۲۷۵ و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب. این موضوع را می‌توان این گونه بیان نمودکه با افزایش عیار سیمان در آزمونه‌ها، بخش خمیری بتن که محل جذب آب موئینه است بیشتر شده و در نتیجه جذب آب موئینه بیشتر خواهد شد. بر اساس این نتیجه برای کاهش جذب آب موئینه در بتن در محلهایی همانند پوشش بتنی کانالهای آبیاری، تا حد امکان بایستی مقدار عیار سیمان کاهش یابد.



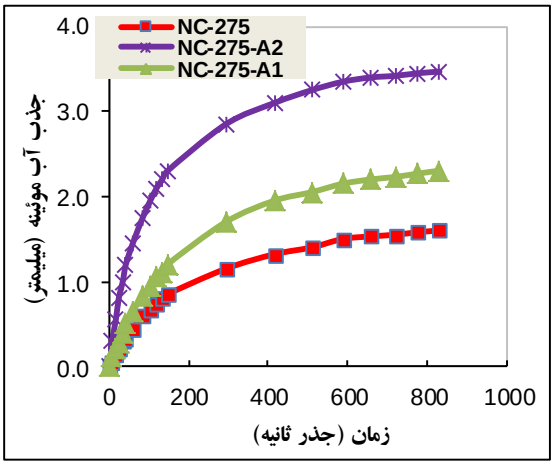
شکل ۵- تاثیر افزودن هوازا بر میزان چگالی مخلوط بتنی



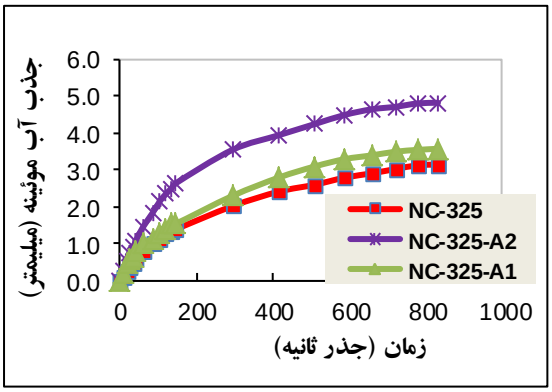
شکل ۶- روند تغییرات جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی با عیارهای مختلف سیمان بدون هوازا

در شکل‌های ۷ تا ۱۰ تاثیر افزودنی هواساز در عیارهای مختلف سیمان، بر جذب موئینه ارائه شده است. مطابق نمودارهای ۷ و ۸ ملاحظه می‌گردد که برای آزمونه‌های بتنی با عیارهای ۲۷۵ و ۳۲۵

افزودن حباب هواساز باعث افزایش جذب موئینه گردیده است. لذا اگر چنانچه اجرای پوشش بتنی در منطقه سردسیر قرار است باشد و استفاده از حباب هواساز الزامیست، نباید از عیار کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده نمود و حتما بایستی عیار سیمان از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب بالاتر باشد. ولی اگر الزامی به استفاده از هواساز نیست، در صورت برآورده شدن سایر اهداف از جمله مقاومت فشاری می‌توان از عیار کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز استفاده نمود.

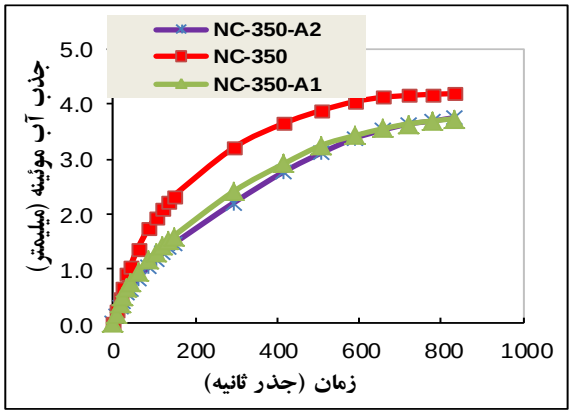


شکل ۷- جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی (C=۲۷۵)

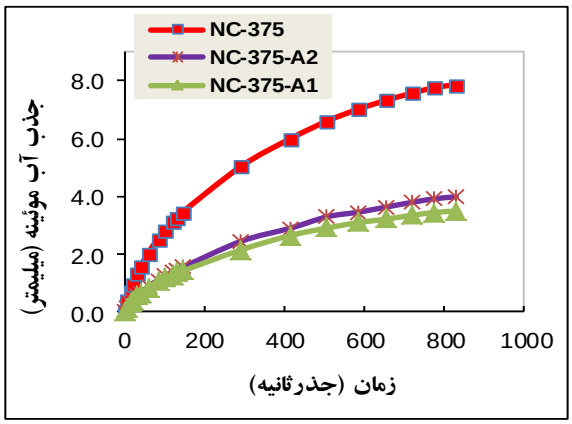


شکل ۸- جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی (C=۳۲۵)

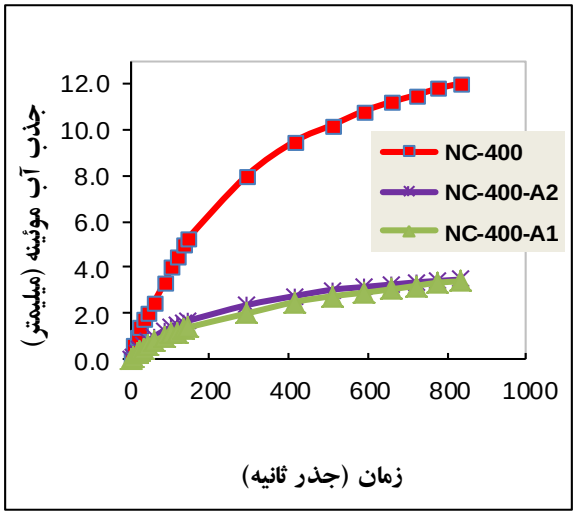
با مقایسه نمودارهای ۸ و ۹ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که برای عیارهای بالاتر از ۳۲۵ و کمتر از ۳۵۰ (تقریبا ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزودن هواساز باعث کاهش جذب آب موئینه گردیده است. این روند در نمودارهای ۱۲ و ۱۳ برای عیارهای سیمان ۳۷۵ و ۴۰۰ نیز قابل مشاهده بوده و افزایش عیار سیمان در آنها منجر به کاهش جذب آب موئینه گردیده است. دلیل این موضوع تاثیر حبابهای هوا در ایجاد ناپیوستگی در منافذ موئینه خمیر بتن بوده و مانعی در نفوذ موئینه می‌گردد [۲۲]. بهراملو [۱] در تحقیقی نتیجه‌گیری نمودکه برای عیارهای مختلف سیمان افزودن هواساز باعث افزایش جذب آب موئینه خواهد شد در حالیکه بر اساس نتایج تحقیق حاضر نمیتوان همواره این ادعا را نمود و برای عیارهای بالاتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب افزودنی هواساز باعث کاهش جذب آب خواهد شد. با بررسی نمودار شکل‌های ۸ تا ۱۱ می توان نتیجه‌گیری نمودند که پس از گذشت زمان لازم و در دراز مدت، اختلاف زیادی در جذب آب موئینه آزمونه‌های با ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد وزن سیمان افزودنی حباب هواساز وجود ندارد که تاییدی بر نتیجه گیری بهراملو [۱] می‌باشد. مستوفی‌نژاد [۱۲] در تحقیقات خود نتیجه‌گیری نمود که بتن هوادار در مقایسه با بتن معمولی آب بندتر است و توصیه نموده تا در ساختن مخازن و پوشش کانال‌ها از آن استفاده گردد. این مسئله را می‌توان چنین توجیه نمود که منافذ هوای ناشی از هوازا، همانند یک ساچمه‌هایی در داخل بتن ضمن ارتقاء کارایی بتن باعث تراکم بهتر بتن با انرژی کم گردیده و در نتیجه میزان جذب آب بتن را کاهش می‌دهد.



شکل ۹- جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی (C=۳۵۰)



شکل ۱۰- جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی (C=۳۷۵)



شکل ۱۱- جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی (C=۴۰۰)

با مقایسه نمودارهای شماره ۷ تا ۱۱ ملاحظه می‌گردد که با افزایش عیار سیمان اختلاف تاثیر افزودنی حباب هواساز بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ درصد کمتر می‌گردد.این این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که در عیارهای بالای ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف زیادی بین ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد افزودنی حباب هواساز نیست و لذا برای جلوگیری از هزینه اضافی مقدار ۰/۰۱ درصد وزن سیمان توصیه می‌گردد.

٤- نتیجه گیری

در این پژوهش برای دستیابی به مخلوط بتنی مناسب برای پوشش بتنی در کانالهای آبیاری در مناطق سردسیر، و بررسی تاثیر عیار سیمان و افزودنی هواساز بر میزان جذب آب موئینه، ۱۵ طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و کاربرد ۴ سطح عیار سیمان ۲۷۵، ۳۲۵، ۳۵۰، ۳۷۵و ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و سه سطح افزودنی حباب هواساز صفر ، ۰/۰۱و ۰/۰۳ درصد وزنی سیمان مصرفی مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس مجموع نتایج، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که:

۱- با افزایش عیار سیمان در مخلوط‌های بدون افزودنی هواساز و با افزایش مقدار مصرف افزودنی هواساز در یک عیار ثابت، کارایی بتن تازه افزایش می‌یابد.

۲- در مخلوط‌های بدون حباب هواساز، با افزایش عیار سیمان از ۲۷۵ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقدار هوای کل کاهش و چگالی افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش مقدار حباب هواساز مصرفی، در عیارهای کمتر از ۳۳۰ (۲۷۵ و ۳۲۵) کیلوگرم بر مترمکعب به دلیل تاثیر آن بر کارایی، مقدار هوای کل مخلوط کاهش و چگالی افزایش می‌یابد ولی برای عیارهای بالای ۳۳۰ (۳۵۰، ۳۷۵ و ۴۰۰) کیلوگرم بر مترمکعب، مقدار هوای کل افزایش و چگالی کاهش می‌یابد.

۴- با افزایش عیار سیمان مقدار جذب آب موئینه در آزمونه‌های بتنی افزایش می‌یابد.

۵- با افزایش مقدار حباب هواساز، مقدار جذب آب موئینه برای عیار سیمان کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۷۵ و ۳۲۵) افزایش و برای عیار سیمان بیشتر از آن (۳۵۰، ۳۷۵ و ۴۰۰) کاهش می‌یابد.

۶- در مناطق سردسیر که برای داشتن دوام در برابر یخبندان-ذوب نیاز به افزودن حباب‌ساز می‌باشد، عیار سیمان نباید کمتر از ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد تا ضمن دستیابی به درصد هوای لازم (حدود ۵-۶درصد) از تاثیر مثبت افزودنی در کاهش جذب آب موئینه و دوام لازم پوشش بتنی اطمینان حاصل نمود.

۷- در عیارهای توصیه شده (بالای ۳۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، از لحاظ تاثیر بر کاهش جذب آب موئینه و دوام بتن، اختلاف زیادی بین ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد مصرف افزودنی حباب هواساز نیست و لذا برای جلوگیری از هزینه اضافی مقدار ۰/۰۱ درصد وزن سیمان توصیه می‌گردد.

٥- مراجع

[۱]. بهراملو،ر. و ن عباسی. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر افزودنی حباب‌ساز بر ویژگی‌های جذب آب در پوشش بتنی کانالهای آبیاری. مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی. جلد۱۶. شماره ۶۵. ص: ۱۱۷-۱۳۲.

[۲]. بهراملو، رضا. « ارزیابی اثربخشی پوشش بتنی بر کنترل تلفات نشت آب از کانال‌های آبیاری در استان همدان». مجله پژوهش آب ایران. سال پنجم. شماره ۱۱. ص: . ۱۳۹۱.

[۳]. بهراملو، رضا. « بررسی علل تخریب بتن در پوشش کانال‌های آبیاری (مطالعه موردی در دشت بهار- همدان) »، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۸. شماره ۳. ص ۸۱-۹۲. ۱۳۸۶.

[۴]. تدین، محسن. «ارزیابی دوام بتن(آزمایش‌ها و معیارها) ». اولین کارگاه فنی بررسی کیفیت بتن سخت شده در پوشش کانال-های آبیاری، روش‌ها و استانداردها. سازمان جهاد کشاورزی استان همدان. همدان. ص: ۵ – ۲۶. ۱۳۹۰.

[۵]. مهتا، مونته‌ئیرو. «ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)». ترجمه رمضانیانپور، علی‌اکبر، قدوسی، پرویز و گنجیان، احمد. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۷۶ صفحه. ۱۳۸۳.

[۶]. رمضانیانپور، علی اکبر و شاه‌نظری، محمدرضا . نویل آدام و جی.جی. بروکس(مولفین) . تکنولوژی بتن. انتشارات علم و صنعت ۱۱۰. ۴۶۵ صفحه. ۱۳۹۰.

[۷]. سازمان برنامه و بودجه. آئین‌نامه بتن ایران. نشریه شماره ۱۲۰. ۴۳۶ صفحه. ۱۳۸۳.

[۸]. سازمان برنامه و بودجه. ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مشخصات فنی عمومی. نشریه شماره ۱۰۸. ۲۱۲ صفحه. ۱۳۹۲.

[۹]. سیاهی، محمد کاظم، عزت‌اله، فرهادی هیکویی، احمد، جعفری. حسین، ناشر، محمد صادق، جعفری، مسعود، معلمی، علیرضا، دلال زاده، علیرضا، بابایی، وحید، داسدار و مسعود، اقبالی . ساخت کانال‌های آبیاری، محدودیت‌ها و راه کارها. نشریه شماره ۱۴۵.کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۶۰ صفحه. ۱۳۹۰.

[۱۰]. فامیلی، هرمز(مترجم). ویژگی‌های بتن. نویل، آدام(مؤلف). انتشارات علم و صنعت ۱۱۰. ۸۱۹ صفحه. ۱۳۹۱.

[۱۱]. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن . آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان. نشریه شماره ض-۴۲۸. چاپ اول. تهران. ایران. ۱۳۸۴.

[۱۲]. مستوفی‌نژاد، داود. تکنولوژی و طرح اختلاط بتن . انتشارات ارکان دانش. ۱۷۶ صفحه. ۱۳۹۰.

[13]. ACI Cmmittee 201. “ Guide to Durable Concrete (ACI 201.1R)”. American Concrete Institute. Farminton. Hills. Mich. 41 pp. 2001.

[14]. ACI 306R-88. “ Cold weather concreting. ACI Manual of Concrete Practice”. Part 2. 23pp. 1994.

[15] ASTM. “ Standard Test Method for Density, Absorption and voids in Hardened Concrete. ASTM C 642”. Annual book of ASTM Standards. Philadelphia. Vol. 04.02. PP:8. 2000.

[16] ASTM. “ Standard Test Method for Slump of hydraulic-cement Concrete. ASTM C 143”. Annual book of ASTM Standards. Philadelphia. Vol. 04.02. PP:4. 2003.

[17] ASTM. “ Standard Test Method for Air content of freshly mixed concrete by the pressure method. ASTM C 231”. Annual book of ASTM Standards. Philadelphia. Vol. 04.02. PP:9. 2003.

[18] ASTM. “ Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. ASTM C1585-4”. 2013.

[19] Bozkurt, N. and S. , Yazicioglu.” Sterngth and capillary water absorption of lightweight concrete under different curing conditions. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences”. Vol. 17. Pp. 145-151. 2010.

[20] BS 1881.” Testin concrete, part 122: Method for Determination of water absorption”. British Standard. London. England. 1983.

[21] Castro, J., D. Bentz and J. Weiss .” Effect of sample conditioning on the water absorption of concrete”. Cement and concrete composites. Vol. 33. pp: 805-813. 2011.

[22] James, J. Ernzen and Ramon L. Carrasquillo.” Resistance of high strength concrete to cold weather environments”. Technical report documentation pages. department of transportation planing division. Austin, Texas. 330 pages. 1992.

Investigating the effect of cement and air entrained admixture (AEA) on the capillary water absorption in concrete lining of water conveyance canals

Reza Bahramloo *
Agricultural Engineering Research Institute Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
Saeed Gohari
Department of water engineering, faculty of agriculture, Boo-ali-Sina university, Hamedan, Iran.

Abstract

Capillary water absorption of concrete is one of the main indicators of concrete durability against freezing-thawing cycles in cold climates, so that, based on existing research, concrete durability can be assured by decreasing it. In this study, the effect of different amounts of air entrained admixture (AEA) and amount of cement on the capillary water absorption of hardened concrete lining of irrigation canals was studied. For this purpose, 15 concrete mix designs with w/c of 0.45, D_{max}=19mm and 4 levels of cement content of 275, 325, 350, 375 and 400 kg / m3, and three levels of AEA(zero, 0.01% and 0.03% of cement weight) was considered. Various experiments included: determination of total air, density and amount of slump on fresh concrete and changes in capillary water absorption on specimens of hardened concrete were studied. The results of experiments on fresh concrete showed that increasing the cement content in different mixtures and increasing of AEA in a constant grade of cement, leads to increased of slump. In addition to in non-AEA mixtures, the total air content decreased and the density increased with increasing cement content. By increasing the amount of AEA, in mixtures with 275 and 325 (less than 330) kg/m^3 of cement, the amount of total air of mixture decreased and the density increased, but for mixtures with higher cement from 330 (350, 375 and 400) kg/m^3, the total amount of air was increased and the density decreased. The results of the experiments on specimens hardened concrete showed that increasing the cement content increased the amount of capillary water absorption. Also, for concrete samples with cement of less than 330 kg/m^3 (275 and 325), by increasing the amount of AEA, the amount of capillary water absorption increased, while for concrete samples with cement of more than 330 kg/m^3 (350, 375 and 400), decreased. Based on results, it was found that for concrete mixtures suitable for irrigation canals lining(with D_{max}= 19 mm) in cold regions, which need to be durable aganest freezin-thawing cycles with AEA, amount of cement should not be less than 330 kg/ m^3. There is not much difference between 0.01% and 0.03% of AEA, and therefore, an amount of 0.01% cement weight is recommended to avoid additional costs.

Keywords: Air Entrainment Admixture (AEA), concrete mixtures, Capillary water absorption, conveyance canals.

* Corresponding Author: bahramloo@gmail.com