مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ١٦/ شماره ٦٥/سال ١٣٩٤/ص ١٣٢-١١٧
AERI

بررسی تأثیر افزودنی حباب‌ساز بر ویژگی‌های جذب آب در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری

رضا بهراملو* و نادر عباسی**

* نگارنده مسئول: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
تلفن: ۳۲۵۲۴۵۹۸(۰۸۱)، پیام‌نگار: bahramloo@gmail

** به ترتیب: عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان؛ و دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

در این پژوهش، تأثیر افزودنی حباب‌ساز بر میزان نفوذ آب و جذب آب بتن سخت بررسی شده است. بدین منظور ٦ طرح اختلاط بتنی با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و کاربرد دو سطح عیار سیمان ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و سه سطح حباب‌ساز ۰/۰۱ و ۰/۰۳ و صفر درصد وزنی سیمان مصرفی از مادهٔ هوازا، در نظر گرفته شد. آزمایش‌های مختلف شامل تعیین مجموع هوای بتن (عمدی و غیر عمدی)، چگالی و تعیین مقدار اسلامپ روی بتن تازه و آزمایش‌های جذب آب اولیه، جذب آب نهایی، جذب آب جوشیده، جذب آب مویینه، عمق نفوذ آب، تعیین چگالی و تخلخل روی نمونه‌های بتن سخت شدهٔ همهٔ مخلوط‌ها اجرا شد. نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه نشان می‌دهد که با افزایش مادهٔ افزودنی هوازا، کارایی بتن تازه و میزان هوای کل آن افزایش و چگالی بتن کاهش می‌یابد و برای مخلوط‌های مذکور کاربرد افزودنی بیش از ۰/۰۳ درصد وزن سیمان منجر به ریزشی شدن مخلوط می‌گردد. نتایج آزمایش‌ها روی بتن سخت شده نشان می‌دهد که افزودن ۰/۰۳ درصد وزن سیمان از مادهٔ هوازا به مخلوط بتن با هر دو عیار سیمان مورد استفاده، به کاهش چگالی، جذب آب اولیه و جذب آب نهایی و افزایش جذب آب مویینه و تخلخل می‌انجامد. با افزایش مقدار هوازا از ۰/۰۱ به ۰/۰۳، درصد وزن سیمان عمق نفوذ آب در بتن‌های مورد بررسی به کمتر از حداکثر مقدار مجاز (۳۰ میلی‌متر) کاهش می‌یابد و شرایط دوام در برابر یخبندان حاصل می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف، این نتیجه نیز به دست آمد که افزودن مادهٔ حباب‌ساز شاخص‌های دوام بتن را بالا می‌برد و افزایش این ماده به میزان ۰/۰۳ درصد وزنی سیمان، از لحاظ پارامترهای دوام، نسبت به گزینه‌های دیگر مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی

پوشش کانال، دوام بتن، جذب آب مویینه، هوادهی بتن

مقدمه

یکی از عوامل اصلی کاهندهٔ دوام[1] پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در مناطق سردسیر، پدیدهٔ فیزیکی یخزدن- ذوب‌شدن[2] متناوب است. تخریب ناشی از این پدیده در اثر همزمان شدن دو عامل یخزدن- ذوب‌شدن متناوب و همچنین اشباع شدن بتن است. برای کاهش خسارت ناشی از یخزدن- ذوب‌شدن متناب، ضروری است از وقوع تناوب مکرر یخزدن- ذوب‌شدن یا از جذب آب توسط بتن و اشباع شدن آن جلوگیری کرد. ملاک ارزیابی کیفیت پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در شرایط

1- Durability
2- Freezing-Thawing

مختلف محیطی، در عمل بر اساس مقدار مقاومت فشاری است و پوشش بتنی کانال‌های آبیاری کشور بر اساس ضوابط و معیارهای فنی مندرج در نشریهٔ ۱۰۸ سازمان برنامه و بودجه (Anon, 1995) به اجرا در می‌آید. در این نشریه، بتن با دوام بتنی معرفی شده که مقاومت نسبتاً بالا دارد و به نحو صحیح اجرا شده است. در این نشریه اگرچه برای اجرای پوشش بتنی به استفاده از بتن حباب‌دار نیز اشاره شده ولی مقدار آن برای شرایط مختلف مشخص نشده است. رمضانیان‌پور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988) خرابی بتن سخت شده بر اثر سیکل‌های مکرر ذوب و یخزدگی در هوای سرد را در سازه‌های آبی (مانند کانال‌ها که در صورت رعایت نشدن استانداردهای تجویزی طراحی و ساخت بتن، امکان جذب آب و اشباع شدن آنها وجود دارد) محتمل‌تر می‌دانند تا سایر سازه‌های بتنی. در اغلب موارد، یخزدن- ذوب‌شدن پدیده‌ای است طبیعی و جلوگیری از آن خارج از توان و اختیار بشر است. از این‌رو، تنها راه جلوگیری از تخریب بتن، کاهش جذب آب توسط بتن و عوارض احتمالی ناشی از جذب آب زیاد و اشباع شدن آن خواهد بود (Anon, 2000a). طبق تعریف کمیتهٔ ۲۰۱ انجمن بتن آمریکا[1] (Anon, 2001)، دوام بتن حاوی سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقابله با تأثیرات هوازدگی، تهاجم شیمیایی، سایش یا هر فرایندی گفته می‌شود که به آسیب‌دیدگی بتن می‌انجامد. کرسلی و وینرایت (Kearsley & Wainwright, 2002) با بررسی تأثیر تخلخل بر مقاومت بتن حباب‌دار نتیجه‌گیری کرده‌اند که تخلخل بتن به مقدار زیاد به چگالی (دانسیته) خشک آن وابسته است و مقاومت فشاری بتن تابعی از تخلخل و سن بتن است و با افزایش تخلخل، چگالی خشک و مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. بهراملو (Bahramlou, 2007)، 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 یخزدن- آب‌شدن متناوب بر اثر نوسانات دمایی است. بر اساس تحقیقات وی، مهم‌ترین عامل اثرگذار بر نفوذپذیری بتن، نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، و دانه‌بندی مصالح سنگی است. نوع سیمان، میزان تراکم و نحوهٔ تراکم و نیز عمل‌آوری از دیگر عوامل اثرگذار بر نفوذپذیری بتن محسوب می‌شوند.

تدین (Tadayon, 2011) گزارش داده است که در نشریهٔ ۱۰۸ به مسئلهٔ دوام پوشش بتنی توجهی نشده و ملاک ارزیابی کیفیت بتن تنها مقاومت فشاری است. درحالی که بین مقاومت فشاری و دوام رابطهٔ مستقیم وجود ندارد. امروزه حباب هوا تقریبا برای همه بتن‌ها خصوصا برای بهبود مقاومت بتن در برابر یخزدن- آب‌شدن در معرض آب و مواد شیمیایی یخزدا به‌کار می‌رود (Ramazanianpour & Shahnazari, 2012). حباب‌های هوای وارد شده عملکردی مانند حفره‌هایی در خمیر سیمان دارند که آب یخزده و مهاجرت کرده می‌تواند به آن وارد و با کاهش فشار مانع از خراب شدن بتن شود. پارامترهای مهم سیستم حباب هوا شامل میزان کل حباب‌های هوا، ضریب فاصله، و اندازهٔ حباب هوا (سطح ویژه) هستند. مواد افزودنی حباب ساز معمولا مایع هستند و متداولترین آنها عبارت اند از رزین چوب (وینزول رزین)، هیدروکربن‌های سولفاته، اسیدهای چرب و مصالح ترکیبی (Pilevar, 2014).

حباب هوا در بتن می‌تواند به صورت عمد[2] (با استفاده از مواد حباب‌ساز) یا به صورت حباب هوای محبوس[3] ایجاد شود. هوای محبوس در بتن ممکن است بر اثر تراکم یا اختلاط نامناسب، جا به جایی یا حین فرایند بتن‌ریزی باشد که این نوع هوا در همهٔ بتن‌ها از جمله بتن حباب‌دار نیز وجود دارد. وجه تمایز این حباب‌ها شکل غیرکروی و اندازهٔ درشت (معمولاً بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر) آنهاست.

1- ACI 201
2- Entrained Air
3- Entarapped Air

مقدار معمول هوای محبوس در بتن‌ها ۱ تا ۲ درصد حجم بتن است. حباب‌های هوای وارد شده به صورت عمد، بر عکس حباب هوای محبوس، بسیار کوچک‌اند، به قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون، و پایایی بتن را در برابر رطوبت و یخ زدن و ذوب‌شدن‌های مکرر افزایش می‌دهند و در عین حال دوام آن بتن را در برابر فساد سطحی ناشی از کاربرد مواد یخ‌زدای شیمیایی بالا می‌برند. با تولید حباب هوا در بتن، چگونگی ساخت و نحوهٔ بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن آسان می‌شود (Rahimi, 2006)؛ دلیل این موضوع آن است که حباب‌های هوا در بتن نقش روان‌کننده دارد و می‌تواند موجب کاهش آب مصرفی لازم برای ساختن بتن به میزان ۱۰ تا ۱۵ لیتر در هر مترمکعب گردد. بتن با حباب هوا بهتر به فولاد می‌چسبد و در برابر گرما/ سرمای زیاد، یخبندان و تأثیرات شیمیایی مقاوم‌تر است و خطر آب انداختگی را کاهش می‌دهد (Pilevar, 2014). اولین مسئله در کاربرد حباب‌سازها در خیلی از موارد، میزان استفاده از آنها در بتن‌های مختلف است. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که هر ۱ درصد هوای موجود در بتن حدود ۵ درصد مقاومت فشاری آن را کاهش می‌دهد و بر سایر پارامترها نیز تأثیرگذار است (Tadayon, 2011; Pilevar, 2014). همین موضوع سبب شده است تا بسیاری از طراحان و پیمانکاران از کاربرد این نوع مواد در مخلوط بتن نگران باشند. به همین دلیل ضروری است میزان مناسب کاربرد این ماده در بتن‌های مختلف در زمان اجرا بررسی و مقدار بهینهٔ آن با توجه به نوع پروژه و کیفیت بتن مورد نیاز مشخص شود.

پوشش‌های بتنی در کانال‌های آبیاری معمولاً سازه‌های باربر نیستند و نیاز به مقاومت فشاری زیادی ندارند، بلکه هدف از آنها ایجاد پوششی محافظ و بادوام در شرایط محیطی برای کنترل تلفات نشت آب است. در شرایط اقلیمی سرد، یکی از عوامل اصلی خرابی پوشش بتنی کانال‌ها، یخزدن- ذوب‌شدن‌های متناوب آن است. با توجه به خصوصیات مفید حباب‌های هوای، استفاده از این ماده در بتن پوشش کانال‌ها، می‌تواند در بهبود دوام این سازه بسیار مفید باشد (Bahramlou & Banejad, 2014). 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 (Siahi *et al*., 2011). محمدی و شادمند (Mohammadi & Shadmand, 2013) در بررسی علل آسیب‌دیدگی و مکانیزم‌های کاهندهٔ دوام پوشش بتنی نتیجه‌گیری کردند که در کانال‌های آبیاری ضرورت دارد طراحی بر مبنای دوام باشد نه مقاومت.

بررسی‌های مأمن‌پوش (Mamanpoush, 2000)، بهراملو (Bahramlou, 2007)، بهراملو و بانژاد (Bahramlou & Banejad, 2014) و تدین (Tadayon, 2011) و توصیه‌های نشریهٔ ۱۰۸ سازمان برنامه و بودجه (Anon, 1995) نشان می‌دهند که پوشش بتنی به‌کار رفته در کانال‌های آبیاری که در ابتدا دارای مقاومت فشاری قابل قبولی بوده‌اند، بعد از گذشت مدت زمانی از اجرا به دلیل ناکافی بودن دوام آنها در شرایط مختلف محیطی، از جمله محیط سرد و یخبندان، دچار ترک‌خوردگی و تخریب شده‌اند. الزامات اساسی بتن خوب در حالت سخت شده عبارت است از مقاومت فشاری رضایت بخش و دوام کافی (Famili, 2012). آزمایش‌های ارزیابی دوام در تعیین کیفیت بتن بسیار زمان‌بر، مخرب و پر هزینه‌اند و به همین دلیل در پروژه‌های اجرایی کمتر به کار برده شده‌اند و بیشتر پارامترهای مقاومتی بررسی می‌شوند و ملاک ارزیابی کیفیت بتن قرار می‌گیرند (Tadayon, 2011).

رمضانیان‌پور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 2012) عوامل مؤثر بر مقاومت بتن را نسبت آب به سیمان، تخلخل، درجهٔ تراکم، سن بتن، نسبت سیمان به سنگدانه[1] (عیار سیمان)، کیفیت سنگدانه و حداکثر اندازهٔ سنگدانه می‌دانند.

در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری، خرابی‌هایی گسترده در اثر یخ‌زدن- ذوب‌شدن متناوب اتفاق افتاده که ضروری است تأثیر مقادیر مختلف هوازا بر میزان جذب آب آنها بررسی و میزان بهینه برای ارتقای دوام در برابر این پدیدهٔ مخرب مشخص شود. در تحقیق حاضر تأثیر هوادهی بر شاخص‌های دوام بتن بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مشخصات مصالح مصرفی

سیمان، آب، مواد حباب‌ساز و سنگدانه‌ها از مهم‌ترین مصالح مورد استفاده در مخلوط‌های بتنی این پژوهش‌اند. سیمان به‌کار رفته در طرح و تهیهٔ مخلوط‌های بتنی این تحقیق، پرتلند نوع ۲ هگمتانه است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این نوع سیمان در جداول ۱ و۲ بر اساس آزمایش‌های اجرا شده روی آنها ارائه شده است. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند نوع ۲ به‌کار رفته در طرح اختلاط، با استاندارد شمارهٔ ۳۸۹ ملی ایران انطباق دارد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

مشخصات فیزیکی	مقدار
وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۳/۱۴
سطح مخصوص (سانتی‌مترمربع به ازای 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 (درصد)	۰/۱۶

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

اجزا 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

آب نقش اصلی در هیدراتاسیون سیمان دارد و از این رو استفاده از آب با کیفیت مناسب در بتن الزامی است. در تهیهٔ مخلوط‌های مختلف بتن، از آب شرب شهر همدان استفاده شد. پی. اچ. این آب در حدود ۷/۵ و غلظت یون کلر آن نیز ۱۳۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر گزارش شده است.

مواد هوازا[2] موادی هستند که در داخل بتن حباب‌های هوایی به قطر حدود ۰/۰۵ میلی‌متر ایجاد می‌کنند. در این پژوهش جهت حباب‌سازی و ساخت بتن‌های حباب‌دار از مایعی هوازا استفاده شد که در شرکت شیمی ساختمان ایران با نام تجاری فستیزال‌ایر تولید شده است. تصویر این

1- Aggregates

2- Air Entrainment Admixture

ماده و حباب ایجاد شده در مخلوط بتن در شکل ۱ نشان داده شده است.

سنگدانه‌های مصرفی شامل ماسه و شن (نخودی و بادامی) از نوع نیمه شکسته از کارخانهٔ شرکت بتن بریس صنعت همدان تهیه شد. ماسهٔ مصرفی ماسهٔ طبیعی شکسته با مدول نرمی ۳/۸ و شن مصرفی شن طبیعی با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر است. مشخصات فنی سنگدانه‌های مصرفی در جدول ۳ ارائه شده است.

شکل ۱- حباب ایجاد شده در مخلوط بتن (سمت راست) و تصویر مادهٔ حباب‌ساز (سمت چپ)

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

طرح اختلاط بتن

برای ارائهٔ طرح اختلاط در این پژوهش از روش ملی طرح مخلوط (Mostoofinejad, 2011) بتن استفاده شد. معیارهای مورد نظر در ارائهٔ طرح اختلاط عبارت‌اند از مقاومت مشخصهٔ استوانه‌ای ۳۰ مگاپاسکال، اسلامپ ۵۰ تا ۹۰ میلی‌متر، نسبت آب به سیمان ۰/۵، عیار سیمان ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلی‌متر و میزان حباب هوا. تا ۰/۰۳ درصد وزن سیمان. برای مخلوط‌هایی با معیارهای مذکور، کاربرد افزودنی حباب‌ساز بیش از ۰/۰۳ درصد وزن سیمان منجر به ریزشی شدن مخلوط گردیده و از آنها تهیه آزمونه و انجام آزمایش میسر نشد. در استاندارد (Anon, 2001) مقدار حباب هوای مورد نیاز در بتن برای شرایط شدید قرارگیری در معرض سیکل‌های ذوب و یخبندان (مانند مخازن و کانال‌های انتقال آب در مناطق سردسیر) برای بتنی با حداکثر اندازهٔ سنگدانه ۱۹ میلی‌متر، ۶ درصد وزن سیمان توصیه شده است. رمضانیان‌پور و همکاران (Ramazanianpour *et al.*, 2011) میزان مصرف مواد حباب‌ساز را بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵ درصد سیمان توصیه

کرده‌اند. در این تحقیق، مطابق جدول ۴، تعداد ۶ طرح اختلاط بتن برای دو عیار سیمان ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب با حباب هوا و بدون حباب هوا با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و سیمان نوع ۲ هگمتانه تهیه شد.

جدول ٤- مشخصات طرح‌های مختلف مخلوط بتنی تهیه شده

کد طرح	نوع بتن	عیار سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	نسبت آب به سیمان	قطر بزرگترین سنگدانه (میلی‌متر)	حباب‌ساز مصرفی (درصد وزن سیمان)
NC-325	بتن معمولی	۳۲۵	۰/۵	۱۹	۰
NC-325-a1	بتن حباب‌دار	۳۲۵	۰/۵	۱۹	۰/۰۱
NC-325-a2	بتن حباب‌دار	۳۲۵	۰/۵	۱۹	۰/۰۳
NC-350	بتن معمولی	۳۵۰	۰/۵	۱۹	۰
NC-350-a1	بتن حباب‌دار	۳۵۰	۰/۵	۱۹	۰/۰۱
NC-350-a2	بتن حباب‌دار	۳۵۰	۰/۵	۱۹	۰/۰۳

آزمایش‌های بتن تازه

آزمایش‌ها روی بتن تازه شامل تعیین اسلامپ، چگالی و درصد هواست. پس از اختلاط کامل بتن و به دست آوردن مخلوط یکنواخت، آزمایش اسلامپ طبق استاندارد ASTM C 143 (Anon, 2003a) اجرا شد. برای تعیین چگالی و هوای کل بتن از مخروط ناقصی استفاده شد که حجم داخلی آن ۵۰۵۰ سانتی‌مترمکعب و وزن خالی ظرف ۷۲۸۵ گرم بود. درصد هوای بتن تازه به روش ASTM C 231 (Anon, 2003b) تعیین شد.

آمایش‌های بتن سخت شده

بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب با دمای آزمایشگاه، نمونه‌های بتنی از آب بیرون آورده شده و روی نمونه‌های بتن سخت شده، آزمایش‌های جذب آب اولیه، نهایی و جوشیده، جذب آب مویینه، تعیین عمق نفوذ آب اجرا شد که نتایج آنها در ادامه ارائه شده است.

الف- تعیین جذب آب حجمی

آزمایش‌های جذب آب به شکل‌های مختلف اجرا می‌شوند. در این پروژه میزان درصد جذب آب اولیه (نیم ساعته) و نهایی (۳ روزه)، جرم مخصوص و تخلخل نمونه‌های بتن با روش ASTM C 642 (Anon, 2000b) تعیین شد. تخلخل نمونه‌ها از حاصل ضرب چگالی در میزان درصد جذب آب جوشیده آنها تعیین گردید.

ب- تعیین جذب آب مویینه

برای این آزمایش، نمونه‌ها در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجهٔ سلسیوس در آون خشک شدند و پس از آن به گونه‌ای در بالای سطح آب قرار گرفتند که ۵ میلی‌متر آن داخل آب باشد. 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 وزن آب جذب شده تعیین شد. نمونه‌های مورد آزمایش استوانه‌ای

به ارتفاع ۵ و قطر ۱۰ سانتی‌متر بودند. سپس وزن آب (حجم آب) بر سطح نمونه (حدود صد سانتی‌متر مربع) تقسیم شد تا ارتفاع معادل آب جذب شده با استفاده از رابطهٔ ۱ به دست آید (Tadayon, 2011). مقدار i بر حسب میلی‌متر است. در رابطهٔ ۱، c ثابت جذب موییِنه و s ضریب جذب موییِنه و t زمان بر حسب ثانیه است.

$$i = c + s\sqrt{t} \qquad (۱)$$

پ- تعیین عمق نفوذآب

برای تعیین عمق نفوذ آب در بتن از روش استاندارد اروپایی شمارهٔ ۹-۱۲۳۹۰ (Anon, 2000c) استفاده شد. در این استاندارد، نمونهٔ بتنی سه روز از سطح زیرین تحت فشار ۰/۵ مگاپاسکال (۵ بار) قرار می‌گیرد و پس از آن حداکثر عمق نفوذ آب بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود.

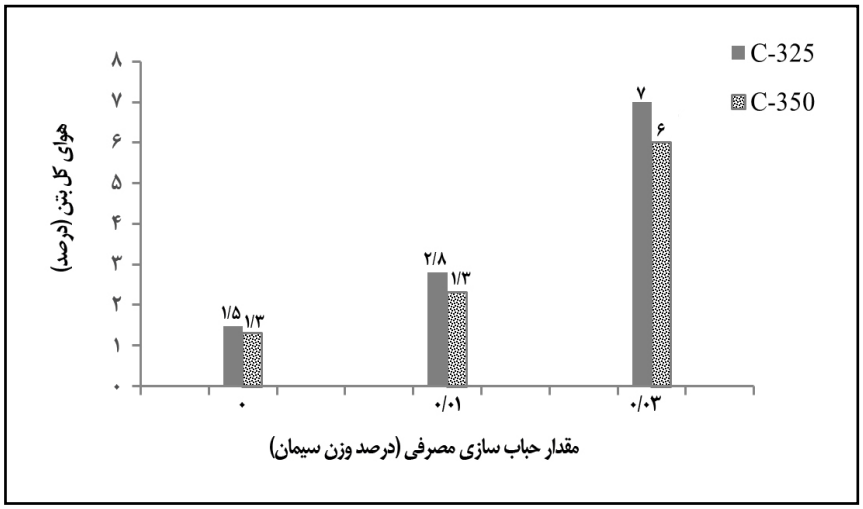
نتایج و بحث

نتایج آزمایش روی بتن تازه

تأثیر افزودنی حباب‌ساز بر مقدار هوای بتن در شکل ۲ و نتایج آزمایش روی بتن تازه مخلوط‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق این جدول، برای مخلوط بتنی بدون مصرف حباب‌ساز، مخلوطی با عیار ۳۵۰، نسبت به مخلوطی با عیار ۳۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای اسلامپ بیشتر و چگالی کمتری است. با افزایش عیار سیمان میزان خمیر بتن و نیز اسلامپ افزایش و با افزایش خمیر سیمان، حجم سنگدانه‌ها و چگالی بتن کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش مصرف حباب‌ساز مقدار هوای کل افزایش می‌یابد.

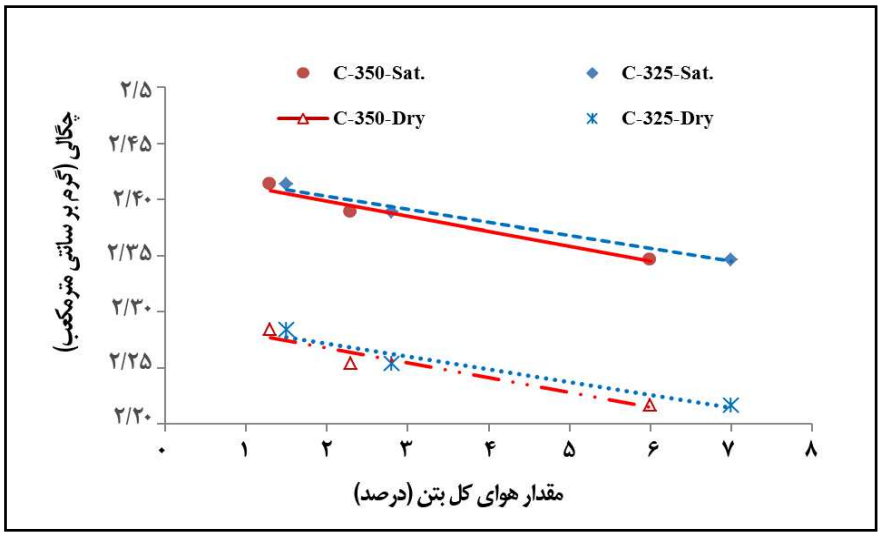
جدول ۵- پارامترهای بتن تازه در طرح‌های مختلف اختلاط

کد طرح	حباب‌ساز مصرفی (درصد وزن سیمان)	عیار سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	اسلامپ (سانتی‌متر)	چگالی اشباع (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	مقدار هوای کل (درصد)
NC-325	۰	۳۲۵	۲	۲/۴۱	۱/۵
NC-325-a1	۰/۰۱	۳۲۵	۳	۲/۳۴	۲/۸
NC-325-a2	۰/۰۳	۳۲۵	۸	۲/۲۴	۷
NC-350	۰	۳۵۰	۴/۵	۲/۳۹	۱/۳
NC-350-a1	۰/۰۱	۳۵۰	۹/۰	۲/۳۶	۲/۳
NC-350-a2	۰/۰۳	۳۵۰	۱۳/۵	۲/۲۷	۶/۰



شکل ۲- تأثیر افزودن حباب‌ساز بر مقدار هوای بتن

در شکل ۳ تأثیر افزایش مقدار هوازا بر میزان چگالی خشک و اشباع آزمونه‌ها ارائه شده و بیانگر کاهش چگالی آنها با افزایش مقدار هوازا است.



شکل ۳- تأثیر افزودن هوازا بر میزان چگالی بتن

نتایج آزمایش روی بتن سخت شده

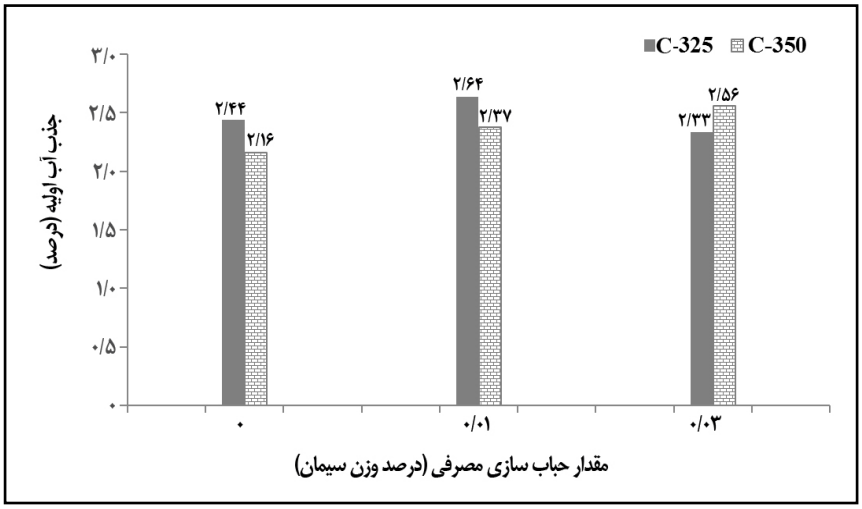
- نتایج جذب آب حجمی آزمونه‌های بتنی

جذب آب آزمونه‌ها شامل جذب آب اولیه، نهایی و جوشیده است که نتایج آن در جدول ۶ و شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. مطابق این نتایج، رابطهٔ بین مقدار هوازای مصرفی و مقدار جذب آب اولیه و نهایی خطی نیست که با افزایش مقدار هوازای مصرفی مقدار جذب آب نیز همواره افزایش یابد، بلکه برای بتنی با دو عیار مختلف ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، با ۰/۰۳ درصد مصرف هوازا، جذب آب به کمترین مقدار رسیده است.

جدول ٦- میانگین جذب آب در بتن سخت شدهٔ مخلوط‌های بتنی

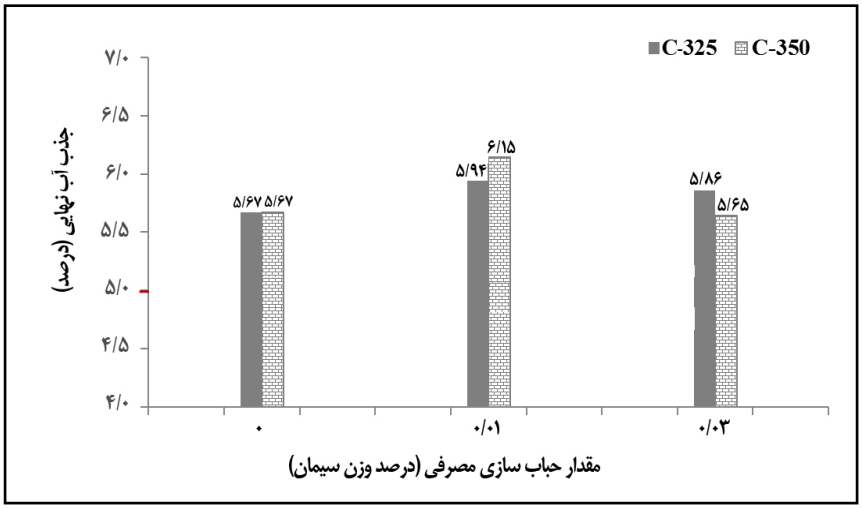
کد طرح	اولیه (درصد)	نهایی (درصد)	جوشیده (درصد)	مویینه (میلی‌متر)	عمق نفوذ آب (میلی‌متر)
NC-325	۲/۴۴	۵/۶۷	۵/۹۴	۳/۷	۳۱/۶۷
NC-325-a1	۲/۶۴	۵/۹۴	۶/۰۵	۵/۳	۳۲/۳۳
NC-325-a2	۲/۳۳	۵/۸۶	۵/۹۸	۵/۱	۲۸/۳۳
NC-350	۲/۱۶	۵/۶۷	۶/۱۴	۳/۸	۲۹/۶۷
NC-350-a1	۲/۳۷	۶/۱۵	۶/۴۵	۴/۴	۳۴/۳۳
NC-350-a2	۲/۵۶	۵/۶۵	۶/۰۴	۴/۳	۲۶/۳۳

در شکل ۴، تغییرات مقادیر جذب آب اولیهٔ آزمونه‌ها نسبت به مقادیر مختلف افزودنی هوازا رسم شده است. مطابق این نمودار، افزایش مقدار هوازا از صفر تا ۰/۰۳ درصد وزن سیمان بر عیارهای ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم سیمان به ازای هر متر مکعب اثرهای متفاوتی داشته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که جذب آب اولیه کل طرح‌ها در محدودهٔ مجاز قرار دارد. مطابق آیین‌نامه بتن ایران (Anon, 2005) حداکثر مقدار جذب آب اولیهٔ بتن خوب در شرایط متوسط یخبندان ۳ درصد توصیه شده است. در طرح با عیار ۳۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان، افزودن ۰/۰۱ درصد سیمان حباب‌ساز (NC-325-a1)، نسبت به زمانی که حباب‌ساز به‌کار نرفته است (NC-325)، دارای جذب آب اولیه بالاتری است و با افزایش حباب‌ساز به ۰/۰۳ درصد وزن سیمان (NC-325-a2) مقدار جذب آب اولیه به کمترین مقدار رسیده‌است (۲/۳۳ درصد). یکی از دلایل این موضوع می‌تواند افزایش کارایی و در نتیجه تراکم مناسب تر اجزای بتن باشد. در عیار ۳۵۰ کیلوگرم سیمان به ازای متر مکعب، تغییرات رابطهٔ مقدار جذب آب اولیه با افزایش مقدار حباب‌ساز مصرفی مستقیم و در ۰/۰۳ درصد وزن سیمان حباب‌ساز مقدار جذب آب اولیه بالاترین است (۲/۵۶ درصد) ولی از حد مجاز بیشتر نشده است. مقدار حباب‌ساز را تا آنجا می‌توان افزود که بر مشخصات دوام بتن اثر سوء نداشته باشد. پس، طرح اختلاط‌های ۰/۰۳ درصد وزن سیمان در هر دو عیار سیمان (NC-325-a2) و (NC-350-a2) کیلوگرم سیمان به ازای مترمکعب) که هم مقدار حباب بیشتری را در بتن ایجاد می‌کند و هم جذب آب اولیه در آنها در حد مجاز است، در شرایط مناطق سرد برای اطمینان از پوشش بتنی بادوام، مناسب‌تر است. در عیار ۳۵۰ کیلو گرم سیمان به ازای مترمکعب، افزایش هوازا و جذب آب اولیه رابطهٔ مستقیم دارند و با افزایش هوازا مقدار جذب آب اولیه نیز اضافه شده است. ولی در عیار ۳۲۵ کیلوگرم سیمان به ازای مترمکعب، رابطه خطی نیست و بالاترین جذب آب در ۰/۰۱ درصد هوازا حاصل شده است. در این پژوهش، نسبت آب به سیمان در همهٔ مخلوط‌ها مساوی است (۰/۵) و با افزایش عیار سیمان مقدار آب نیز اضافه شده است و در نتیجه بخش خمیری بتن با منافذ موجود گسترش یافته و در نتیجه زمینهٔ جذب بیشتر آب فراهم شده است.



شکل ٤- تأثیر هوازا بر مقدار جذب آب اولیهٔ آزمونه‌ها

در شکل ۵ و ۶ تغییرات مقادیر مختلف جذب آب نهایی و جوشیده آزمونه‌ها نسبت به مقادیر مختلف افزودنی هوازا ارائه شده است. این نمودارها بیانگر تأثیر مثبت افزودنی هوازا از ۰/۰۱ به ۰/۰۳ درصد وزن سیمان است. حباب هوا اگر در حد بهینه باشد، مانند ساچمه‌هایی در داخل بتن عمل می‌کند که به دلیل داشتن فشار درونی، آب جذب شده نمی‌تواند وارد آن شود ضمن آنکه کارایی و تراکم بتن را افزایش می‌دهد که به آب‌بندی بتن می‌انجامد (Tadayon, 2011). در این پژوهش این مقدار مشخص هوازا برابر ۰/۰۳ درصد وزن سیمان است. مقدار کمتر از این حد بهینه (۰/۰۱ درصد وزن سیمان)، تنها منجر به ایجاد فاصله بین اجزای بتن و کاهش چسبندگی لازم می‌شود و به افزایش جذب آب می‌انجامد. افزودن هوازا به مقدار ۰/۰۱ درصد وزن سیمان، نسبت به زمانی که از هوازا استفاده نمی‌شود، جذب آب اولیه و نهایی را افزایش می‌دهد.

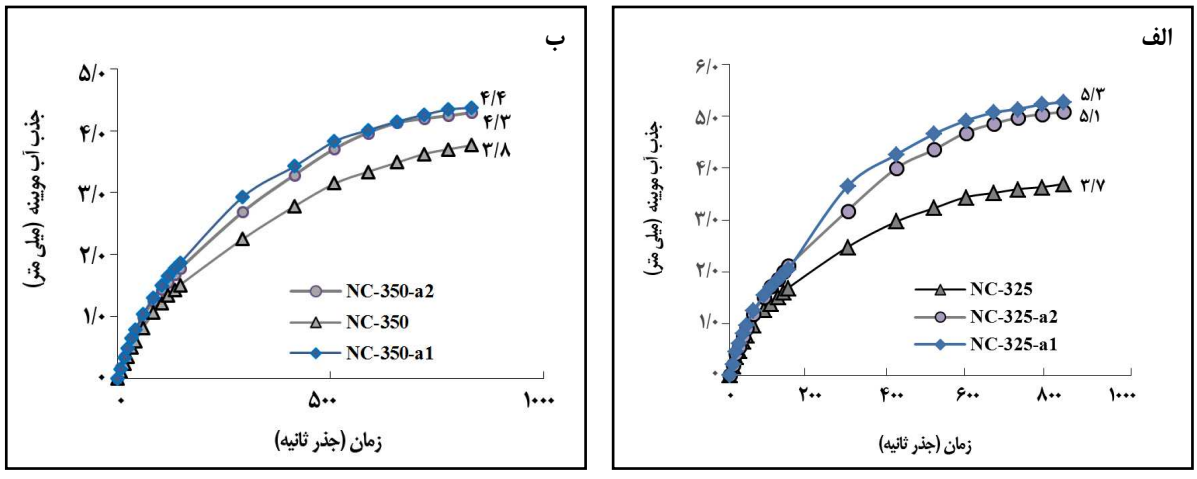


شکل ۵- تغییرات مقادیر جذب آب نهایی و مقدار هوای بتن

مطابق شکل ۵، در هر دو عیار سیمان مورد آزمایش، مقدار جذب آب نهایی در طرح‌هایی با ۰/۰۳ درصد وزن سیمان حباب‌ساز (NC-325-a2 و NC-350-a2) مقدار جذب آب نهایی کمتر از آن در طرح‌هایی با ۰/۰۱ درصد وزن سیمان حباب‌ساز (NC-325-a1 و NC-350-a1) است. در استاندارد ۱۳۴۰ اروپایی (Anon, 2003c) حداکثر جذب آب نهایی بتن با دوام ۶ درصد توصیه شده است. تدین (Tadayon, 2011) به استناد آیین‌نامه پایایی بتن، حداکثر جذب آب نهایی را برای سازه‌ای مانند پوشش کانال‌های آبیاری، که در تماس با خاک است، به حداکثر ۵ درصد محدود کرده است. بالا بودن جذب آب نهایی بیانگر حجم بالای حفره‌های مویینه است. در تایید این نتایج کاسترو و همکاران (Castro *et al.*, 2011) در بررسی تأثیر شرایط عمل‌آوری نمونه بر جذب آب بتن، نتیجه‌گیری کردند که مقدار جذب آب اولیه، نهایی و کل یک نمونه بتنی دارای رابطهٔ مستقیم خطی با نسبت آب به سیمان است. العمودی و همکاران (Al-amoudi *et al.*, 2009) در بررسی رابطهٔ بین مقاومت فشاری و دوام بتن، نتیجه‌گیری کرده‌اند که بین مقدار مقاومت فشاری و مقادیر پارامترهای دوام بتن رابطه‌ای معکوس وجود دارد.

جذب آب مویینه

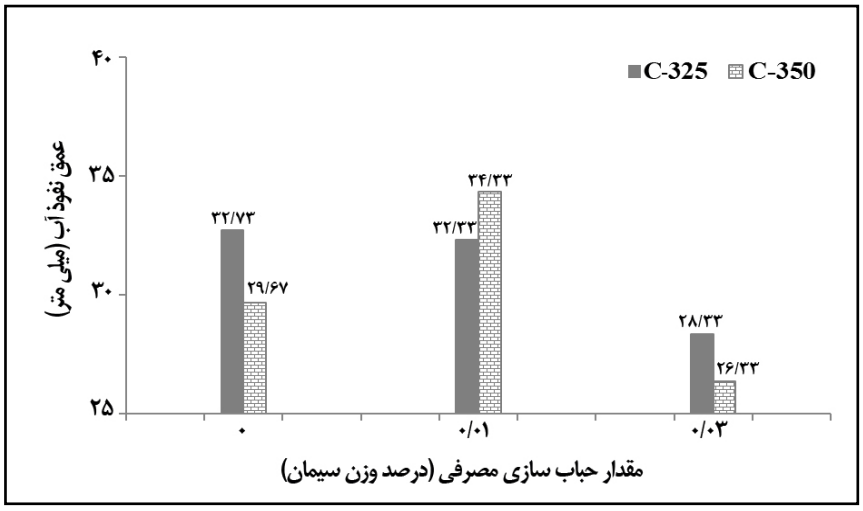
در شکل ۶ تغییرات مقادیر جذب آب مویینه برای طرح‌هایی با دو عیار سیمان ۳۲۵ و ۳۵۰ در زمان‌های مختلف تا ۸ روز ارائه شده است. مطابق این شکل، جذب آب مویینه در آزمونه‌های بدون هوازا در همهٔ زمان‌ها، نسبت به آزمونه‌های با افزودنی حباب‌ساز، کمتر است. همچنین، طبق این نمودار بعد از مدت زمانی (حدود ۸ روز) مقدار جذب آب مویینه به مقدار تقریباً ثابت می‌رسد و در این زمان اختلاف جذب آب مویینه در آزمونه‌های با مقادیر ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، بسیار ناچیز شده است. با توجه به اینکه مقدار ۰/۰۳ درصد وزن سیمان هوازا، در مقایسه با ۰/۰۱ درصد، به جذب آب نهایی (شکل ۲) انجامیده است، گزینهٔ ۰/۰۳ درصد هوازا مناسب‌تر است.



شکل ٦- تأثیر حباب‌ساز بر جذب آب مویینهٔ آزمونه‌ها (الف) با عیار ۳۲۵ و (ب) با عیار ۳۵۰ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب

عمق نفوذ آب

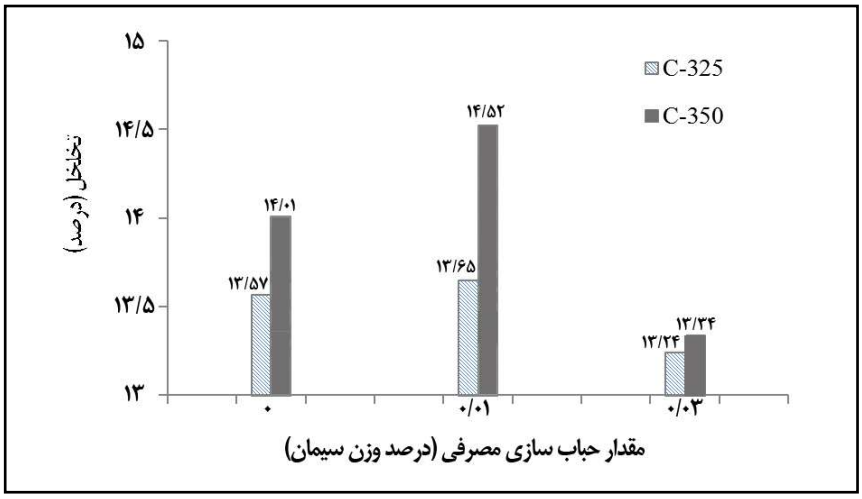
مقدار عمق نفوذ آب در بتن‌های مختلف در شکل ۷ ارائه شده‌است. مطابق این شکل، دیده می‌شود که مقدار عمق نفوذ آب در ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، نسبت به طرح‌های دیگر، کمترین مقدار است. برابر آیین‌نامهٔ بتن ایران (Anon, 2005) حداکثر مجاز عمق نفوذ آب بتن در شرایط متوسط محیطی و در تماس با خاک، ۳۰ میلی‌متر است. مطابق این نتایج در طرح‌هایی با عیار ۳۵۰ و ۳۲۵ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب، افزودن حباب‌ساز به اندازهٔ ۰/۰۳درصد وزن سیمان به کاهش عمق نفوذ به کمتر از حداکثر مجاز می‌انجامد و بتنی بادوام در شرایط پدیده یخبندان به دست می‌دهد.



شکل ۷- تغییرات مقدار عمق نفوذ آب با مقدار هوای بتن

تخلخل

در شکل ۸، تغییرات مقدار تخلخل آزمونه‌های بتنی ارائه شده است. مطابق این نمودار، مقدار تخلخل بتن‌های مختلف در هر دو عیار سیمان، در ۰/۰۳ درصد مصرف حباب‌ساز (۶ و ۷ درصد هوای بتن در عیار ۳۵۰ و ۳۲۵ کیلوگرم سیمان برمترمکعب)، به کمترین مقدار خود رسیده است. همچنین از این شکل می‌توان نتیجه گرفت که با ثابت بودن نسبت آب به سیمان و مشخصات سنگدانه، در مقادیر مختلف مصرف حباب‌ساز و هوای بتن، همواره بتنی با عیار ۳۵۰ کیلو گرم سیمان بر مترمکعب، نسبت به عیار ۳۲۵ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب، تخلخل بیشتری دارد. تخلخل عامل اصلی نفوذپذیری و نفوذپذیری نیز عامل بسیاری از خرابی‌های بتن است.



شکل ۸- تغییرات مقدار تخلخل بتن سخت با مقدار هوای بتن

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموعهٔ آزمایش‌ها و بررسی‌ها، نکته‌های زیر قابل استنتاج است:

بین مقدار مصرف حباب‌ساز و هوای تولید شده در مخلوط بتن رابطهٔ مستقیم وجود دارد. با مصرف ۰/۰۳ درصد وزنی سیمان از مادهٔ هوازا، ۷ و ۶ درصد هوای کل به ترتیب در بتن با عیار ۳۲۵ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ایجاد می‌شود که شرایط لازم را برای داشتن دوام در برابر پدیدهٔ محیطی یخبندان تأمین می‌کند.

افزودن مادهٔ هوازا به میزان ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، موجب کاهش جذب آب اولیه می شود و جذب آب نهایی به کمتر از مقدار آن در همان بتن با ۰/۰۱ درصد هوازا می‌رسد. با افزایش مقدار هوازا از ۰/۰۱ به ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، مقدار عمق نفوذ آب نیز به کمتر از حداکثر مجاز برای دوام در برابر یخبندان (۳۰ میلی‌متر) کاهش می‌یابد.

در بتن‌های مورد بررسی، افزودن هوازا منجر به افزایش جذب آب مویینه می شود ولی اختلاف این افزایش به ازای هوازای ۰/۰۱ درصد یا ۰/۰۳ درصد وزن سیمان بسیار جزئی است.

اسلامپ، جذب آب نهایی، جذب آب مویینه و تخلخل درآزمونهٔ بتن با عیار سیمان ۳۵۰ کیلو گرم سیمان بر متر مکعب، نسبت به ۳۲۵ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب، بیشتر است. کاهش عیار سیمان به نحوی که نسبت آب به سیمان و روانی مورد نظر تأمین شود کیفیت بتن را بهبود می‌بخشد.

گرچه افزودن هوازا در بتن باعث افزایش مقدار جذب آب مویینه می‌شود ولی مقدار هوازا بین ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد وزن سیمان، چندان تفاوتی از لحاظ جذب آب مویینه ایجاد نمی‌کند. با توجه به اینکه جذب آب حجمی و عمق نفوذ آب در مقدار هوازای ۰/۰۳ درصد رفتار بهتری برای داشتن دوام از خود نشان می‌دهند، مقدار ۰/۰۳ درصد هوازا، نسبت به ۰/۰۱ درصد وزن هوازا یا نسبت به زمانی‌که هوازا مصرف نشود، مناسب‌ترین گزینه است.

در صورت ثابت بودن مقدار آب به سیمان و حداکثر قطر سنگدانهٔ مصرفی، با افزایش عیار سیمان مصرفی، چگالی خشک و اشباع بتن کاهش می‌یابد.

در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری که سازه‌ای باربر به شمار نمی‌آید و نیاز به مقاومت فشاری بالایی ندارد، در مناطق سرد برای بهبود دوام بدون نگرانی می‌توان از حباب‌ساز استفاده کرد.

برای کاهش پارامترهای جذب آب و عمق نفوذ آب و کاهش هزینهٔ اجرا در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری، عیار سیمان ۳۲۵ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب مناسب‌تر است تا عیار ۳۵۰ کیلوگرم سیمان بر مترمکعب.

با توجه به اینکه افزودن هوازا منجر به افزایش مقدار جذب آب مویینهٔ بتن سخت می‌شود، در پوشش بتنی کانال‌ها که در تماس با خاک بستر اشباع است و شرایط جذب آب مویینه را دارد، برای دستیابی به دوام بتن در مقابل یخبندان، ضروری است سایر گزینه‌ها نیز (به خصوص کاهش نسبت آب به سیمان) بررسی شود.

گزینه‌ها نیز (به خصوص کاهش نسبت آب به سیمان) بررسی شود.

مراجع

Al-amoudi, O. S., Al-kutti, W. A., shamsad, A. and Maslehuddin, M. 2009. Correlation between compressive strength and certain durability indices of plain and blended cement concretes. Cement Concrete. Comp. 31(9): 672-676.

Anon. 1995. Technical Criteria in Irrigation and Drainage Networks, Common Technical Specifications. Budjet and Programing Org. NO.108. Iran. (in Persian)

Anon. 2000a. Guide to Concrete Repair. Technical Sevrice Center. USBR.

Anon. 2000b. Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete. ASTM C 642. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. 04(02): 8.

Anon. 2000c. Testing Hardened Concrete. Part 8: Depth of Penetration of Water Under Pressure. European Committee for Standardization.

Anon. 2001. Guide to Durable Concrete (ACI 201.1R). American Concrete Institute. Farminton. Hills. ACI Cmmittee 201. Mich.

Anon. 2003a. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. ASTM C 143. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. 04(02): 4.

Anon. 2003b. Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method. ASTM C 231. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. 04(02): 9.

Anon. 2003c. Concrete Kerb Units-Requirements and Test Methods. European Committee for Standardization. EN 1340.

Anon. 2005. Iranian Concrete Bylaw. Budjet and Programing Org. NO. 120. Iran. (in Persian)

Bahramlou, R. 2007. Evaluation of failure factor causes of concrete lining in irrigation canals (Case Study in Hamean-Bahar plain). J. Agric. Eng. Res. 8(3): 81-92.

Bahramlou, R. and Banejad, H. 2014. Evaluation quality of durability in concrete lining of irrigation canals in cold climates (case study in Hamedan province). Iranian J. Irrig. Drain. 1(8): 171-179. (in Persian)

Castro, J., Bentz, D. and Weiss, J. 2011. Effect of sample conditioning on the water absorption of concrete. Cement Concrete. Comp. 33(8): 805-813.

Dtta, T. K. and Zare, K. 1989. Durability of concrete in ocean environment. Proceedings of the 1st Seminar on the Role of Admixtures in the Development of Concrete Technology. Iran. (in Persian)

Famili, H. 2012. Properties of Concrete. Elmosanaat Pub.

Kearsley, E. P. and Wainwright P. J. 2002. The effect of porosity on the strength of foamed concrete. Cement Concrete. Res. 32(2): 233-239.

Mohammadi, I. and Shadmand, M. 2013. Evaluation of failure factors and reducer mechanism of concrete durability in irrigation canals. J. Strenth. Improv. 5, 59-64. (in Persian)

Mostoofinejad, D. 2011. Mix Design and Technology of Concrete. Arkane Danesh Pub. (in Persian)

Pilevar, M. A. 2014. Freeze-thaw durability of self- consolidating concrete. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering. Bu-Ali Sina University. Hamedan. Iran. (in Persian)

Rahimi, H. 2006. Construction Materials. University of Tehran Pub. (in Persian)

Ramazanianpour, A. A. and Shahnazari, M. R. 1988. Concrete Technology in Cold and Freezing Climate. Elmosanaat Pub. (in Persian)

Ramazanianpour, A. A. and Poorkhorshidi, A. R. 2005. National bylaw of Concrete durability in Persian Gulf and Oman sea area (Proposal). Tehran. Iran. (in Persian)

Ramazanianpour, A. A. and Shahnazari, M. R. 2012. Concrete Technology. Elmosanaat Pub. (in Persian)

Ramazanianpour A. A., Pilvar, A., Mahdikhani, M. and Moodi, F. 2011. Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength. Constr. Build Mater. 25, 2472-2479.

Siahi, M. K., Farhadi-Hikooei, A., Jafari, A., Nasher, H., Jafari, M. S., Moalemi, M., Dallalzadeh, A. R., Babaei, A. R., Dasdar, V. and Eghbali, M. 2011. Construction of Irrigation Canals, Limits and Methods. National Committee on Irrigation and Drainage. (in Persian)

Tadayon, M. 2011. Concrete durability, standards and methods. 1st Workshop on Evaluation Of Concrete Quality in Irrigation Canals Lining (Methods and Standards). Jahad Agricultural Organization. Hamedan. Iran. (in Persian)

AERI *Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering/Vol.16/No.65/2016/P:117-132*

Effect of Air Entrainment Admixture on Water Absorption Parameters of Concrete Linings of Irrigation Canals

R. Bahramlou* and N. Abbasi

* Corresponding Author: Academic Member, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Research and Educational Center of Agriculture and Natural Resources, AREEO, Hamedan, Iran. Email:bahramloo@gmail.com
Received: 16 October 2015, Accepted: 9 January 2016

The current research examined the effect of air entrainment admixture (AEA) on the water absorption characteristics of concrete used in irrigation canal linings. Six concrete mixtures (treatments) were designed and constructed using at AEA values of 0%, 0.01%, and 0.03% of cement weight for cement contents of 325 and 350 kg/m^3. Testing was carried out on fresh and hardened concrete mixtures. The results showed that by increasing the AEA and cement content increased the slump, porosity, and water absorption of the fresh concrete and decreased its gravity. Increasing the AEA at both cement contents from 0.01% to 0.03%, decreased initial and final water absorption and water depth penetration of hardened concrete and increased capillary water absorption. The results confirm that the durability indices of the concrete lining improved significantly with the addition of 0.03% AEA.

Keywords: Air Entrainment Admixture, Canal Lining, Capillary Water Absorption, Durability of Concrete