Archive of SID

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۹/ شماره ۷۱/ تابستان ۱۳۹۷/ص ۱۴۲-۱۲۹

تأثیر عیار سیمان و میزان هوازا در برخی خواص مهندسی پوشش بتنی کانال‌های آبیاری

مهدی عباسی[۱]، محمد مهدی امیری[۲] و رضا بهراملو[۳*]

۱ و ۲- به‌ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت ساخت؛ و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، تهران، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۱

چکیده

در این پژوهش، تأثیر افزودنی حباب‌ساز با عیارهای مختلف سیمان بر ویژگی‌های مقاومتی بتن تازه و سخت شده بررسی شده است. بدین‌منظور ۹ طرح اختلاط بتنی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و کاربرد ۳ سطح عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، و ۳ سطح حباب‌ساز صفر، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد وزنی سیمان مصرفی، در نظر گرفته شد. آزمایش‌های تعیین مجموع هوای بتن، چگالی و تعیین مقدار اسلامپ روی بتن تازه و آزمایش‌های چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی روی نمونه‌های بتن سخت شده در همهٔ مخلوط‌ها اجرا شد. نتایج آزمایش‌ها روی بتن تازه نشان می‌دهد که با افزایش مادهٔ افزودنی حباب‌ساز، کارایی بتن تازه و میزان هوای کل آن افزایش و چگالی بتن کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها روی بتن سخت‌شده نشان می‌دهد که افزودن مادهٔ حباب‌ساز به اندازهٔ ۰/۰۳ درصد وزن سیمان به مخلوط بتن با هر ۳ عیار سیمان، منجر می‌شود به کاهش چگالی، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی. با توجه به شاخص‌های موجود، عیار ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب (بدون هوازا و با هوازا) برای پوشش بتنی از جنبه مقاومتی گزینه‌ای پذیرفتنی نیست. برای پوشش بتنی کانال‌های آبیاری و برای تامین حداقل مقاومت فشاری لازم، در بین مخلوط‌های مورد بررسی مخلوط‌های بتنی به‌ترتیب عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب (بدون هوازا)، ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب (بدون هوازا و ۰/۰۱ درصد وزن سیمان هوازا) اولویت دارند. برای پوشش بتنی در مناطق سردسیر، مناسب‌ترین گزینه جهت اطمینان از پارامتر مقاومت فشاری و دوام در برابر یخبندان، مخلوط بتنی است با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۰۱ درصد وزن سیمان حباب‌ساز.

واژه‌های کلیدی

پوشش بتنی، عیار سیمان، کانال‌های آبیاری، هوازا

مقدمه

یکی از عوامل اصلی کاهندهٔ دوام[۱] پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در مناطق سردسیر، پدیدهٔ فیزیکی یخزدن- ذوب‌شدن متناوب است. تخریب ناشی از این پدیده در اثر همزمانی دو عامل یخزدن- ذوب‌شدن متناوب و اشباع‌شدن بتن ایجاد می‌شود. 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 مختلف محیطی، در عمل بر اساس مقدار مقاومت فشاری است و پوشش

* نگارنده مسئول: bahramloo@gmail.com
http://doi: 10.22092/idser.2017.115248.1251

www.SID.ir

Archive of SID

بتنی کانال‌های آبیاری کشور بر اساس ضوابط و معیارهای فنی مندرج در نشریهٔ ۱۰۸ سازمان برنامه و بودجه (Anon, 2013) به اجرا در می‌آید. در این نشریه برای بتن در مناطق سردسیر و در معرض یخبندان-ذوب متناوب، مقادیر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت فشاری لازم به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۳۰ مگاپاسکال توصیه شده است. در این نشریه اگرچه برای اجرای پوشش بتنی استفاده از بتن حباب‌دار با مجموع هوای کل بتن ۵ تا ۶ درصد نیز اشاره شده ولی مقدار مصرف حباب‌ساز برای دستیابی به آن هوای کل مشخص نشده است.

رمضانیان‌پور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 1988) خرابی بتن سخت شده بر اثر چرخه‌های مکرر یخزدن-ذوب‌شدن[1] در هوای سرد را در سازه‌های آبی (مانند کانال‌ها که در صورت رعایت نکردن استانداردهای تجویزی طراحی و ساخت بتن، امکان جذب آب و اشباع شدن آنها وجود دارد) محتمل‌تر از سایر سازه‌های بتنی می‌دانند. در اغلب موارد، یخزدن-ذوب‌شدن پدیده‌ای طبیعی است و جلوگیری از آن خارج از توان و اختیار بشر است. از این رو تنها راه جلوگیری از تخریب بتن، کاهش جذب آب توسط بتن و عوارض احتمالی ناشی از جذب آب زیاد و اشباع‌شدن آن خواهد بود (Anon, 2000a). طبق تعریف کمیته ۲۰۱[2] انجمن بتن آمریکا، دوام[3] بتن حاوی سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقابله با تأثیرات هوازدگی، تهاجم شیمیایی، سایش، یا هر فرآیندی گفته می‌شود که به آسیب‌دیدگی بتن می‌انجامد.

کرسلی و وینرایت (Kearsley & Wainwright, 2002) تأثیر تخلخل را بر مقاومت بتن حباب‌دار بررسی و نتیجه‌گیری کرده‌اند که تخلخل بتن به مقدار زیادی به چگالی (دانسیته) خشک آن وابسته است و مقاومت فشاری بتن تابعی از تخلخل و سن بتن است و با افزایش تخلخل، چگالیِ خشک و مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. بهراملو (Bahramloo, 2007) در بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری در همدان نتیجه گرفت که عامل اصلی تخریب بتن، به‌رغم مقاومت قابل قبول آن در روزهای اول بتن‌ریزی، بی‌توجهی به پارامترهای دوام بتن در اقلیم سرد و یخزدن-ذوب‌شدن متناوب بر اثر نوسانات دمایی است. بر اساس تحقیقات وی، مهمترینِ عوامل اثرگذار بر نفوذپذیری بتن، نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان و دانه‌بندی مصالح سنگی است. البته نوع سیمان، میزان تراکم و نحوهٔ متراکم کردن آن، و نیز عمل‌آوری از دیگر عوامل اثرگذار بر نفوذپذیری بتن محسوب می‌شوند. تدین (Tadaiion, 2011) گزارش داد در نشریهٔ ۱۰۸ به مسئلهٔ دوام پوشش بتنی توجهی نشده و ملاک ارزیابی کیفیت بتن تنها مقاومت فشاری است. در حالی‌که 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 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 تخریب بتن شود. مهمترین پارامترهای سیستم حباب هوا شامل میزان کل حباب‌های هوا، ضریب فاصله، و اندازهٔ حباب هوا (سطح ویژه) هستند. مواد افزودنی حباب‌ساز معمولا مایع‌اند و متداول‌ترین آنها عبارت‌اند از: رزین چوب (وینزول رزین)، هیدروکربن های سولفاته، اسیدهای چرب، و مصالح ترکیبی (Pilevar, 2014).

حباب هوا در بتن می‌تواند به‌صورت عمدی[4] (با استفاده از مواد حباب ساز) یا به صورت حباب هوای محبوس[5] ایجاد شود. عامل اصلی ایجاد هوای محبوس در بتن می‌تواند تراکم یا اختلاط نامناسب، جابه‌جایی، 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 (معمولا بزرگ‌تر

1- Freezing-Thawing
2- ACI 201
3- Durability
4- Entrained Air
5- Entarapped Air

www.SID.ir

Archive of SID

از ۱ میلی‌متر) آنهاست. مقدار معمول هوای محبوس در بتن‌ها ۱ تا ۲ درصد حجم بتن است. حباب‌های هوای وارد شده به‌صورت عمدی، بر عکس حباب هوای محبوس، بسیار کوچک و به قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون هستند، پایایی بتن را در برابر رطوبت و یخزدن- ذوب‌شدن‌های مکرر افزایش می دهند، و دوام آن بتن را در برابر فساد سطحی ناشی از کاربرد مواد یخزدای شیمیایی بالا می‌برند. با تولید حباب هوا در بتن، ساخت بتن، بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن آسان می‌شود (Rahimi, 2006). حباب هوا در بتن نقش روان‌کننده دارد و می‌تواند موجب کاهش آب مصرفی لازم برای ساختن بتن به میزان ۱۰ تا ۱۵ لیتر در هر متر مکعب 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 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 (Tadaiion, 2011; Pilevar, 2014)؛ همین موضوع سبب شده است تا بسیاری از طراحان و پیمانکاران از کاربرد این نوع مواد در مخلوط بتن نگران باشند. به‌همین 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.

پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری معمولا سازه‌ای باربر نیست و نیاز به مقاومت فشاری چندان بالایی ندارد. بلکه هدف از آن ایجاد یک پوشش محافظ بادوام در شرایط محیطی برای کنترل تلفات نشت آب است. در شرایط اقلیم سرد، یکی از عوامل اصلی تخریب پوشش بتنی کانال‌ها، یخزدن- ذوب‌شدن متناوب آن است. با توجه به خصوصیات مفید حباب‌های هوا، استفاده از این ماده در بتن پوشش کانال‌ها می‌تواند در بهبود دوام این سازه بسیار مفید باشد (Bahramloo & Banejad, 2014). در ایران نیز مانند سایر کشورها پوشش بتنی در کانال‌های انتقال آب، به لحاظ مزیت‌های اجرایی و دوام، 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 کرده‌اند که در کانال‌های آبیاری ضرورت دارد طراحی بر مبنای دوام پوشش بتنی باشد نه مقاومت آن.

بررسی‌های بهراملو و عباسی (Bahramloo & Abbasi, 2016)، بهراملو و بانژاد (Bahramloo & Banejad, 2014)، تدین (Tadaiion, 2011) و توصیه‌های نشریهٔ ۱۰۸ سازمان برنامه و بودجه (Anon, 2013) نشان می‌دهد که پوشش بتنی به‌کار رفته در کانال‌های آبیاری که در ابتدا دارای مقاومت فشاری قابل قبولی بوده‌اند، بعد از گذشت مدت زمانی از اجرا به‌دلیل ناکافی بودن دوام آنها در شرایط مختلف محیطی، از جمله محیط سرد و یخبندان، دچار ترک‌خوردگی و تخریب شده‌اند. الزام‌های اساسی بتن خوب در حالت سخت شده عبارت است از مقاومت فشاری رضایت‌بخش و دوام کافی (Famili, 2012). آزمایش‌های ارزیابی دوام در تعیین کیفیت بتن، بسیار زمان‌بر، مخرب، و پر هزینه‌اند و به‌همین دلیل در پروژه‌های اجرایی کمتر به‌کار برده می‌شوند و بیشتر پارامترهای مقاومتی بررسی می گردند و ملاک ارزیابی کیفیت بتن قرار می‌گیرند (Tadaiion, 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 (عیار سیمان)، کیفیت سنگدانه و حداکثر اندازهٔ سنگدانه ذکر کرده‌اند. بهراملو و همکاران (Bahramloo *et al.*, 2017a; 2017b) در بررسی کاربرد

www.SID.ir

Archive of SID

ژئوممبران در پوشش کانال‌ها و مخازن ذخیره، گزارش نمودند که با تکنولوژی اجرایی موجود در پوشش بتنی، کاربرد ژئوممبران باعث کاهش چندین برابری تلفات نشت در آنها خواهد شد.

بر اساس نتایج تحقیقات گفته شده، در پوشش بتنی کانال‌های آبیاری مناطق سردسیر ترک‌خوردگی‌ها و تخریب‌های گسترده‌ای در اثر یخزدن-ذوب‌شدن متناوب اتفاق می‌افتد و ضروری است تأثیر عیارهای مختلف سیمان و مقادیر مختلف هوازا بر خواص مهندسی، به‌خصوص مقاومت فشاری آنها، بررسی و میزان بهینه جهت دستیابی به مقاومت فشاری استاندارد مشخص شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات مصالح مصرفی

سیمان، آب، مواد حباب‌ساز و سنگدانه‌ها مهمترین مصالح مورد استفاده در مخلوط‌های بتنی این پژوهش‌اند. سیمان به‌کار رفته در طرح و تهیهٔ مخلوط‌های بتنی این تحقیق، سیمان پرتلند نوع ۲ هگمتانه است. مشخصات فیزیکی- مکانیکی و شیمیایی این نوع سیمان، بر اساس آزمایش‌ها، در جدول‌های ۱ و۲ ارائه شده است. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند نوع ۲ به‌کار رفته در طرح اختلاط با استاندارد شماره ۳۸۹ ملی ایران انطباق دارد (Anon, 2000b).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی- مکانیکی سیمان مصرفی

مشخصات فیزیکی	مقدار
وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۳/۱۴
سطح مخصوص (سانتی‌مترمربع بر گرم)	۳۰۷۸
گیرش اولیه (دقیقه)	۱۳۵
گیرش نهایی (دقیقه)	۱۸۷
مقاومت فشاری ۳ روزه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	۲۱۷
مقاومت فشاری ۷ روزه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	۳۱۴
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	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. از این رو استفاده از آب با کیفیت مناسب در بتن الزامی است. آب مناسب برای بتن باید دارای مشخصات آب آشامیدنی باشد، بدین سبب در تهیهٔ مخلوط‌های مختلف بتن از آب آشامیدنی شهری استفاده شد. پی‌اچ این آب در حدود ۷/۵ و غلظت یون کلر آن نیز ۱۳۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر گزارش شده است. مواد هوازا[1]، موادی هستند که در داخل بتن حباب‌هایی از هوا به قطر حدود ۰/۰۵ میلی‌متر ایجاد می‌کنند. در این پژوهش، برای حباب‌زایی و ساخت بتن‌های حباب‌دار، از مایعی حباب‌ساز استفاده شد که

1- Air Entrainment Admixture

www.SID.ir

Archive of SID

شرکت شیمی‌ساختمان ایران آن را با نام تجاری فستیزال‌ایر تولید می‌کند. تصویر این ماده و حباب ایجاد شده در مخلوط بتن در شکل ۱ نشان داده شده است. سنگدانه‌های[1] مصرفی شامل ماسه و شن (نخودی و بادامی) از نوع نیمه‌شکسته است و از کارخانه شرکت بتن‌بریس صنعت همدان تهیه شد. ماسهٔ مصرفی، ماسهٔ طبیعی شکسته با مدول نرمی ۳/۸ و شن مصرفی، شن طبیعی با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر در نظر گرفته شد. مشخصات فنی سنگدانه‌های مصرفی در جدول ۳ ارائه شده است.

شکل ۱- تصویر مادهٔ حباب ساز و حباب ایجاد شده

جدول ۳- مشخصات فنی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

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

طرح اختلاط بتن

معیارهای مورد نظر در ارائهٔ طرح اختلاط عبارت‌اند از: مقاومت مشخصه استوانه‌ای ۳۰ مگاپاسکال، اسلامپ ۵۰ تا ۹۰ میلی‌متر، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلی‌متر، و درصد حباب‌هوا ۰ تا ۰/۰۳ درصد وزن سیمان. در استاندارد (Anon, 2001) مقدار حباب هوای مورد نیاز در بتن برای شرایط شدید قرارگیری در معرض سیکل‌های متناوب یخزدن-ذوب‌شدن (همانند 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 وزن سیمان توصیه کرده‌اند. در این تحقیق مطابق جدول ۴، تعداد ۹ طرح اختلاط بتن برای ۳ عیار سیمان ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب با حباب هوا و بدون حباب هوا با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و سیمان نوع ۲ تهیه شد.

1- Aggregates

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- طرح‌های مختلف بتن تهیه و بررسی شده

شماره طرح	کد طرح	عیار سیمان (C) (کیلوگرم بر متر مکعب)	W/C	حباب ساز مصرفی	
				درصد وزن سیمان	متر مکعب/گرم
۱	C300WA0	۳۰۰	۰/۴۵		
۲	C300W A1	۳۰۰	۰/۴۵	۰/۰۱	۳۰
۳	C300WA3	۳۰۰	۰/۴۵	۰/۰۳	۹۰
۴	C350WB0	۳۵۰	۰/۴۵		
۵	C350WB1	۳۵۰	۰/۴۵	۰/۰۱	۳۵
۶	C350WB3	۳۵۰	۰/۴۵	۰/۰۳	۱۰۵
۷	C400WC0	۴۰۰	۰/۴۵		
۸	C400WC1	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۰۱	۴۰
۹	C400WC3	۴۰۰	۰/۴۵	۰/۰۳	۱۲۰

آزمایش‌های بتن تازه

آزمایش‌های روی بتن تازه شامل تعیین اسلامپ، چگالی و درصد هواست. پس از اختلاط کامل بتن و به‌دست آوردن مخلوط یکنواخت، آزمایش اسلامپ طبق استاندارد ASTM C143 اجرا شد (Anon, 2003a). برای تعیین چگالی و هوای کل بتن، از مخروط ناقصی استفاده شد که حجم داخلی آن ۵۰۵۰ سانتی‌متر مکعب و وزن خالی ظرف ۷۲۸۵ گرم بود. درصد هوای بتن تازه به روش ASTM C231 تعیین شد (Anon, 2003b).

آزمایش‌های بتن سخت شده

بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب با دمای آزمایشگاه، نمونه‌های بتنی از آب بیرون آورده شد و روی نمونه‌های بتن سخت شده، آزمایش‌های تعیین چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی اجرا شد که نتایج آنها در ادامه ارائه شده است. در این تحقیق بعد از تهیهٔ هر مخلوط بتنی و قبل از هر آزمایش، مقادیر اسلامپ آنها تعیین شد تا در صورت داشتن کارایی لازم، نمونه‌گیری و سایر آزمایش‌ها دنبال شود.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش روی بتن تازه

مشخصات اندازه‌گیری شده در بتن تازه شامل مقادیر کارایی یا اسلامپ، هوای کل (عمدی و غیر عمدی) و چگالی است که در جدول ۵ این مشخصات برای طرح‌های مختلف مخلوط بتنی با دو نوع متغیر حباب‌ساز و عیار سیمان ارائه شده است.

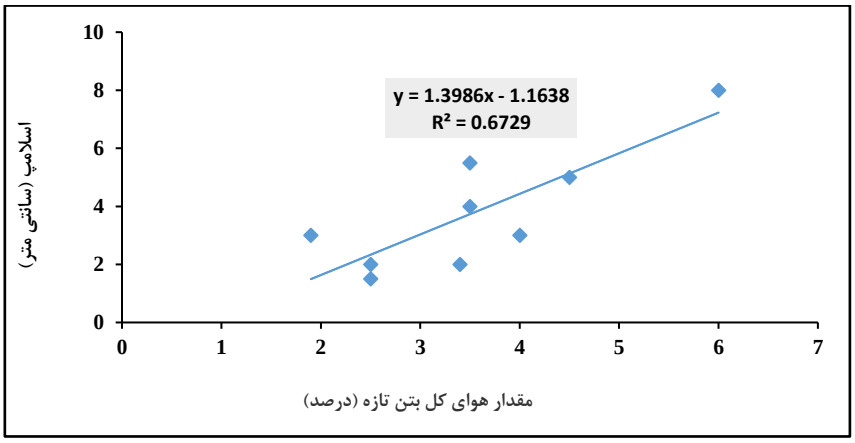
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تأثیر عیار سیمان و هوای بتن بر مشخصات بتن تازه

نام طرح	عیار سیمان (C) (کیلوگرم بر متر مکعب)	اسلامپ (سانتی‌متر)	چگالی بتن تازه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هوای کل بتن (درصد)	افزایش هوا نسبت به حالت بدون هوازا (درصد)
C300WA0	۳۰۰	۱/۵	۲/۲۸	۲/۵	۰
C300W A1	۳۰۰	۲	۲/۲۷	۳/۴	۳۶
C300WA3	۳۰۰	۳	۲/۲۲	۴	۶۰
C350WB0	۳۵۰	۲	۲/۲۹	۲/۵	۰
C350WB1	۳۵۰	۴	۲/۲۴	۳/۵	۴۰
C350WB3	۳۵۰	۵	۲/۲۳	۴/۵	۸۰
C400WC0	۴۰۰	۳	۲/۳۱	۱/۹	۰
C400WC1	۴۰۰	۵/۵	۲/۲۳	۳/۵	۸۴
C400WC3	۴۰۰	۸	۲/۲۰	۶	۲۱۶

در شکل ۲ رابطهٔ خطی بین مقدار هوای بتن و اسلامپ آن ارائه شده است. مطابق این شکل، با افزایش مقدار هوای بتن مقدار اسلامپ و کارایی بتن افزوده شده است. دلیل افزایش اسلامپ با افزایش هوازا را می‌توان چنین توجیه کرد که حباب‌های هوا همانند کُره‌هایی غلتان باعث روانی بیشتر و کارایی بهتر مخلوط بتنی می‌شوند (Bahramloo & Abbasi, 2016). مطابق ستون آخر جدول، در مخلوط‌هایی با عیار بالای سیمان، هوازا تأثیر شدیدتری بر میزان افزایش هوای کل بتن داشته است.

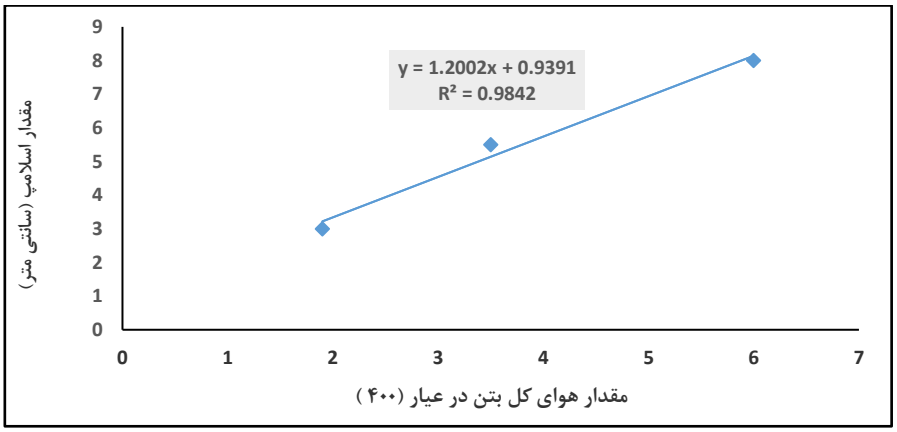


شکل ۲ - رابطه اسلامپ با هوای کل آن

بر اساس نتایج ارائه شده، رابطهٔ بین مقدار هوای بتن و اسلامپ آنها، خطی است که یک نمونه از آن در شکل ۳ برای عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم ارائه شده و بیانگر رابطهٔ خطی بین این دو پارامتر برای یک عیار مشخص است. این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد هوازا تا حدودی نقش روان‌کنندگی آب را دارد و می‌توان در این حالت از مقدار آب بتن کاست که خود می تواند به بهبود مشخصات فنی بتن انجامد.

www.SID.ir

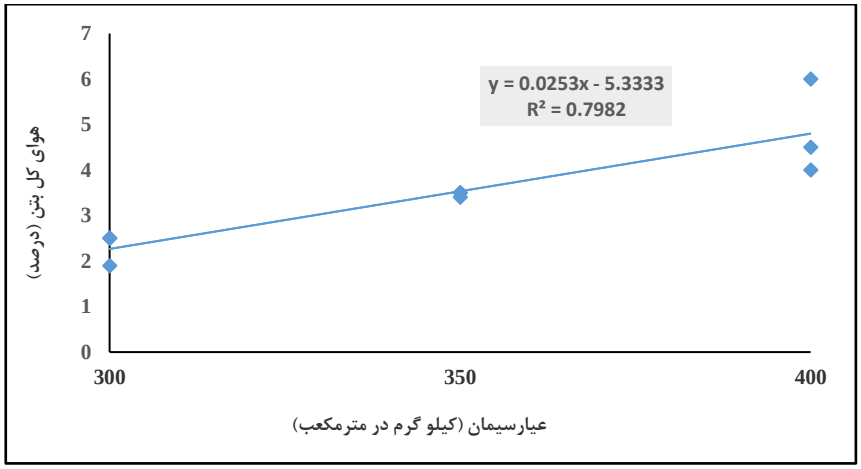
Archive of SID



شکل ۳- رابطهٔ اسلامپ با هوای کل برای مخلوط بتنی با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

هوای کل بتن شامل هوای عمدی ناشی از افزودن هوازا و هوای غیر عمدی محبوس در داخل بتن، ناشی از تراکم ناقص است. با افزایش مصرف هوازا در مخلوط‌های مختلف بتنی، مقدار هوای کل افزایش می‌یابد و بالاترین مقدار هوای بتن (۶ درصد) مربوط است به مخلوط عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم که از هوازای ۰/۰۳ درصد در آن استفاده شده است. در این مخلوط بتنی، با افزودن ۰/۰۳ درصد وزن سیمان یعنی ۱۲۰ گرم افزودنی هوازا، مقدار هوای کل بتن بیش از ۳ برابر شده و ۲۱۶ درصد افزایش یافته است. در مخلوط‌هایی با عیار سیمان پایین‌تر، این اثر کمتر بوده است. این موضوع به‌دلیل بالا بودن عیار سیمان و به‌تَبَع آن مقدار هوازا، اسلامپ بالا و نرمی و محبوس شدن حباب در مخلوط‌هایی با عیار بالا بوده است.

در شکل ۴، رابطهٔ هوای کل و عیار سیمان با نسبت آب به سیمان معادل ۰/۴۵ نشان داده شده است. برای مقدار ثابت آب به سیمان، افزایش عیار سیمان باعث افزایش آب و در نتیجه روان‌تر شدن بتن شده است. این موضوع سبب شده تا به‌دلیل روانی بتن، تراکم به خوبی پیش نرود و هوای غیر عمدی بیشتری در آن بماند و از این رو در کل، هوای بتن بیشتر شده است. در این پژوهش این موضوع تنها برای یک نسبت آب به سیمان بررسی شده است، ولی برای نسبت‌های دیگر آب به سیمان هم بهراملو و عباسی (Bahramloo & Abbasi, 2016) آن را تایید کرده‌اند.



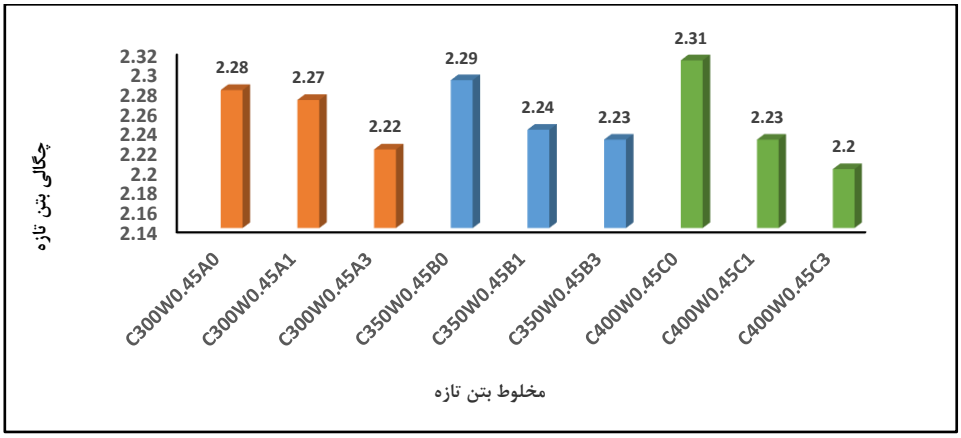
شکل ٤- رابطهٔ هوای بتن با تغییرات مقدار عیار سیمان

www.SID.ir

Archive of SID

در آیین‌نامهٔ بتن ایران (Anon, 2005)، مقدار حباب هوا برای داشتن بتن با دوام در برابر یخ زدن و ذوب شدن برای حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹ میلی‌متر مورد آزمایش در این پژوهش، ۵ تا ۶ درصد توصیه شده است.

مقادیر چگالی بتن تازه برای کلیهٔ ۹ طرح اختلاط، در شکل ۵ ارائه شده است. مطابق این شکل، کمترین چگالی در مخلوطی است که از هوازا به اندازهٔ ۰/۰۳ درصد وزن سیمان استفاده شده است و به‌طور واضح تأثیر افزایش هوازا بر چگالی را نشان می‌دهد. بالاترین مقدار چگالی نیز در مخلوطی دیده می‌شود که با عیار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و بدون افزودن هوازا ساخته شده است. دلیل این موضوع آن است که وقتی هوا کم باشد، تخلخل هم کمتر و در نتیجه چگالی هم بالا می‌رود.



شکل ۵- مقادیر چگالی بتن تازه در مخلوط‌های مختلف

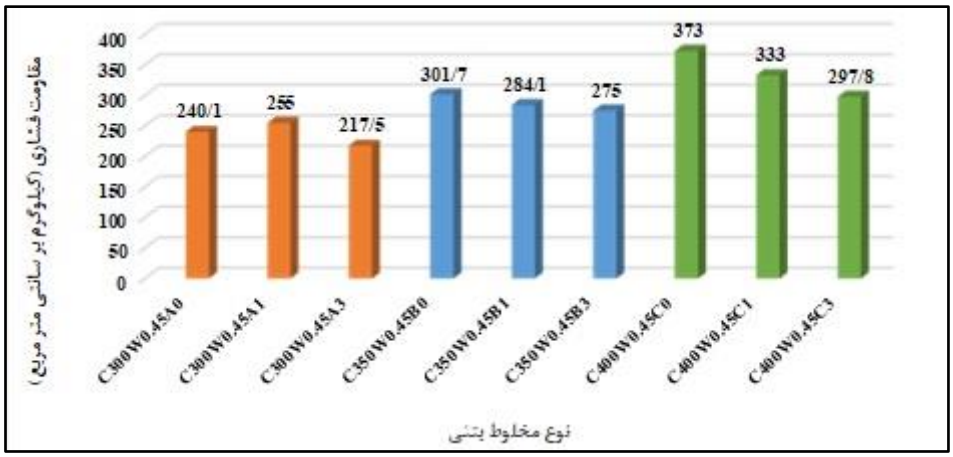
نتایج آزمایش روی بتن سخت شده

در محاسبات، معمولا مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن که حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد مقاومت نهایی است، در نظر گرفته می‌شود. مقاومت فشاری ۷ روزهٔ بتن عادی در حدود ۷۰ درصد مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ آن است. در شکل ۶، مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی مخلوط‌های مختلف بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب ارائه شده است. در اینجا دیده می‌شود که بالاترین مقاومت فشاری، معادل ۳۷۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، برای مخلوطی است با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب. این نتایج می‌رساند که با افزایش هوای عمدی، مقاومت فشاری کاهش‌یافته و دلیل آن افزایش تخلخل و هوای کل بتن در اثر افزودن حباب‌ساز است که باعث پوکی و ایجاد فاصله بین ذرات بتن شده است. کمترین مقاومت فشاری، ۲۱۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، در مخلوطی دیده می‌شود که با عیار ۳۰۰ کیلوگرم و با ۳ درصد هوازا تهیه شده است. سیاهی و همکاران (Siahi *et al.*, 2011) و همچنین نشریهٔ ۱۰۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (Anon, 2013) حداقل مقدار مقاومت فشاری برای پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری را ۳۰ مگاپاسگال توصیه کرده‌اند. برابر نتایج به‌دست آمده، به‌ازای افزایش هر ۱ درصد هوای بتن حدود ۶ درصد از مقدار مقاومت فشاری آن کاسته شده است. در شرایط سرد و یخبندان، توصیه می‌شود که مخلوط بتن را بر اساس دوام در برابر یخزدن-ذوب‌شدن متناوب تهیه کنند (Tadaiion, 2011). بر پایهٔ این استانداردها، عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای پوشش بتنی مناسب نیست و از این رو جز تیمارهای پذیرفتنی به‌شمار نمی‌آید. مناسب‌ترین آزمونه به‌ترتیب

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت‌های فنی و هزینه (که با پایین بودن عیار سیمان، هزینهٔ تمام شده نیز کمتر خواهد بود)، مربوط است به مخلوط‌های بتنی با عیار ۳۵۰ بدون هوازا، عیار ۴۰۰ بدون هوازا، عیار ۴۰۰ با ۰/۰۱ درصد وزن سیمان هوازا. برای مناطق سردسیر، توصیه می‌شود از مخلوط بتنی حباب‌دار بهره‌گیری شود. برای این مناطق، مناسب‌ترین مخلوط عیار سیمان ۴۰۰ با ۰/۰۱ درصد وزن سیمان هوازا ست.

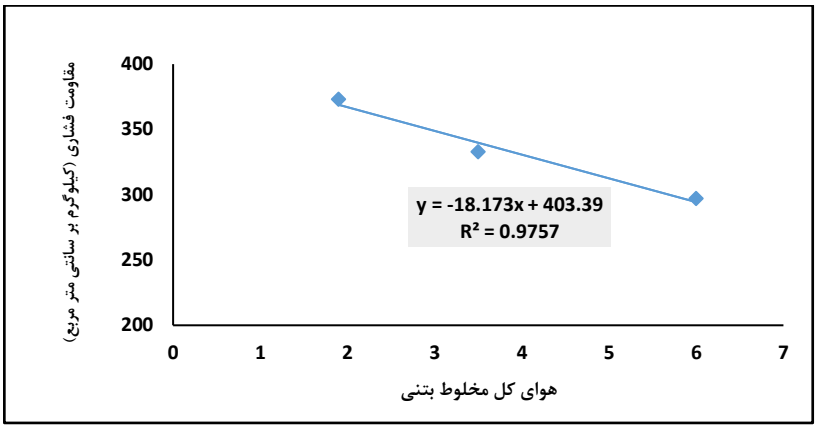


شکل ٦- مقدار مقاومت فشاری آزمونه‌های مخلوط‌های مورد آزمایش

رمضانیان‌پور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 2012) عوامل تأثیرگذار بر مقاومت فشاری را این گونه برشمرده‌اند: نسبت آب به سیمان، درجهٔ تراکم، عیار سیمان، کیفیت سنگدانه و حداکثر اندازهٔ سنگدانه. در شکل ۷، رابطهٔ مقاومت فشاری و تغییرات هوای کل بتن ناشی از افزایندهٔ هوازا ارائه شده است. در مخلوط‌های این نمودارها عیار سیمان و نسبت آب به سیمان ثابت و به‌ترتیب برابر با ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۴۵ است. برابر این شکل، مقاومت فشاری آزمونه‌ها دارای رابطهٔ خطی معکوس با مقدار هوای کل بتن دارد. این نمودارها بیانگر آن است که افزودن هوا منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن شده است. برابر این نمودارها، با ثابت بودن مقدار عیار سیمان و نسبت آب به سیمان، به‌ازای هر ۱ درصد افزایش هوای بتن تقریبا ۶ درصد از مقاومت آنها کاسته شده است. بهراملو و عباسی (Bahramloo & Abbasi, 2016) در بررسی‌های خود نتیجه‌گیری کردند که به‌ازای ۱ درصد هوای بتن مقدار ۵ درصد و به‌ازای ۶ درصد هوای بتن حدود ۳۰ درصد از مقاومت فشاری بتن کاسته می‌شود که تأییدی است بر نتایج این پروژه. رمضانیان‌پور و شاه‌نظری (Ramazanianpour & Shahnazari, 2012) نتیجه‌گیری کرده‌اند که مقاومت فشاری بتن رابطهٔ خطی معکوس با تخلخل بتن دارد و نیز اینکه میزان هوای محبوس (هوای غیر عمدی) در بتن را برای بتنی با حداکثر اندازهٔ سنگدانهٔ ۲۰ میلی‌متر (همانند پروژه حاضر)، ۲ درصد دانسته‌اند که به عدد ۲/۵ درصد اندازه‌گیری شده در این پروژه (تیمار بدون هوا) نزدیک است. کرسلی و وینرایت (Kearsley & Wainwright, 2002) تأثیر تخلخل را بر مقاومت بتن حباب‌دار بررسی و به این نتیجه رسیده‌اند که تخلخل بتن به مقدار زیادی به چگالی خشک آن وابسته است، مقاومت فشاری بتن تابعی از تخلخل و سن بتن است، و با افزایش تخلخل چگالی خشک و مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

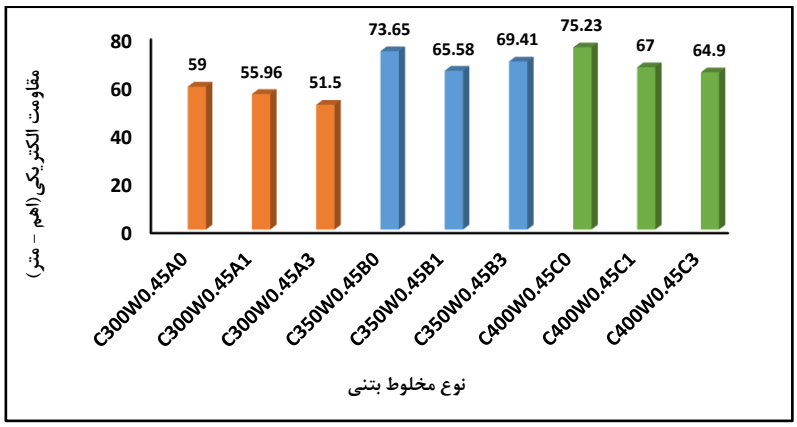
Archive of SID



شکل ۷- تأثیر افزودن هوای عمدی بر مقاومت فشاری آزمونه‌ها

در شکل ۸ ، مقدار مقاومت الکتریکی نمونه‌های مختلف بتنی ارائه شده است. سهولت یا سختی عبور جریان الکتریکی از بتن اشباع می‌تواند نشانه‌ای از نفوذپذیری آن در برابر آب و به‌ویژه انتشار و مهاجرت یونی (و به‌خصوص یون کلرید) باشد. برابر این شکل، کلیهٔ آزمونه‌ها دارای مقاومت الکتریکی بین ۵۰ تا ۱۲۰ هستند و کیفیت دوام آنها متوسط است (Tadaiion, 2011).

پیش‌بینی می‌شد که افزودن حباب‌ساز باعث عایق الکتریکی بیشتر بتن شود؛ در عیارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم مقاومت الکتریکی و رسانایی کمتر شده است. این پدیده را می‌توان به لغزش بهتر اجزای بتن و نزدیک‌شدن بیشتر آنها به همدیگر و در نتیجه افزایش ارتباط رسانایی بیشتر ربط داد.

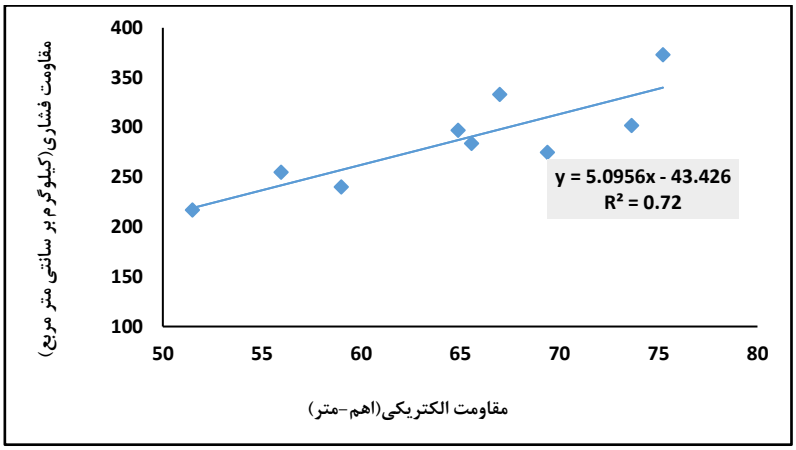


شکل ۸- مقاومت الکتریکی آزمونه مخلوط‌های مختلف

در شکل ۹ رابطهٔ مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی آزمونه‌ها نشان داده شده است. دیده می‌شود که بین مقاومت فشاری و الکتریکی رابطهٔ خطی مستقیمی وجود دارد. پیشتر گفته شد که با کاهش تخلخل، مقدار مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و از طرفی، مقاومت الکتریکی آزمونه‌های بتنی نیز به نوعی به تخلخل وابسته‌اند و با کاهش تخلخل، رسانایی الکتریکی کم می‌شود و مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل مقاومت الکتریکی و فشاری آزمونه‌ها رابطهٔ خطی مستقیم دارند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- رابطهٔ بین مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی در آزمونه‌هایی با عیار سیمان مختلف

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموعه نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها و از بررسی‌ها، می‌توان گفت:

- بین مقدار مصرف حباب‌ساز و هوای تولید شده در مخلوط بتن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد و این رابطه برای نسبت‌های مختلف عیار سیمان متفاوت است.
- هر ۱ درصد افزایش هوای بتن منجر می شود به ۶ درصد کاهش در مقاومت فشاری.
- بین مقاومت فشاری و الکتریکی با ضریب همبستگی ۷۲ درصد و در سطح احتمال خطای ۵ درصد رابطهٔ خطی مستقیمی وجود دارد و با توجه به هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن تعیین مقاومت فشاری، بهتر است از مقاومت الکتریکی استفاده شود.
- افزایش عیار باعث افزایش مقاومت فشاری آزمونه‌ها و افزایش حباب‌ساز باعث کاهش آن می‌شود. بالاترین مقاومت فشاری (به‌میزان ۳۷۳ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) در بتنی با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدون استفاده از هوازا و کمترین مقاومت فشاری (به میزان ۲۱۷ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) در بتنی با عیار ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب و استفاده از حباب‌ساز به میزان ۰/۰۳ درصد وزن سیمان دیده شد.
- بر اساس توصیهٔ سیاهی و همکاران (Siahi *et al.*, 2011) و همچنین نشریه ۱۰۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (Anon, 2013)، حداقل مقدار مقاومت فشاری برای پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری ۳۰ مگاپاسگال باید باشد. بر اساس نتایج این تحقیق عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بدون هوازا و باهوازا کمتر از این معیار به‌دست می‌دهد و برای پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری مناسب نخواهد بود.
- برابر معیار فوق و با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، مخلوط مناسب برای پوشش بتنی به‌ترتیب اولویت فنی و اقتصادی، مخلوط‌های الف) با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بدون هوازا، ب) عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بدون هوازا و پ) عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم و ۰/۰۱ درصد وزن سیمان هوازاست. اگر پوشش بتنی برای مناطق سردسیر مدنظر باشد، مناسب‌ترین مخلوط بتنی، مخلوطی است با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۰۱ درصد وزن سیمان هوازا.

مراجع

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

www.SID.ir

Archive of SID

Anon. 2000b. Properties of Portland cement. Iranian Standard and Technical Research Institute. No. 389. (in Persian)

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

Anon. 2003a. Standard test method for Slump of hydraulic-cement concrete. ASTM C 143. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. Vol. 04.02.

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. Vol. 04.02.

Anon. 2005. Iranian Concrete Bylaw. Budjet and Programing Organization. No. 120. Iran. (in Persian)

Anon. 2013. Review of general technical specification for irrigation and drainage systems. Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision . NO.108 (First Revision). Iran. (in Persian)

Bahramloo, 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. (in Persian)

Bahramloo, R. and H. Banejad. 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)

Bahramloo, R. and N. Abbasi. 2016. Effect of air entrainment admixture on water absorption parameters of concrete linings of irrigation canals. J. Agric. Eng. Res. 16(65): 117-132. (in Persian)

Bahramloo, R., Abbasi, N., Mamanpoush, A. R., Karamat, A. and Riahi, H. 2017a. Evaluation of conveyance efficiency and water seepage loss in irrigation canals with HDPE geomembrane lining in plains of Zaiandeh-rood, Moghan and Kerman. Iranian Water Soil Res. J. 48(4): 11-22. (in Persian)

Bahramloo, R., Abbasi, N., Movahhedan, M., Ghadami-Firoozabadi, A., Mamanpoush, M., Mousavi-Fazl, S. H. and Salamati, N. 2017b. Effect of execution and operation issues on the efficiency of geomembrane lining in control of water seepage (case studies in Isfahan, Hamedan, Khuzestan, Semnan, Alborz Provinces). Irrig. Drain. Struct. Eng. Res. 18(69): 123-134. (in Persian)

Famili, H. 2012. Properties of Concrete. Elmo Sanaat Pub. (in Persian)

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

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

Pilevar, M. A. 2014. Freeze-thaw durability of self-consolidating concrete. M. Sc. Thesis. Deptartment of Civil Engineering. Bu-Ali Sina University. (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 Shahnazari, M. R.. 2012. Concrete Technology. Elmosanaat Pub. (in Persian)

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

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)

Tadaiion, M. 2011. Concrete durability, standards and methods. 1th Workshop on Evaluation of Concrete Quality in Irrigation Canals Lining (Methods and Standards). Jihad Agriculture Organization of Hamedan. Iran. (in Persian)

www.SID.ir

Arc f SID

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.19/No.71/Summer 2018/P: 129-142

The Effect of Cement and Air Entrainment Admixture (AEA) on Engineering Properties of Concrete in Irrigation Canals Lining

M. Abbasi, M. M. Amiri and R. Bahramloo*

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran. Email: bahramloo@gmail.com
Received: 28 August 2017, Accepted: 2 December 2017

In this research, the effect of cement content and AEA on engineering properties of irrigation canal linings were studied. In this context, 9 different concrete mixtures (treatments) were designed and fabricated using 3 levels of AEA ; 0, 0.01, and 0.03 percent by weight of cement and 3 levels of cement content; 300, 350 and 400 kg/m^3. Various experiments included: determination of total air, density and determination of the amount of slump on fresh concrete and density, porosity, compressive strength and electrical resistance tests on hardened concrete samples of all mixtures. The results of experiments on fresh concrete showed that as the AEA increased, the slump of fresh concrete and total air volume also increased whereas concrete density decreased. The results of experiments on hardened concrete indicated that addition of 0.03 percent by weight of bubble making substance to concrete mixture to any of 3 cement samples, resulted in reduction of density, compressive strength and electrical resistance. According to the existing indicators, the cement content of 300 kg/m^3 (with and without AEA) is not a suitable option for irrigation canals lining. In irrigation canals, it is necessary to provide the minimum compressive strength in this regard concrete mixtures of 350 (without weathering) and concrete mixtures of 400 kg/m^3 (without AEA) and 0.01% of AEA cement weight was found to be suitable option. For the concrete lining in cold regions, the best option for ensuring the compressive strength parameter and the durability against frost is concrete mix with a weight of 400 kg/m^3 and 0.01% AEA by cement weight.

Keywords: Air Entrainment Admixture (AEA), Cement, Concrete Mixtures, Irrigation Canals, Lining

www.SID.ir