بررسی تاثیر میزان هوای عمدی بر خواص دوامی بتن های خودتراکم حاوی مواد پوزولانی مختلف

آرش گوهری، سیامک رضوی ، میثم محمدی

۱- مدیر مرکز تحقیقات بتن موسسه شهید رجایی

۲- مسئول آزمایشگاه بتن مرکز تحقیقات بتن موسسه شهید رجایی

۳- مسئول آزمایشگاه سیمان مرکز تحقیقات بتن موسسه شهید رجایی

meyasammohammaditab@gmail.com

چکیده

امروزه به دلیل توسعه روز افزون ساخت وساز درکشور، تولید قطعات و سازه های پیش ساخته مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به نیاز کشور به ساخت و سازه‌هایی بادوام و ماندگاری بالا جهت کاهش در هزینه‌های تعمیر و نگهداری لزوم شناخت خواص مکانیکی و دوامی بتن سازه‌های پیش ساخته از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

میزان هوای بتن، رابطه‌ای ویژه با خواص دوامی آن دارد. دراین تحقیق میزان هوای عمدی بتن خودتراکم حاوی مواد پوزولانی مختلف، شامل سرباره کوره آهنگدازی، زئولیت و میکروسیلیس در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی عملکرد مکانیکی و دوامی بتن ساخته شده با این مواد پودری مکمل سیمان، می‌توان از آزمایش‌های مختلف از قبیل تعیین مقدار هوای بتن تازه، مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، جذب‌آب حجمی و موئینه استفاده نمود و میزان تاثیر این مواد پودری با نسبت ثابت هوای عمدی را در مقایسه با بتن شاهد ارزیابی کرد. نتایج نشان دهنده بهبود خواص دوامی در طرح مخلوط‌های حاوی مواد پوزولانی نسبت به نمونه شاهد متناظر خود بوده است. علاوه بر تاثیر مواد پوزولانی بر دوام بتن های ساخته شده افزایش میزان هوای عمدی نیز تاثیر بسزایی در بهبود خواص دوامی بتن ها داشته است.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، هوای عمدی بتن، دوام بتن خودتراکم، پوزولان

مقدمه

در هر سازه بتنی لازم است عملکردی که برای آن در نظر گرفته شده است تداوم یابد. یعنی مقاومت و بهره‌دهی آن در عمر بهره‌برداری مشخص(یا آنچه به صورت متعارف انتظار می‌رود) حفظ گردد. چنین نتیجه می‌شود که بتن باید بتواند فرآیندهای از هم پاشیدگی را که انتظار می‌رود با آن مواجه شود، تحمل نماید. به چنین بتنی، بتن بادوام می گویند [۱].

بنابراین برای تهیه بتن باید شاخص های دوامی بتن مورد توجه ویژه قرارگیرند ارتباط برخی شاخص‌های دوامی با شاخص زوال بتن به عنوان یک عامل ویژه به سختی صورت می گیرد چراکه فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی زوال بتن می‌توانند توامان عمل نمایند. اما به طور کلی اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که به استثنای خسارت مکانیکی، کلیه اثرات نامطلوب بر دوام، در برگیرنده جابجایی مایعات از میان بتن است که از این حیث، کیفیت بتن با توجه به نفوذپذیری آن قابل سنجش است [۱].

نفوذپذیری نشان دهنده جریان از میان یک محیط متخلخل است و دوام بتن عمدتا به سهولتی که سیالات(چه مایعات و گازها) می‌توانند به داخل بتن وارد شوند و از میان آن بگذرند، وابسته است. آب به عنوان عامل بسیاری از انواع فرایندهای فیزیکی کاهنده کیفیت در اجسام متخلخل می‌باشد. همچنین به وسیله انتقال یون‌های مهاجم، سرچشمه فرایندهای شیمیایی کاهنده کیفیت است. بنابراین یکی از مهم ترین عوامل کنترل کننده بر دوام بتن میزان جابه جایی و قدرت حرکت آب در بتن (نفوذپذیری) می‌باشد[۱].

از آن جا که مقاومت در برابر حرکت آب از میان خمیر سیمان سخت شده نباید آنقدر زیاد باشد تا از جریان آب جلوگیری شود چنین نتیجه می‌شود در هر محلی که آب قرار دارد باید به اندازه کافی به فضاهای پر شده با هوا (یعنی حباب های هوای ایجاد شده) نزدیک باشد. ایجاد حباب هوای در بتن سبب می‌شود که در خمیر سیمان منافذ ریز تقریبا کروی شکل جدا از یکدیگر به وجود آیند به صورتی که هیچ گونه مجرایی برای عبور آب ایجاد نگردد و نفوذ پذیری بتن افزایش نیابد[۱].

افزودنی‌های حباب ساز در بتن حباب های پایدار تولید می کنند. این افزودنی‌ها پس از انحلال در آب تجزیه شده و قسمت آنیونی از قسمت کاتیونی آن جدا می‌شود بنابراین گروه های قطبی که شامل سورفکتانت ها هستند به سمت آب جهت گیری می کنند و گروه‌های غیر قطبی که از زنجیره‌های هیدروکربنی تشکیل شده اند به سمت هوا میل می‌یابند و در داخل حباب هوا قرار می گیرند به این ترتیب کشش سطحی آب کم می‌شود و این عامل حباب ها را در برابر تغییر شکل و گسیختگی مکانیکی پایدار می کند بنابراین حباب‌های هوا راحتر تشکیل می شوند و با قطرهای نسبتا کوچکتر پایدار می گردند. در نبود افزودنی‌های حباب ساز فشار داخلی حباب‌ها باعث ناپایداری آنها می‌شود وحباب‌ها تمایل می یابند تا در آب اختلاط حل شوند[۲].

لذا جهت بررسی تاثیرمیزان هوای عمدی در بتن های خودتراکم حاوی پوزولان های مختلف (سرباره،زئولیت،میکروسیلیس)در تمامی آزمایش‌ها مطابق استانداردهای دوامی انجام گرفته وآزمون‌های مقاومت الکتریکی ، جذب آب حجمی و مویینه بتن در آزمایشگاه مرکزی موسسه شهید رجایی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱ مواد و مصالح مصرفی

۲-۱-۱ سیمان

سیمان یکی از عوامل اصلی تعیین کننده کیفیت و خواص بتن می‌باشد. کیفیت سیمان در مقاومت اولیه و نهایی، خواص بتن تازه و سخت شده تأثیر بسزایی خواهد داشت. سیمان مورد استفاده در این پژوهش از نوع پرتلند ۴۲۵-۱ است که از کارخانه سیمان دلیجان تهیه شد. مشخصات فیزیکی و نتایج مقاومت فشاری ملات سیمان که بر اساس استاندارد[۳] ISIRI ۳۹۳ و در سنین۳، ۷ و ۲۸ روز انجام شده در جدول شماره ۱ آمده است. همچنین آنالیز شیمیایی که مطابق با روش آزمون شیمی تر بر روی این سیمان صورت گرفته به همراه آنالیز دیگر مواد پودری مصرف شده بعنوان جایگزین سیمان در جدول ۲ درج شده است.

جدول(۱) خواص فیزیکی سیمان

ویژگی		واحد	نتیجه آزمایش
سطح مخصوص		Cm^2/gr	۳۱۰۰
وزن مخصوص		Kg/m^3	۳۱۷۰
غلظت نرمال		%	۲۲/۸
زمان گیرش	اولیه	min	۱۱۵
	نهایی		۲۳۵
مقاومت فشاری ملات استاندارد	۳ روزه	Kg/cm^2	۲۵۰
	۷ روزه		۳۷۴
	۲۸ روزه		۴۸۹

۲-۱-۲ میکروسیلیس

میکروسیلیس به کار گرفته شده در این مخلوط‌ها، از صنایع فروآلیاژ ایران واقع در سمنان مورد بوده است. محدوده اندازه ذرات این پودر بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر است و سطح مخصوصی در حدود۲×۱۰^5سانتی‌مربع‌درگرم دارد. این محصول بیش از ۹۰ درصد سیلیس فعال دارد و آنالیز شیمیایی آن در جدول ۲ مشاهده می‌گردد.

۲-۱-۳ زئولیت

زئولیت یک کانی متبلور با ترکیبی از سیلیکات آلومینیوم هیدراته از عناصر قلیایی و قلیایی خاکی می‌باشد. تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که این ماده به‌طور مؤثری سبب بهبود خواص مکانیکی و مشخصات دوام بتن در محیط‌های اسیدی، سولفاتی و کلریدی می‌شود. میزان ذرات کوچکتر از ۷۵ میکرون (عبوری از الک شماره ۲۰۰) به عنوان معیاری از میزان آسیاب در نظر گرفته شد. درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ پودر زئولیت مصرفی ۷۰ درصد می‌باشد. وزن مخصوص این پوزولان ۲۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و آنالیز شیمیایی آن که به روش تر صورت گرفته است در جدول ۲ ارائه شده است.

۲-۱-۴ سرباره ذوب‌آهن

در تولید آهن خام، اگر روباره به آرامی در هوا خنک شود، مواد متشکله شیمیایی معمولا به شکل میلیلیت متبلور خواهند بود که در دمای معمولی با آب واکنش انجام نمی‌دهد. سرباره آهنگدازی مورد استفاده در این پژوهش از خط سوم ذوب آهن اصفهان تهیه شده است. جهت فعالیت بهتر و افزایش سطح ذرات، سرباره آهنگدازی مصرفی در این پژوهش به میزان بیش از سیمان‌های متداول آسیاب شده است که نرمی آن به ۴۵۰۰ سانتی‌مترمربع بر گرم و به وزن مخصوصی معادل ۲۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب رسیده است. آنالیز شیمیایی آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول(۲) مشخصات شیمیایی مواد پودری مورد مصرف طرح‌ها

ترکیب شیمیایی	سیمان	میکروسیلیس	زئولیت	سرباره ذوب‌آهن
CaO	۶۳/۳۹	۲/۲۷	۳/۶۱	۳۹/۱۲
SiO_2	۲۰/۶	۹۰/۳۳	۶۹/۷۸	۳۷/۳۵
Al_2O_3	۳/۸۹	۰/۸۱	۱۲/۴۵	۱۲/۴۸
Fe_2O_3	۳/۱۵	۰/۸۶	۰/۶۶	۱/۱
MgO	۴/۳۲	۱/۶۳	۱/۱۵	۶/۸۶
SO_3	۳/۸۷	۲/۶۳	۰/۱۴	۰/۳۷
K_2O	--	۰/۳۸	۰/۶۳	۰/۷۵
Na_2O	--	۰/۳۱	۱/۹۳	۰/۵۲
MnO	--	--	--	۱/۲۴
TiO_2	--	--	--	۱/۲۵

۲-۱-۵ مصالح سنگی

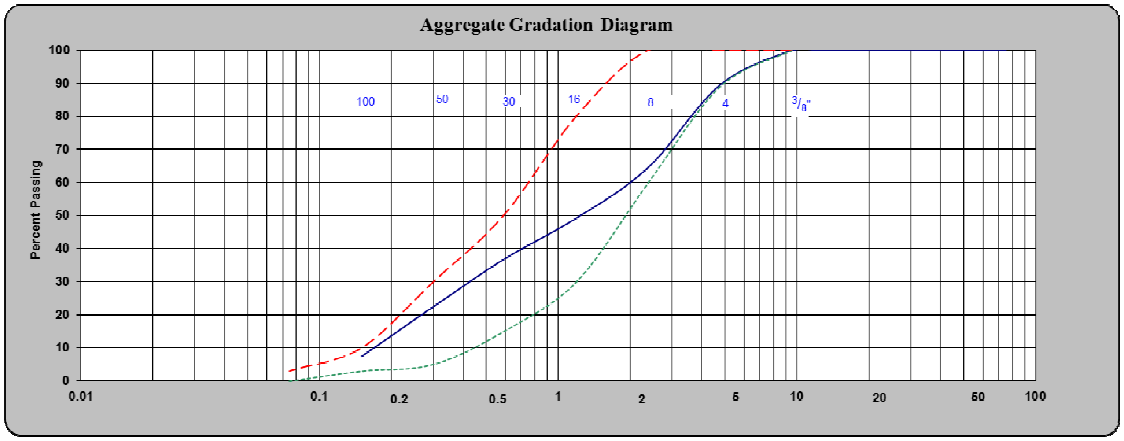
با توجه به متغیر بودن طرح مخلوط‌ها برای پروژه‌های مختلف بدلیل مصالح متفاوت مصرفی و مهمتر از همه نیاز آن پروژه، درصد مصرف ماسه به کل سنگدانه و نیز درصد وزنی شن ریز به کل شن مصرفی متغیر است. از این رو این درصدها به تفکیک طرح‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول(۳) مشخصات مواد سنگی طرح‌های مختلف

نام طرح	واحد	نسبت ماسه به کل سنگدانه	نسبت شن نخودی به کل شن
DU۰۱	درصد وزنی	58	30
DU۰۱- air		58	30
DU۰۲		58	30
DU۰۲- air		58	30
DU۰۳		58	30
DU۰۳- air		58	30

۲-۱-۵-۱ ماسه

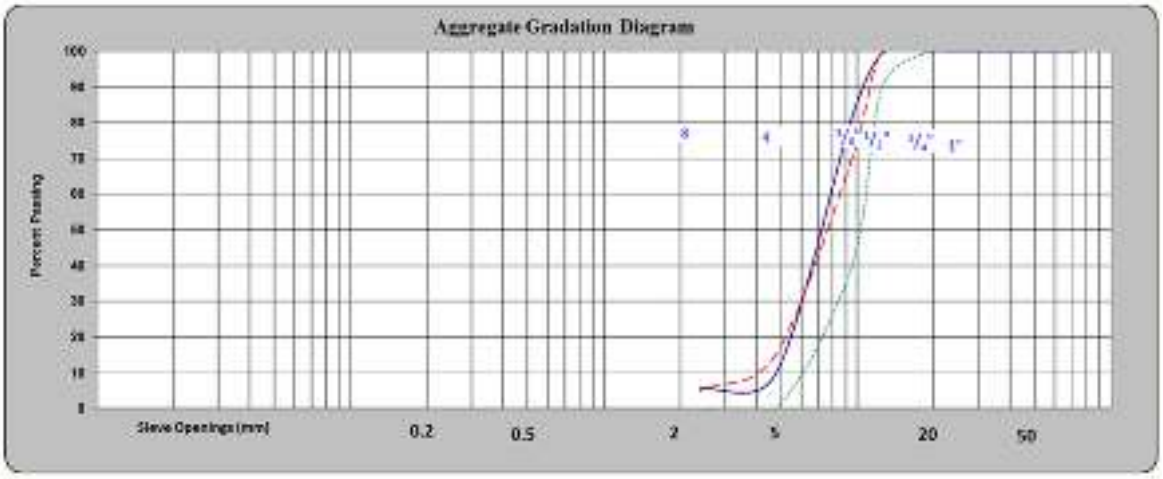
ماسه مورد استفاده در این طرح مخلوط‌ها از نوع طبیعی و در اندازه ۶-۰ میلیمتر است. وزن مخصوص این ماسه برابر ۲۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و جذب آب آن 3/28 درصد می‌باشد. مدول نرمی ماسه 3/3 بوده که بر اساس استاندارد ASTM C۳۳[4] برای تولید بتن مناسب است. در شکل شماره ۱ نمودار دانه‌بندی ماسه نشان داده شده است.



شکل ۱ - نمودار دانه‌بندی ماسه

۲-۱-۵-۲ شن ریز

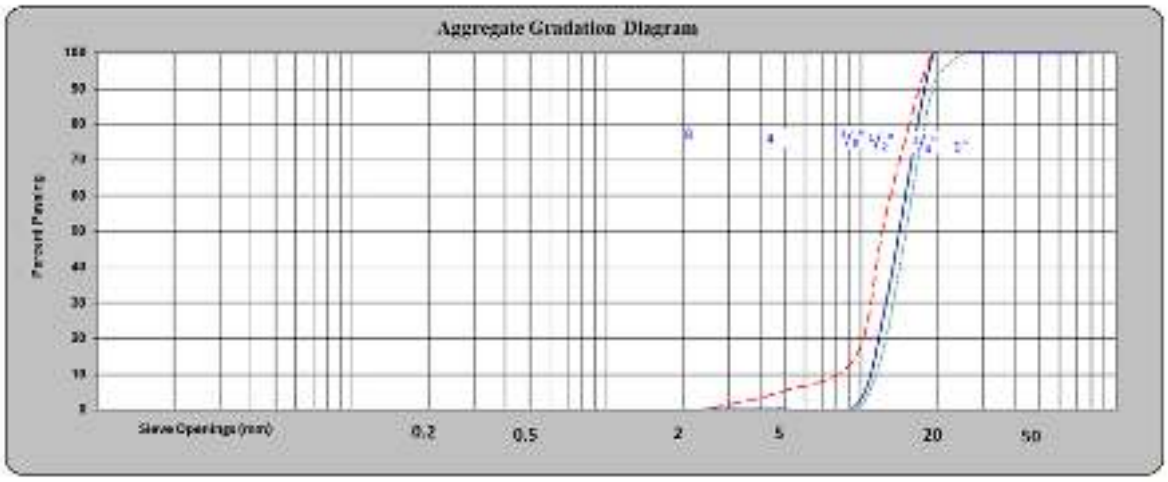
برای رسیدن به دانه‌بندی یکنواخت و مناسب از یک نوع شن ریز با اندازه ۱۲-۶ میلیمتر و به علت تامین خواص بتن تازه از نوع کاملا طبیعی انتخاب گردیده است. وزن مخصوص این شن برابر ۲۵۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و جذب آب آن ۲/2 درصد می‌باشد. نمودار دانه‌بندی شن ریز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲ نمودار دانه‌بندی شن ریز

۲-۱-۵-۳ شن درشت

با توجه به اهمیت کسب روانی مورد نیاز بدون ایجاد جداشدگی اجزای بتن، استفاده از شن با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر بهترین گزینه انتخابی برای تمامی طرح‌ها بود. شن مورد استفاده با حداکثر ۷۰ درصد شکستگی علاوه بر نداشتن تاثیر منفی بر روی کسب مقاومت فشاری بتن، کمک زیادی به تامین خواص بتن تازه می‌نماید. وزن مخصوص این شن برابر ۲۵۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب و جذب آب آن برابر ۱/7 درصد می‌باشد. نمودار دانه بندی شن درشت در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳ نمودار دانه‌بندی شن درشت

۲-۱-۶ افزودنی حباب زا

افزودنی های حباب زا موادی هستند که سبب تشکیل حباب های بسیار ریز هوا که به طور یکنواخت در حجم بتن یا ملات توزیع شده اند می گردند. این حباب ها پس از سخت شدن بتن یا ملات نیز در آن باقی بمانند. این حباب های هوا با هوای غیر عمدی موجود دربتن تفاوت داشته و درمقایس میکروسکوپی هستند.

پس از بررسی های مختلف وساخت بتن با افزودنی های حباب هواساز تولید شده در شرکت های مختلف، نهایتا افزودنی شیمی ساختمان با نام تجاری فرسیزال ابرهوازا انتخاب شد.

۲-۲ طرح مخلوط

جهت تامین کارایی بتن خودتراکم، استفاده از مواد پودری امری رایج است. از دیگر ویژگی‌های مثبت استفاده از این مواد، بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن خودتراکم می‌باشد. علاوه بر اینکه مواد پوزولانی نقش بسزایی در افزایش شاخص های دوامی بتن دارد، افزایش میزان هوای بتن نیز باتوجه به شرایط محیطی مختلف باعث بهبود شاخص دوامی بتن می‌شود؛ از این‌رو طرح مخلوط‌های آزمایشی بسیار زیادی جهت دست‌یابی به درصد جایگزینی مناسب هر یک از مواد پودری و میزان هوای مطلوب در شرایط محیطی متوسط در آزمایشگاه مرکزی بتن شهید رجایی ساخته شد. جهت رسیدن به کارایی برابر در جریان اسلامپ ۶۵ سانتی‌متر، از فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی کربوکسیلات‌اتر استفاده شده است. مشخصات کامل طرح مخلوط‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

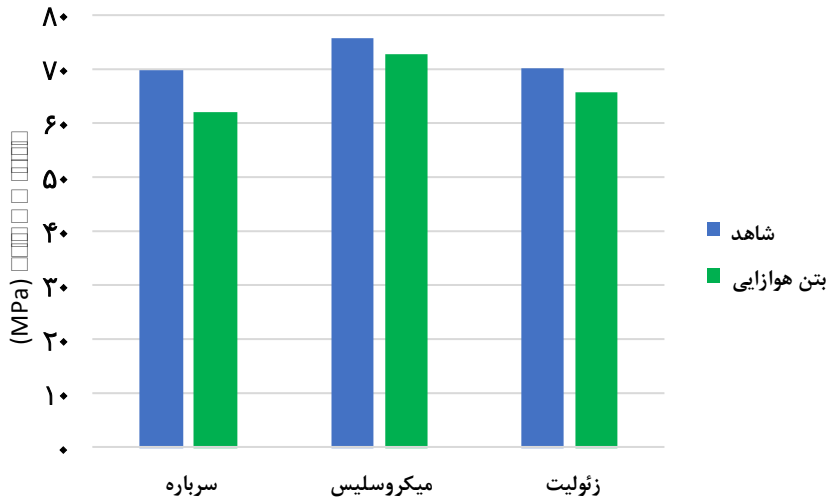
جدول(۴) مشخصات طرح مخلوط‌ها

کد طرح	کل مواد سیمانی (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	ماده جایگزین (kg/m^3)	w/c	مقدار و نوع مواد جایگزین سیمان(٪)	آب (kg/m^3)	ماسه SSD (kg/m^3)	شن SSD (kg/m^3)	فوق روان کننده (kg/m^3)	جریان اسلامپ (cm)	هوای بتن تازه ٪
DU۰۱	۵۰۰	300	200	۰/3	سرباره – ٪۴۰	۱۵۰	۹۹۰	۷۱۵	۲	۶۵	۱٫۸
DU۰۱- air	۵۰۰	300	200	۰/29	سرباره – ٪۴۰	۱۴۵	۹۵۵	۶۹۵	۲	۶۵	۴٫۵
DU۰۲	۵۰۰	425	75	۰/3	زئولیت – ٪۱۵	۱۵۰	۹۸۰	۷۱۰	۴٫۲	۶۵	۱٫۸
DU۰۲- air	۵۰۰	425	75	۰/28	زئولیت – ٪۱۵	140	۹۵۰	۶۹۰	۴	۶۵	۴٫۵
DU۰۳	500	450	50	۰/۳۴	میکروسیلیس -٪۱۰	170	۹۵۵	۶۹۰	۳٫۸	۶۵	۱٫۸
DU۰۳- air	500	450	50	۰/۳۳	میکروسیلیس -٪۱۰	165	۹۲۰	۶۷۰	۳٫۷	۶۵	۴٫۵

۳-۲ تحلیل و بررسی نتایج

۲-۳-۱ آزمایش مقاومت فشاری

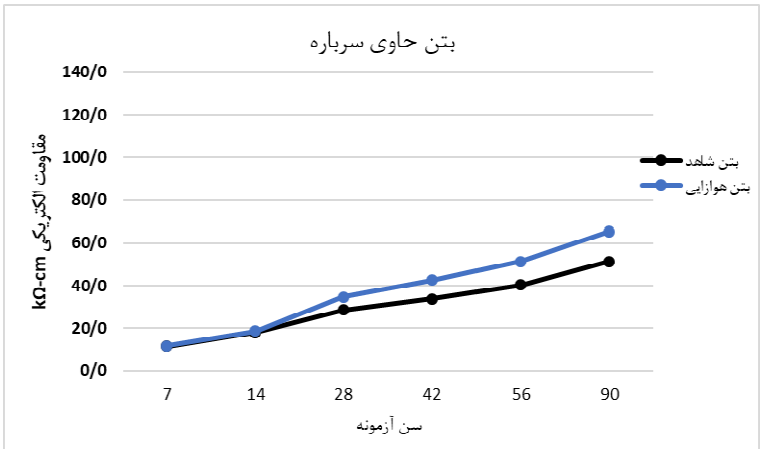
آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰ انجام گردیده است. رده مقاومت مشخصه برای کلیه بتن ها در محدوده C۶۰ درنظر گرفته شده است، برای جبران کاهش مقاومت فشاری ناشی از افزایش هوای عمدی بتن، نسبت آب به سیمان در طرح مخلوط های مورد نظر کاهش داده شد تا کلیه آزمون ها در رده مقاومت ثابت بررسی شود؛ همچنین برای تراکم پذیری مطلوب در تمامی طرح مخلوط ها میزان جریان اسلامپ ثابت در نظر گرفته شد. شرایط و نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۲۸ در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.



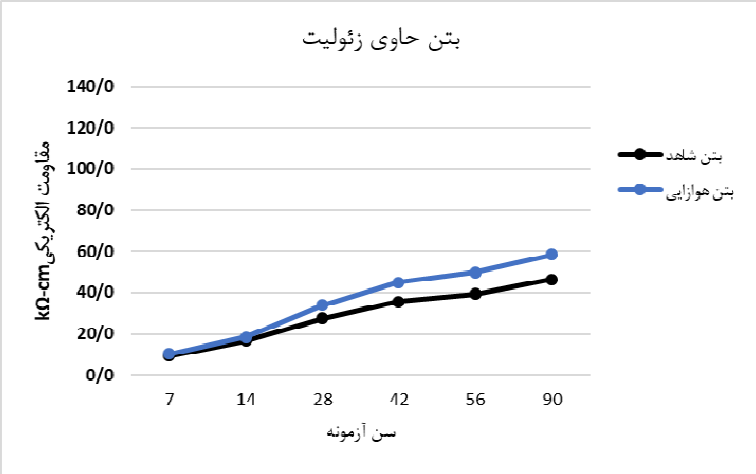
شکل۴- نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه

۲-۳-۲ آزمایش مقاومت الکتریکی

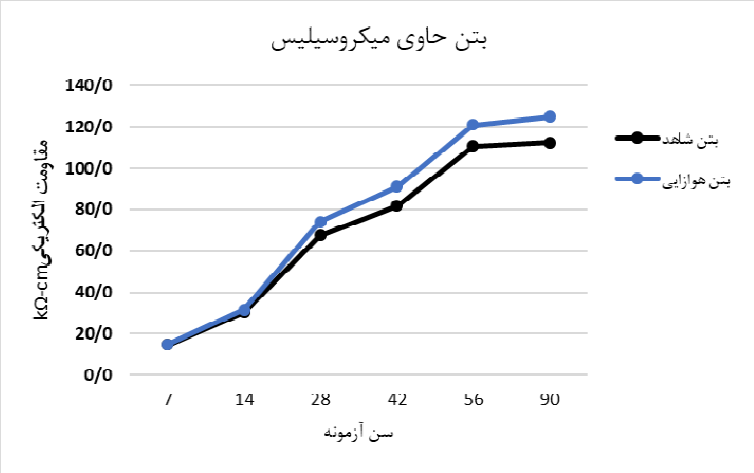
آزمایش مقاومت الکتریکی سطحی بتن (AASHTO T۳۵۸-۱۵ [5]) بر روی آزمونه‌های استوانه‌ای ۲۰×۱۰ سانتی‌متر انجام گرفته است. جریان الکتریکی آزمونه‌های بتنی بیانگر میزان تخلخل بتن می‌باشد. دستگاه سنجش مقاومت الکتریکی مورد استفاده در این پژوهش از نوع چهار نقطه‌ای(پراپ) ونر با فواصل ۵۰ میلیمتر ساخت شرکت Proseq سوئیس بوده است. این آزمایش در سنین ۷،۱۴،۲۸،۴۲،۵۶،۹۰ روزه انجام شد و اعدادی که در شکل‌های ۵، ۶ و ۷رسم گردیده، میانگین قرائت‌های صورت پذیرفته از ۶ آزمونه استوانه‌ای ۲۰×۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل۵ – نمودار مقاومت الکتریکی بتن خودتراکم حاوی سرباره



شکل۶ – نمودار مقاومت الکتریکی بتن خودتراکم حاوی زئولیت



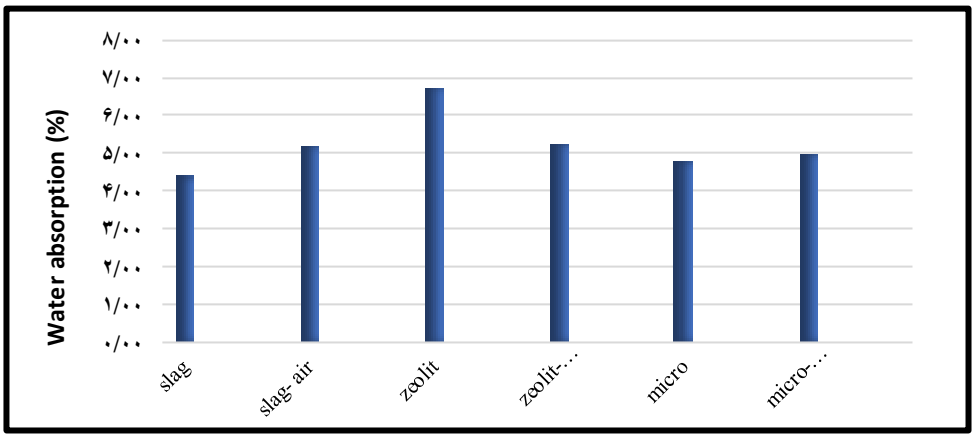
شکل۷- نمودار مقاومت الکتریکی بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس

همانگونه که در شکل های مذکور مشاهده می‌شود، منحنی‌هـای مقاومت الکتریکی در برابر زمان، در بتن های حاوی پوزولان های مختلف در این تحقیق روند رشد متفاوتی را نشان می‌دهد . وجود هوای عمدی در بتن های حاوی پوزلان های مختلف باعث افزایش مقاومت الکتریکی بتن در سنین مختلف می-شود. روند افزایش مقاومت الکتریکی ناشی از هوای عمدی بتن فارغ از نوع پوزولان بوده و بر حسب افزایش سن آزمونه روند روبه رشدی را از سن ۱۴ روزه نسبت به بتن شاهد نشان می دهد.

بطور کلی مقاومت الکتریکی بتن متاثر از دو عامل: ۱- رسانایی مایع منفذی (الکترولیت) ۲- ریزساختار بتن است. با توجه به این که اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بر روی آزمونه‌های غوطه‌ور شده در آب انجام گرفته است، بنابراین صرف‌نظر از تأثیر شرایط محیطی بتن (رطوبت)، این افزایش در مقاومت را می‌توان به کاهش غلظت یون های الکترولیت موجود در فضاهای خالی بتن براثر پیشرفت هیدراتاسیون نسبت داد. ازآنجا که عمده هدایت جریان الکتریکی از داخل خمیر سیمان انجام می‌شود، حباب‌های عمدی داخل بتن بعنوان یک نارسانا عمل کرده و سبب افزایش مقاومت الکتریکی بتن می‌شوند[6].

۲-۳-۳ آزمایش جذب آب حجمی

حجم منافذ در بتن به وسیله جذب آب سنجیده می‌شود. جذب آب را معمولاً به وسیله خشک نمودن آزمونه تا جرم ثابت و غوطه‌ور کردن آن در آب و سنجش افزایش جرم، به صورت درصدی از جرم خشک می‌سنجند. اغلب بتن های خوب و مطلوب، دارای جذب آب خیلی کمتر از ۱۰ درصد جرمی می باشند[7]. آزمایش جذب آب حجمی (استاندارد[8] ASTM C ۶۴۲) بر روی نمونه ها در سن ۲۸ روزه انجام و نتایج آزمایش در شکل ۸ که به ترتیب بیانگر درصد جذب آب حجمی می باشد، بیان شده است.



شکل ۸- نمودار درصد جذب آب حجمی در سن ۲۸ روز

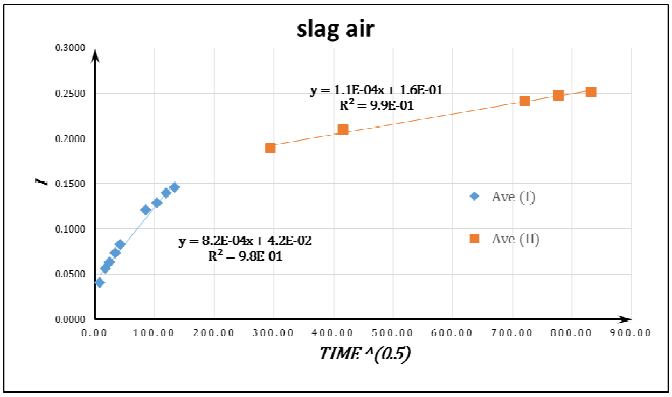
به طور کلی در انجام این آزمایش ها به ازای افزایش میزان هوای عمدی در هریک از بتن های ساخته شده به یک میزان افزایش جذب آب نسبت به شاهدآن مشاهده شده است. علت این قضیه را می توان ناشی از دوعامل دانست :

الف) تخلخل خمیر سیمان در اثر جمع شدگی مقید بسیار بیشتر از سنگدانه ها می باشد، بنابراین هنگامی که درصد هوا، با ثابت ماندن آب به سیمان افزایش می یابد، مخلوط حاصله متخلخل تر می گردد وآب بیشتری به خود جذب می کند.

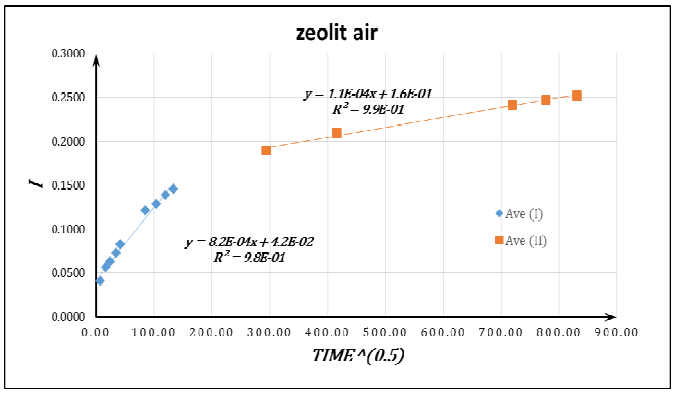
ب) هنگامی که درصد هوای طرح افزایش پیدا می کند اندکی از میزان سنگدانه کاهش می‌یابد واز اثرات مسدود سازی وپر پیچ وخم سازی مسیرهای عبور جریان توسط آنها کاسته می‌شود، بنابراین جذب آب بتن افزایش پیدا می‌کند.لازم به توضیح که اثرات مسدود سازی ناشی از پایین بودن ضریب انتشار مصالح سنگی نسبت به خمیر سیمان می‌باشند واثرات پرپیچ وخم سازی نیز در اثر نفوذ پذیری بسیار کم سنگدانه ها به وجود می‌آیند. این عوامل باعث می گردند که جریان در اطراف سنگدانه‌ها بر قرار گردد[9].

۲-۳-۴ آزمایش جذب آب موئینه

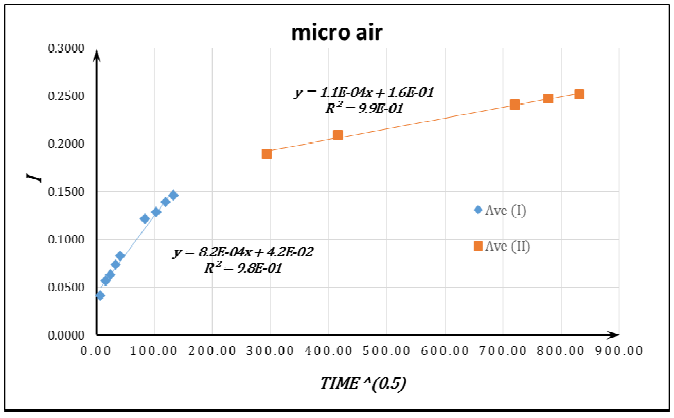
آزمایش جذب آب موئینه بر اساس استاندارد[10] ASTM C۱۵۸۵ ، در سن ۲۸ روزه بر روی آزمونه که یک قرص استاندارد با قطر ۱۰۰ میلیمتر و طول ۵۰ میلیمتر می‌باشد و نتایج آزمایش در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ هرکدام به ترتیب آمده است. اساسا در آزمایش جذب آب موئینه، نرخ جذب به وسیله بالا رفتن آب در لوله‌های موئینه در یک منشور بتنی که بر روی تکیه‌گاه‌های کوچکی به صورتی قرار دارد که فقط ۲ تا ۵ میلیمتر تحتانی منشور در آب مستغرق است، تعیین می‌گردد. افزایش در جرم منشور با زمان ثبت می‌شود.



شکل ۹- نمودار درصد جذب آب مویینه بتن خودتراکم حاوی سرباره



شکل ۱۱- نمودار درصد جذب آب مویینه بتن خودتراکم حاوی زئولیت



شکل ۱۰- نمودار درصد جذب آب مویینه بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس

همانگونه که در شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌گردد، ضریب جذب آب مویینه با افزایش درصد هوا دچار افزایش می‌گردد. دلیل این امر را چنانکه در نتایج آزمایش جذب آب نیز به آن اشاره شد، می توان ناشی از کاهش حجم سنگدانه در مخلوط وکاهش مسدود سازی و پر پیچ وخم سازی مسیرهای عبور جریان توسط سنگدانه ها دانست. ضریب جذب آب مویینه را نیز تابع تخلخل بتن، حجم مواد متخلخل و خصوصا متصل بودن منافذ به یکدیگر دانست [11].

۳- نتیجه‌گیری

۱- با افزایش میزان هوای عمدی در بتن های ساخته شده با پوزولان‌های مختلف، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. به همین منظور از میزان آب به سیمان کاسته شد تا کاهش مقاومت فشاری جبران گردد.

۲-با افزایش میزان هوای عمدی در بتن های ساخته شده با پوزولان‌های مختلف، مقاومت الکتریکی به یک نسبت ثابت افزایش یافت.

۳-با افزایش میزان هوای عمدی در بتن های ساخته شده با پوزولان‌های مختلف، جذب آب افزایش می‌یابد. کاهش اثرات مسدودسازی و پرپیچ و خم سازی مسیرهای عبور جریان آب و افزایش تخلخل مخلوط خمیر سیمان از دلایل افزایش جذب آب نمونه های بتن ساخته شده با پوزولان‌های مختلف گزارش شده است.

۴- مراجع

[۱] نویل، ای.ام . ویژگی‌های بتن. ترجمه: هرمز فامیلی(۱۳۹۱)، تهران: انتشارات ندای آریانا.

[2] Rodney M.Edmeades, and peter C. Hewlett, Cement Admixtures.

[3] استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ سیمان، تعیین مقاومت فشاری و خمشی- روش آزمون ۱۳۸۳

[4] ASTM C۳۳-۰۱; Standard Specification for Concrete Aggregates .

[5] AASHTO Designation: T ۳۵۸-۱۵; Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete`s Ability to Resist Chloride Ion Penetration.

[6] Morris, W., Vico, A., Vazquez, M., and De Sánchez, S. D. (۲۰۰۲), Corrs. Sci. No. ۴۴, P. ۸۱.

[7] نویل، ای.ام . ویژگی‌های بتن. ترجمه: هرمز فامیلی(۱۳۹۱)، تهران: انتشارات ندای آریانا.

[8] ASTM C۶۴۲-۹۷; Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete

[9] Yang, C. C., Cho, S. W. (۲۰۰۳) "Influence of Aggregate Content on the Migration Coefficient of Concrete Materials Using Electrochemical Method", Materials Chemistry and Physics, No. ۸۰, pp. ۷۵۲ – ۷۵۷.

[10] ASTM C۱۵۸۵ – ۱۳, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.

[11] Banthia, N., Biparva, A., and Mindess, S. (۲۰۰۵) "Permeability of Concrete under Stress", Cement and Concrete Research, No. ۳۵, pp. ۱۶۵۱ – ۱۶۵۵.