

مقایسه اثر دوده سیلیس، زئولیت و سرباره کوره آهن گدازی بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم

منصور فخری^۱، علی خلیلی فرد^۲

۱- عضو هیات علمی دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشجو مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

akhalilifard@yahoo.com

چکیده

امروزه دوام^۱ بتن یکی از مهم‌ترین معیارهای پذیرش آن در پروژه‌های ملی بخصوص پروژه‌های زیربنایی کشور در حاشیه خلیج فارس است. از میان آزمایش‌های سنجش دوام بتن در آیین نامه‌های مختلف آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن^۲ سخت شده بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین امروزه بدلیل مزایای متعدد و گسترش بتن خودتراکم (Self Compacting Concrete) در پروژه‌های ملی در تحقیق حاضر اثر دوده سیلیس (Silica Fume)، زئولیت (Zeolite) و سرباره کوره آهن گدازی (Slag) بر عمق نفوذ آب تحت فشار بتن خودتراکم مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه همزمان اثر سه ماده کمک سیمانی دوده سیلیس، زئولیت و سرباره که بیشترین مصرف در بتن‌هایی که ضوابط داومی دارند، بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم است. طراحی مخلوط‌های بتنی بر اساس ضوابط پیشنهادی موسسه EFNARC که یک تشکیلات اروپایی در زمینه استانداردسازی بتن در اروپاست انجام گردیده است. نتایج نشان داد که دوده سیلیس بیشترین تاثیر مثبت بر کاهش عمق نفوذ آب تحت فشار در نمونه‌های بتنی داشته است و این به معنای کاهش نفوذپذیری و دوام بیشتر این بتن نسبت به سایر طرح مخلوط‌های بتنی دیگر است.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، عمق نفوذ آب تحت فشار، دوده سیلیس، زئولیت، سرباره کوره آهن گدازی

1- Durability ۲-Depth of penetration of water under pressure

۱. مقدمه

مشاهده خرابی‌های زودرس در بتن‌هایی که در مناطق مهاجم و خورنده اجرا شده بودند و نیز دارای مقاومت فشاری مشخصه طراحی لازم بوده اند موجب گردید تا علاوه بر توجه به مشخصات مکانیکی بتن نظیر مقاومت فشاری، دوام بتن نیز به عنوان معیار اصلی و تعیین کننده در طرح و اجرای مخلوط‌های بتنی مورد توجه پژوهشگران و طراحان سازه‌های بتنی قرار گیرد. دوام بتن به معنای توانایی آن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش و فرسایش و هرگونه فرآیند که منجر به تخریب شود تعریف می‌گردد [۱]. بنابراین بتن بادوام یا پایا در شرایط محیطی مورد نظر می‌بایست شکل، حداقل کیفیت اولیه و قابلیت بهره برداری خود را حفظ کند [۲].

در میان آزمایش‌های مختلف مربوط به دوام بتن که اغلب میزان نفوذپذیری بتن را مورد سنجش قرار می‌دهند آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده [۳] مطابق با استاندارد اروپایی به شماره EN ۱۲۳۹۰-۸ از جمله آزمایش‌های متداولی است که در آیین نامه‌های بین‌المللی و نیز در کشورمان همچون آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد و انجام آن در مناطق حاشیه خلیج و فارس و دریای عمان الزامی است [۴] و برای آن مقدار حداکثر مجازی بسته به شرایط محیطی مهاجم تعریف می‌شود.

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت دوام بتن در پروژه‌های ملی و نیز الزامی بودن انجام آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده در مناطق مهاجم اثر استفاده از دوده سیلیس، زئولیت و سرباره کوره آهن‌گذاری بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم بررسی و مقایسه شده است. تفاوت پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است در همزمانی بررسی سه ماده کمک‌سیمانی در شرایط ساخت بتن خودتراکم است.

۲. روش تحقیق

در این پژوهش آزمایشگاهی کاربردی، تمامی طرح‌های مخلوط بتن خودتراکم ساخته شده الزامات مربوط به این نوع بتن را براساس ضوابط موسسه EFNARC [۵] رعایت می‌نمایند و نیز شایان ذکر است تمامی طرح‌های اختلاط در حالت کارایی برابر (جریان اسلامپ ۷۲۰ - ۷۵۰ میلی متر) با یکدیگر مقایسه شده اند. از تمامی طرح‌های مخلوط دو نمونه تحت آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روزه قرار گرفته است.

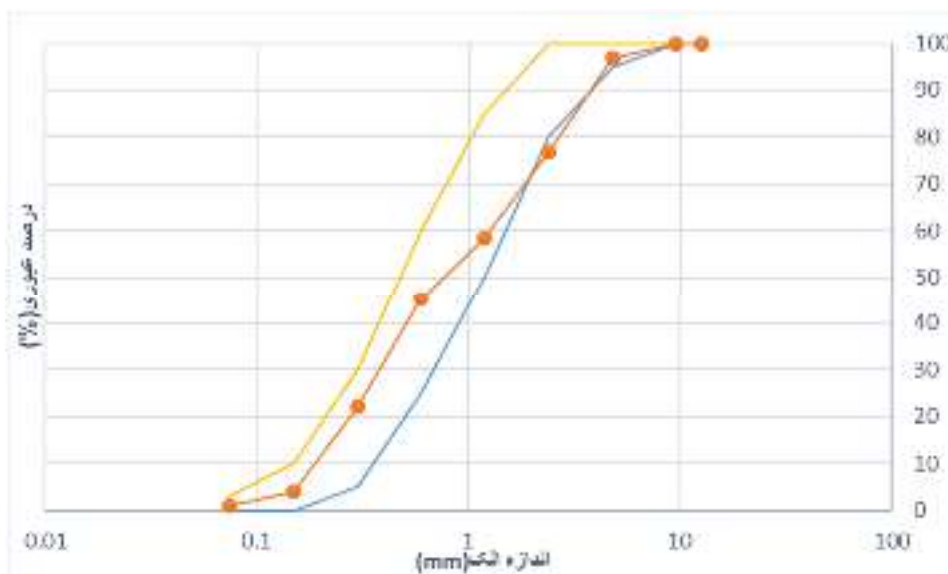
۳. مواد و مصالح بکار رفته

مصالح مورد استفاده در ساخت طرح‌های مخلوط بتن خودتراکم در پژوهش حاضر شامل سیمان، دوده سیلیس، زئولیت، سرباره کوره آهن‌گذاری، ماسه، شن، آب و فوق روانساز بتن بر پایه پلی کربوکسیلات اتر می‌باشد. سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند تیپ II بوده و مشخصات آن مطابق با استانداردهای ASTM C۱۵۰ و ISIRI ۳۸۹ می‌باشد. مشخصات شیمیایی دوده سیلیس، سرباره و زئولیت مصرفی به ترتیب مطابق با استاندارد ASTM C۱۲۴۰، ASTM C۶۱۸ می‌باشد در جدول ۱ آنالیز شیمیایی سیمان و مواد کمک‌سیمانی حاضر در این پژوهش آمده است.

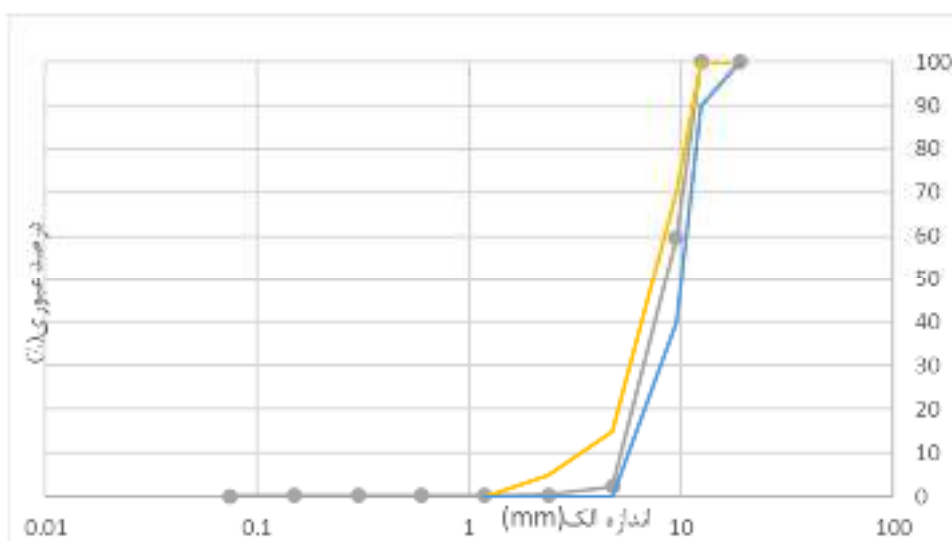
جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان و مواد کمک سیمانی

IR	L.O.I	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	ترکیبات
۰،۴۲	۲،۱۶	۲،۴	۰،۶۲	۰،۳۲	۱،۱	۴،۱۵	۴،۷۳	۶۳،۵۸	۲۰،۵۶	سیمان
-	۳،۷	۰،۶۵	۰،۹۶	۱،۲۵	۱،۳۷	۴،۶۳	۰،۱۲	۰،۹۶	۸۶،۴۶	دوده سیلیس
-	۲،۹۸	-	۰،۷۳	۱،۳۷	-	۰،۴۹	۱۰،۴۳	۳،۵۶	۶۹،۲۸	زئولیت
-	-	-	۰،۵	۰،۵۳	۹،۸۹	-	۹،۵۵	۳۵،۳۹	۳۴،۳۱	سرباره

سنگدانه های مصرفی اعم از شن و ماسه از معدنی در استان قم استفاده شده است. ماسه مصرفی از نوع رودخانه ای و شن ۱۰۰٪ شکسته می باشد. بر روی کلیه ی مصالح سنگی بکاررفته در این مطالعه آزمایش های دانه بندی، وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک (Saturation surface dry)، درصد جذب آب، درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ به ترتیب مطابق با استانداردهای ASTM C۱۱۷، ASTM C۱۲۸، ASTM C۱۲۷، ASTM C۱۳۶ انجام شده است در شکل های ۳ و ۴ به ترتیب منحنی دانه بندی ماسه و شن را مشاهده می کنید سپس نتایج دیگر آزمایشات سنگدانه ها در جدول ۲ آماده است.



شکل ۳- منحنی دانه بندی ماسه



شکل ۴- منحنی دانه بندی شن

جدول ۲- مشخصات سنگدانه های مصرفی

درصد جذب آب	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک	وزن مخصوص فضایی	وزن مخصوص ظاهری	سنگدانه
(%)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	
۲	۲,۵	۲,۵	۲,۶	ماسه
۱,۹	۲,۶۴	۲,۶	۲,۷	شن

آب مصرفی آب شرب شهر ورامین بوده است و مقدار pH آن ۷,۹ می باشد. فوق روانساز مصرفی بر پایه پلی کریوکسیلات اتر که مشخصات فنی آن مطابق با استاندارد ASTM C^{۴۹۴} Type S می باشد.

۴. طرح اختلاط بتن خودتراکم و ساخت نمونه ها

تاکنون هیچ روش استاندارد برای مخلوط های SCC ارائه نشده است و تقریباً تمام روش ها بر اساس آزمون و خطا می باشد [۵]. از میان روش های ارائه شده می توان روش های ریز را نام برد

۱- روش مستدل طرح مخلوط توسط Ocvhi و Okamura

۲- روش طرح مخلوط در مرجع EFNARC

۳- روش طرح مخلوط ساده توسط SU

۴- روش حداقل حجم خمیر سیمان توسط Bui و Montgomery

در پژوهش حاضر از روش طرح مخلوط در مرجع EFNARC استفاده شده است. از میان ۱۰ معیار پذیرش بتن خودتراکم در این روش مطابق با جدول شماره ۳ [۶] آن ۵ مورد آن به شرحی که در جدول شماره ۴ آمده است در تمامی طرح های اختلاط آزمایشگاهی مورد سنجش قرار گرفت و نتایج تمامی آزمایشات در محدوده مجاز قرار دارد.

جدول ۴- معیار های پذیرش بتن خودتراکم و محدوده ها

محدوده نتایج آزمایشگاهی		دامنه قابل قبول نتیجه آزمون		واحد سنجش	آزمون	ردیف
بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه			
۷۵۰	۷۲۰	۸۰۰	۶۵۰	mm	Slump Flow	۱
۳،۵	۲	۵	۲	sec	T۵۰cm Slump Flow	۲
۱۰	۶	۱۰	۰	mm	J-ring	۳
۹	۶	۱۲	۶	sec	V-funnel	۴
۰،۹۸	۰،۸۵	۱	۰،۸	(h ^۲ /h ^۱)	L-box	۵

به منظور کنترل عدم هوازایی مواد کمک سیمانی در طرح های اختلاط، آزمایش درصد هوای بتن مطابق با استاندارد ASTM C173 برای تمام طرح های اختلاط انجام پذیرفته و در تمامی طرح ها درصد هوای بتن کمتر از ۲ درصد بوده است.

درصد جایگزینی مواد سیمانی با توجه به درصد های پیشنهادی در مراجع معتبر در جدول شماره ۵ آمده است. و در جدول شماره ۶ مقادیر طرح های اختلاط آزمایشگاهی آمده است.

جدول ۵ - درصدهای جایگزینی مواد کمک سیمانی

ردیف	ماده کمک سیمانی	درصد جایگزینی وزنی سیمان	مقدار در مترمکعب (Kg)
۱	دوده سیلیس	۴٪ و ۷٪	۱۸ و ۳۱,۵
۲	زنولیت	۵٪ و ۱۰٪	۲۲,۵ و ۴۵
۳	سرباره کوره آهن گدازی	۳۵٪	۱۵۷,۵

جدول ۶ - مشخصات طرح های اختلاط بتن خودتراکم (Kg/m^۳)

ردیف	کد طرح	مجموع مواد سیمانی	W/C	سیمان	دوده سیلیس	زنولیت	سرباره	ماسه	شن	فوق روانساز
۱	C-M	۴۵۰	۰,۳۸	۴۵۰	-	-	-	۱۰۱۵	۷۰۳	۳,۴
۲	C-۴۳۰	۴۳۰	۰,۳۸	۴۳۰	-	-	-	۱۰۲۶	۷۱۱	۴,۱
۳	C-۴۱۰	۴۱۰	۰,۳۸	۴۱۰	-	-	-	۱۰۴۸	۷۲۶	۴,۲
۴	S-F-۴	۴۵۰	۰,۳۸	۴۳۲	۱۸	-	-	۱۰۱۶	۷۰۴	۴,۵
۵	S-F-۷	۴۵۰	۰,۳۸	۴۱۸,۵	۳۱,۵	-	-	۱۰۰۷	۶۹۸	۴,۵
۶	Z-۵	۴۵۰	۰,۳۸	۴۲۷,۵	-	۲۲,۵	-	۱۰۱۹	۷۰۶	۴,۷
۷	Z-۱۰	۴۵۰	۰,۳۸	۴۰۵	-	۴۵	-	۱۰۰۳	۶۹۵	۵
۸	S-۳۵-۱	۴۵۰	۰,۳۸	۲۹۲,۵	-	-	۱۵۷,۵	۱۰۰۹	۶۹۹	۳,۱۵

۵. نتایج آزمایشات عمق نفوذ آب تحت فشار

۵-۱ آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن

در این آزمایش نمونه سخت شده بتن در سن ۲۸ روزه تحت فشار آب قرار می گیرد و در نهایت نمونه بتنی به دو نیم تقسیم شده و حداکثر عمق نفوذ آب در بتن سخت شده اندازه گیری و گزارش شده است. آزمایش های عمق نفوذ مطابق با استاندارد EN ۱۲۳۹۰-۸ انجام شده است. دو نمونه در هر طرح اختلاط تحت آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار قرار گرفته است و میانگین دو مقدار در قسمت نتایج گزارش شده است. در شکل ۵ نمایی از تجهیزات آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده را مشاهده می نمایید.



شکل ۵- دستگاه آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار

۲،۵. مقایسه نتایج عمق نفوذ آب تحت فشار در طرح های اختلاط

در پژوهش حاضر ۹ طرح اختلاط بتن خودتراکم ساخته شده است این طرح های اختلاط در ۴ دسته و با هدف های بررسی تغییرعیار سیمان، افزودن دوده سیلیس در دو درصد مختلف، افزودن ژئولیت در دو درصد مختلف و در نهایت افزودن سرباره کوره آهن گدازی به

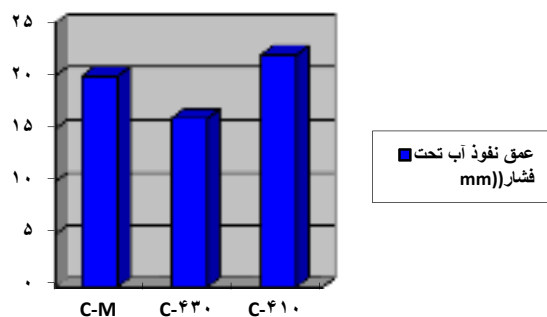
مخلوط شاهد و اثر آن بر روی عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده عملیاتی شده است. در جدول ۷ نتایج آزمایشات عمق نفوذ طرح های اختلاط آمده است.

جدول ۷- نتایج آزمایشات عمق نفوذ آب تحت فشار

ردیف	کد طرح اختلاط	عمق نفوذ آب (mm)	ردیف	کد طرح اختلاط	عمق نفوذ آب (mm)
۱	C-M	۲۰	۵	S-F-۷	۸
۲	C-۴۳۰	۱۶	۶	Z-۵	۱۸
۳	C-۴۱۰	۲۲	۷	Z-۱۰	۱۳
۴	S-F-۴	۱۶	۸	S-۳۵	۱۸

۳.۵. بررسی اثر تغییر عیار سیمان بر عمق نفوذ آب تحت فشار

بدین منظور ۳ طرح اختلاط با یکدیگر مقایسه می شوند طرح های شماره ۱، ۲ و ۳ تنها در مقدار سیمان با یکدیگر متفاوت بوده و شامل مواد کمک سیمانی نمی باشند در نمودار ۱ عمق نفوذ این ۳ طرح آمده است.

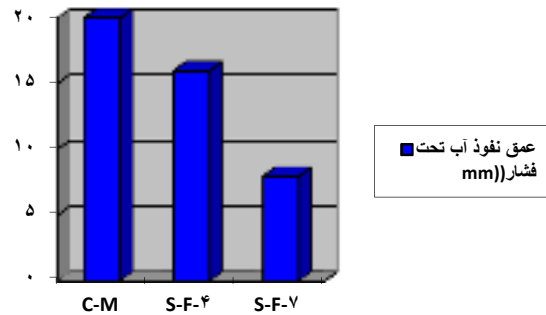


شکل ۶- اثر عیار سیمان بر عمق نفوذ آب تحت فشار

همان طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است با کاهش عیار سیمان عمق از ۴۵۰ کیلوگرم درمتر مکعب به ۴۳۰ کیلوگرم در مترمکعب ۲۰ درصد عمق نفوذ آب تحت فشار کاهش یافته است. با کاهش عیار سیمان میزان سنگدانه ها در واحد بتن افزایش یافته و به دلیل پایین تر بودن ضریب نفوذپذیری سنگدانه از نفوذپذیری خمیر سیمان [۶] عمق نفوذ آب تحت فشار کاهش می یابد. همچنین کاهش عیار سیمان به ۴۱۰ کیلوگرم موجب افزایش ۱۰ درصدی عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن شده است.

۴.۵. بررسی اثر دوده سیلیس بر عمق نفوذ آب تحت فشار

بدین منظور طرح اختلاط های شماره ۵ و ۴،۱ با یکدیگر مقایسه می شوند. در شکل ۷ عمق نفوذ این ۳ طرح اختلاط آمده است.

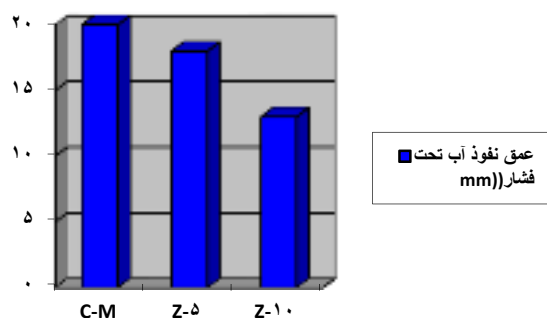


شکل ۷- اثر دوده سیلیس بر عمق نفوذ آب

دوده سیلیس موجب کاهش نفوذپذیری بتن می شود [۸-۹]. همان طور که مشاهده می شود با افزایش میزان دوده سیلیس در طرح مخلوط عمق نفوذ آب تحت فشار بشدت کاهش می یابد. با افزودن دوده سیلیس در درصد های ۴ و ۷ به ترتیب ۲۰ و ۶۰ درصد عمق نفوذ کاهش یافته است.

۵.۵. بررسی اثر ژئولیت بر عمق نفوذ آب تحت فشار

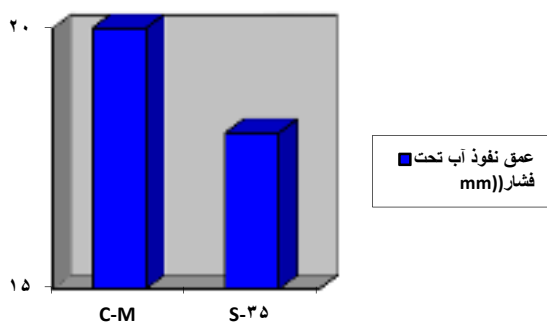
به منظور بررسی اثر ژئولیت بر عمق نفوذ آب دو طرح اختلاط بتن در دو درصد مختلف جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد وزنی مواد سیمانی عملیاتی شده است و در این میان طرح با جایگزینی ۱۰ درصد ژئولیت ۳۵ درصد عمق نفوذ آب تحت فشار را کاهش داده است. نتایج در شکل ۸ آمده است.



شکل ۸- اثر ژئولیت بر عمق نفوذ آب

۵.۶. بررسی اثر سرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار

طرح شماره ۸ برای بررسی اثر سرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار عملیاتی شده است. افزودن ۳۵ درصد سرباره جایگزین سیمان در طرح مخلوط موجب کاهش ۱۰ درصدی عمق نفوذ آب تحت فشار می شود. شکل ۹ اثر سرباره در مقایسه با طرح شاهد را به نمایش می گذارد.



شکل ۹- اثر سرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار

۶. نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی همزمان اثر پوزولان‌های رایج مصرفی در کشور بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم بوده است. در این میان دوده سیلیس در درصد جایگزینی مناسب (۷ درصد) بیشترین (۶۵٪ کاهش) و سرباره با جایگزینی ۳۵



یازدهمین کنفرانس ملی بتن
۱۴،۱۵،۱۶ مهرماه ۱۳۹۸
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



درصد کمترین کاهش (۱۰ درصد) عمق نفوذ آب تحت فشار را از خود نشان می‌دهد. طرح های اختلاط مربوط به جایگزینی ژئولیت نشان می‌دهد افزودن ۵ درصد ژئولیت اثر چندانی بر کاهش عمق نفوذ آب نداشته و در عوض جایگزینی ۱۰ درصدی این پوزولان کاهش چشمگیری را به دنبال خواهد داشت. کاهش میزان سیمان به جهت مزایای اقتصادی و زیست محیطی که همواره مورد توجه محققان نیز می‌باشد تا مقدار بهینه ای موجب کاهش عمق نفوذ آب تحت فشار می‌گردد در پژوهش حاضر با کاهش عیار سیمان ۲۰ درصد کاهش عمق نفوذ مشاهده شد اما با کاهش بیشتر ۱۰ عیار سیمان عمق نفوذ آب تحت فشار افزایش ۱۰ درصدی پیدا کرد.

۷. قدردانی

بدین وسیله از شرکت دانش بنیان البرزشیمی آسیا بویژه مدیریت محترم آن جناب آقای مهندس آرش اویسی به پاس در اختیار قرار گذاشتن تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی و نیز راهنمایی های فنی که ما را در انجام این پژوهش یاری نموده اند صمیمانه تشکر می‌نماییم.



۸. مراجع

- [1] ACI Committee ۲۰۱. (۲۰۱۶). "Guide to Durable Concrete". American Concrete Institute.
- [۲] رمضانیاپور، علی اکبر، پورخورشیدی، علیرضا، (۱۳۸۵). "آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان". چاپ ۱، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران.
- [۳] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان: طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه . (۱۳۹۲). دفتر مقررات ملی ساختمان [وزارت مسکن راه و شهرسازی].
- EN 12390-1:2009.[4] *Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure, (2009)*
- [5] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, (2017). European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete (EFNARC)
- [۶] فدوسی، پرویز. (1385). "روش های طراحی نسبت های اختلاط در بتن خودتراکم"، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، تهران.
- Springer International .[7] Emilio, Luis., **Diaz Miron, Rendon.,** Dessi, a. (۲۰۱۷). "Concrete Durability" Publishing.
- [۸] هلند، ترنس سی. "راهنمای مصرف میکروسیلیس در بتن"، ترجمه رمضانیاپور، علی اکبر، اعرابی، نگین، (۱۳۹۱). انتشارات نگارنده دانش، تهران.
- [۹] سبحانی، جعفر، احمدی، بابک. (۱۳۹۳) "بهینه سازی طرح مخلوط بتنهای حاوی ژئولیت طبیعی و روباره کوره آهنگدازی". ششمین کنفرانس ملی بتن، تهران.