Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 2), 2021, pp. 236-247

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Effect of Pumice pozzolan and Metakaolin on the durability of recycled concrete and its bars corrosion

Maryam Kazemi Bojd[1], Seyed Roohollah Mousavi[2*], Abbasali Ghaderi[3]

1- M.Sc. Student, Civil Engineering Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2- Associate professor, Civil Engineering Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3- Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT

This study investigate the effect of Pumice and Metakaolin Pozzolans on properties of recycled concrete. In order to build the specimens, 10 percent of Taftan Pumice, 15 percent of Metakaolin and combination of both Pozzolans were replace to the cement. Compressive strength, water absorption, the penetration depth at the age of 28 days and 90 days for all specimens are obtained. The results of the tests indicate that the single use of Pozzolan operates better when it used in a composition. The specimen with 15 percent Metakaolin increased the compressive strength by 5.2 and 11.73 percent on days 28 and 90 in comparison with the recycled concrete specimen, respectively. Also in water absorption 27 percent decrease was caused on day 28 and 30 percent decrease was caused on day 90. And the 10 percent Pumice specimen performed better on day 90. On day 90 the water absorption was decreased by 25 percent and the remarkable decrease of penetration depth which was decreased by 53 percent. The reason of this reduction could be caused by the low hydration speed of Taftan Pozzolan and also the completion of Pozzolan and Morphology reactions. In the case of corrosion testing, the addition of Pozzolan alone increases concrete's resistance against corrosion, so the specimens with 15 percent Metakaolin and with 10 percent Pumice Taftan perform better in comparison with the combined specimen. The reason is that the uniform structure and also the presence of Hydrated Calcium Silicate gel(C-S-H), which decreases the cavities and the passing electrical flow which causes more corrosion resistance.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 15 July 2019
Revise Date: 20 December 2019
Accept Date: 17 May 2020

Keywords:
Recycled Concrete
Pumice Taftan
Metakaolin
Durability and Corrosion of rebar.

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.194346.1903

*Corresponding author: Seyed Roohollah Mousavi
Email address: s.r.mousavi@eng.usb.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

تأثیر پوزولان پومیس و متاکائولین بر روی دوام بتن بازیافتی و خوردگی میلگردهای آن

مریم کاظمی بجد [۱]، سید روح الله موسوی [۲*]، عباسعلی قادری [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان وبلوچستان

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان وبلوچستان

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

بتن ضایعاتی می تواند دوباره خرد شده و به عنوان سنگ دانه در ساخت بتن استفاده گردد ولی نکته مهم میزان اثرگذاری این مصالح بر روی مشخصات مکانیکی و دوام و خوردگی میلگرد در بتن بازیافتی می باشد. یکی از بهترین روش ها برای بهبود دوام و افزایش مقاومت در برابر خوردگی میلگرد در بتن ، استفاده از پوزولان است که اثر مثبت زیست محیطی دارد. در این مطالعه به تأثیر افزودن پوزولان‌های پومیس و متاکائولین بر دوام بتن بازیافتی به منظور استفاده مجدد از بتن‌های تخریبی در جهت حفظ محیط زیست پرداخته شده است. بدین منظور ۵ طرح اختلاط شامل ۱ طرح کنترلی با مصالح معمولی، و ۴ طرح اختلاط با مصالح بازیافتی ساخته شد. ماسه استفاده شده در بتن بازیافتی بصورت معمولی بود و سنگدانه های درشت از مصالح بازیافتی بود. در نمونه‌های بازیافتی از جایگزینی ۱۰ درصد پومیس تفتان، ۱۵ درصد متاکائولین و ترکیب ۱۰ و۱۵ درصدی آنها به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، استفاده شده است. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه عبارتند از: مقاومت فشاری، جذب آب ، عمق نفوذ در سنین ۲۸ و۹۰ روزه . نتایج آزمایش نشان می دهد که استفاده از پوزولان به صورت مجزا نسبت به ترکیب پوزولانها عملکرد بهتری داشته است. در مورد آزمایش خوردگی افزودن پوزولان ها به تنهایی باعث افزایش مقاومت بتن بازیافتی در برابر خوردگی می شود به طوری که طرح ۱۵ درصد متاکائولین و طرح ۱۰ درصد پومیس تفتان عملکرد بهتری در برابر خوردگی نسبت به طرح ترکیبی داشته اند که دلیل آن را داشتن ساختار یکنواخت و همچنین، حضور ژل سیلیکات کلسیم هیدراته C-S-H دانست که باعث کاهش حفرات و کاهش جریان عبوری می شود در نتیجه باعث مقاومت در برابر خوردگی می شود.

کلمات کلیدی: بتن بازیافتی، پومیس تفتان، متاکائولین، دوام، خوردگی میلگرد.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.194346.1903	doi:
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۱۳۹۸/۰۹/۲۹	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۴۰۰/۰۶/۳۱	10.22065/jsce.2020.194346.1903	

*نویسنده مسئول: سید روح الله موسوی

پست الکترونیکی: s.r.mousavi@eng.usb.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهمی که در حال حاضر مورد توجه همه در جهان قرارگرفته، مسئله بازیافت می‌باشد. با توجه به محدودیت عمر سازه‌های بتنی و همچنین تخریب سازه‌های بتنی در اثر عوامل طبیعی نظیر زلزله، سیل، طوفان و.....، همواره حجم انبوهی از بتن‌های تخریبی وجود دارد که سبب تخریب محیط زیست خواهند شد. از این رو بکارگیری سنگدانه های بتنی بازیافتی در تولید بتن‌های جدید، منجر به کاهش تخریب زیست محیطی و حفظ آن برای نسل‌های آینده می‌گردد. بتن ضایعاتی می تواند دوباره خرد شود و به عنوان سنگدانه در ساخت بتن استفاده گردد ولی نکته مهم میزان اثرگذاری این مصالح بر روی مشخصات مکانیکی و دوام و خوردگی بتن بازیافتی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌های افزایش دوام و مقاومت در برابر خوردگی میلگردها در بتن استفاده از پوزولان می‌باشد.

پایان جنگ جهانی دوم زمان شروع تحقیقات درباره استفاده مجدد از بتن تخریب شده به عنوان سنگدانه برای بتن جدید می باشد[۱].

دی بریتو و همکاران [۲] در مطالعه آزمایشگاهی بر روی مقاومت نمونه های بتنی که از مصالح سنگی ریزدانه بازیافتی با درصدهای مختلف ساخته شده بود به این نتیجه رسیدند که مصالح ریزدانه بازیافتی تا ۳۰ درصد تأثیری بر روی مقاومت فشاری ندارد. مقاومت کششی و مدول الاستیسیته نیز با افزایش درصد ریزدانه کاهش می یابد ولی مقاومت سایشی با جایگزینی ریزدانه بازیافتی به جای ریزدانه طبیعی افزایش می یابد.

کوموتا و ویجای [۳] در مطالعه‌ای آزمایشگاهی نشان دادند که با افزایش سنگدانه های بازیافتی دربتن مشخصات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته کاهش می یابد.

خاویر زگا و دی مایو [۴] در تحقیقی با استفاده از ریزدانه‌های بازیافتی به این نتیجه رسیدند که مقاومت فشاری بتن ساخته شده با ۲۰ و ۳۰ درصد از ریزدانه‌های بازیافتی مشابه مقاومت بتن ساخته شده با ۱۰۰ درصد ریزدانه طبیعی است. استفاده از ۳۰ درصد ریزدانه بازیافتی در تولید بتن موجب افزایش ۱۵ درصدی جذب آب بتن و افزایش ۸ درصدی نفوذپذیری آب در بتن شد.

پریرا و همکاران [۵] تأثیر فوق روان کننده ها را بر روی دوام و مقاومت فشاری بتن بازیافتی مورد مطالعه قرار داده و نتایج مطالعه آنها نشان می دهداستفاده از فوق روان کننده ها به جای سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری بتن بازیافتی نسبت به بتن مبنا می شود.

مقیمی و همکاران [۶] تأثیر استفاده از میکروسیلیس و فوق روان کننده را بر روی بعضی از خواص مکانیکی بتن بازیافتی مورد بررسی و به این نتیجه رسیدند که استفاده از میکروسیلیس و فوق روان کننده در برخی آزمایش ها مثل مدول الاستیسیته و یا مقاومت کششی نتوانسته کاهش ناشی از استفاده مصالح بازیافتی در تهیه بتن را جبران کند.

نتایج مطالعه ممتازی و طهمورثی [۷] نشان می دهد که افزودن شن و ماسه ی بازیافتی به جای شن و ماسه طبیعی باعث کاهش مقاومت و افزایش درصد جذب آب می شود.

آناند کوبر و همکاران [۸] تأثیر متاکائولین را بر روی مقاومت و عملکرد خوردگی فولاد تعبیه شده در بتن مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از ۱۵ درصد متاکائولین بهترین عملکرد را در مقاومت فشاری، جذب آب و خوردگی میلگرد دارد و همچنین آنها نشان دادند با افزایش میزان متاکائولین به ۲۰ درصد مقاومت فشاری در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه کمتر می‌شود و خوردگی میلگرد بیشترمی شود و در بتن با ۱۰و ۱۵ درصد متاکائولین کمترین نرخ خوردگی نسبت به بتن مبنا مشاهده می شود. و در مورد جذب آب بتن با درصدهای ۵ و ۱۰ و۱۵ بهترین عملکرد را داشته است.

ارهان گنیسی و همکاران [۹] تأثیر میکروسیلیس و متاکائولین را بر روی مقاومت و ترک خوردگی بتن با درصدهای ۵ و ۱۵ به صورت جداگانه مورد بررسی و به این نتیجه رسیدند که ۱۵ درصد متاکائولین بهترین عملکرد را داشته و اینکه هر چه نسبت آب به سیمان کمتر، درصد پوزولان بیشتر، مقاومت افزایش و جذب آب کاهش می یابد.

راشاد و همکاران [۱۰] تأثیر مصالح ریزدانه بازیافتی با متاکائولین را بر مقاومت فشاری، کششی و سایشی بتن با درصدهای جایگزین ۱۰ ٪، ۲۰ ٪، ۳۰ ٪، ۴۰ ٪و ۵۰ ٪ مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مقدار مناسب متاکائولین می تواند در بازدهی جایگزینی شن و ماسه در بتن تأثیر داشته طوری که مقاومت فشاری و کششی تا ۴۰ درصد افزایش و بعد از آن کاهش می یابد و چگالی بتن سخت شده با افزایش مقدار متاکائولین و جایگزینی شن و ماسه کاهش می یابد. مقاومت در برابر سایش با ۴۰ درصد جایگزینی در سنین ۲۸ و ۹۱ و ۵۰۰ روزه به ترتیب ۲۳/۱۲ ٪ و ۳۶/۱۸ ٪ و ۴۶/۲۴ ٪ بهبود یافته است.

کلستمور و بهار دمیر [۱۱] تأثیر متاکائولین را بر روی مقاومت در برابر خوردگی میلگرد در سازه های بتن سبک مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که ۱۵ درصد متاکائولین عملکرد مطلوب تری نسبت به درصد های دیگر در مقاومت فشاری،کششی،جذب آب، تخلخل و مقاومت در برابر خوردگی میلگرد دارد.

خزائنی [۱۲] در مطالعه‌ای تأثیر پومیس و متاکائولین را بر روی بتن خودتراکم مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسیدند که ۱۵ درصد متاکائولین بهترین عملکرد در طرح های تک پوزولان در مقاومت فشاری، جذب آب، عمق نفوذ، مقاومت در برابر خوردگی را داشته است و طرح های ترکیبی مربوط به ۱۵درصد متاکائولین و پومیس با درصدهای ۵و ۱۰ و ۱۵ درصد می باشد.

با توجه به تحقیقات گفته شده در مورد پوزولان متاکائولین و پومیس تفتان استفاده از این پوزولان‌ها با ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی با سیمان عملکرد بهتری داشته‌اند. در این تحقیق تأثیر این پوزولانها بر روی بهبود خواص بتن بازیافتی بررسی خواهد شد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی برای بتن معمولی

مصالح سنگی مورد استفاده از معادن اطراف شهر زاهدان تهیه گردیده است. آزمایش وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت دانه بر اساس استاندارد ASTMC127-07[۱۳] انجام شده و آزمایش وزن واحد حجم براساس استاندارد ASTMC29/C29 M-09 [۱۴] انجام شده است مقادیر آنها در جدول شماره ۱ ارائه شده است. آزمایش وزن مخصوص و جذب آب مصالح ریزدانه بر اساس استاندارد ASTM C128-07a[۱۵] انجام و نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است. همچنین دانه بندی براساس استاندارد ASTMC136-06[۱۶] انجام شده است. سیمان مورد استفاده تیپ ۲ سیستان با وزن مخصوص ۲۸۹۵/۹۳ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشد. در این مطالعه همچنین پومیس تفتان و متاکائولین استفاده شده است که وزن مخصوص آنها به ترتیب، ۲۵۴۳و ۲۵۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. نتایج حاصل از آنالیز بر روی سیمان مصرفی و پومیس تفتان و متاکائولین در جدول شماره ۳ آورده شده است.

۲-۲- مواد ومصالح مصرفی برای بتن بازیافتی

برای تهیه مصالح سنگی بازیافتی درشت دانه از تخریب و خردشدن نمونه های بتن معمولی اولیه که به همین منظور ساخته شده استفاده شده است. آزمایش وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت دانه بازیافتی بر اساس استاندارد ASTMC127-07 [۱۳] و آزمایش وزن واحد حجم آن براساس استاندارد ASTM C29/C29 M-09[۱۴] انجام شده است و نتایج این آزمایشات در جدول شماره ۴ ارائه شده است. مصالح ریزدانه در بتن بازیافتی همانند طرح بتن معمولی از ماسه طبیعی استفاده شده است.

۲-۳-مشخصات طرح اختلاط

در این تحقیق از روش انستیتوی بتن آمریکا(ACI) که از ساده ترین و کارآمدترین روش های موجود می باشد، برای تعیین طرح اختلاط بتن معمولی استفاده شده است. طرح اختلاط بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ثابت و به میزان (۰/۴۸) طراحی گردید. بقیه طرح ها با جایگزینی درصدهای مختلف پوزولان به عنوان بخشی از سیمان مصرفی، با شرط ثابت بودن حجم بتن، ساخته می شود.

همچنین با توجه به وجود ملات سیمان هیدراته شده در اطراف سنگ دانه های بازیافتی مقداری از آب بتن جذب می شود، لذا آزمایش اسلامپ به عنوان ملاکی جهت تعیین میزان آب مصرفی در بتن استفاده شده است که در این تحقیق آزمایش اسلامپ بتن مبنا ۸ سانتی-متر بوده و در کلیه مراحل در نظر گرفته شده است. با توجه به تحقیقات گذشته انجام شده بر روی بتن های مختلف، درصدهای ۱۰ و ۱۵ به ترتیب، برای پومیس تفتان و متاکائولین به عنوان درصد بهینه در نظر گرفته شده است. بر همین اساس بتن معمولی اولیه (NC) به عنوان بتن مبنا (شاهد) شناخته می شود و ۴ مرحله بتن بازیافتی به شرح ذیل و مورد آزمایش قرار گرفت. طرح ۱: طرح بتن بازیافتی بدون مواد جایگزین(RC)، طرح ۲. طرح بتن بازیافتی با جایگزینی ۱۰ درصد پوزولان پومیس تفتان به جای سیمان(RCP10)، طرح۳. بتن بازیافتی با جایگزینی۱۵درصد متاکائولین به جای سیمان (RCM15) و طرح۴. بتن بازیافتی با جایگزینی۱۰درصد پوزولان پومیس تفتان و ۱۵ درصد متاکائولین به جای سیمان (RCP10M15) می باشد. با توجه به مطالب بیان شده و انجام آزمایش های مربوط به سنگ دانه بر روی مصالح بازیافتی، ترکیب مصالح در هر مرحله تولید بتن به تفکیک در قالب جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی درشت دانه مصرفی

نوع سنگدانه	خصوصیات فیزیکی	مقادیر
درشت دانه	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک(کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۷۳۶
	جذب آب (درصد)	۰/۵۹
	اندازه بزرگترین دانه (میلیمتر)	۲۵
	وزن واحد حجم (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱۵۰۲/۲

جدول ۲- مشخصات فیزیکی ریزدانه مصرفی

نوع سنگدانه	خصوصیات فیزیکی	مقادیر
ریز دانه	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک(کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۶۰۰
	جذب آب (درصد)	۰/۶۸
	مدول نرمی	۳/۳

جدول ۳- نتایج حاصل ازآنالیز بر روی سیمان، پوزولان تفتان و متاکائولین

نوع مصالح	L.O.I	SO_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
سیمان تیپ ۲ سیستان	۱/۵۲	۲/۸۸	۰/۴۳	۰/۵۶	۶۲/۵۲	۱/۳۱	۳/۸۲	۴/۵	۲۱/۴۸
پومیس تفتان	۲	۰/۳۸	۱/۶	۱/۸	۶/۶	۲/۶	۵	۱۸/۵	۶۱
متاکائولین	۰/۷	۰	۰/۰۳	۱/۹	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۸	۴۴/۷	۵۲/۱

مشخصات فیزیکی شن مصرفی در نمونه‌های بتن بازیافتی

نوع سنگدانه برای بتن بازیافتی	خصوصیات فیزیکی	مقادیر
درشت دانه	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک(کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۷۱۰
	جذب آب (درصد)	۶/۹۳
	اندازه بزرگترین دانه (میلیمتر)	۲۵
	وزن واحد حجم (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱۲۰۷

جدول ۵- مصالح مورد استفاده برای طرح‌های مختلف بتن بازیافتی در حجم ۶۰ لیتر بر حسب کیلوگرم

نام طرح	بادامی	نخودی	ماسه	سیمان	پومیس	متاکائولین
NC	۳۸/۰۴	۱۶/۳۱	۴۶/۶۱	۲۳/۷۲	۰	۰
RC	۳۰/۵۸	۱۳/۱۱	۵۶/۹۴	۲۳/۷۲	۰	۰
RCP10	۳۰/۵۸	۱۳/۱۱	۵۶/۰۳	۲۱/۳۵	۲/۳۷	۰
RCMK15	۳۰/۵۸	۱۳/۱۱	۵۶/۴۸	۲۰/۱۶۵	۰	۳/۵۶
RCP10MK15	۳۰/۵۸	۱۳/۱۱	۵۶/۳۳	۱۷/۸	۲/۳۷	۳/۵۶

۲-۴-آزمایش های انجام شده

مقاومت فشاری : آزمایش فشاری بر اساس استاندارد BS1881-116 [۱۷] با آزمونه های مکعبی ۱۵۰ میلیمتری و در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شده است. جهت تعیین مقاومت فشاری بعد از میانگین‌گیری بین سه آزمونه، ضریب تبدیل ابعاد مکعبی به استوانه ای در نظر گرفته می شود.

آزمایش نفوذپذیری: آزمایش نفوذآب بر اساس استاندارد DIN1048 [۱۸] آزمونه های مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتری در سن ۲۸ و۹۰ روزه تحت فشار ثابت ۵ اتمسفر انجام شده است.

آزمایش جذب آب حجمی : بر اساس استاندارد BS 1881part122 [۱۹] با آزمونه های بتن مغزه گیری شده از سازه یا اجزای پیش ساخته به شکل استوانه به قطر ۷۵ میلیمتر و ارتفاع ۳۲ تا ۱۵۰ میلیمتر تعیین می شود. در این مطالعه اندازه گیری جذب آب حجمی بر روی آزمونه های استوانه ای به قطر ۷۵ میلیمتر و ارتفاع ۷۵ میلیمتر در سن ۲۸ و ۹۰ روزه انجام گردید.

آزمایش خوردگی تسریع یافته: این آزمایش با الگوبرداری از تحقیقات انجام شده توسط توران و همکاران[۲۰] و ورایف بوگا و همکاران[۲۱] انجام شده است. به منظور انجام این آزمایش آزمونه ها به شکل استوانه به قطر ۱۵۰ میلیمتر و ارتفاع ۳۰۰ میلیمترمی باشدکه در محور مرکزی آنها، میلگرد آجدار به قطر اسمی ۱۸ میلیمتر و طول ۳۵۰ میلیمتر قرار داده شد. این میلگرد طوری تعبیه شده است که سر آنها در حدود ۱۰۰ میلیمتر از بتن بیرون و انتهای آنها نیز در حدود ۵۰ میلیمتر از کف قالب فاصله دارد. به جهت برقراری اتصال مناسب جریان به میلگرد ها، ضمن زنگ زدایی با برس سیمی، در انتهای بیرونی میلگرد جهت اتصال سیم، سوراخی تعبیه گردید. همچنین به منظور جلوگیری از تماس آب با قسمت بیرون زده میلگرد از آزمونه در مدت عمل آوری، طول ۱۳۰ میلیمتر (۱۰۰ میلیمتر بیرون آزمونه و ۳۰ میلیمتر از میلگرد درون آزمونه) علاوه بر پوشش اپوکسی، از یک روکش با چسب نواری برق استفاده می شود.

سیستم خوردگی تسریع شده در این مطالعه شامل یک حوضچه حاوی محلول کلرید سدیم ۵٪ و شبکه فلزی واقع شده در کف حوضچه و یک منبع تغذیه ۱۲ ولت می باشد. آزمونه ها بعد از مدت ۹۰ روز به حوضچه مورد نظر منتقل می شود. نمونه ها طوری در محلول الکترولیت روی شبکه فلزی قرار می گیرد که ⅔ ارتفاع آزمونه داخل محلول و ⅓ ارتفاع آزمونه خارج از محلول باشد.جریان عبوری در این سیستم به صورت روزانه توسط یک مولتی متر اندازه گیری شده و به منظور حفظ خواص اولیه محلول الکترولیت هر ده روز یکبار تعویض شده است(شکل ۱).

شکل ۱-آزمونه ها و مجموعه تجهیزات آزمایش خوردگی تسریع یافته

میزان خوردگی میلگرد بر حسب جرم از دست رفته با توجه به قانون فارادی برای کلیه طرح ها بر اساس فرمول زیر محاسبه می شود[۲۲].

$$\Delta w = \frac{A.I.t}{Z.f}$$

A : وزن اتمی آهن برابر ۵۶ گرم

I : میزان جریان ثابت اعمالی برحسب آمپر

t : زمان اعمال جریان بر حسب ثانیه

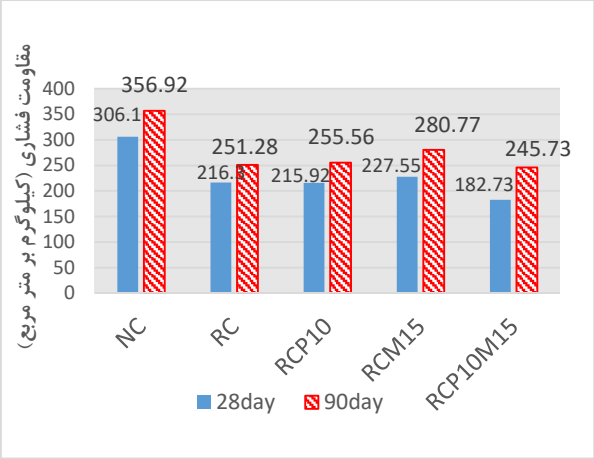
Z : ظرفیت واکنش الکترودی برای آهن ۲ است

f : ثابت فارادی برابر ۹۶۵۰۰ آمپر – ثانیه

۳- نتایج و بررسی آن ها

۳-۱- نتایج مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری در سنین ۲۸ و ۹۰ روز بر روی آزمونه های مکعبی ۱۵۰ میلیمتری بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع در شکل ۲ مشاهده می شود.

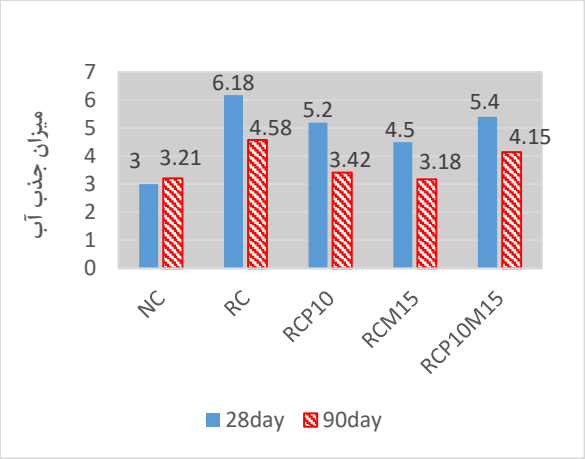


شکل ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۲۸ و۹۰ روزه

با توجه به شکل نمونه های بتن بازیافتی در مقایسه با بتن معمولی دچار افت مقاومتی در حدود ۳۰ درصد شدند. جایگزین کردن ۱۵ درصد متاکائولین به جای سیمان در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه شاهد بازیافتی کسب کرده است در حالی که طرح ۱۰ درصد پومیس تفتان نه تنها افزایش مقاومت ۲۸ روزه را نداشته اند بلکه نسبت به بتن بازیافتی شاهد ۰/۴۶ درصد دچار کاهش بودند علت آن را می توان اثرگذاری پوزولان بر روی مشخصات مکانیکی در سنین بالاتر (۹۰ روز) عنوان کرد که در سن ۹۰ روز جبران شده است. طرح ترکیبی پومیس و متاکائولین باعث افت مقاومت فشاری گردیده است مقاومت فشاری در سن ۹۰ روز نسبت به ۲۸ روز به مراتب مطلوبتر است و مقاومت رو به بهبودی است دلیل آن را عدم اثرگذاری پودر پوزولان در سنین اولیه و همچنین اثر منفی پومیس بر روی مقاومت فشاری دانست. طوری که در سن بالاتر(۹۰روز) با تکمیل شدن واکنش پوزولانی پومیس و متاکائولین و تولید ژل C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته) بیشتر باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به ۲۸ روز شده است ولی در حدود ۲/۲ درصد نسبت به بتن بازیافتی شاهد، مقاومت فشاری کمتری داشته است. اما، نتایج تحقیق گذشته [۱۲] بر روی اثرات این پوزولان‌ها بر روی بتن خودتراکم نشان داده است، در طرح های ترکیبی متاکائولین ۱۵ درصد با پومیس ۵ درصد بهترین نتیجه را در مقاومت فشاری داشته و افزودن پومیس باعث بهبود عملکرد متاکائولین در مقاومت فشاری می شود. همچنین در تحقیق اوژان و بهار دمیر[۱۱] برروی بتن سبک، ۱۵ درصد متاکائولین عملکرد مطلوبتری نسبت به درصدهای دیگر در مقاومت فشاری داشته است.

۳-۲- نتایج آزمایش جذب آب

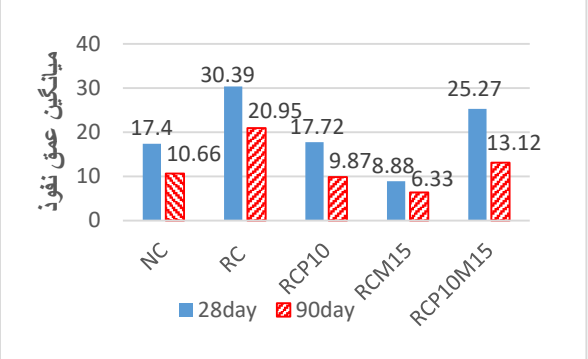
نتایج آزمایش جذب آب در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بیانگر این می باشد که نمونه های بتن بازیافتی بدون مواد جایگزین دارای افزایش جذب آب نسبت به بتن معمولی بوده است که دلیل آن وجود سیمان هیدراته شده در اطراف دانه های سنگی می باشد. با افزودن پومیس تفتان در سن ۲۸ روز میزان جذب آب نسبت به بتن بازیافتی شاهد ۱۵ درصد کاهش و با افزودن متاکائولین ۲۷ درصد کاهش رخ داده است. همچنین، نتایج تحقیق خزائنی [۱۲] در بتن خودتراکم نشان می‌دهد جذب آب در بتن حاوی متاکائولین به مقدار ۱۵ درصد دارای بهترین عملکرد می‌باشد.



شکل ۰- نتایج آزمایش جذب آب در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه

۳-۳- نتایج آزمایش نفوذپذیری (عمق نفوذ)

شکل ۴ نتایج آزمایش عمق نفوذ آب طرح های بتن بازیافتی را در سنین ۲۸ و ۹۰ روز نشان می دهد. بر اساس این نتایج طرح ۱۵ درصد متاکائولین به تنهایی بهترین عملکرد را داشته است و طرح ۱۰ درصد پومیس تفتان در سن ۲۸ روز کاهش حدود ۴۱ درصد عمق نفوذ آب را نسبت به نمونه بتن شاهد بازیافتی داشته و این کاهش با افزایش سن بتن (۹۰ روز) به مراتب بیشتر شده که دلیل آن تکمیل واکنش های پوزولانی در سنین بالاتر و عملکرد بهتر می باشد. اما، در تحقیق بتن خود تراکم [۱۲] بهترین عملکرد مربوط به ترکیب ۱۰درصد متاکائولین با ۱۰ درصد پومیس تفتان داشته و طرح های ترکیبی به مراتب عملکرد بهتری نسبت به طرح های تک پوزولان دارند. در بین طرح های تک پوزولان ۱۵ درصد متاکائولین کاهش عمق نفوذ بهتری داشته است.



شکل ۴- نتایج آزمایش عمق نفوذپذیری در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه

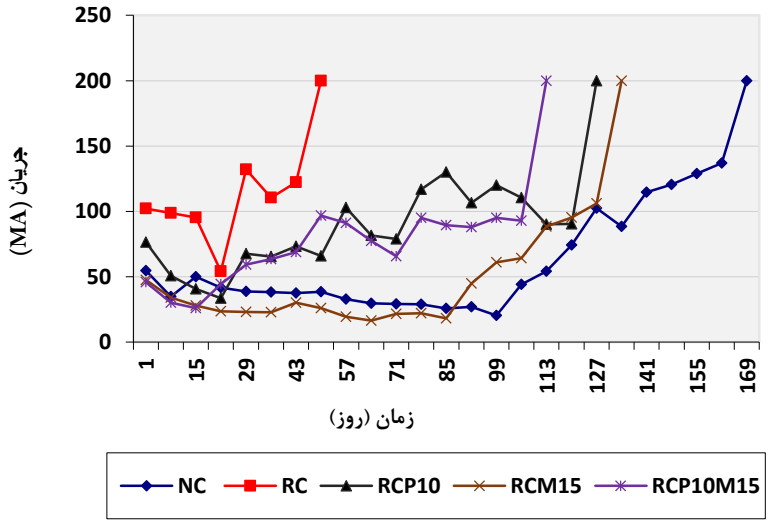
۳-۴- نتایج آزمایش خوردگی تسریع یافته

در شکل ۵ روند تغییرات جریان عبوری با مقدار ۲۰۰ میلی‌آمپر در سن ۹۰ روز بر روی نمونه ها و طرح ها مشاهده می شود. طرح های دارای پوزولان، جریان عبوری اولیه کمتری نسبت به نمونه شاهد بتن بازیافتی داشته است که نشان دهنده کاهش رسانایی بتن ناشی از انسداد و همچنین کاهش ارتباط بین حفرات در اثر واکنش پوزولانی می باشد.

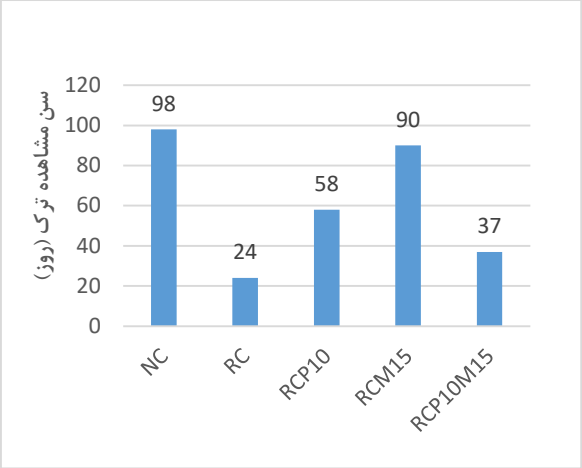
با افزایش محصولات خوردگی میلگرد و انبساط ناشی از آن، ترک ها گسترش یافته و بزرگ تر شدند. در طول اندازه گیری جریان اولیه نمونه ها مشاهده می شود که شروع ترک ابتدا پس از ثابت شدن جریان در یک بازه زمانی، با تغییر ناگهانی جریان اتفاق می افتد که این امر به دلیل وجود ترک های ریز در بتن و برقراری ارتباط بیشتر محلول با میلگرد می باشد و پس از طی چند روز محصولات خوردگی میلگرد افزایش و ترک بزرگتر و قابل مشاهده می شود.

نتایج سن مشاهده ترک همه طرح ها در شکل ۶ ارائه شده است. این شکل نشان دهنده تأثیر استفاده از پوزولان متاکائولین و پومیس تفتان در بتن بازیافتی بر مقاومت در برابر خوردگی است. طوری که استفاده از این دو پوزولان به تنهایی باعث تعویق سن ترک خوردگی در بتن بازیافتی شده است اما طرح ترکیبی این دو پوزولان نسبت به دو طرح دیگر عملکرد مطلوبی نداشته است. در شکل ۷ میزان خوردگی میلگرد بر حسب جرم از دست رفته ارائه شده است. با توجه به قانون فارادی میزان خوردگی بر حسب جرم یا میزان نرخ از دست رفته جرم برای کلیه طرح ها محاسبه شد. طرح ۱۵ درصد متاکائولین ۳ درصد و طرح ۱۰ درصد پومیس تفتان ۳/۸ درصد و طرح ترکیبی ۴/۲ درصد و طرح بتن بازیافتی شاهد ۱۰ درصد و طرح بتن معمولی ۱/۸ درصد خوردگی میلگرد داشته که این نشان دهنده این می باشد که طرح های ۱۵ درصد متاکائولین و ۱۰ درصد پومیس تفتان به مراتب عملکرد بهتری داشته اند و مانع از خوردگی میلگرد شده اند در حالی که طرح ترکیبی عملکرد مناسبی نداشته است که این می تواند به این علت باشد که در پومیس واکنش های پوزولانی با سرعت هیدراتاسیون پایینی انجام می شود به همین دلیل در سنین بالاتر نتایج بهترو مطلوبتری مشاهده می شود ودر متاکائولین سرعت هیدراتاسیون و واکنش ها در سنین اولیه (۲۸ روز) سریعتر انجام می شود و در ترکیب پومیس و متاکائولین شاید یکسری از واکنش های پوزولانی انجام نشده و یا ژل

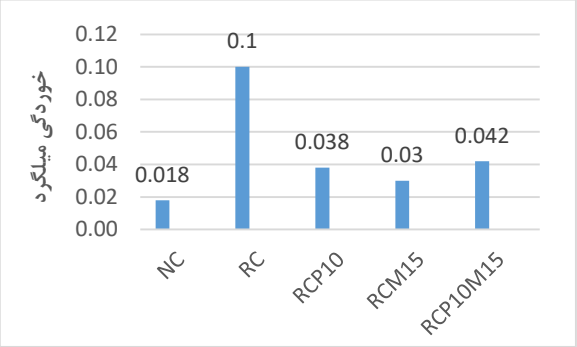
C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته) به میزان کافی در خمیر سیمان تشکیل نشده است. حضور ژل سیلیکات کلسیم باعث کاهش حفرات و کاهش جریان عبوری می شود در نتیجه باعث مقاومت در برابر خوردگی می شود و میلگرد به میزان کمتری خورده یا جرم از دست می دهد. در تحقیق آوژان و بهاردمیر [۱۱] بر روی بتن سبک، طرح حاوی ۱۵ درصد متاکائولین بهترین عملکرد را در برابر خوردگی داشته است و افزایش متاکائولین باعث کاهش مقاومت در برابر خوردگی شده است. دلیل این کاهش واکنش پوزولانی و تغییر در محتوای هیدروکسید کلسیم از نمونه با افزایش نسبت متاکائولین است. در متاکائولین ۲۰درصد کاهش کریستال هیدروکسید کلسیم به دلیل کاهش واکنش پوزولانی بین متاکائولین و هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ در طول هیدراتاسیون سیمان است.



شکل ۵- تغییرات عبور جریان از نمونه ها نسبت به زمان



شکل۶- سن مشاهده ترک در طرح اختلاط های مختلف



شکل ۷- میزان خوردگی میلگرد بر حسب جرم از دست رفته

۴-نتیجه گیری

با مطالعه بر روی تحقیقات گذشته مشاهده شده که مطالعه ی کمی بر روی اثر متاکائولین و پومیس تفتان بر روی بتن بازیافتی انجام شده است. نوآوری این تحقیق استفاده از پوزولان های پومیس تفتان و متاکائولین است که در بتن خودتراکم و بتن سبک و.... مورد بررسی قرارگرفته ولی بر روی میزان اثربخشی این پوزولانها در مشخصات مکانیکی و دوام بتن بازیافتی تحقیقی انجام نشده است. با چهار طرح با پولازون و بدون پوزولان در بتن بازیافتی و مقایسه آنها با بتن معمولی نتایج زیر بدست آمده است:

۱. در طرح بتن بازیافتی حاوی ۱۵ درصد متاکائولین در سنین اولیه افزایش مقاومت نسبت به نمونه بتن بازیافتی شاهد، مشاهده شده است در حالی که طرح ترکیبی حاوی پومیس و متاکائولین دچار افت مقاومت شده است و با افزایش سن بتن و تکمیل واکنش های پوزولانی، مقاومت فشاری در این طرح افزایش یافته ولی به مقاومت نمونه شاهد نرسیده است.
۲.با بررسی نتایج آزمایش جذب آب نتیجه می شود که عملکرد پوزولان ها بصورت جداگانه بهتر از عملکرد ترکیبی آنها بوده است. طرح حاوی متاکائولین ۲۷ درصد کاهش جذب آب در سن ۲۸ روز و ۳۰ درصد کاهش را در سن ۹۰ روز نسبت به طرح شاهد بتن بازیافتی نشان داده است. طرح حاوی پومیس تفتان در دراز مدت نسبت به کوتاه مدت عملکرد بهتری داشته، به گونه ای که در سن ۹۰ روز ۲۵ درصد کاهش و در سن ۲۸ روز ۱۵ درصد کاهش جذب آب را نسبت به طرح شاهد بتن بازیافتی داشته است.
۳. نتایج آزمایش نفوذپذیری نشان می دهد که طرح های دارای پوزولان تنها عمق نفوذ کمتری داشته اند به طوری که عمق نفوذ در طرح بتن بازیافتی حاوی متاکائولین در سن ۲۸ روز ۷۰ درصد کاهش عمق نفوذ و طرح بتن بازیافتی حاوی پومیس تفتان در سن ۲۸ روز ۴۱ درصد کاهش را نسبت به طرح شاهد بتن بازیافتی داشته است.

۴. افزودن پوزولان ها به تنهایی باعث افزایش مقاومت بتن بازیافتی در برابر خوردگی می شود به طوری که طرح حاوی ۱۵ درصد متاکائولین و طرح حاوی ۱۰ درصد پومیس تفتان عملکرد بهتری را در برابر خوردگی نسبت به طرح ترکیبی داشته اند. حضور ژل ثانویه باعث کاهش حفرات و کاهش جریان عبوری می شود در نتیجه باعث افزایش مقاومت در برابر خوردگی می گردد.

۵-مراجع

1. Elhakam A , Mohamed A.E, Awad E.2012. Influence of self-healing , mixing method and adding silica fume on mechanical properties of recycled aggregates concrete ,Construction and Building Materials,Vol.35,pp.421-427.
2. L. Evangelista , J.de Brito . 2007. Mechanical behavior of concrete made with fine recycled concrete aggregates ,Cement & Concrete composites , Vol.29.pp.397-401.
3. R.kumutha,K.Vijai.2012.Strength of concrete incorporating aggregatws recycled from demolition waste. ARPN Journal of Engeneering and Aplied Sceinces,Vol.5,No.5.
4. C.J.Zega ,A.A.Di Maio.2011. Use of recycled fine aggregate in concrete with durable requirements , Waste Management, Vol 31, pp.2336-2340.
5. Pereira,L.Evangelista,J.deBrito.2012.The effect of superplasticisers on workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials , Vol.28,pp.722-729.
6. Moghimi,Shafigh,Berengian,Nemati.2010 Experimental Investigation of Effects of Microsilica and Superpalasticizer on some Mechanical Properties of Recycled Concrete Made of Crushed Concrete, Civil Engineering Journal of Ferdowsi University of Mashhad,Vol.21,No.2.

۷. ممتازی ع، طهمورثی م .ح، بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی سنگدانه ضایعاتی بتنی، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۱.

8. Kuber.A.P, Babu.B.R,Karthik.A, Kumaar.D, Planiswamy.2008.,Study on strength and corrosion performance for steel embedded in metakaolin blended concrete, Science Direct Construction and Building Materials, Vol.22, pp.127-134.
9. Guneyisi.E.,Gesoglu.M.,Karaoglu.S.,Mermerdas.K.2012.Strength , permeability and shrinkage cracking of silica fume and metakaolin concretes,Vol.34,pp.120-130.
10. .Rashad.Alaa M.2013. A Preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete, Construction and Building Materials ,Vol .44 . pp.487-495.
11. Kelestemur.o.Demirel.B.2015. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural light weight concrete,Construction and Building. Vol.81.pp.172-178.2015.
12. T.Khazaeni.2013.The Inrestigation of corrosion and chloride ion diffusion of selfcompacting concrete with pumice & metakaolin,The Dissertation of M.sc.in Civil Engineering Strcuture, University of Sistan and Baluchestan.
13. ASTM C127-07.2007. Standard Test Method for Density,Relative Denstiy(Specific Gravity), and Absorptiong of Coarse Aggregate American Society for Testing and Materials.
14. ASTM C29/C29 M-09.2009. Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate, American Society for Testing and Materials.
15. ASTM C128-07a.2007. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) ,and Absorption of Fine Aggregate , American Society for Testing and Materials .
16. ASTM C136-06.2006.Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.
17. BS 188-116.1983.Method for determination of compressive strength of concrete cubes, British Standard.
18. DIN 1048,Concrete harden- Determination of the depth of Penetraion Water under Pressure.
19. BS 1881, Part 122, Test for uudetermining the initial Surface absorption, British Standarads Institution, 1983.
20. Guneyisi, E., Ozturan,T., Gesog lu, M.,A.2005. Study on reinforcement Corrosion and related Propertied of Plain and blended cement concretes under different curing conditions, Cement & Concrete Composites , Vol.27 , pp. 449-461.
21. Bog a, A.R.,Topcu.I.B.2012. Influence of fly ash on corrosion resistance and chloride ion permeability of concrete, Construction and Building Materials, Vol.31,pp.258-264.
22. Ijsseling,F.p.1986.Application of Electrochemical Methods of Corrosion rate Determination to System Involving Corrosion Product layers, Br. Corros. J,Vol.21.No.2,pp.95-101.