

نقش پوزولانهای طبیعی در کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام بتن‌ها در محیط‌های خورنده کلرایدی

علی اکبر رمضانپور^{۱*}؛ منصور پیدایش^۲؛ سید سجاد میرولد^۳؛ احسان آرامون^۴

چکیده

نتایج مطالعات آزمایشگاهی بر روی اثر پوزولانهای طبیعی تراس جاجرود، پومیس اسکندان، توف آبیگ و پومیس خاش بر دوام بتن‌های معمول سازه‌ای در حمله کلرایدی در این مقاله ارائه می‌شود. در این مطالعه نمونه‌های بتنی با سه درصد جایگزینی وزنی مختلف سیمان با پوزولان ساخته شده و در سنن مختلف آزمایشهای نفوذ تسریع شده یون کلراید، مقاومت الکتریکی، نفوذپذیری آب، جذب مویبگی آب و پتانسیل نیم پیل بر روی آنها انجام شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب پوزولانهای طبیعی در مقابل نفوذ یون کلراید و خوردگی آرماتورها در مقایسه با بتن‌های معمولی بدون پوزولان می‌باشد. خواص و میزان جایگزینی پوزولان طبیعی در کنترل نفوذ یون کلراید و مقاومت در برابر خوردگی آرماتورها موثر می‌باشد.

کلمات کلیدی

حمله کلرایدی، پوزولان طبیعی، نفوذ تسریع شده یون کلراید، مقاومت الکتریکی، پتانسیل نیم پیل، نفوذپذیری و جذب آب.

Natural Pozzolans Role in Permeability Reduction and Promoting the Concrete Durability Against Chloride Attack

A.A. Ramezaniapour; M. Peydaayesh; S.S. Mirvalad; E. Aramoon

ABSTRACT

This paper presents the results of experimental study on the effect of natural pozzolans: Jajrood Truss, Eskandan Pumice, Abyek Tuff, and Khash Pumice, on the ordinary structural concrete durability in chloride corrosion. Concrete specimens were made of three pozzolan replacements, and Rapid Chloride Penetration test, Electrical Resistance test, Half-Cell Potential test, water permeability test, and water adsorption test were conducted in different ages.

Generally, the results indicate that natural pozzolans have positive effects on concrete specimen resistance to the chloride ions penetration and bars corrosion in comparison with concretes containing ordinary cement.

KEYWORDS

Chloride attack, Natural Pozzolan, Rapid Chloride Penetration test, Electrical resistance, Half-Cell potential, permeability and water adsorption.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۱۱/۱

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۳/۲۳

^۱ نویسنده مسئول و رئیس مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن، استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Email: aaramce@aut.ac.ir

^۲ منصور پیدایش، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Email: peydyesh@aut.ac.ir

^۳ سید سجاد میرولد، کارشناس ارشد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Email: mirvalad@aut.ac.ir

^۴ احسان آرامون، کارشناس ارشد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Email: ehsan.aramoon@gmail.com



۱- مقدمه

معادنی همچون تراس جاجرود، پومیس اسکندان و خاش و توف آبیگ در تولید سیمان پوزولانی در ایران، در این تحقیق به بررسی عملکرد بتن های ساخته شده از این پوزولانها در محیطهای خورنده کلرایدی بعنوان اصلی ترین عوامل خوردگی در مناطق جنوبی کشور، پرداخته شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سنگدانه

سنگدانه مورد استفاده در این طرح آزمایشگاهی از شرکت متوساک تهیه شده است. ماسه مصرفی، ماسه طبیعی شسته و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه ۲۵ میلیمتر می باشد. منحنی دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده که در نمودار (۱) دیده می شود، در ناحیه مورد قبول استاندارد ایران برای دانه بندی با حداکثر قطر سنگدانه ۲۵ میلیمتر قرار دارد. مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی در جدول (۱) ارائه شده است.

سیمان و پوزولان

سیمان استفاده شده، سیمان نوع یک ۴۲۵ کارخانه سیمان تهران می باشد. پوزولانها طی بازدیدهایی از معادن جاجرود، اسکندان، آبیگ و خاش نمونه برداری شده و برای استفاده در آزمایش آسیاب شده اند. نتایج آزمایش XRF و خواص مکانیکی سیمان و پوزولانها در جدول (۲) ارائه شده است.

آب و مواد افزودنی

در ساخت مخلوطهای بتنی از آب آشامیدنی تهران استفاده شده است. همچنین برای ثابت نگاه داشتن اسلامپ مخلوطها از فوق روان کننده ژلنیم P110 استفاده شده است.

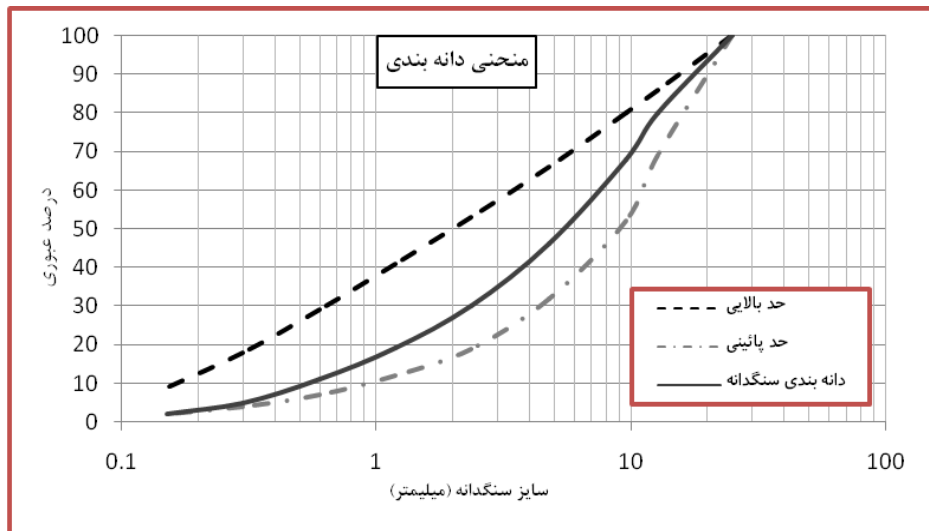
جدول (۱) مشخصات فیزیکی سنگدانه

سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	چگالی نسبی	جذب آب (درصد)
شن	۲۵ میلیمتر	۲/۹۵	۲/۶۸	۱/۷۵
ماسه			۲/۵۶	۲/۵۶

در صنعت سیمان و بتن استفاده از مواد پوزولانی در طول دهه گذشته افزایش چشمگیری یافته است. انواع پوزولانهای مصنوعی نظیر خاکستر بادی، سرباره کوره آهن گدازی، دوده سیلیس و خاکستر پوسته برنج و همچنین پوزولانهای طبیعی مانند خاکستر، پومیس و توفهای آتشفشانی از جمله پوزولانهای پر مصرف در بتن می باشند. استفاده از انواع پوزولان بعنوان ماده جایگزین سیمان در بتن علاوه بر کمک به کاهش مصرف سیمان و انرژی و تولید گازهای گلخانه ای، خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری در سنین بالا و دوام بتن نظیر نفوذپذیری را بهبود می بخشد [۱]، [۲].

دوام بتنهای معمولی در محیطهای خورنده از جمله مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، بسیار کم می باشد و سالانه هزینه های قابل توجهی برای تعمیر سازه های بتنی نظیر اسکله ها در این مناطق صرف می شود. با وجود تحقیقات گسترده در زمینه دوام بتن ها در این مناطق، نیاز به تحقیقات بیشتری احساس می شود. یکی از شایع ترین خوردگی ها در مناطق جنوبی خوردگی ناشی از یون های کلراید می باشد. یون های کلراید می توانند از طریق سنگدانه های آلوده و مواد افزودنی یا نفوذ از منابع خارجی مانند آب دریا وارد بتن گردند. یونهای آهن تمایل بیشتری به جذب یونهای کلراید نسبت به جذب یونهایی مانند هیدروکسید دارند. این یونها با یونهای کلراید ترکیب می شوند و تولید $FeCl_2$ می کنند. کلراید آهن تشکیل شده با آب وارد واکنش می شود و بصورت اسید هیدروکلریک ناپایدار درمی آید که دوباره به یون کلراید تبدیل می شود. یون کلراید ایجاد شده دوباره وارد واکنش با یونهای آهن شده و سیکل تولید اسید ناپایدار و خارج شدن بیشتر یونهای آهن ادامه می یابد و خوردگی به علت نبودن تعادل الکتروشیمیایی در سطح فولاد گسترش بیشتری پیدا می کند. بدین ترتیب یونهای کلراید با عملکرد کاتالیزوری موجب تندی واکنش خوردگی آرماتورها می شوند [۳].

استفاده از پوزولانهای طبیعی در ساخت بتن می تواند عمر سرویس دهی سازه های بتنی در محیط های خورنده را افزایش دهد [۱]. با توجه به حجم قابل توجه مصرف پوزولانهای



نمودار (۱): منحنی دانه بندی سنگدانه

جدول (۲): نتایج آزمایش XRF و خواص مکانیکی سیمان و پوزولانها

ترکیبات شیمیایی (%)	سیمان	توف خاش	پومیس آبیک	پومیس اسکندران	تراس جاجرود
SiO ₂	۲۱/۵۷۰	۶۲/۶۴۰	۷۳/۹۱۰	۶۷/۷۰۰	۶۵/۷۴
Al ₂ O ₃	۲/۸۷۰	۱۵/۱۹۰	۱۳/۳۲۰	۱۵/۸۰	۱۲/۲۴
Fe ₂ O ₃	۲/۶۵۰	۴/۴۷۰	۱/۳۷۰	۳/۳۹	۲/۰۵
CaO	۶۱/۶۰۰	۶/۸۳۰	۱/۱۳۰	۳/۹۰	۲/۸۷
SO ₃	۰/۰۰۰	۰/۳۸۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳	۰/۰۰۰
MgO	۳/۹۵۰	۱/۷۱۰	۰/۶۸۰	۰/۹۹	۰/۹۶
Na ₂ O	۰/۱۲۰	۲/۷۷۰	۱/۸۳۰	۲/۹۵	۱/۹۲
K ₂ O	۰/۵۷۰	۲/۰۹۰	۴/۱۴۰	۲/۰۰	۲/۰۲
LOI	۲/۲۸۰	۲/۸۸۰	۳/۱۵۰	۲/۳۰	۸/۵۰
خصوصیات فیزیکی					
وزن مخصوص	۳/۱۸	۲/۶۶	۲/۶۰	۲/۵۴	۲/۵۰
ریزی بلین (cm ² /g)	۳۳۰۰	۴۵۰۰	۳۴۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰

۲-۲- طرح اختلاط

در این طرح آزمایشگاهی به منظور مطالعه دوام بتن‌ها در برابر حمله کلرایدی، ۱۳ طرح اختلاط با مقادیر مختلف پوزولان در نظر گرفته شد. کلیه طرح‌ها دارای نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۵ و میزان مواد سیمانی ۳۵۰ Kg/cm² می‌باشند. در ساخت مخلوط‌های بتنی اسلامپ مخلوطها بوسیله فوق روان کننده در محدوده ۶-۸ سانتیمتر نگاه داشته است. مشخصات مخلوطها در جدول (۳) آورده شده است.

۳-۲- روش آزمایش و عمل آوری

آزمایش مقاومت فشاری (ISIRI 3206): طبق استاندارد ایران نمونه های مکعبی با ابعاد ۱۰ سانتیمتر ساخته شد و تا سن عمل آوری در محلول آب آهک اشباع نگهداری شده اند. آزمایش در سنین ۷، ۲۸، ۹۱ و ۱۸۰ روز بر روی نمونه ها انجام شد.

آزمایش نفوذپذیری (DIN 1048): در این آزمایش میزان نفوذپذیری آب در نمونه های مکعبی بتنی با ابعاد ۱۵ سانتیمتر تحت فشار ۵ بار اندازه گیری می‌شود. برای این آزمایش نمونه های ساخته شده تا سنین ۹۱ و ۱۸۰ روز در محلول آب آهک اشباع عمل آوری شدند و تحت آزمایش قرار گرفتند.

جدول (۳): طرح اختلاط مخلوطها

اسم طرح	نسبت آب به سیمان	جایگزینی (%)	سیمان (Kg/m ³)	پوزولان (Kg/m ³)	آب (Kg/m ³)	سنگدانه (Kg/m ³)
Control	۰/۵	۰	۳۵۰	۰	۱۷۵	۱۷۵۰
P10	۰/۵	۱۰	۳۱۵	۳۵	۱۷۵	۱۷۵۰
P15	۰/۵	۱۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
P20	۰/۵	۲۰	۲۸۰	۷۰	۱۷۵	۱۷۵۰
A15	۰/۵	۱۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
A20	۰/۵	۲۰	۲۸۰	۷۰	۱۷۵	۱۷۵۰
A25	۰/۵	۲۵	۲۶۲/۵	۸۷/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
K15	۰/۵	۱۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
K20	۰/۵	۲۰	۲۸۰	۷۰	۱۷۵	۱۷۵۰
K25	۰/۵	۲۵	۲۶۲/۵	۸۷/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
T15	۰/۵	۱۵	۲۹۷/۵	۵۲/۵	۱۷۵	۱۷۵۰
T20	۰/۵	۲۰	۲۸۰	۷۰	۱۷۵	۱۷۵۰
T25	۰/۵	۲۵	۲۶۲/۵	۸۷/۵	۱۷۵	۱۷۵۰

شده در سنین مختلف را نشان می‌دهد. مقاومت نمونه های حاوی درصدهای مختلف جایگزینی پوزولان در سن ۷ روز کمتر از نمونه کنترل می‌باشد. این موضوع را می‌توان به دلیل کاهش مقدار سیمان در این نمونه ها و واکنش پذیری کم پوزولانها در این سن نسبت داد. البته در مورد نمونه های حاوی پوزولان تراس جاجرود حتی تا سن هفت روز هم افزایش مقاومت چشمگیری دیده می شود. این مسئله را می توان به فعالیت پوزولانی بالای تراس جاجرود نسبت داد. چنین پدیده ای در مطالعات پیشین بر روی این پوزولان دیده شده است [۴]. همچنین دیده می‌شود که با افزایش سن نمونه ها به دلیل تکمیل شدن واکنش های پوزولانی و بهبود ساختار حفرات نمونه‌های بتنی مقاومت فشاری نمونه ها به میزان زیادی به نمونه شاهد نزدیک شده است. نمونه های بتنی حاوی ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی توف آبیگ عملکرد مقاومتی ضعیف تری نسبت به دیگر نمونه ها از خود نشان داده اند. نمودار (۳) که درصد تغییرات مقاومت فشاری نمونه ها در بازه های مختلف زمانی نسبت به مقاومت فشاری ۱۸۰ روزه را نشان می‌دهد بیانگر آن است که نمونه های حاوی پوزولان های تراس جاجرود تا سن ۷ روز بیش از ۶۰ درصد مقاومت نهایی خود را کسب کرده اند. همچنین این نمونه ها پس از سن ۹۱ روز رشد مقاومتی محسوسی نداشته‌اند. این موضوع بیانگر آن است که واکنشهای پوزولانی در نمونه‌های حاوی تراس جاجرود سرعت خوبی داشته و تا سن ۹۱ روز بیشتر آنها صورت می‌پذیرد. ولی در مورد بقیه نمونه‌ها تاثیر این فعالیت در سن ۱۸۰ روز دیده می‌شود.

آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلراید (ASTM C1202):

برای این آزمایش که مقاومت نمونه‌های بتنی را در برابر عبور یون کلراید نشان می‌دهد نمونه های استوانه‌ای به قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۵ سانتیمتر تهیه شده و پس از عمل آوری در آب آهک تا سن ۹۱ و ۱۸۰ روز آزمایش بر روی آنها انجام شد.

آزمایش مقاومت الکتریکی: مقاومت الکتریکی بتن پارامتری

برای ارزیابی میزان نرخ خوردگی احتمالی نمونه‌های بتنی مسلح در حمله کلرایدی است. در این آزمایش نمونه های بتنی منشوری با ابعاد ۲۵×۷/۵×۷/۵ ساخته شده و تا سنین ۷، ۲۸، ۹۱ و ۱۸۰ روز در محلول آب آهک اشباع نگهداری شدند.

آزمایش پتانسیل نیم پیل: مقدار پتانسیل نیم پیل نمایانگر

احتمال شروع خوردگی آرماتورها در بتن است. نمونه های بتنی استوانه ای با قطر ۷/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر که یک آرماتور با قطر ۱۴ میلیمتر در وسط آنها قرار داده شده است بصورت شناور در محلول کلرید سدیم (۲۱ گرم در لیتر) نگهداری شدند و در سنین آزمایش پتانسیل خوردگی توسط دستگاه پتانسیل نیم پیل با الکتروده مس اندازه گیری شد.

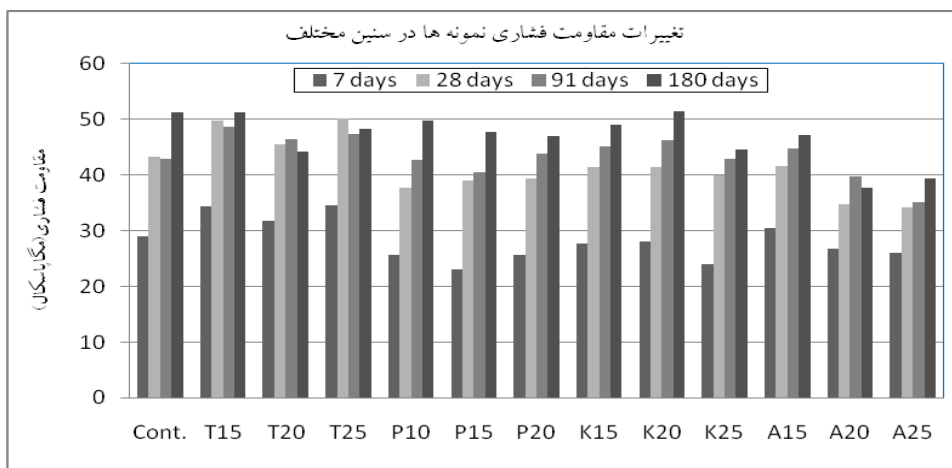
آزمایش جذب مویینگی آب (EN ۴۸۰ -۵): از پارامترهای

مهم و تأثیر گذار در نفوذپذیری بتن مقدار جذب مویینگی است. نمونه‌های بتنی ۲۵×۱۰×۱۰ سانتیمتری در محلول آب آهک اشباع عمل آوری شده، و مورد آزمایش قرار گرفتند.

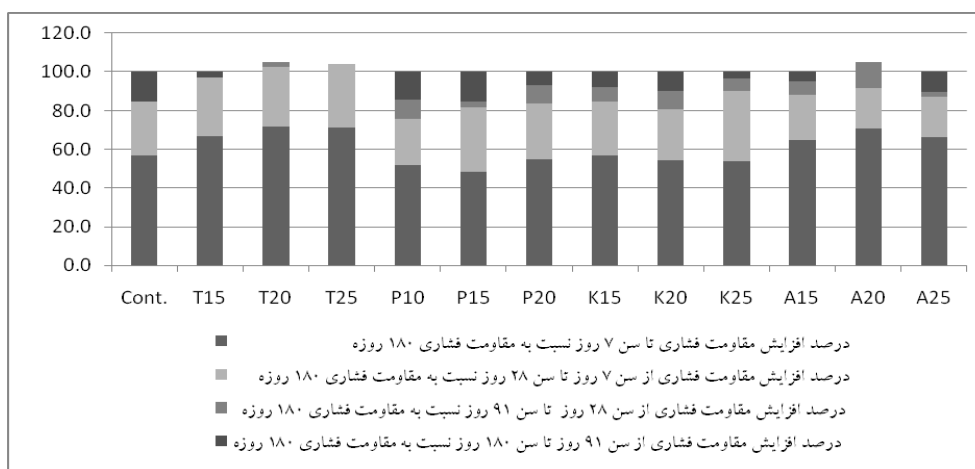
۳- نتایج آزمایش و تفسیر

۳-۱- مقاومت فشاری

نمودار (۲) نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ساخته



نمودار (۲): تغییر مقاومت فشاری نمونه های بتنی در سنین مختلف



نمودار (۳): نسبت مقاومت فشاری ۱۸۰ روزه نمونه های بتنی نسبت به نمونه شاهد

نمونه شاهد نفوذ و جذب آب مویینه کمتری در سنهای ۹۱ و ۱۸۰ روز داشته اند. همچنین نمونه های بتنی حاوی توف آبیکی نتایج مناسبی مانند دیگر نمونه های پوزولانی ندارند. در تمامی نمونه ها بجز نمونه های حاوی تراس جاجرود با افزایش سن عمل آوری از میزان جذب مویینگی کاسته شده است. نتایج سن عمل آوری ۹۱ و ۱۸۰ روزه نمونه های حاوی تراس تفاوت چندانی ندارند. این پدیده می تواند ناشی از واکنشهای سریع پوزولانی تراس جاجرود و تکمیل واکنشهای پوزولانی تا سن ۹۱ روز باشد. در نتایج آزمایشهای دیگر صورت گرفته بر روی نمونه های بتنی حاوی تراس جاجرود نیز این مسئله دیده شده است. نمودار (۴) نشان می دهد که نتایج این آزمایش تا اندازه زیادی با نتایج آزمایش نفوذ آب تحت فشار همخوانی دارد.

۳-۲- نفوذ آب

نتایج نفوذپذیری آب در نمودار (۴) ارائه شده است. به طور کلی استفاده از پوزولان های طبیعی در بهبود مقاومت بتن در برابر نفوذ آب تاثیر گذار بوده است. پر شدن فضاهای خالی به دلیل تشکیل ژل های ثانویه سیلیکاتی حاصل از فعالیت پوزولانی می تواند مهمترین دلیل این پدیده باشد البته این موضوع در مورد پوزولان آبیکی صدق نمی کند. به طور عمومی با افزایش سن نمونه ها از میزان نفوذپذیری کاسته شده است. عملکرد پوزولان های تراس و خاش در کاستن نفوذپذیری نمونه های بتنی از دو پوزولان دیگر بهتر بوده است.

۳-۳- جذب مویینگی آب

نتایج این آزمایش بر روی نمونه های بتنی در جدولهای (۴) و (۵) ارائه شده است. دیده می شود که نمونه های بتنی حاوی پوزولانهای تراس جاجرود و پومیس خاش و اسکندان نسبت به



طبیعی در دراز مدت موجب افزایش قابل ملاحظه مقاومت الکتریکی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد شده اند. در نمونه های حاوی پوزولان توف آبیگ تفاوتی میان مقاومت الکتریکی در درصدهای مختلف جایگزینی دیده نمی شود و تفاوت زیادی میان مقاومت الکتریکی این نمونه ها با نمونه شاهد دیده نمی شود. با توجه به نتایج تحقیقات آقایان براون و گنوگان (۷) یعنی ناچیز بودن نرخ خوردگی آرماتور در بتن های با مقاومت الکتریکی بیش از ۲۰ کیلو اهم- سانتی متر، می توان اظهار داشت که نرخ خوردگی در بتن هایی که حاوی پوزولانهای تراس جاجرود، پومیس اسکندان و خاش هستند با عمل آوری تا سن ۹۱ روز بسیار ناچیز خواهد بود.

۳-۵- نفوذ تسریع شده یون کلراید

نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید در نمودار (۶) دیده می شود. طبق طبقه بندی ارائه شده در استاندارد ASTM C1202 (جدول (۶)) می توان اظهار داشت که نفوذپذیری نمونه های حاوی پوزولان تراس جاجرود و پومیس خاش در مقابل یون کلراید در سنین آزمایش در محدوده کم و خیلی کم است. این پارامتر در نمونه های حاوی پومیس اسکندان در محدوده کم و متوسط می باشد و در نمونه های حاوی توف آبیگ در محدوده متوسط و زیاد است. در حالیکه نمونه شاهد نفوذ پذیری متوسطی دارد. با توجه به این نتایج استفاده از پوزولانهای تراس جاجرود و پومیس اسکندان و خاش در ساخت بتن می تواند در کاهش نفوذپذیری بتن در برابر یون کلراید موثر بوده و دوام بتن را در محیطهای خورنده کلرایدی افزایش دهد. همچنین میزان تاثیر گذاری با افزایش درصد جایگزینی پوزولان افزایش می یابد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلراید از پوزولان توف آبیگ با درصدهای جایگزینی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نمی توان انتظار بهبود ویژه در دوام بتن در محیط های کلرایدی داشت.

جدول (۶): طبقه بندی نفوذپذیری در مقابل یون کلراید [ASTM C1202] (۵)

نمونه	شار الکتریکی عبوری (کولمب)
زیاد	>۴۰۰۰
متوسط	۲۰۰۰-۴۰۰۰
کم	۱۰۰۰-۲۰۰۰
خیلی کم	۱۰۰-۱۰۰۰
قابل چشم پوشی	<۱۰۰

جدول (۴): جذب موئینگی ۷۲ ساعته

	جذب آب ۷۲ ساعته	
	پس از ۹۱ روز	پس از ۱۸۰ روز
	(gr/cm ²)	(gr/cm ²)
Control	۰/۷۴	۰/۵۴
T15	۰/۴۷	۰/۴۷
T20	۰/۵۲	۰/۴۷
T25	۰/۴۱	۰/۴۶
P10	۰/۸۲	۰/۵۲
P15	۰/۶۳	۰/۴۷
P20	۰/۶۲	۰/۴۵
K15	۰/۵۵	۰/۴۶
K20	۰/۴	۰/۳۷
K25	۰/۵۲	۰/۴۳
A15	۰/۷۷	۰/۵۹
A20	۰/۸۴	۰/۶۹
A25	۰/۸	۰/۶۶

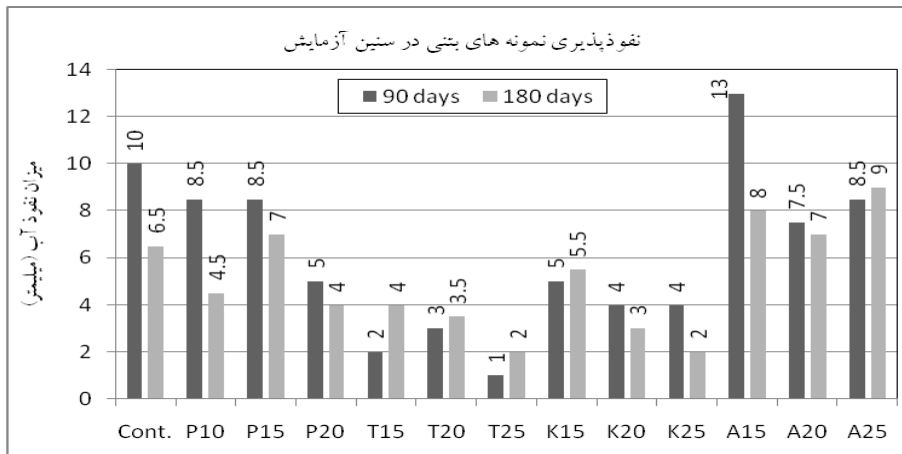
جدول (۵): ارتفاع جذب آب پس از ۷۲ ساعت

	ارتفاع جذب آب پس از ۷۲ ساعت	
	پس از ۹۱ روز	پس از ۱۸۰ روز
	mm	Mm
Control	۴۵	۳۰
T15	۱۷	۲۵
T20	۶	۱۵
T25	۱۳	۲۲
P10	۴۰	۲۳
P15	۲۵	۱۸
P20	۲۰	۲۰
K15	۱۵	۱۴
K20	۱۸	۲۴
K25	۸	۱۰
A15	۴۵	۳۲
A20	۶۰	۳۵
A25	۵۰	۳۶

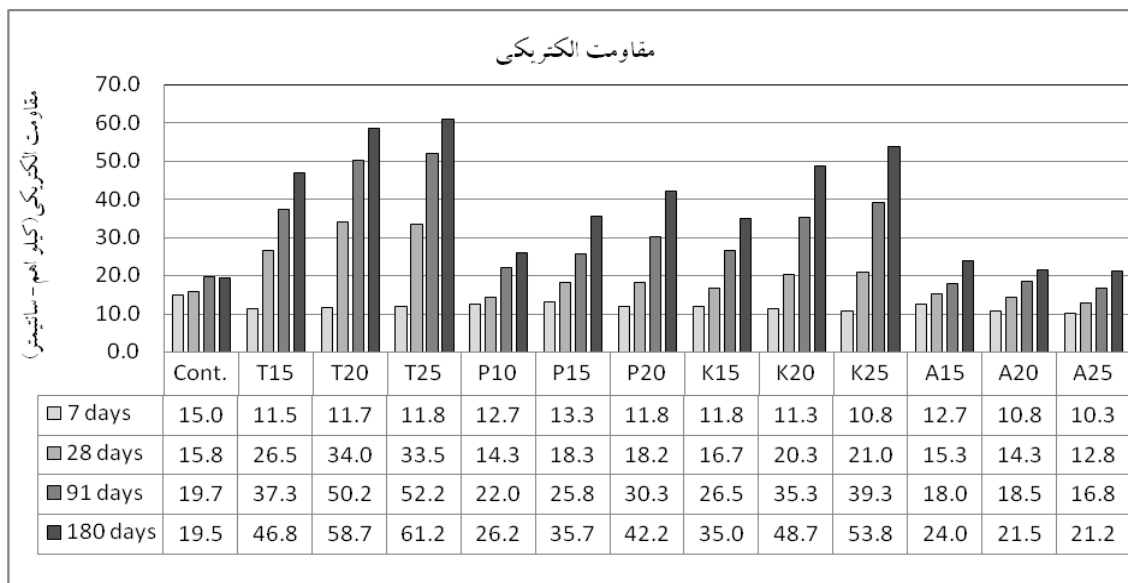
۳-۶- مقاومت الکتریکی

نمودار (۵) مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی را در سنین آزمایش نشان می دهد. طبق این نمودار می توان گفت که مقاومت الکتریکی نمونه های حاوی پوزولان تراس جاجرود، پومیس اسکندان و پومیس خاش با افزایش سن و نیز با افزایش درصد پوزولان افزایش یافته است. همچنین این پوزولانهای

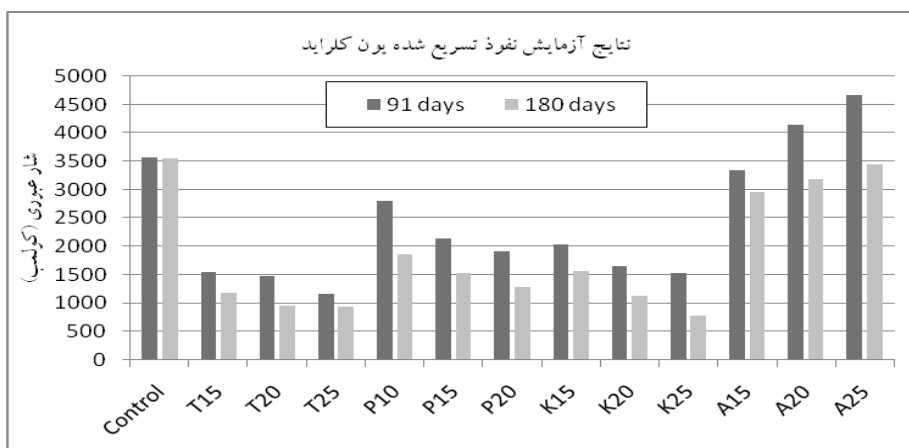




نمودار (۴): نفوذپذیری نمونه های بتنی در آزمایش نفوذ آب



نمودار (۵): مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی در سننن آزمایش



نمودار (۶): شار عبوری نمونه های بتنی در آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید



۳-۶- پتانسیل نیم پیل

احتمال خوردگی آرماتورها در نمونه های بتنی می باشد. با توجه به استاندارد ASTM C876 که بصورت طبقه بندی شده احتمال خوردگی آرماتورها در بتن را مشخص می کند (جدول ۸))، می توان گفت که پس از ۱۸۰ روز در تمامی نمونه های بتنی بجز نمونه های حاوی ۲۰ درصد پومیس اسکندان، ۱۵ درصد تراس جاجرود و ۱۵ درصد پومیس خاش، به احتمال ۹۰ درصد خوردگی آغاز شده است.

نتایج آزمایش نیم پیل در جدول (۷) دیده می شود. پتانسیل خوردگی آرماتور در تمامی نمونه ها با گذشت زمان کاهش یافته است. و بعبارتی احتمال شروع خوردگی افزایش یافته است. ضمن آنکه پس از ۱۸۰ روز حمله یونهای کلراید نمونه های حاوی پوزولان پتانسیل خوردگی مثبت تری نشان می دهند. این مسئله نشانگر اثر مثبت پوزولانها در کاهش

جدول (۷): پتانسیل خوردگی نمونه ها در سنین آزمایش

	۲۸ روز	۹۱ روز	۱۸۰ روز
Control	۵۹۰	۵۷۸	-۵۸۷
T15	۳۰۶	۲۴۰	-۱۶۲
T20	۳۱۹	۲۳۶	-۲۴۱
T25	۳۶۷	۳۶۰	-۳۱۲
P10	۲۴۷	۲۰۵	-۵۶۷
P15	۴۸۲	۳۰۰	-۵۳۵
P20	۱۶۵	۱۸۰	-۱۱۴
K15	۱۶۷	۱۶۰	-۱۰۵
K20	۲۸۰	۲۱۴	-۳۲۴
K25	۲۰۲	۱۸۹	-۴۲۰
A15	۴۰۵	۳۷۰	-۲۶۶
A20	۳۰۸	۲۳۱	-۴۰۳
A25	۲۶۹	۲۷۰	-۴۲۸

جدول (۸): طبقه بندی احتمال خوردگی در آزمایش نیم پیل (ASTM C876) [۶]

احتمال خوردگی	محدوده پتانسیل (mv)
به احتمال ۹۰ درصد خوردگی وجود ندارد	> -75
فعالیت خوردگی قطعی نمی باشد ولی احتمال آن کاملاً وجود دارد.	$-225 < < -75$
به احتمال ۹۰ درصد خوردگی وجود دارد	< -225

۴- نتیجه گیری

کاهش نفوذپذیری به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در دوام بتن باعث افزایش دوام بتن در برابر حمله یونهای مخرب می شود. از اینرو می توان پیش بینی کرد که دوام این بتن ها نسبت به نمونه شاهد بیشتر خواهد بود. توف آبیگ در نفوذپذیری در برابر آب عملکرد چندان متفاوتی نسبت به نمونه کنترل ندارد.

۳- با توجه به نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی نتیجه می شود که پوزولانهای طبیعی تراس جاجرود، پومیس خاش و اسکندان می توانند خطر خوردگی کلرایدی در بتن را با افزایش مقاومت الکتریکی آن نسبت به نمونه شاهد کاهش دهند. چنین نتیجه ای با بررسی آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلراید نیز بدست می آید.

۴- نفوذ یونهای کلراید در آزمایش تسریع شده نفوذ یون کلراید و در نمونه های بتنی حاوی پوزولانهای تراس جاجرود

۱- مقاومت فشاری نمونه های حاوی پوزولان به ویژه در سنین بالا تفاوت چندانی با نمونه شاهد نداشته است. این مسئله را می توان به تولید ژل های سیلیکاتی ناشی از واکنش های پوزولانی و بهبود ساختار حفرات نسبت داد. بنابراین استفاده از این پوزولان ها با درصد یاد شده در این مقاله به لحاظ معیار مقاومت فشاری چندان نگران کننده نمی باشد. البته استفاده از پوزولان توف آبیگ با ریزی انتخاب شده و با بیش از ۱۵ درصد جایگزینی از بعد مقاومتی سفارش نمی شود.

۲- استفاده از پوزولان های تراس جاجرود و پومیس خاش با ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد جایگزینی سیمان و نیز پومیس اسکندان با ۲۰ درصد جایگزینی در ساخت بتن تاثیر قابل قبولی در کاهش نفوذپذیری بتن در مقابل آب دارد. این موضوع بیانگر کاهش تخلخل و اندازه حفرات در نمونه های بتنی می باشد.



مقاومت فشاری و دوام نشان می‌دهد. استفاده از درصد‌های بالاتر از ۱۵ از این پوزولان در بتن با ریزی مشخص شده اثر مثبتی در خواص بتن حاصل نمی‌کند.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله حاضر بر خود لازم می‌دانند که از همکاری مسئولان محترم مرکز تحقیقات و دوام بتن و آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر بیشترین قدردانی را داشته باشند.

و پومیس خاش و اسکندان در سنهای ۹۱ و ۱۸۰ روز نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است این کاهش در هر نمونه با افزایش سن نمونه نیز دیده می‌شود. نمونه های حاوی این سه پوزولان در رده بتن‌های با نفوذپذیری کم قرار دارند در حالیکه نمونه های حاوی پوزولان آبیگ و نمونه شاهد در رده نفوذپذیری متوسط قرار دارند.

۵- استفاده از تمامی پوزولانهای بررسی شده در کاهش خوردگی آرماتورها در بتن نسبت به نمونه شاهد مؤثر بوده‌اند.
۶- به طور کلی مصرف پوزولانهای تراس جاجرود، پومیس اسکندان و پومیس خاش در بتن به عنوان ماده جایگزین سیمان موجب بهبود پارامترهای دوام شده است. پوزولان توف آبیگ نیز با ۱۵ درصد جایگزینی در بتن نتایج قابل قبولی از نظر

۶- مراجع

- [۴] محمدی منش، مجتبی؛ "بررسی خواص مکانیکی و دوام بتن های ساخته شده با پوزولان طبیعی پومیس"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۳.
- [۵] ASTM Standard C1202, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", ASTM Publication, United States, 2007.
- [۶] ASTM Standard C876, "Standard Test Method of Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforced Steel in Concrete", ASTM Publication, United States, 1995.
- [۷] Browne, RD and Geoghegan, "MP in Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete", Construction, Society of the Chemical Industry, London, 1979, pp. 79-98.
- [۱] Hossein, K.; Khandaker, M.; "Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete", Cement and Concrete Composites, pp 381-391, 2004.
- [۲] Hossein, K.; Lachemi, M.; "Corrosion resistance and Chloride diffusivity of volcanic ash blended cement mortar", Cement and Concrete Composites, pp 695-702, 2003.
- [۳] رمضانیانپور، علی اکبر؛ پرهیزکار، طیبه؛ قدوسی، پرویز؛ پورخورشیدی، علیرضا؛ "توصیه هایی برای پایایی بتن در سواحل جنوبی کشور (نشریه شماره ۳۹۶)"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۸۳.

