

اثر فعال سازهای قلیایی ژئوپلیمر بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن‌های پوزولانی

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد *

دانشیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

مبارکه بنی مهد کیوانی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

چکیده

بهره‌گیری هم‌زمان از پوزولان‌ها و ژئوپلیمرها جهت بهبود مشخصات بتن، یکی از حوزه‌های نسبتاً جدید فناوری بتن محسوب می‌گردد. در این پژوهش از پوزولان‌های سرباره و ژئولیت به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در بتن استفاده گردید. همچنین برای کاهش اثرات منفی ناشی از درصدهای بالای جایگزینی پوزولان‌ها و بررسی اثرات متقابل آنها، از فعال‌ساز قلیایی استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون‌های تعریف شده، مشخص گردید که افزودن فعال‌ساز به بتن حاوی پوزولان در بازایی بخشی از افت مشخصات ناشی از مصرف بالای پوزولان، نقش چشمگیری داشت. با افزودن فعال‌ساز به طرح حاوی ۶۰٪ سرباره، افزایشی به میزان ۵۲٫۱٪ در مقاومت فشاری و ۴۴٫۷٪ در مقاومت الکتریکی برای سن ۲۸ روز مشاهده شد. همچنین طرح حاوی ۶۰٪ ژئولیت که بیشترین افت مقاومت فشاری را با ۵۹٫۳٪ کاهش داشت، منجر به بهبود خواص عایق حرارتی بتن تا ۱۴٫۳٪ نسبت به طرح شاهد گردید.

واژه‌های کلیدی: بتن پوزولانی، ژئولیت، فعال‌ساز قلیایی، مقاومت الکتریکی، هدایت حرارتی.

۱- مقدمه

و زئولیت نسبت به پوزولان‌های فعال مانند دوده سیلیسی، عملکرد بهتری در طولانی مدت دارند. همچنین در تحقیق گونیزی و همکاران [۱۴] آشکار گشت که اصلاح ماتریس سیمانی با بهره‌گیری از افزودنی‌های معدنی می‌تواند به کاهش نفوذپذیری بتن‌های پوزولانی خودتراکم حاوی فعال‌ساز، کمک مؤثری نموده و در بهبود مشخصات مکانیکی بتن نیز تأثیر گذار است.

افزودنی‌های فعال‌ساز که نقش مؤثری بر کاهش نفوذپذیری بتن دارند [۱۵]، می‌توانند گزینه‌ای مؤثرتر در بهبود مشخصات بتن‌های پوزولانی حاوی زئولیت و سرباره باشند. تحقیقات صورت گرفته اثر این افزودنی را بر بهبود مشخصات بتن، به‌ویژه کاهش نفوذپذیری آن به خوبی آشکار می‌سازد [۱۶ و ۱۷].

بررسی اثر پوزولان‌های طبیعی بر هدایت حرارتی بتن‌های پوزولانی، موضوعی است که به واسطه نیاز صنعت ساخت و ساز به عایق‌سازی توسط مصالح بتنی، مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۸ و ۱۹]. همچنین تأثیر مشخصات فیزیکی پوزولان‌ها بر هدایت حرارتی بتن‌های ساخته شده با آنها به‌صورت تخصصی بررسی شده که نقش محتوای پوزولان را بر هدایت حرارتی نشان می‌دهد [۲۰]. در دسته دیگری از تحقیقات، نقش پوزولان‌های طبیعی به‌عنوان گروهی پرکاربرد از پوزولان‌ها در خصوصیات هدایت حرارتی بتن‌های پوزولانی مورد مطالعه قرار گرفته و نقش مکمل‌های قلیایی در کاهش هدایت حرارتی بررسی شده است که نتایج به‌دست آمده بیانگر نقش تخلخل ناشی از اصلاحات صورت گرفته بر کاهش هدایت حرارتی می‌باشد [۲۱ و ۲۲].

زئولیت به‌دلیل خصوصیات ویژه و تخلخل بالایی که دارد، گزینه مطلوبی در کاهش هدایت حرارتی و بهره‌گیری از بتن به‌عنوان یک عایق حرارتی محسوب می‌گردد [۲۳]. از این پوزولان در کنار مصالح متخلخل دیگری همچون EPS نیز جهت کاهش هدایت حرارتی استفاده شده است [۲۴]. جایگزینی زئولیت به‌عنوان بخشی از سیمان در کامپوزیت‌های سیمانی از جمله ملات‌ها جهت بهبود مقاومت مصالح ساخته شده در برابر آتش نیز از جمله موضوعات مطالعه شده در زمینه کاربرد این پوزولان می‌باشد [۲۵]. اثر پوزولان‌هایی همچون زئولیت در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق کاربرد بتن‌های عایق ساخته شده با آنها در اقلیم‌های مختلف، از دیگر موضوعاتی است که به‌صورت تخصصی توسط محققان دنبال شده است [۲۶ و ۲۷].

بتن‌های پوزولانی که با مشخصات مکانیکی و دوام بالای خود شناخته می‌شوند و امروزه بخش مهمی از صنعت ساخت و ساز را به خود اختصاص می‌دهند، همواره مورد توجه محققان بوده و مطالعات بسیاری در زمینه شناخت رفتار آنها و بهبود خصوصیات مکانیکی و سایر ویژگی‌های فیزیکی این‌گونه بتن‌ها با بررسی اثر انواع افزودنی‌ها و الیاف صورت گرفته است [۱-۳].

بتن‌های پوزولانی مرکب با بهره‌گیری از انواع افزودنی‌ها و با هدف بهبود خواص بتن و همچنین کنترل افت ناشی از مصرف درصد بالای پوزولان‌ها که از موارد مهم و کاربردی بتن‌های پوزولانی تلقی می‌شوند توسط محققان [۴ و ۵] مطالعاتی در زمینه اثر افزودنی‌ها و همچنین اثر الیاف بر روی آنها صورت گرفته است. تحقیقاتی توسط نادسان و دیناکار [۶] درباره سرباره صنعتی مصنوعی شامل سرباره کوره آهن با خاکستر بادی در بتن پوزولانی مورد مطالعه قرار گرفت که هدف آن اصلاح محتوای سیمانی و مواد چسباننده‌ها یکی از محورهای کلیدی آن به‌شمار می‌رود. مطالعات نشان می‌دهد [۷] که این افزودنی‌ها نقش مؤثری در بهبود مشخصات دوام بتن پوزولانی دارند و با اثر پوزولانی و پرکنندگی خود می‌توانند فرایند هیدراتاسیون مواد سیمانی را در طول دوره عمل‌آوری ارتقا دهند. تحقیقات اخیر لو و همکاران [۸] بر روی مواد سیمانی و بهبود و یا ارتقا کیفیت آنها به منظور جبران ضعف مکانیکی ناشی از مصرف برخی پوزولان‌ها در بتن پوزولانی انجام شده و به‌طور واضح نقش مؤثر تقویت ماتریس سیمانی را روی کیفیت نهایی بتن پوزولانی نشان داده است.

مطالعات نشان می‌دهد تخلخل بالای ناشی از مصرف درصد زیاد پوزولان‌ها باعث کاهش دوام بتن‌های پوزولانی به‌واسطه نفوذپذیری آب و یون کلراید می‌گردد و لذا راهکارهای متنوعی جهت بهبود مشخصات بتن‌های حاوی پوزولان پیشنهاد شده است [۸-۱۱]. اثر انواع پوزولان‌ها بر اساس مشخصات فیزیکی و مکانیکی آنها نیز بر نفوذپذیری بتن‌های پوزولانی توسط دوکمان و میرتیک [۱۲] مورد مطالعه قرار گرفت و نشان دادند که تراکم ماتریس سیمانی در کنترل نفوذپذیری نقش مؤثری ایفا می‌کند. نفوذپذیری بتن‌های پوزولانی با جایگزینی بخشی از محتوای سیمانی توسط پوزولان‌های انتخاب شده در تحقیقات گزگلو و همکاران [۱۳] نشان می‌دهد که پوزولان‌های کند همچون سرباره

۲-۲- طرح اختلاط و روش ساخت

طرح‌های اختلاط در نظر گرفته شده بر اساس جدول ۳ تحت شرایط آزمایشگاهی ساخته و قالبگیری شد. جهت ساخت مخلوط تازه، اجزای مخلوط خشک شامل سیمان و سنگدانه‌ها به مدت ۳ دقیقه در pan mixer مخلوط شدند. آب به تدریج در مدت یک دقیقه به مخلوط خشک اضافه شده و برای کسب مخلوطی یکنواخت، به مدت ۳ دقیقه دیگر اختلاط ادامه یافت. بتن تازه مخلوط شده در دو لایه در قالب‌ها ریخته شد و بر اساس روش‌های استاندارد متراکم گردید تا از کیفیت و یکنواختی نمونه‌ها اطمینان حاصل شود. سپس نمونه‌ها به منظور جلوگیری از تبخیر آب مخلوط تازه به مدت ۲۴ ساعت درون قالب با یک ورق پلاستیکی پوشانده شده، نگهداری شدند و متعاقباً جهت عمل آوری پس از خروج از قالب در مخزن آب با شرایط اشباع در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد تا سن آزمایش نگهداری شدند.

۲-۳- آزمون‌ها

آزمون‌های مقاومت‌های مکانیکی در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بر روی نمونه‌ها انجام شد. آزمون مقاومت فشاری بر اساس استاندارد BS EN 12390-3 و بر روی نمونه‌های مکعبی با بعد ۱۰ سانتیمتر انجام شد [۲۹]. مقاومت کششی دو نیم شدن بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر بر اساس ASTM C496 صورت گرفت [۳۰]. آزمون سرعت عبور پالس فراصوتی بر اساس استاندارد EN 12504-4 [۳۱] و به روش مستقیم با استفاده از دستگاه پرتابل Matest و فرکانس ۵۴ کیلوهرتز بر روی نمونه‌های بتنی با بعد ۱۰ سانتیمتر و با دقت ۰٫۱ میکروثانیه انجام شد. محاسبه سرعت عبور موج بر اساس رابطه زیر می‌باشد که در آن V بر حسب متر بر ثانیه، L فاصله دو پراب (بعد نمونه) بر حسب متر و t زمان عبور موج بر حسب ثانیه می‌باشد.

$$V=L/t \quad (1)$$

مقاومت الکتریکی نمونه‌ها بر اساس استاندارد AASHTO TP95 [۳۲] و بر اساس روش و نر بر روی سطح نمونه‌های منشوری اندازه‌گیری شد. جهت دستیابی به نتایج قابل اعتماد از سه نمونه برای هر طرح اختلاط و در شرایط اشباع آزمون گرفته شد. جهت محاسبه مقاومت الکتریکی ویژه از رابطه ۲ استفاده گردید که در آن R مقاومت الکتریکی ویژه بر حسب کیلو اهم سانتیمتر،

در مطالعه حاضر جهت ارزیابی اثر پوزولان‌ها بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن پوزولانی، درصد‌های مختلفی از آن، جایگزین سیمان شده و همچنین اثر فعال‌ساز قلیایی بر مشخصات بتن پوزولانی حاوی پوزولان‌های سرباره و زئولیت بررسی گردید. هدف از انجام این پژوهش تعیین قابلیت جبران افت مشخصات ناشی از افزودن زئولیت و سرباره با کمک فعال‌ساز قلیایی بود.

۲- برنامه آزمایش

۲-۱- مصالح

از سیمان پرتلند تیپ II در این مطالعه استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. پوزولان‌های سرباره و زئولیت به‌عنوان جایگزین با حداکثر اندازه ۷۵ میکرون و وزن‌های مخصوص به ترتیب ۲۷۱۰ و ۲۳۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای این نوع بتن استفاده گردید. سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در این مطالعه بر اساس استاندارد ASTM C33 [۲۸] دانه بندی و آماده شدند. جرم مخصوص ماسه اشباع با سطح خشک و جذب آب آن به ترتیب ۲۶۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب و ۲٫۴ درصد بود. دانه بندی سنگدانه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان

ترکیبات	نسبت وزنی (%)
MnO	-
TiO ₂	-
K ₂ O	-
Na ₂ O	0.49
MgO	1.55
CaO	62.95
Fe ₂ O ₃	4.03
Al ₂ O ₃	4.95
SiO ₂	21.27

جدول ۲- توزیع اندازه ذرات سنگدانه‌ها

اندازه الک	ماسه	شن
19mm	100	100
12.5mm	100	91.1
9.5mm	100	67.12
4.75mm	99.97	4.36
2.36mm	92.96	0.43
1.18mm	77.35	0
600µm	58	0
300µm	22.32	0
150µm	3.44	0

a فاصله الکترودها از یکدیگر بر حسب سانتیمتر، V ولتاژ اعمال می باشد.

$$R=(6.28aV)/I$$

شده بر حسب ولت و I جریان اندازه گیری شده بر حسب میلی آمپر (۲)

جدول ۳- طرح های اختلاط

کد طرح	سیمان (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	زئولیت (kg/m ³)	سرباره (kg/m ³)	فعال ساز (جامد) (kg/m ³)	w/c	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	فوق روان کننده (kg/m ³)
C	400	160	0	0	0	0.4	1039	850	0.8
S20	320	160	0	80	0	0.4	1033	845	0.8
S40	240	160	0	160	0	0.4	1027	840	1.2
S60	160	160	0	240	0	0.4	1021	835	1.6
Z20	320	160	80	0	0	0.4	1026	840	1.2
Z40	240	160	160	0	0	0.4	1013	829	2
Z60	160	160	240	0	0	0.4	999	818	2.8
SG40	232.8	160	0	160	7.2	0.4	1026	839	1.6
SG60	148	160	0	240	12	0.4	1019	833	2
ZG40	232.8	160	160	0	7.2	0.4	1011	827	2.4
ZG60	148	160	240	0	12	0.4	997	816	3.2



شکل ۱- سیستم اندازه گیری هدایت حرارتی و نمونه بتنی تحت آزمایش

جذب آب نهایی نمونه ها بر پایه استاندارد ASTM C642 انجام شد [۳۳]. نمونه ها ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در گرمخانه خشک شده و پس از اندازه گیری وزن نمونه های خشک شده، به مدت ۴۸ ساعت در آب آهک اشباع با دمای ۲۳ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. سپس نمونه ها از آب خارج شده و سطوحشان با پارچه خشک گردیده و توزین شدند. جذب آب نهایی بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید که در آن FWA جذب آب نهایی بر اساس درصد وزن نمونه، W_s وزن نمونه اشباع بر حسب گرم و W_d وزن نمونه خشک بر حسب گرم می باشد.

$$FWA = ((W_s - W_d) * 100) / W_d \quad (۳)$$

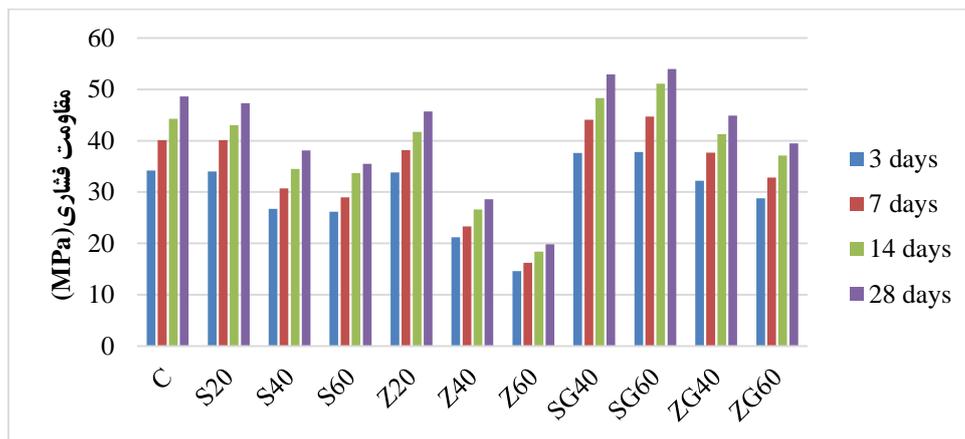
آزمایش هدایت حرارتی با استفاده از دستگاه اندازه گیری جریان حرارتی مطابق با استاندارد ASTM C518 انجام شد. دستگاه مورد نظر که در شکل ۱ نشان داده شده است، از یک برنامه نرم افزاری برای کنترل کالیبراسیون و آزمایش استفاده می کند. توالی کالیبراسیون با استفاده از یک نمونه مرجع که توسط سازنده دستگاه قبل از اجرای آزمایش آماده شده است، صورت می گیرد. ضخامت نمونه در محاسبات نرم افزاری در نظر گرفته شد. طبق توصیه سازنده، از عایق حرارتی مناسب برای مطابقت با شرایط مورد نیاز استاندارد استفاده گردید [۳۴].

۳- نتایج و بحث

با نگاهی به نتایج مقاومت فشاری شکل ۲ می توان دید که افزایش درصد پوزولان ها منجر به کاهش کلی مقاومت شده است و این کاهش به ویژه در مورد زئولیت بسیار شدید بوده و ۵۹٫۳٪ افت مقاومت را در درصد ۶۰ آن نشان می دهد. روند افزایش مقاومت با سن نیز در طرح های حاوی سرباره به ویژه در سن ۲۸ روز کاملاً مشهود است. با افزوده شدن فعال ساز که در واقع بر روی بخشی از پوزولان که در واکنش پوزولانی شرکت نکرده، تأثیر می گذارد،

سیمان پرتلند و بخش دیگر به‌عنوان بتن ژئوپلیمر در کنار بخش هیدرولیکی عمل نموده و دو واکنش هیدراتاسیون و ژئوپلیمریزاسیون به خوبی هم‌افزایی داشته‌اند به گونه‌ای که طرح حاوی ۶۰٪ سرباره و فعال‌ساز نسبت به طرح فاقد فعال‌ساز با مقدار مساوی سرباره ۵۲٫۱٪ افزایش مقاومت فشاری را در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد.

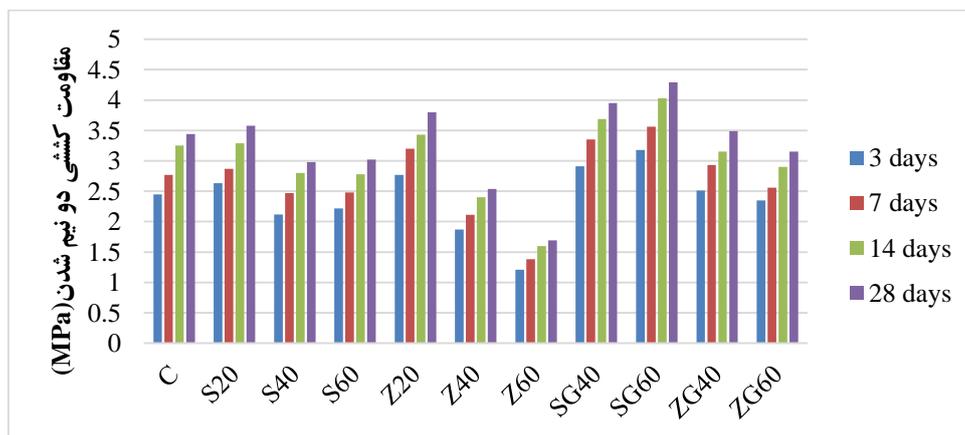
نتایج مقاومت فشاری مجدداً بهبود یافته و به طرح شاهد نزدیک می‌شود. هر چند تاکنون پوزولان‌ها با هدف بهبود مقاومت فشاری به بتن افزوده شده‌اند اما در این پروژه با هدف کاهش شدید مصرف سیمان تا ۶۰ درصد، بخش زیادی از سیمان به عنوان چسباننده حذف شده و بتنی مرکب به دست آمده است که با کمک فعال‌ساز قلیایی، بخشی از آن به‌عنوان بتن هیدرولیکی با



شکل ۲- مقاومت فشاری طرح‌های مختلف در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز

را در نتایج نسبت به طرح شاهد نشان می‌دهد که این موضوع در مورد بتن‌های حاوی درصد بالاتر نیز صادق است و می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اثر مثبت فعال‌ساز در درصد‌های ۴۰ و ۶۰ سرباره، منجر به بهبود مقاومت کششی شده است.

نتایج در مورد مقاومت کششی نیز همانند مقاومت فشاری روند مشابهی را نشان می‌دهد و نرخ رشد مقاومت با افزایش سن نیز روالی مشابه مقاومت فشاری را در نتایج مقاومت کششی دنبال می‌کند (شکل ۳). درصد ۴۰ سرباره همراه فعال‌ساز افزایش محسوسی



شکل ۳- مقاومت کششی طرح‌های مختلف در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز

معقول داشته و می‌توان بر اساس نتایج در این سن به ارزیابی دقیق تر انواع بتن‌های ساخته شده پرداخت. درصد‌های ۴۰ و ۶۰ سرباره بتن‌های حاوی فعال‌ساز، بیشترین مقاومت الکتریکی را در سن ۲۸ روز حاصل نموده‌اند و نسبت به طرح‌های مشابه فاقد فعال‌ساز تا ۴۴٫۷٪ افزایش مشاهده گردید که بیانگر مصرف حداکثری مواد

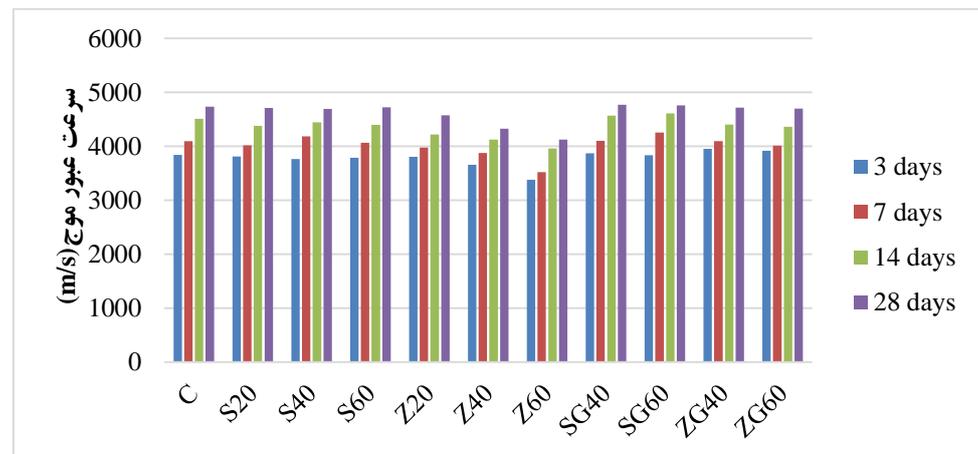
در مورد نتایج مقاومت الکتریکی، به ویژه در سنین پایین درصد‌های مختلف سرباره و ژئولیت اثرات مشابهی دارند و در واقع، سنین اولیه معیار مناسبی برای سنجش دوام بتن به شمار نمی‌روند، اما در سنین بالاتر به ویژه در سن ۲۸ روز که جهش نسبتاً قابل توجهی در نتایج مشاهده می‌گردد. نتایج دوام نیز روندی

قلیایی و کاهش قابل توجه رسانایی بتن می باشد. نتایج مربوط به مقاومت الکتریکی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- مقاومت الکتریکی طرح های مختلف در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز

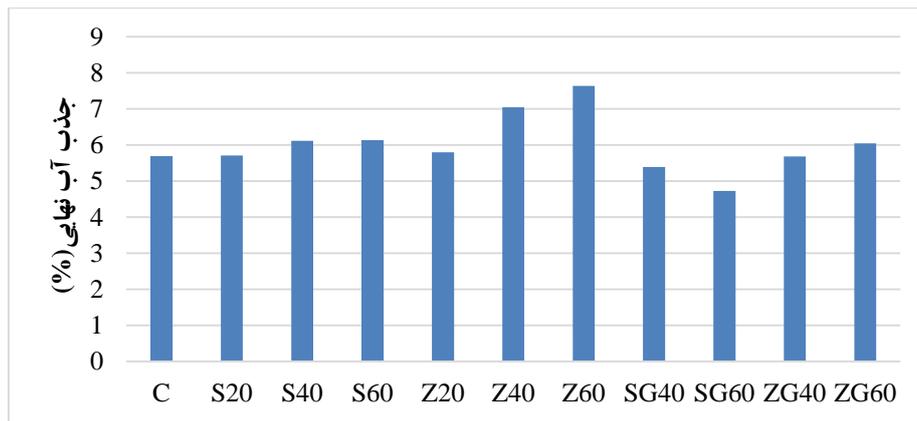
نتایج مربوط به سرعت عبور پالس فراصوت در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، نتایج نسبتاً به یکدیگر نزدیک بوده و تفاوت ها به مراتب کمتر هستند. دلیل اصلی این اختلافات کم که به ساختار فیزیکی بتن و سنگدانه های آن بر می گردد، نقش بسیار کم تخلخل در بتن های ساخته شده است. هر چند در مورد طرح های Z60 و Z40 تفاوت های محسوس را می توان مشاهده نمود که به دلیل تخلخل نسبتاً بالای ژئولیت و نقش آن در کاهش تراکم بتن می باشد.



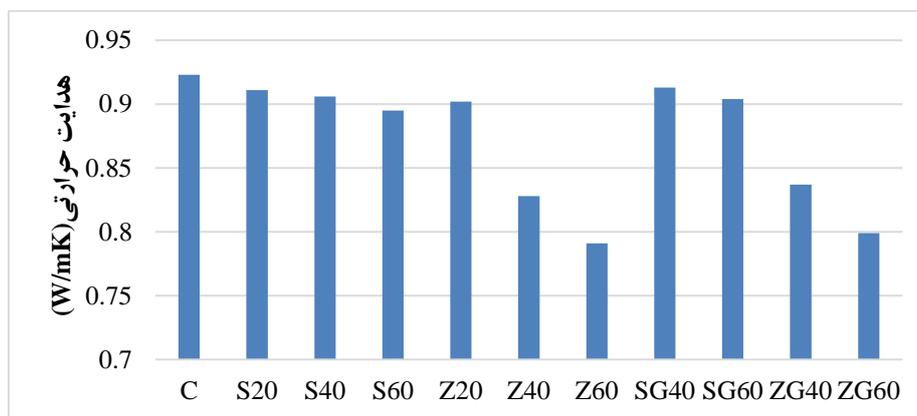
شکل ۵- سرعت عبور پالس فراصوت طرح های مختلف در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز

جذب آب نهایی که یکی از معیارهای سنجش دوام بتن و تراکم ساختاری آن می باشد در طرح های ژئولیتی افزایش قابل توجه دارد و بر عکس در طرح های حاوی سرباره و فعال ساز، کاهش محسوس دیده می شود (شکل ۶). از منظر تراکم، تخلخل ناشی از افزوده شدن ژئولیت به بتن، جذب آب را افزایش داده که با نتایج مقاومت الکتریکی و اولتراسونیک نیز همخوانی دارد. اما در بقیه موارد، نتایج به یکدیگر نزدیک بوده و صرفاً با مطالعات دقیق تر می توان به تفکیک اثرات تراکم بر جذب آب پرداخت.

هدایت حرارتی یکی از مهمترین پارامترهای ارزیابی کیفیت مصالح ساختمانی می باشد و اصولاً هدایت حرارتی کمتر یعنی عایق بهتر و دوام بیشتر در برابر آتش سوزی که از این نظر، همانگونه که از شکل ۷ می توان نتیجه گیری نمود، بتن های ژئولیتی گزینه های مطلوبی به شمار می روند، به گونه ای که درصد ۶۰ ژئولیت تا ۱۴،۳٪ کاهش در هدایت حرارتی را نسبت به طرح شاهد به نمایش گذاشته است. لذا در صورتی که بتن های مورد نظر جهت کاربردهای غیر سازه ای در نظر گرفته شوند، گزینه های بهتری جهت عایق سازی نسبت به بتن های معمولی به شمار می روند.



شکل ۶- جذب آب نهایی طرح‌های مختلف در سن ۲۸ روز

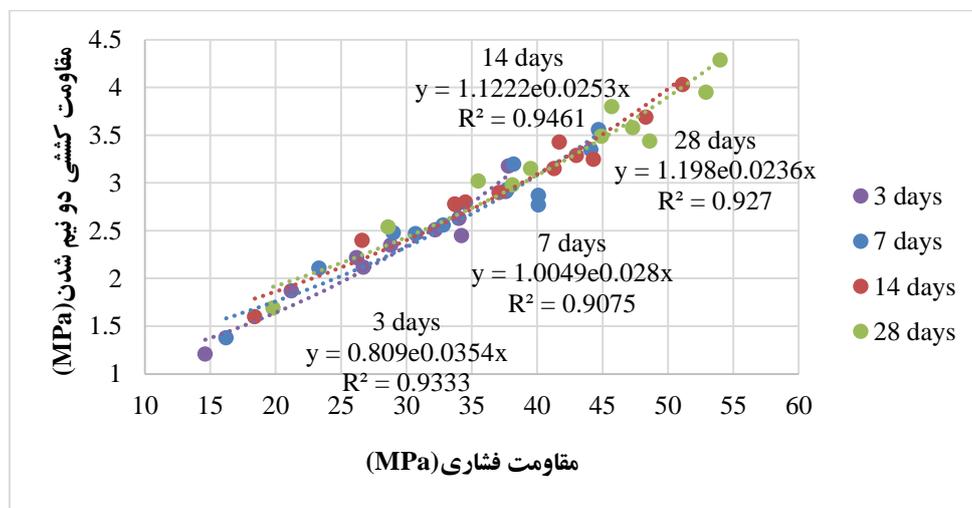


شکل ۷- هدایت حرارتی طرح‌های مختلف در سن ۲۸ روز

۳-۱- همبستگی نتایج

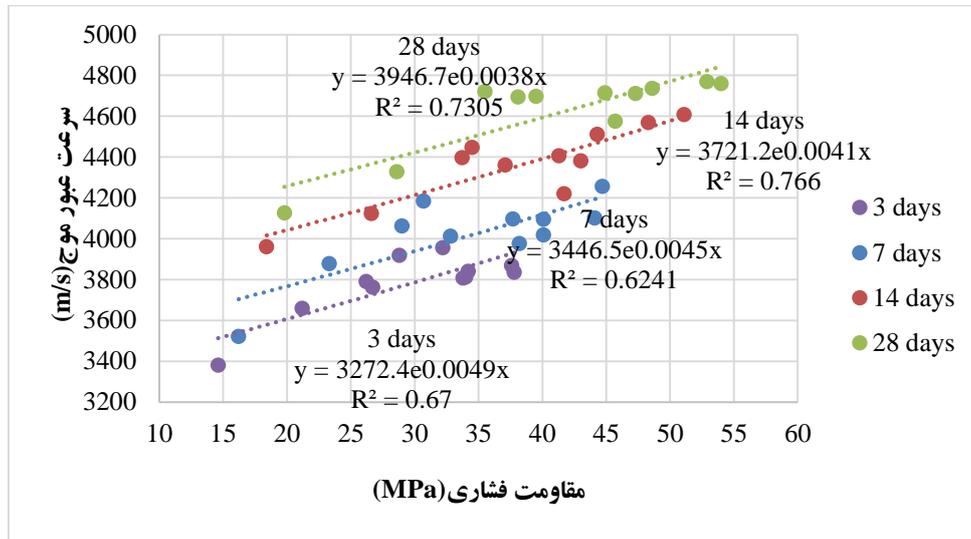
نمایی بین آنها می‌باشد و بیشترین همبستگی را نیز می‌توان در سن ۱۴ روز مشاهده کرد. به صورت کلی، فارغ از طرح‌های اختلاط در نظر گرفته شده، با توجه به عدم تغییر ماهیت در رفتار کششی (که به دلیل مسلح‌سازی با الیاف یا کاربرد مواد پلیمری ایجاد می‌شود)، این روابط نسبتاً قوی، دور از انتظار نیستند.

بر اساس نمودار شکل ۸، نتایج مقاومت فشاری و کششی در سنین مختلف به شدت به یکدیگر نزدیک بوده به گونه‌ای که تشخیص اختلاف خطوط همبستگی تا حدی دشوار می‌گردد. ضرایب همبستگی بالای ۹۰٪ بین این دو دسته از نتایج، بیانگر ارتباط قوی



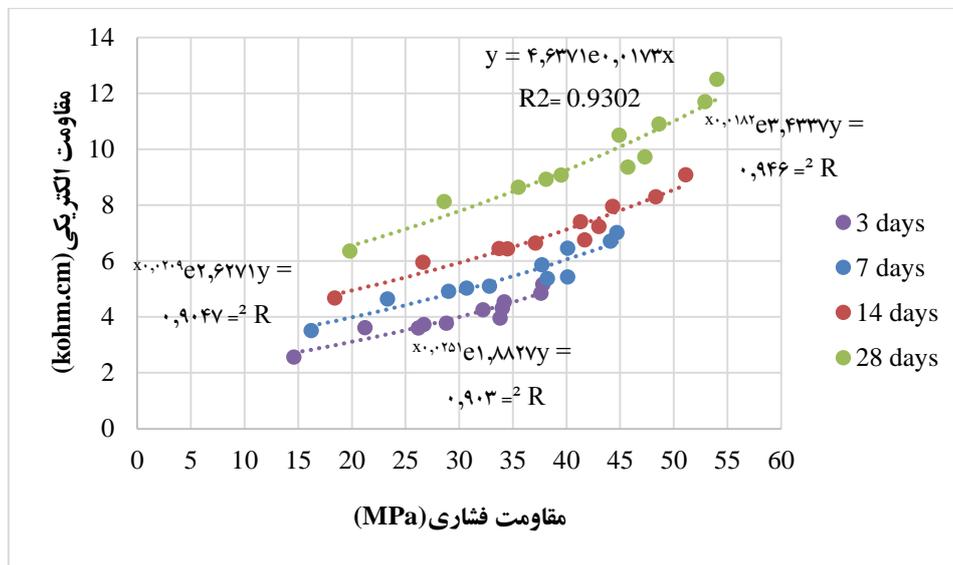
شکل ۸- همبستگی نتایج مقاومت فشاری و کششی در سنین مختلف

نمودار همبستگی شکل ۹ که ارتباط نتایج مقاومت فشاری و هرچند پراکندگی نتایج منجر به کسب ضرایب همبستگی نسبتاً سرعت پالس فراصوت را به نمایش گذاشته است، روابطی تقریباً ضعیف شده است که این پراکندگی به دلیل اختلاف در نحوه خطی و با اختلاف محسوس در سنین مختلف را تبیین می کند. تغییرات ساختار فیزیکی و اثر آنها بر این دو دسته نتیجه می باشد.



شکل ۹- همبستگی نتایج مقاومت فشاری و سرعت پالس فراصوت در سنین مختلف

مقاومت فشاری و الکتریکی، در مقایسه با پالس فراصوت، ارتباط مشاهده می شود، بر خلاف مقاومت کششی، مقاومت الکتریکی در بسیار قوی تری با یکدیگر داشته و ضرایب همبستگی بالای ۹۰٪ ارتباط با مقاومت فشاری در سنین مختلف نمودارهای کاملاً این موضوع را اثبات می کند. همانطور که در شکل شماره ۱۰ متمایزی ایجاد کرده است.



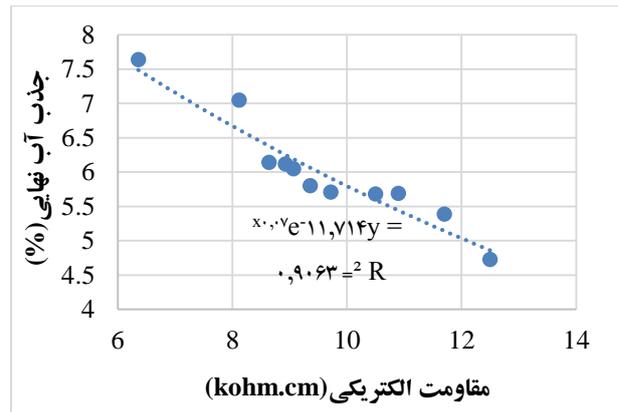
شکل ۱۰- همبستگی نتایج مقاومت فشاری و الکتریکی در سنین مختلف

ارتباط بسیار خوبی بین نتایج مقاومت الکتریکی و جذب آب معکوس جذب آب با مقاومت الکتریکی به دلیل ماهیت نفوذپذیر بتن نمونه های طرح های مختلف در نمودار شکل ۱۱ دیده می شود که با ضریب همبستگی ۹۰٪ می توان رابطه نمایی بین نتایج را معیاری برای پیش بینی هر دسته از نتایج بر اساس نتایج دسته دیگر برشمرد. رابطه

بیشترین همبستگی را نیز می‌توان در سن ۱۴ روز مشاهده کرد.
 - ارتباط نتایج مقاومت فشاری و سرعت پالس فراصوت تقریباً خطی و با اختلاف محسوس در سنین مختلف قابل مشاهده است.
 - مقاومت فشاری و الکتریکی ارتباط بسیار قوی تری در مقایسه با پالس فراصوت داشته و ضرایب همبستگی بالای ۹۰٪ به دست آمد.
 - ارتباط معکوس بسیار خوبی بین نتایج مقاومت الکتریکی و جذب آب نمونه‌های طرح‌های مختلف با ضریب همبستگی ۹۰٪ مشاهده شد.

۵- مراجع

- [1] F.Soltanzadeh, J.A.O.Barros, R.F.C.Santos, High performance fiber reinforced concrete for the shear reinforcement: Experimental and numerical research, *Construction and Building Materials*, Volume 77, 15 February 2015, Pages 94-109
- [2] Jordi Massana, Encarnación Reyes, Jesús Bernal, Néstor León, Elvira Sánchez-Espinosa, Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 165, 20 March 2018, Pages 93-103
- [3] Aloys Dushimimana, Aude Amandine Niyonsenga, Frederic Nzamurambaho, A review on strength development of high performance concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 307, 8 November 2021, 124865
- [4] Bengi Arisoy, Hwai-Chung Wu, Material characteristics of high performance lightweight concrete reinforced with PVA, *Construction and Building Materials*, Volume 22, Issue 4, April 2008, Pages 635-645
- [5] O. Kayali, Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 22, Issue 12, December 2008, Pages 2393-2399
- [6] Manu S.Nadesan, P.Dinakar, Influence of type of binder on high-performance sintered fly ash lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 176, 10 July 2018, Pages 665-675
- [7] Abdulaziz Alaskar, Mohammad Alshannag, Mahmoud Higazey, Mechanical properties and durability of high-performance concrete internally cured using lightweight aggregates, *Construction and Building Materials*, Volume 288, 21 June 2021, 122998
- [8] Jian-Xin Lu, Peiliang Shen, Hafiz Asad Ali, Chi Sun Poon, Development of high performance lightweight concrete using ultra high performance



شکل ۱۱- همبستگی نتایج مقاومت الکتریکی و جذب آب نهایی در سن ۲۸ روز

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه که اثرات مجزا و متقابل فعال‌ساز قلیایی و پوزولان های سرباره و ژئولیت بر مشخصات فیزیکی، مکانیکی و دوام بتن، مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان نتایج زیر را به صورت خلاصه، جمع‌بندی نمود:

- مقاومت فشاری، تابعی از درصد افزودنی های پوزولانی بوده و فعال‌ساز، نقش مؤثری بر افزایش مقاومت و جبران افت ناشی از درصد بالای پوزولان های مصرفی دارد.

- درصدهای ۴۰ و ۶۰ سرباره در بتن‌های حاوی فعال‌ساز افزایش محسوسی را در نتایج نسبت به طرح شاهد و طرح های حاوی سرباره و فاقد فعال‌ساز نشان می‌دهند که این موضوع در مورد بتن‌های حاوی ژئولیت نیز صادق است.

- درصدهای ۴۰ و ۶۰ سرباره در بتن‌های حاوی فعال‌ساز بیشترین مقاومت الکتریکی را در سن ۲۸ روز حاصل نمودند.

- در طرح های Z40 و Z60 تفاوت های محسوس در سرعت پالس فراصوت دیده شد که به دلیل تخلخل نسبتاً بالای ژئولیت و نقش آن در کاهش تراکم بتن می باشد.

- تخلخل ناشی از افزوده شدن ژئولیت به بتن، جذب آب را افزایش داده که با نتایج مقاومت الکتریکی و اولتراسونیک نیز همخوانی دارد.

- بتن‌های ژئولیتی کمترین هدایت حرارتی را داشته و منجر به کسب نتایج بهتری نسبت به سایر بتن‌ها شدند.

- ضرایب همبستگی بالای ۹۰٪ بین نتایج مقاومت فشاری و کششی به دست آمد و ارتباط قوی نمایی بین آنها حاصل شد. همچنین

- expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issues 2–3, February–March 2011, Pages 671-676
- [19] Canan Tasdemir, Ozkan Sengul, Mehmet Ali Tasdemir, A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes, *Energy and Buildings*, Volume 151, 15 September 2017, Pages 469-475
- [20] Mactar Faye, Berangere Lartigue, Souleye Kane, Influence of structural and thermophysical parameters of insulating aggregates on the effective thermal conductivity of lightweight concrete, *Journal of Building Engineering*, Volume 21, January 2019, Pages 74-81
- [21] Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, Experimental research on the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay aggregate, *Composites Part B: Engineering*, Volume 171, 15 August 2019, Pages 46-60
- [22] Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, Syed Farasat Ali Shah, Investigate the influence of expanded clay aggregate and silica fume on the properties of lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 220, 30 September 2019, Pages 253-266
- [23] O. Gencel, F. Koksal, M. Sahin, M. Y. Durgun, H. E. Hagg Lobland, W. Brostow, modeling of thermal conductivity of concrete with vermiculite by using artificial neural networks approaches, *Experimental Heat Transfer*, 26:360–383, 2013
- [24] Adilson Schackow, Carmeane Efftting, Marilena V. Folgueras, Saulo Güths, Gabriela A. Mendes, Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent, *Construction and Building Materials*, Volume 57, 30 April 2014, Pages 190-197
- [25] Mehmet Karatas, Ahmet Benli, Hasan Anil Toprak, Effect of incorporation of raw vermiculite as partial sand replacement on the properties of self-compacting mortars at elevated temperature, *Construction and Building Materials*, Volume 221, 10 October 2019, Pages 163-176
- [26] Abid Ustaoglu, Kubra Kurtoglu, Osman Gencel, Fatih Kocyigit, Impact of a low thermal conductive lightweight concrete in building: Energy and fuel performance evaluation for different climate region, *Journal of Environmental Management*, Volume 268, 15 August 2020, 110732
- [27] Waleed A.Al-Awsh, Omar S. Baghabra Al-Amoudi, Mohammed A.Al-Osta, Aftab Ahmad, Tawfik A.Saleh, Experimental assessment of the thermal and mechanical performance of insulated cementitious composite and different lightweight aggregates, *Cement and Concrete Composites*, Volume 124, November 2021, 104277
- [9] Kok Seng Chia, Min-Hong Zhang, Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, Volume 32, Issue 4, April 2002, Pages 639-645
- [10] Xuemei Liu, Kok Seng Chia, Min-Hong Zhang, Water absorption, permeability, and resistance to chloride-ion penetration of lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 1, January 2011, Pages 335-343
- [11] Xuemei Liu, Kok Seng Chia, Min-Hong Zhang, Development of lightweight concrete with high resistance to water and chloride-ion penetration, *Cement and Concrete Composites*, Volume 32, Issue 10, November 2010, Pages 757-766
- [12] V. Ducman, B. Mirtič, Water vapour permeability of lightweight concrete prepared with different types of lightweight aggregates, *Construction and Building Materials*, Volume 68, 15 October 2014, Pages 314-319
- [13] Mehmet Gesoğlu, Erhan Güneyisi, Turan Özturan, Hatice Öznur Öz, Diler Sabah Asaad, Permeation characteristics of self compacting concrete made with partially substitution of natural aggregates with rounded lightweight aggregates, *Construction and Building Materials*, Volume 59, 30 May 2014, Pages 1-9
- [14] Erhan Güneyisi, Mehmet Gesoğlu, Emad Booya, Kasım Mermerdaş, Strength and permeability properties of self-compacting concrete with cold bonded fly ash lightweight aggregate, *Construction and Building Materials*, Volume 74, 15 January 2015, Pages 17-24
- [15] Jiří Pazderka, Eva Hájková, crystalline admixtures and their effect on selected properties of concrete, *Acta Polytechnica* 56(4):306–311, 2016
- [16] Pejman Azarsa, Rishi Gupta, Alireza Biparva, Crystalline Waterproofing Admixtures Effects on Self-healing and Permeability of Concrete, 1st International Conference on New Horizons in Green Civil Engineering (NHICE-01), Victoria, BC, Canada, April 25 – 27, 2018
- [17] Pejman Azarsa, Rishi Gupta, Alireza Biparva, Inventive Microstructural and Durability Investigation of Cementitious Composites Involving Crystalline Waterproofing Admixtures and Portland Limestone Cement, *Materials* 2020, 13, 1425; doi:10.3390/ma13061425
- [18] Ozkan Sengul, Senem Azizi, Filiz Karaosmanoglu, Mehmet Ali Tasdemir, Effect of

- concrete blocks, Journal of Cleaner Production, Volume 283, 10 February 2021, 124624
- [28] ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates, 2018
- [29] BS EN 12390-3:2002, Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens
- [30] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C496/C496M, Annual Book of ASTM Standard, 2011.
- [31] EN12504-4, Testing concrete-Part 4: Determination of pulse velocity, European Committee for Standardization CEN, 2004
- [32] AASHTO TP 95, Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
- [33] ASTM C642 – 13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- [34] ASTM C518 – 17, Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.

Effect of geopolymer alkaline activators on mechanical properties and durability of pozzolanic concretes

S. Hosein Ghasemzadeh Mosavinejad *

Associate professor, Department of civil engineering, University of Guilan.

Mobarakeh Banimahd Keyvani

M.Sc. Student of civil engineering, Department of civil engineering, University of Guilan.

Abstract

Simultaneous use of pozzolans and geopolymers to improve the properties of concrete is one of the relatively new areas of concrete technology. In this study, slag and zeolite pozzolans were used as a substitute for different percentages of cement weight in concrete. Alkaline activator was also used to reduce the negative effects of high percentages of pozzolan replacement and to investigate their interactions. Based on the results of the defined tests, it was found that the addition of activator to the concrete containing pozzolan had a significant role in recovering part of the loss of properties due to high consumption of pozzolan. By adding activator to the design containing 60% slag, an increase of 52.1% in compressive strength and 44.7% in electrical resistivity for 28 days was observed. Also, the mix design containing 60% zeolite, which had the highest decrease in compressive strength by 59.3%, led to the improvement of thermal insulation properties of concrete up to 14.3% compared to the control mix design.

Keywords: Pozzolanic concrete, zeolite, alkali activator, electrical resistivity, thermal conductivity.

* Corresponding Author: h.mosavi@guilan.ac.ir