



تعیین در صد بهینه و خواص مکانیکی بتن ساخته شده با پومیس سربیشه

ذوالفقار آهنی^۱، محمدرضا سهرابی^۲

زاهدان، دانشکده مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

Z.ahani@mail.usb.ac.ir

خلاصه

از آنجایی که صنایع تولید سیمان بعد از صنایع فولاد سازی و آلومینیوم جزو پر هزینه ترین صنایع محسوب می شود، استفاده از پوزولانها در تولید سیمانهای مرکب، هزینه تمام شده سیمان را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. از طرف دیگر استفاده کردن از مواد پوزولانی به اصلاح خواص مهندسی بتن نظیر چسبندگی و یکنواختی، خواص مکانیکی و دوام (نظیر مقاومت در برابر خرابی ناشی از حملات شیمیایی و...) کمک می کند. از این رو امروزه توجه خاصی به استفاده از پوزولانها بدلیل خواص مطلوب آنها معطوف گشته است. به منظور تعیین در صد بهینه مقدار پومیس سربیشه واقع در استان خراسان جنوبی به عنوان جایگزین انواع سیمان، نخست میزان فعالیت پوزولانی تعیین گردیده و سپس مخلوط های مختلف بتنی با درصد های متفاوت پوزولان جایگزین تهیه و مقاومت فشاری و کششی نمونه ها در سنین مختلف به دست آمده است. بر مبنای نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه، درصدی از پوزولان که به نظر می رسد برای جایگزینی مناسب باشد، بعنوان درصد بهینه انتخاب گردیده و خواص مکانیکی بتن پوزولانی با نمونه های شاهد مقایسه و به صورت کیفی مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: پومیس، پوزولان، درصد بهینه، فعالیت پوزولانی، خواص مکانیکی

مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پرمصرف ترین مصالح جهان و به عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته شده است [۱]. با این وجود، به ازای تولید هر تن سیمانی که برای ساختن بتن مصرف می شود، حدود یک تن دی اکسید کربن نیز تولید و وارد اتمسفر کره زمین می شود. تحقیقات نشان می دهند که کارخانه های تولید کننده سیمان مسئول انتشار حدود ۵ درصد از کل دی اکسید کربن وارد شده به اتمسفر کره زمین می باشند [۲]. همچنین بحران انرژی و کمبود مواد اولیه، پژوهشگران را به اندیشیدن راهکارهایی در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی و مواد اولیه وا داشته است. از طرفی برای تولید سیمان انرژی زیادی صرف می شود. یکی از راههایی که به صرفه جویی در مصرف انرژی در تولید سیمان منتهی می گردد جایگزین نمودن آن با مصالحی نظیر پوزولان هاست که دارای خواص هیدرولیکی و سیمانی شوندگی نهانی می باشند. به علاوه، استفاده از پوزولانها بسیاری از خواص مهندسی و پایایی بتن های سخت شده را نیز بهبود می بخشد. استفاده از پوزولانها به این شکل، سبب صرفه جویی در مصرف مواد اولیه ای نظیر آهک که در تولید سیمان به مقدار زیادی مصرف می شود نیز می گردد [۲].

در این پژوهش نمونه ها با دو نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵، دو مقدار عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و شش نسبت جایگزینی سیمان با پومیس سربیشه ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد در قالب ۲۴ طرح اختلاط تولید گشته اند و در مجموع تعداد ۲۱۶ نمونه مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی متری و ۱۴۴ نمونه استوانه ای ۳۰*۱۵ سانتی متری ساخته شده است.

در این تحقیق تلاش شده است تا تأثیر تغییرات مقادیر جایگزینی سیمان با پومیس سربیشه، عیار سیمان و نسبت آب به سیمان بر مقاومت های فشاری و کششی بتن در سنین مختلف عمل آوری بررسی گردد. و بر مبنای نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه، درصدی از پومیس سربیشه که به نظر می رسد برای جایگزینی مناسب باشد، بعنوان درصد بهینه انتخاب شده است.

مصالح مصرفی

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه

۲ استادیار دانشکده مهندسی

**پومیس**

پومیس مورد استفاده در آزمایشات، از منطقه ای واقع در سربیشه بدست آمده که به وفور در آنجا موجود است و به رنگ خاکستری متمایل به سفید می‌باشد.

پومیس یک فرم متخلخل از سنگهای آتشفشانی است که چگالی پودر شده آن بین ۲ تا ۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد به عبارت دیگر پومیس بسیار سبک است و معمولاً روی آب می‌ایستد [۳]. چگالی پودر شده پومیس سربیشه ۲/۳ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد.

پوزولان‌ها انواع مختلفی داشته و به طور کلی به دو دسته طبیعی و مصنوعی طبقه‌بندی می‌گردند [۴]. که پومیس سربیشه جزء پوزولان‌های طبیعی می‌باشد.

تمام پوزولانهای طبیعی به غیر از خاکهای دیاتومه از سنگها و کانیهای آتشفشانی سرچشمه گرفته اند. در حین فوران های آتشفشانی انفجاری، خاک شدن سریع ماگما، اساساً متشکل از آلومینوسیلیکاتها، منجر به تشکیل شیشه یا فازهای شیشه ای با ساختار نامنظم می‌شود. از آنجا که آلومینوسیلیکاتها با ساختمان نامنظم در معرض محلول آهک، پایدار باقی خواهند ماند، این امر اساس خواص پوزولانی می‌گردد [۱].

بر اساس تحقیقات و آزمایشات انجام گرفته شده پوزولانها در آزمایشات فشاری دارای رفتار یکسانی می‌باشند بطوریکه با اضافه کردن مقداری مشخص از هر پوزولان در مخلوط، حداکثر مقاومت فشاری بدست می‌آید و بعد از آن با افزایش درصد پوزولان در مخلوط، مقدار مقاومت افت می‌کند [6]. بطور مثال آزمایشات انجام شده بر روی نوعی پومیس نشان داد که شاخص فعالیت مقاومت^۱ برای اختلاطهای شامل ۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ۳۰ درصد جایگزین سیمان بیشتر از ۷۵ درصد می‌باشد و این امر ملزومات مورد نظر آیین نامه ASTM را شامل می‌شود و مناسب تشخیص داده می‌شود ولی برای درصدهای بالاتر جایگزینی این شاخص کمتر از ۷۵ درصد است و پیشنهاد نمی‌گردد و مناسبترین درصد جایگزینی را ۲۰ درصد اعلام می‌کند [7].

تحقیقات نشان می‌دهند که پوزولانها با ایجاد تاخیر در زمان گیرش، گرمای هیدراسیون واکنشهای سیمان را کاهش می‌دهند. بطور مثال سیمان پرتلند تیپ ۱ با جایگزینی ۰ تا ۲۵ درصد از پودر پومیس باعث افزایش زمان گیرش اولیه از ۳/۱۵ تا ۳/۶ و همچنین افزایش زمان گیرش نهایی از ۵/۱۵ تا ۵/۸ گردیده است [8]. همچنین در تحقیقات دیگری که انجام شده است پودر پوزولان و خاکسترهای آتشفشانی قابلیت خوبی در کاهش گرمای هیدراتاسیون از خود نشان داده اند [9]. البته شایان ذکر است که تاثیرات درصدهای بالای جایگزینی پوزولانهای طبیعی با سیمان بر روی زمان گیرش نهایی متفاوت است بطوریکه در یک سری از آزمایشات انجام شده بر روی اینگونه از پوزولانها در ۳۵ درصد و ۴۵ درصد جایگزینی سیمان با پوزولان، زمان گیرش نهایی، از خود افزایش نشان می‌دهند ولی در ۵۵ درصد جایگزینی سیمان با پوزولان، زمان گیرش نهایی کاهش پیدا می‌کند [10].

جدول ۱- آنالیز شیمیایی دانه‌های پومیس سربیشه

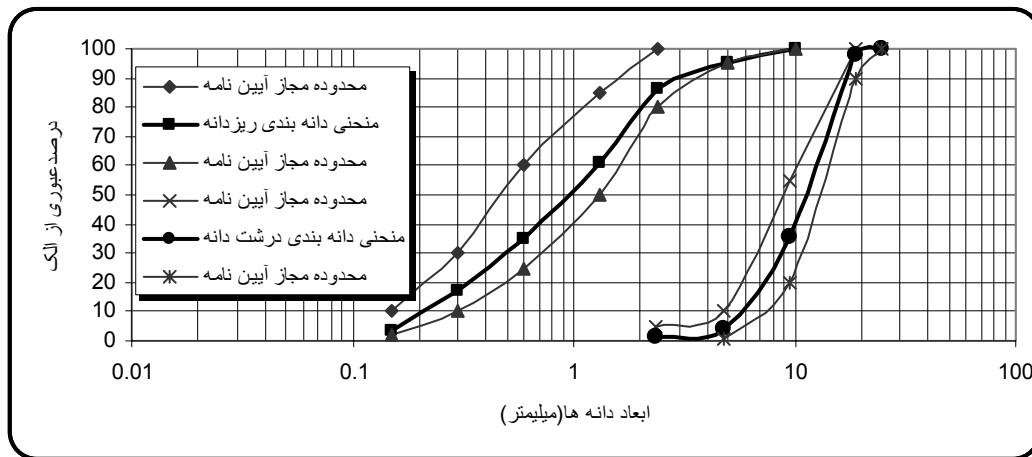
ترکیبات شیمیایی	درصد	ترکیبات شیمیایی	درصد
SiO ₂	۷۹-۸۱/۴	Na ₂ O	۱ - ۱/۷
Al ₂ O ₃	۱۴/۸-۱۶/۱	K ₂ O	۱/۹ - ۲/۱
Fe ₂ O ₃	۰/۴ - ۱/۱	L.O.I	-
CaO	۲/۸ - ۳/۷	Cl	<۰/۱
MgO	<۰/۳	SO ₃	-

نتایج بدست آمده از فعالیت پوزولانی پوزولانهای طبیعی، نشان می‌دهد که مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده از این پوزولانها مستقیماً متناسب با افزایش نسبت سیلیس و نسبت معکوس با Fe₂O₃ دارد و افزایش نسبت MgO و K₂O فعالیت پوزولانی را کاهش می‌دهند و مهمترین اجزاء پوزولان سیلیس است و آن می‌تواند سهمی در فعالیت پوزولانی در شکل بلوری و غیر بلوری فراهم کند [5]. با بررسی جدول شماره ۱ مشخص می‌گردد که پومیس سربیشه برای استفاده در مخلوط بتن مناسب می‌باشد.

مصالح دانه‌ای

در این پژوهش از مصالح سنگی شامل درشت دانه و ریزدانه استفاده شده است. برای تعیین مقدار جذب آب دانه‌ها از استاندارد ASTM C127 استفاده شده است. نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات بیان می‌کند که مقدار جذب آب درشت دانه‌های مورد استفاده در این پژوهش ۰/۴۲ درصد وزن خشک دانه‌ها و جذب آب ماسه ۰/۸۱ درصد وزن خشک دانه‌ها می‌باشد.

¹ SAI



نمودار ۱- دانه بندی ریزدانه و درشت دانه همراه حدود مجاز استاندارد ASTM C33

بزرگترین اندازه درشت دانه های ۱۹ میلی متر و مقدار اسلامپ بتن تازه، ۵۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. مقدار مدول نرمی ماسه نیز که از منحنی دانه بندی آن استخراج شده است برابر با ۳/۰ می باشد. وزن مخصوص انبوهی میله خورده درشت دانه ها ۱۶۵۰ و وزن مخصوص ظاهری آنها ۲۶۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه گیری شده است. وزن مخصوص انبوهی میله خورده ریزدانه ها ۱۶۰۰ و وزن مخصوص ظاهری آنها ۲۵۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه گیری شده است.

سیمان پرتلند

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ دو استفاده شده است.

فوق روان کننده

فوق روان کننده ی مورد استفاده در آزمایشات بر پایه ی ملامین سولفونیت اصلاح شده می باشد و وزن مخصوص آن حدود ۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد.

طرح اختلاط مصالح، ساخت نمونه ها و طرز عمل آوری نمونه ها

جهت تعیین نسبت های اختلاط اجزای تشکیل دهنده مخلوط بتن از روش حجم مطلق استاندارد ACI 211.1 استفاده شده است. در این پژوهش جهت تعیین مقاومت های فشاری نمونه ها از قالب های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی متری و جهت تعیین مقاومت کششی نمونه ها به روش دونیم شدن (آزمایش کشش برزیلی) از قالب های استوانه ای استاندارد ۱۵*۳۰ سانتی متری استفاده شده است. جهت متراکم نمودن بتن در قالب ها، از روش کوبیدن با میله استاندارد استفاده شده است. پس از ساخت و جا دادن بتن در قالب ها، کلیه نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب ها خارج گردیده و تا زمان انجام آزمایش در سنبلین تعیین شده در آب نگهداری شده اند.

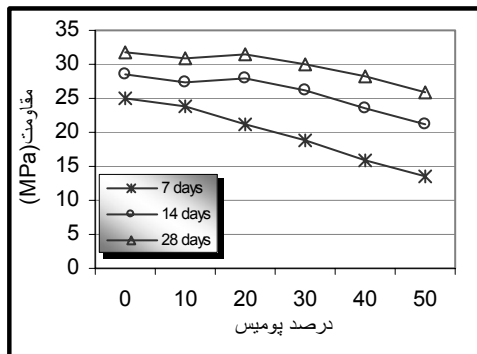
نتایج آزمایشات

آزمایشات تعیین مقاومت فشاری

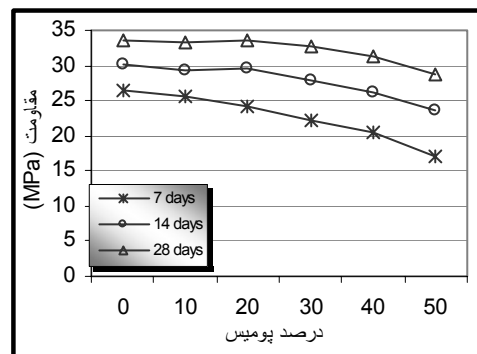
با بررسی نمودارهای ۲ تا ۵ مشخص می گردد که در سن ۷ روزگی با افزایش میزان جایگزینی، از مقاومت فشاری کاسته شده است. این کاهش را می توان مربوط به دیر آغاز شدن فرآیندهای آبگیری سیمان پوزولانی دانست. همانطور که نتایج نیز بیان می دارند در این سن هنوز واکنش های آبگیری سیمان پوزولانی به خوبی تکمیل نشده است و نمونه ها برای کسب مقاومت مطلوب خود، نیاز به زمان بیشتری دارند. نتایج بیان می کند که در سن ۱۴ روزگی، واکنش های آبگیری سیمان پوزولانی تا حدودی انجام شده ولی هنوز بطور کامل انجام پذیرفته است. همانطور که نمودارهای ۲ و ۳ نشان می دهد در این سن اکثر نمونه های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ که حاوی ۲۰ درصد پومیس بوده اند، دارای رشد مقاومت خوبی می باشد. نمودارهای ۴ و ۵ در مورد سن ۱۴ روزگی نمونه هایی که با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ ساخته شده اند، نشان می دهند که نمونه های حاوی تا ۳۰ درصد پومیس رشد مقاومت خوبی داشته اند.



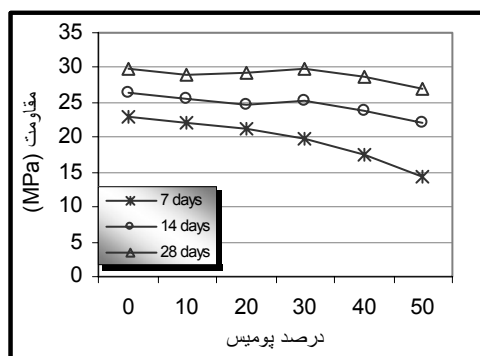
با بررسی نمودارهای ۲ تا ۵ برای سن ۲۸ روزگی نمونه‌ها مشخص می‌گردد که جایگزین نمودن ۲۰ درصد وزنی سیمان پرتلند با پودر پومیس با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و جایگزین نمودن ۳۰ درصد وزنی سیمان پرتلند با پودر پومیس با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ بعنوان درصد بهینه جایگزینی در سیمان مطرح می‌باشد؛ اما استفاده مقادیر بیشتر از درصد پومیس در مخلوط بتن تأثیر سوئی بر روند کسب مقاومت داشته است و مقاومت‌های کمتری از نمونه‌های شاهد ارائه نموده‌اند.



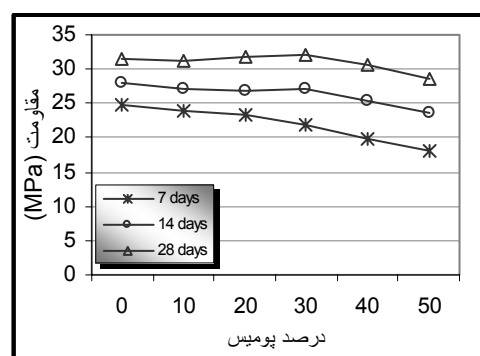
نمودار ۳- تغییرات مقاومت فشاری بر حسب تغییرات مقدار پومیس (C=450 Kg/m³, W/C=0.45)



نمودار ۲- تغییرات مقاومت فشاری بر حسب تغییرات مقدار پومیس (C=350 Kg/m³, W/C=0.45)

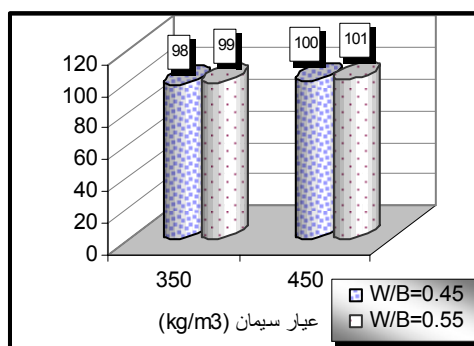


نمودار ۵- تغییرات مقاومت فشاری بر حسب مقدار پومیس (C=450 Kg/m³, W/C=0.55)

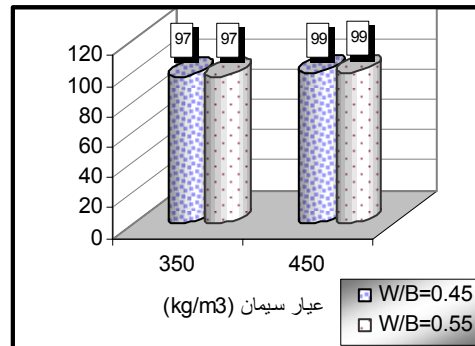


نمودار ۴- تغییرات مقاومت فشاری بر حسب مقدار پومیس (C=350 Kg/m³, W/C=0.55)

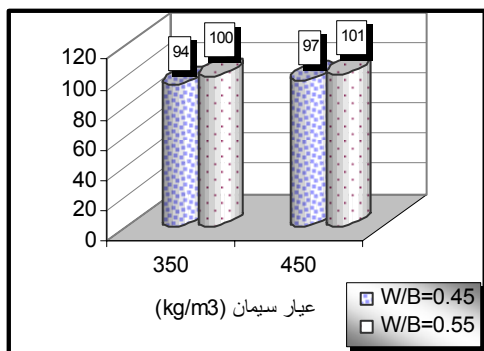
با مطالعه نمودارهای ۶ تا ۱۰ مشخص می‌گردد که تأثیر استفاده از پومیس بر افزایش مقاومت نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ بیشتر بوده است. همچنین مشاهده می‌گردد که استفاده از ۴۰ و ۵۰ درصد پومیس باعث افت مقاومت کلیه نمونه‌ها گردیده است.



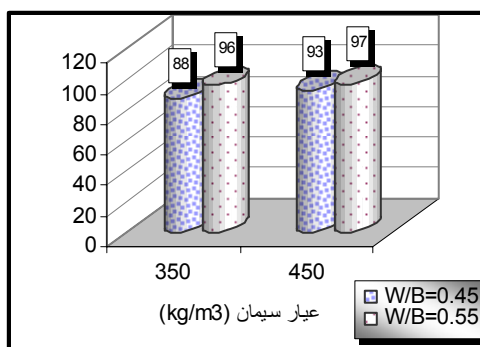
نمودار ۷- نسبت مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی ۲۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



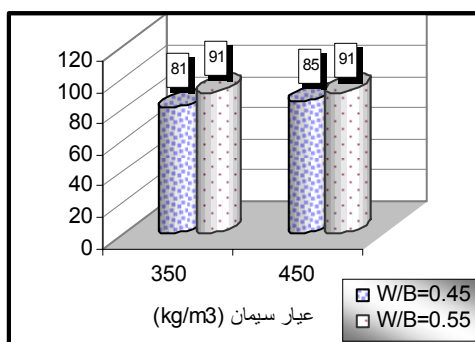
نمودار ۶- نسبت مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی ۱۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



نمودار ۹- نسبت مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی ۴۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



نمودار ۸- نسبت مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی ۳۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



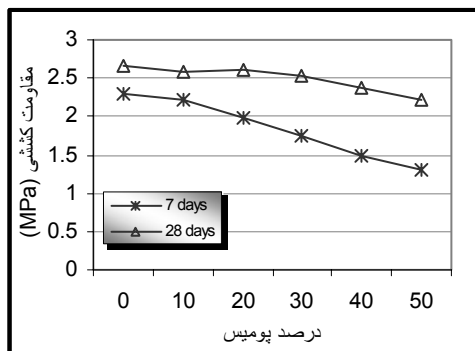
نمودار ۱۰- نسبت مقاومت‌های فشاری نمونه‌های حاوی ۵۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)

نتایج آزمایشات مقاومت کششی

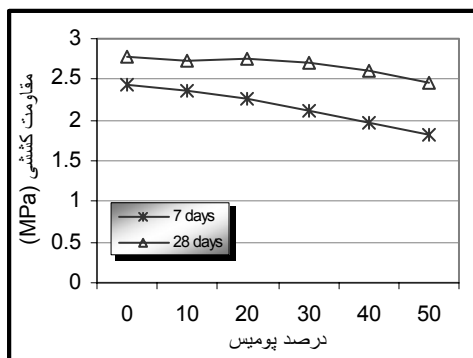
جهت مشخص نمودن تأثیر استفاده از پودر پومیس در مخلوط بتن بر مقاومت کششی بتن‌های ساخته شده، اقدام به اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌ها در سنین ۷ و ۲۸ روزگی شده است.

همانگونه که در نمودارهای ۱۱ تا ۱۴ مشاهده می‌گردد استفاده از پومیس در کوتاه مدت اثری منفی بر مقاومت کششی نمونه‌ها داشته و با افزایش محتوای پومیس، شاهد کاهش مقاومت نمونه‌ها می‌باشیم.

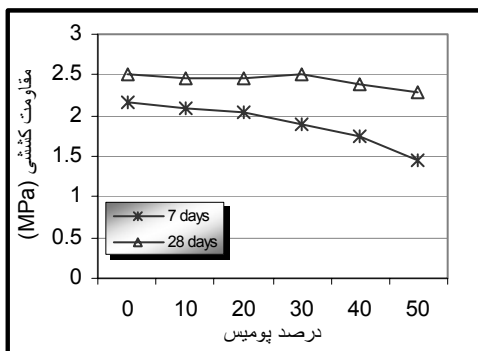
با زیاد شدن سن نمونه‌ها، شاهد آغاز و تکمیل واکنش‌های آگیری سیمان پوزولانی و به تبع آن افزایش مقاومت کششی نمونه‌های حاوی پومیس خواهیم بود. با بررسی نمودارهای ۱۱ تا ۱۴ نتیجه می‌شود که جایگزین نمودن تا حدود ۳۰ درصد وزنی سیمان پرتلند موجود در مخلوط بتن با پودر پومیس تأثیری مثبت بر مقاومت کششی نمونه‌ها داشته است. برای نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، بیشترین مقاومت کششی ۲۸ روزه متعلق به نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد پومیس و برای نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، بیشترین مقاومت کششی ۲۸ روزه متعلق به نمونه‌های حاوی ۳۰ درصد پومیس بوده است.



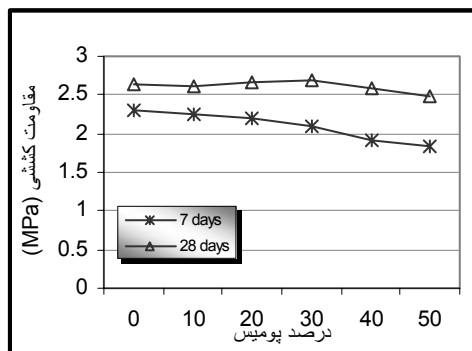
نمودار ۱۲- تغییرات مقاومت کششی بر حسب تغییرات (مدرار ۱۲)
مقدار پومیس (C=450 Kg/m³, W/C=0.45)



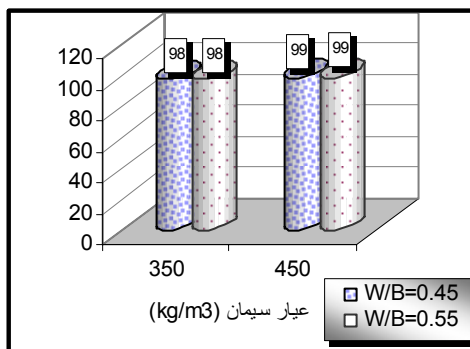
نمودار ۱۱- تغییرات مقاومت کششی بر حسب تغییرات (مدرار ۱۱)
مقدار پومیس (C=350 Kg/m³, W/C=0.45)



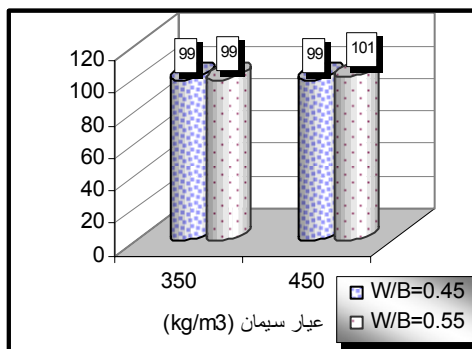
نمودار ۱۴- تغییرات مقاومت کششی بر حسب تغییرات مقدار پومیس (C=450 Kg/m³, W/C=0.55)



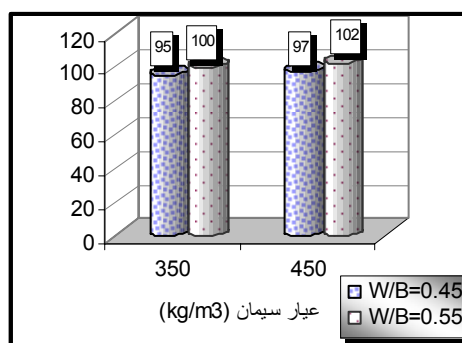
نمودار ۱۳- تغییرات مقاومت کششی بر حسب تغییرات مقدار پومیس (C=350 Kg/m³, W/C=0.55)



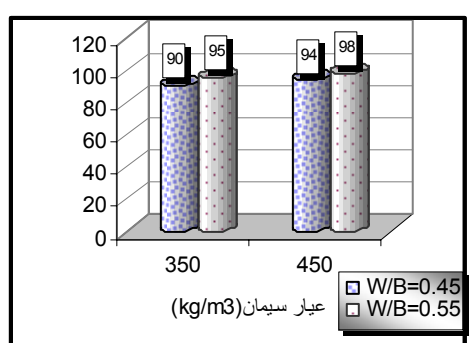
نمودار ۱۶- نسبت مقاومت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۲۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



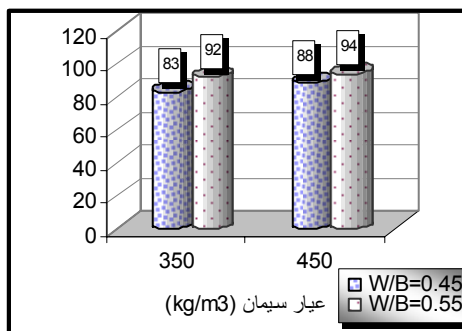
نمودار ۱۵- نسبت مقاومت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۱۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



نمودار ۱۸- نسبت مقاومت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۴۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



نمودار ۱۷- نسبت مقاومت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۳۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)



نمودار ۱۹- نسبت مقاومت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۵۰٪ پومیس به نمونه‌های شاهد در سن ۲۸ روزگی (درصد)

با مشاهده نمودارهای ۱۵ تا ۱۹ نتیجه گرفته می‌شود که نسبت مقاومت برای نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ بیشتر از نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ می‌باشد. همچنین مشاهده می‌گردد که استفاده از ۴۰ و ۵۰ درصد پومیس باعث افت مقاومت کلیه نمونه‌ها گردیده است.

خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش برای ساخت نمونه‌ها از دو نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵، دو مقدار عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوگرم برای یک متر مکعب بتن و شش نسبت جایگزینی سیمان با پومیس ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد استفاده شده است. هدف از بررسی تأثیر جایگزینی سیمان پرتلند با مقادیر مختلف پودر پومیس سربیشه بر مقاومت‌های فشاری و کششی بتن معمولی و در نتیجه دست یافتن به درصد بهینه جایگزینی پودر پومیس در سیمان پرتلند است. در این راستا علاوه بر بررسی تأثیر مقادیر مختلف جایگزینی، تأثیر عوامل دیگری نظیر سن نمونه‌ها، نسبت آب به سیمان و مقدار عیار سیمان نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده به صورت خلاصه به شرح زیر می‌باشند:

- کلیه نمونه‌های حاوی پومیس در سن ۷ روزگی مقاومت‌های فشاری و کششی کمتری از نمونه‌های شاهد از خود نشان داده اند.
- پس از گذشت دو هفته از ساخت نمونه‌ها، آنهایی که درصد پومیس کمتری داشته‌اند توانسته‌اند مقاومت‌های خوبی ارائه نمایند. بنابراین می‌توان گفت که در این سن حجم زیادی از واکنش‌های آگیری سیمان پوزولانی انجام یافته است.
- در سن ۲۸ روزگی از میان نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ آنهایی که محتوی ۲۰ درصد پومیس بوده‌اند، توانسته‌اند بیشترین مقاومت فشاری و کششی را کسب نمایند.
- در سن ۲۸ روزگی از میان نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ آنهایی که محتوی ۲۰ و ۳۰ درصد پومیس بوده‌اند، توانسته‌اند مقاومت فشاری و کششی خوبی را کسب نمایند.
- استفاده از پومیس به مقدار ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی سیمان پرتلند، تأثیر رضایت بخشی بر مقاومت های فشاری و کششی نمونه‌ها نداشته است.
- با افزایش عیار سیمان موجود در مخلوط بتن بر مقدار مقاومت‌های نمونه‌ها نیز افزوده شده است.
- با کاهش نسبت آب به سیمان بر مقدار مقاومت‌های نمونه‌ها افزوده شده است ولی مقدار نسبت مقاومت‌های نمونه‌های حاوی پومیس به نمونه‌های فاقد پومیس کاهش یافته است.
- بیشترین نسبت مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پومیس به نمونه‌های فاقد پومیس، ۱۰۱ درصد بوده و متعلق به مقدار ۲۰ و ۳۰ درصد جایگزینی با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ در سن ۲۸ روزگی بوده است.
- بیشترین نسبت مقاومت کششی نمونه‌های حاوی پومیس به نمونه‌های فاقد پومیس، ۱۰۲ درصد بوده و متعلق به مقدار ۳۰ درصد جایگزینی با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ در سن ۲۸ روزگی بوده است.

مراجع

۱. مهتا، کومار؛ مونته‌ئیرو، دی. جی؛ "ریز ساختار، خواص، و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)"، (رمضانیان‌پور، علی اکبر؛ قدوسی، پرویز؛ گنجیان، اسماعیل؛ مترجم)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.
۲. رمضانیان‌پور، علی اکبر؛ "سیمانهای پوزولانی و توسعه پایدار"، متن سخنرانی در سیزدهمین سمینار کیفیت سیمان و سیمان‌های آمیخته هیدرولیکی، اردیبهشت ۲ و ۳ دی‌ماه ۱۳۸۰.
3. klaus grasser and gernot minke "building with pumice" printed in the federal republic of germany , 1990.
۴. رمضانیان‌پور، علی اکبر؛ "ارزیابی پوزولانهای ایران"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸.



5. Ahmet C, avdar , S_u`kru` Yetgin “*Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships* ”published in 2006available on line at www.Sciencedirect.Com
- 6.b.y.pekmezci , s.akyuz “*Uptimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete*” publshed in 2004 available on line at www.Sciencedirect.com
- 7.Khandaker m.anwar hossain ,“*volcanic ass and pumice as cement additives : pozzolanic , alkali_silica reaction and autoclave expansion characterestices*” published In 2004 available on line at www.Sciencedirect.com
- 8.Khandaker m.anwar hossain “*PROPERTIES OF VOLCANIC PUMICE BASED CEMENT AND LIGHTWEIGHT CONCRETE*” published in 2003 available on line at www.Sciencedirect.com
- 9.Khandaker m.anwar hossain “*Blended cement using volcanic ass and pumice* ” published in 2003 available on line at www.Sciencedirect.com
- 10.L.turanli , B.uzal , F.bektas “*Effect of large amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements*” published in 2004 available on line at www.Sciencedirect.com