ارزیابی خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک حاوی درصدهای مختلف الیاف پلی‌پروپیلن و زئولیت

عبدالکریم عباسی دزفولی*
استادیار، مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
روزبه آقاجری
کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
abbasihamid@hotmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

چکیده:
بتن سبک یکی از مصالح مهم و کار آمد در صنعت ساختمان مدرن است و دارای کاربردهای متنوعی است. کاربرد صحیح بتن سبک می‌تواند تأثیرات مثبت فراوانی بر روند ساخت سازه‌های بتنی داشته باشد. امکان بکارگیری دراکثر مناطق جغرافیایی، استفاده از متریال طبیعی و ارزان، سرعت بالای انجام، دارای هزینه کم در مقایسه با حجم زیاد عملیات و شکل پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح، کارایی مناسب و مقاومت بسیار بالا، مقاوم در برابر نیروهای فشاری و کششی، قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردگی از ویژگی های بارز بتن های سبک سازه ای می باشد. هدف اصلی از انجام این مطالعه بررسی خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک حاوی درصدهای مختلف زئولیت و در صدهای مختلف پلی پروپیلن بصورت مجزا بوده است. در این تحقیق با بهره گیری از روش آزمایشگاهی به ارزیابی و بررسی خواص رئولوژیکی بتن سبک تازه(بتن نرم) و خواص مکانیکی بتن سبک سخت شده، در سنین ۷ و ۲۸ روز پرداخته شده است. براین اساس بر اساس استاندارد ASTMC 39، دو نمونه بتن سبک بدون زئولیت و پلی پروپیلن در سنین ۷ و ۲۸ روز تهیه گردیده و مورد ارزیابی مکانیکی قرار گرفته است، سپس در ادامه‌ی نمونه بتن سبک تهیه شده بر اساس استاندارد ASTMC 39، ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف الیاف پلی پروپیلن (۰/۹، ۱ و ۱/۱ درصد) و ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف زئولیت (۵، ۱۰و ۱۵ درصد)، در سنین مذکور را با نمونه ی مبنا، مورد بررسی و مقایسه آزمایشگاهی قرار داده و در نهایت نتایج حاصله نشان داد که نمونه های بتن سبک حاوی زئولیت نسبت به نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپیلن، از مقاومت الکتریکی بالاتری برخوردار بوده و بالاترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت بوده است که معادل ۴۰۰/۷۵ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب در سن ۲۸ روز بدست آمده است.

کلید واژگان: بتن سبک، زئولیت، الیاف پلی پروپیلن، خواص رئولوژیکی، خواص مکانیکی.

۱-مقدمه

بتن سبک یک متریال چند کاربردی است که در سال‌های اخیر تقاضا برای استفاده از آن در طیف گسترده‌ای از پروژه‌های ساخت و ساز افزایش یافته است. این بتن‌ها به‌گونه‌ای ساخته شده‌اند که وزن به مراتب کمتری از بتن‌های معمولی دارند. استفاده از این نوع از بتن‌ها در مقایسه با بتن‌های معمولی مزایای بسیار زیادی را در پی دارد. سبک بودن این نوع از بتن‌ها باعث کاربرد وسیع آن‌ها به عنوان عایق‌های حرارتی و صوتی شده است. از طرفی نیز استفاده از بتن سبک باعث کاهش وزن کلی سازه و در نتیجه کاهش نیاز به مسلح سازی و فولاد می‌شود. بتن‌های سبک دارای چگالی تقریبی برابر با ۱۴۴۰ تا ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب هستند در حالی که بتن‌های معمولی چگالی برابر با ۲۲۴۰ تا ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب دارند.

مسلمان یزدی و همکاران بیان داشتند که امروزه با گسترش و پیشرفت علم و پیدایش تکنولوژی‌های فراوان، شناخت بتن و خواص آن نیز توسعه قابل ملاحظه‌ای داشته است، به نحوی که در قرن اخیر شاهد کاربرد انواع مختلف بتن با مصالح مختلف هستیم که هر یک خواص و کاربری مخصوص به خود را داراست[10] .

مخدومی و همکارش اذعان داشتند، اگر چه اصطلاح بتن سبک برای اولین بار در ۱۰۰ سال قبل مطرح شد اما به دلیل نبود امکانات و تجهیزات پیشرفته استفاده از آن تنها به پروژه‌های با مقیاس بسیار کوچک محدود شده بود. در ۲۰ سال گذشته و با ورود به قرن ۲۱ ام، پیشرفت‌های مهمی در حوزه صنایع ساخت و ساز رخ داد و همین موضوع امکان استفاده گسترده‌تر از انواع بتن‌های سبک در صنعت ساخت و ساز را فراهم کرد. سبک سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می باشد این فن‌آوری عبارتست از کاهش وزن تمام شده ساختمان با استفاده از تکنیک‌های نوین ساخت، مصالح جدید و بهینه سازی روش‌های اجرا. کاهش وزن ساختمان علاوه بر صرفه جویی در هزینه، زمان و انرژی، زیان های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل می‌رساند [9]. حسنی اسکوئی و همکارش در تحقیقی بیان کردند که با وجود مقاومت فشاری قابل توجه، مقاومت کششی کم و شکنندگی نسبتاً زیاد بتن، استفاده از آن برای قطعاتی که تماماً یا به طور موضعی تحت کشش هستند را محدود می‌نماید. این عیب اساسی بتن در عمل با مسلح کردن آن و با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی بر طرف می شود. با توجه به اینکه آرماتور بخش کوچکی از مقطع بتن را تشکیل می دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع همگن و ایزوتروپ باشد، صحیح نخواهد بود، به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می‌شود، متداول شده است[3].

با گذشت زمان و افزایش جمعیت دنیا نیاز به پیشرفت در زمینه ساخت‌وساز، نگهداری و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود و استفاده از تکنولوژی‌های نوین بیش از پیش احساس می‌شود. علاوه بر این لزوم ساخت سازه‌های مقاوم در برابر زلزله به دلیل افزایش لرزه‌خیزی کشورهای دنیا بیشتر احساس می‌شود. از جمله تکنولوژی‌های نوین که جایگاه ویژه‌ای در ساخت‌وساز به خود اختصاص داده، افزودنی‌های بتن و الیاف تقویت‌کننده در غالب بتن الیافی می‌باشد. از سال ۱۹۶۰ میلادی به بعد نوع جدیدی از این بتن وارد عرصه صنعتی شد. در این راه این نوع بتن جدا از هم با توزیع تصادفی به عنوان فاز جدیدی علاوه بر فازهای بتن معمولی به کار گرفته شده‌است. مقاومت کششی و برشی بتن الیافی نسبت به بتن معمولی بیشتر می‌باشد[11]. Victor و همکاران در تحقیقی دیگر بیان داشتند، ضخامت نهایی بتن الیافی علاوه بر کفایت در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی ضریب اطمینان بسیار بالایی در اجرا ایجاد می‌کند. در سازه‌های زیرزمینی که در معرض آب و رطوبت و خوردگی بیشتر قرار دارند اهمیت بالاتری دارد. علاوه بر این موارد بتن‌های الیافی در برابر بارهای دینامیکی مانند زلزله، و ضربه به دلیل خصوصیات جذب انرژی مناسب، عملکرد بسیار مناسب تری از خودشان نشان می‌دهند [15]. کیوانی در مطالعه ای ذکر کرده است که بکارگیری بتن غیر مسلح به علت تردی آن بغیر از سازه‌های وزنی عملاً کاربرد چندانی ندارد. این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن به وسیله میلگردهای فولادی یا آرماتور برطرف می‌گردد. اما از آنجا که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزو تروپ و هموژن است چندان صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک و نسبتاً دراز که در تمام حجم بتن به‌طور همگن و درهم پراکنده می‌گردد استفاده می‌شود. کاربرد اینگونه رشته‌ها یا الیاف در بتن و به‌طور کلی در ملات‌های سیمانی که مورد استفاده است، می‌تواند الیاف شیشه‌ای، پلی‌اتیلنی، فولادی، آزبست یا نایلونی باشد [7].

کلمندی و همکاران در مطالعه شان بیان داشتند استفاده از افزودنی‌های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می‌گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسین بنا قرار می‌دهد[6]. اصغری و همکارش ذکر کرده اند که بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت‌کننده داخل مخلوط بتن، مقاومت کششی فوق‌العاده افزایش می‌یابد[1]. پریش و همکاراناین ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل‌پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پر انحنا را فراهم می‌آورد[2]. ذبیحی و ذاکرزاده نموده اند که بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار اس ت و تحت اثر بارهای ضربه‌ای به راحتی ازهم

پاشیده نمی‌شود [5]. لک و همکاران اذعان کردند شاهد تاریخی این فن‌آوری، کاربرد کاه‌گل در بناهای ساختمان است. در واقع بتن الیافی نوع پیشرفته این تکنولوژی می‌باشد که الیاف طبیعی و مصنوعی جدید، جانشین کاه و سیمان جانشین گل بکار رفته در کاه‌گل شده است [8].بتن الیافی خواص مناسبی همچون شکل‌پذیری بالا، مقاومت فوق‌العاده، قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن را دارا می‌باشد که متناسب با آن‌ها می‌توان موارد کاربرد فراوانی برای آن یافت [4]. **الیاف پلی پروپیلن**[1] یکی از مواد جایگزین میلگرد فولادی برای مسلح سازی بتن است. استفاده از **الیاف پلی پروپلین** در بتن کاملاً اقتصادی هست[2]. **الیاف پلی‌پروپیلن** با ابعاد ۱۲ و ۱۸ میلی‌متر برای اختلاط با بتن و با بعد ۶ میلی‌متر برای اختلاط با گچ استفاده می‌شود. این **الیاف** باعث افزایش مقاومت مکانیکی و شیمیایی بتن می‌شود[14]. Blazy و همکاران در تحقیقی به خصوصیات فیزیکی و تاثیر الیاف پلی پروپیلین در بتن پرداختند. از مزایای **الیاف پلی پروپیلن** نیز می‌توان به: غیر مغناطیسی، بدون جذب گرد و غبار، مقاوم در برابر بازها، ایمن، استفاده آسان، ارزان، قابلیت در دسترس بودن، افزایش مقاومت در برابر سایش، افزایش مقاومت در برابر چرخه‌های ذوب و یخ و در نهایت افزایش مقاومت در برابر ضربه اشاره نمود. از آنجا که **الیاف پلی‌پروپیلن** به خوبی با بتن سازگار است، استفاده از آن در بتن باعث می‌شود، بتن هم خواص فوق را کسب نماید. از دیگر مزایای **الیاف پلی پروپیلن**، خنثی بودن **پلی پروپیلن** ها از نظر شیمیایی هستند. این مزیت باعث می‌شود بتن‌هایی که از **الیاف پلی پروپلین** استفاده می‌کنند، نسبت به حملات شیمیایی مقاوم‌تر باشند در صورتی که مواد شیمیایی بسیار شدیدی و به مقدار زیادی در مجاورت بتن باشد، در ابتدا بتن دچار آسیب‌دیدگی می‌شود و این **الیاف** همچنان سالم خواهند ماند. مزیت دیگر استفاده از **الیاف پلی‌پروپیلن** عدم گلوله‌ای شدن آن‌ها در هنگام **اختلاط بتن** است. همچنین خاصیت آب‌گریز بودن یا هایدروفوبیک بودن **الیاف پلی پروپلین** باعث می‌شود که در هنگام **اختلاط بتن**، با خمیر سیمان خیس نشود و بنابراین هیچ میزان آبی برای مصرف **الیاف پلی پروپیلن** به بتن اضافه نخواهد شد[12]. لازم به ذکر است که این **الیاف** نیازی به کاور بتن ندارد. در تحقیق دیگری توسط Gencel و همکاران خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زئولیت را بررسی کردند. زئولیت نیز در بتن، به عنوان یک پوزولان طبیعی دارای خواص شیمیایی و فیزیکی و خلوص متفاوت است و توانسته است به عنوان یک پوزولان طبیعی مناسب در ساخت بتن‌های سبک مصرف شود. مصرف این پوزولان علاوه بر اقتصادی کردن رویه ساخت بتن، بهبود خواص رئولوژیک و مقاومتی سیمان را نیز به همراه دارد. با جایگزینی بخشی از سیمان با زئولیت بتن می‌توان مقاومت بتن را افزایش داد. به طوری که استفاده از زئولیت بتن به میزان کمتر از ۱۰ الی ۱۵ درصد باعث افزایش مقاومت در همه ی سنین بتن شده است. در حالی‌که استفاده از زئولیت بتن به میزان بیشتر از ۱۵ الی ۲۰ درصد سبب کاهش مقاومت اولیه و جبران مقاومت در سنین بالاتر شده است [13]. بنابراین مطابق آنچه تشریح شده است در این مطالعه آزمایشگاهی تلاش شده است تا خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک حاوی درصدهای مختلف الیاف پلی‌پروپلین و زئولیت مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا سوالات ذیل مدنظر می باشد:

- استفاده از پلی‌پروپلین و زئولیت با گذشت زمان، بر خواص مکانیکی نمونه بتن سبک چه تاثیری خواهد داشت؟
- آیا استفاده از پلی‌پروپلین و زئولیت بر مقاومت فشاری بتن سبک تاثیرگذار است؟
- آیا استفاده از پلی‌پروپلین و زئولیت بر مقاومت کششی بتن سبک تاثیرگذار است؟
- آیا استفاده از پلی‌پروپلین و زئولیت بر مقاومت الکتریکی بتن سبک تاثیرگذار است؟

۲-روش انجام تحقیق

در این تحقیق با بهره گیری از شیوه آزمایشگاهی به ارزیابی و بررسی خواص رئولوژیکی بتن سبک تازه(بتن نرم) و خواص مکانیکی بتن سبک سخت شده، در سنین ۷ و ۲۸ روز پرداخته شد. براین اساس بر اساس استاندارد ASTMC 39، دو نمونه بتن سبک بدون زئولیت و پلی پروپلین در سنین ۷ و ۲۸ روز تهیه گردیده و مورد ارزیابی مکانیکی قرار گرفته است، سپس در ادامه نمونه بتن سبک تهیه شده بر اساس استاندارد ASTMC39، ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف الیاف پلی پروپلین (۰/۹، ۱ و ۱/۱ درصد) و ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف زئولیت (۵، ۱۰و ۱۵ درصد)، در سنین مذکور را با نمونه ی مبنا، مورد بررسی و مقایسه آزمایشگاهی قرار داده و در نهایت ارزیابی بهبود خواص رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک، ارائه می‌گردید.

بنابراین براین اساس و با توجه به تعداد طرح های اختلاط و تعداد آزمایشات جهت مقایسه این دو نوع نمونه، در مجموع ۲۸ نمونه بتن سخت شده شامل ۱۲ نمونه حاوی الیاف پلی‌پروپلین و ۱۲ نمونه حاوی زئولیت و ۴ نمونه شاهد(بدون الیاف) تهیه شده و مورد تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی قرار می‌گیرد.

[1] PP

[4]

۳-مشخصات مصالح مصرفی

۳-۱-سیمان مصرفی:

سیمان استفاده شده در تهیه کلیه نمونه‌ها، سیمان پرتلند نوع II (PC) با چگالی ۳/۱۵ و نرمی ۲۹۳ m^2/kg می‌باشد که از کارخانه سیمان ممتازان کرمان تهیه شده است. مقاومت ۲۸ روزه نمونه ساخته شده با سیمان، ۳۹/۳ MPa و زمان گیرش اولیه ۷۰ دقیقه و نهایی ۴ ساعت و ۳ دقیقه تعیین شده اند. ترکیبات شیمیایی سیمان در جدول (۱) ارائه شده است.

۳-۲-زئولیت مصرفی:

در این تحقیق از زئولیت تهیه شده از کارخانه زئولیت سمنان که با استاندارد ASTM C1240 مطابقت دارد به عنوان ماده افزودنی استفاده شده است. وزن مخصوص انبوهی زئولیت ۵۰۰ kg/m^3 است. افزودنی های معدنی نظیر میکروسیلیس، تخلخل بتن را کاهش داده و موجب بهبود ناحیه مرزی می‌شوند. زئولیت حاوی حدود ۹۴٪-۹۶ دی اکسید سیلسیوم (SiO_2) می‌باشد که از فرآیند تولید فروسیلیس در کوره‌های قوس الکتریکی به دست می‌آید. زئولیت خاصیت جذب آب دارد، بنابراین باید به همراه مواد فوق روان‌کننده مورد استفاده قرار گیرد.

شکل۱- تصویر زئولیت مورد استفاده در آزمایش

۳-۳-فوق روان‌کننده مصرفی:

در این تحقیق از فوق روان‌کننده معمولی با نام تجاری Tiss R 304 از شرکت سفید بام کرمانیان مطابق با آیین نامه ASTM C494 به میزان ۱/۵-۰/۸ درصد وزن سیمان استفاده شده است. چگالی ویژه فوق روان‌کننده ۱/۲۱ g/cm^3 اعلام شده است. برای کسب مقاومت فشاری بیشتر در بتن، باید آب بتن کاهش داده شود. با استفاده از فوق روان‌کننده می‌توان با حفظ کارایی بتن، مقدار آب آن را کاهش داد..

جدول ۱- تجزیه شیمیایی مصالح مصرفی (درصد اکسیدها)

سنگدانه پومیس (پومیس)	سنگدانه اسکوریا (SA)	زئولیت	سیمان (PC)		نوع اکسید	
			ریز	درشت	قرمز	سیاه
SiO_2	۲۱/۴۵	۹۵/۵	۵۹/۱۴	۶۰/۹۵	۶۲/۷۷	۵۸/۹۰
Al_2o_3	۴/۸۸	۱/۳۲	۱۵/۵۷	۱۳/۹	۱۷/۱۲	۱۷/۱۳
Fe_2O_3	۳/۵۸	۰/۸۷	۶/۶۸	۷/۰۹	۴/۸۸	۴/۴۸
CaO	۶۴/۳۳	۰/۴۹	۵/۴۷	۶/۴۷	۴/۹۰	۱/۳۵
Na_2O	۰/۴۱	۰/۳۱	۳/۶۵	۲/۲۹	۳/۳۲	۳/۱۲
MgO	۱/۷۵	۰/۹۷	۲/۹۷	۲/۷۶	۱/۱۱	۱/۱۱
K_2O	۰/۹۱	۱/۰۱	۲/۹۲	۲/۲۳	۱/۳۶	۱/۴۴
SO_3	۱/۹۴	۰/۱	-	-	-	-
TiO_2	-	-	۰/۹۷	۱/۰۷	-	-
MnO	-	-	۰/۱۱	۰/۱۲	-	-
L.O.I	۰/۶۲	-	۱/۷۹	۲/۳۷	۱/۸۸	۲/۱۰

۳-۴-الیاف پلی پروپلین

پلی پروپیلن از بسپارش پروپیلن در شرایط دما و فشار نسبتاً ملایم ودر حضور کاتالیست معروف زیگلر-ناتا انجام می‌شود. وجود این کاتالیزور، بسپاری به صورت ایزوتاکتیک را تشکیل می‌دهد که قادر به متبلور شدن تا حدود ۹۰ درصد می‌باشد. در این مطالعه از الیاف پلی پروپلین با ابعاد ۰/۱۸*۰/۰۵ تهیه شده از شرکت تیواشیمی تهران، استفاده شده است(جدول ۲). ساخت بتن سبک با الیاف پلی پروپلین با ساخت بتن سبک در حالت بدون الیاف به صورت تقریباً مشابه انجام می‌شود. با این تفاوت که باید در مراحل مخلوط شدن مصالح در میکسر، الیاف به بتن اضافه گردد.

جدول۲–مشخصات فیزیکی الیاف پروپلین

نسبت طول به قطر معادل	ضخامت (cm)	طول (cm)
۳۶	۰/۰۵	۰/۱۸

شکل۲– تصویر الیاف پلی پروپلین با ابعاد۰/۱۸cm*۰/۰۵

۵–۳–سنگدانه های سبک مصرفی:

در این تحقیق از سنگدانه‌های اسکوریا و پومیس که از منطقه آذربایجان ایران تهیه شده، در ساخت نمونه بتن سبک بهره گرفته شده است که اندازه بزرگترین سنگدانه سبک در تهیه بتن، ۱۲/۵mm می‌باشد. تجزیه شمیایی سنگدانه‌های پومیس و اسکوریا توسط شرکت‌های تولید کننده محصول انجام شده است.

۴–طرح اختلاط نمونه‌ها

در این مطالعه؛ بتن با مقاومت ۴۰۰ kg/cm^2 در نظر گرفته شده است. در مجموع ۷ طرح اختلاط موجود می‌باشد که ۱ طرح اختلاط مبنا و بدون الیاف، ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف الیاف پلی پروپلین (۰/۹، ۱ و ۱/۱ درصد) و ۳ طرح اختلاط با درصدهای مختلف زئولیت (۵،۱۰و ۱۵ درصد)، می‌باشد. براین اساس و با توجه به تعداد طرح های اختلاط و تعداد آزمایشات جهت مقایسه این دو نوع نمونه، در مجموع ۲۸ نمونه بتن سخت شده شامل ۱۲ نمونه حاوی الیاف پلی‌پروپلین برای سنین(۷ و۲۸) روز و ۱۲ نمونه حاوی زئولیت برای سنین(۷ و۲۸) روز و ۴ نمونه شاهد(بدون الیاف) تهیه گردید. برای نمونه برداری، دانه‌بندی، کنترل محدوده استاندارد و تعیین وزن مخصوص سنگدانه‌ها به ترتیب براساس استانداردهای ASTMC29، ASTM D 75، ASTMC330, ASTM C136 عمل شده است. در تهیه بتن با ریزدانه سبک اسکوریا، بزرگ ترین اندازه دانه، عبوری از الک شماره ۴ انتخاب شده است.

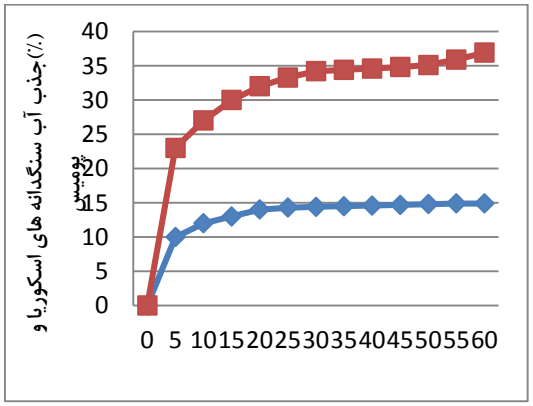
برای تعیین جذب آب سنگدانه‌های سبک و معمولی از آیین‌نامه ASTM C 127 استفاده شد. میزان جذب آب سنگدانه‌هایی که در این تحقیق استفاده شده نیز مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن در قالب جدول ارائه شده است. در تعیین مقاومت فشاری دانه‌ای سنگدانه‌های اسکوریا و پومیس طبق روش پیشنهادی Chang و su عمل شده است. از هر نوع سنگدانه، ۵۰ دانه بصورت تصادفی انتخاب شد. در این تحقیق، ۱۴ مخلوط بتن سبک برای تعیین درصد جذب آب، رطوبت بهینه، مقاومت فشاری، کششی و الکتریکی مورد آزمایش قرار گرفته است.

لازم به ذکر است؛ میزان سیمان بتن از ۴۳۲ تا ۵۰۳ کیلوگرم در مترمکعب در نمونه های مختلف، متغیر بوده است. نسبت w/c بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۷ متغیر بود که در آن W مقدار آب آزاد و فوق روان کننده و C میزان مواد سیمانی می باشند. در مخلوط های z1 تا z3، p1 و p3 از ریزدانه سبک استفاده شده است و همچنین در کلیه مخلوط ها، سنگدانه های درشت از نوع سبک بودند. در طرح اختلاط بتن سبک از توصیه های مندرج در آیین نامه ACI 211 استفاده شده است. برای تمامی مخلوط ها، بزرگترین اندازه سنگدانه، ۱۲/۵ میلیمتر در نظر گرفته شده است. جهت جلوگیری از افت سریع اسلامپ، سنگدانه های سبک از قبل به مدت ۳۰ دقیقه در آب اشباع شدند و پس از بیرون آوردن از آب در یک ظرف مشبک نظیر سرند، ریخته شدند تا آب اضافی از سطح سنگدانه ها جدا شود. سپس سنگدانه های ریز به سنگدانه های سبک اضافه شده و در دستگاه مخلوط کن به مدت ۵ دقیقه کاملاً با هم مخلوط شدند. آنگاه یکبار سیمان و پلی پروپلین و یکبار هم سیمان و زئولیت به آنها اضافه گردید و مجدداً تمام اجزای تشکیل دهنده بتن با هم مخلوط شدند. در انتها آب لازم و فوق روان کننده به مصالح افزوده و به مدت ۵ دقیقه کل مصالح به هم زده شدند تا بتن به صورت همگن ایجاد شود.

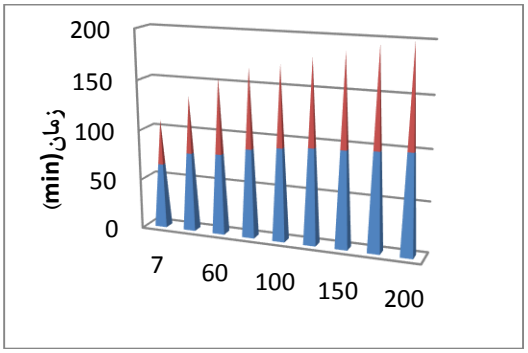
۵–یافته‌های آزمایش

۵–۱–جذب آب سنگدانه سبک

نمودار(۱) نشان می‌دهد که در ۵ دقیقه اول تفاوت میزان جذب آب سنگدانه‌های اسکوریا و پومیس کم بوده به طوری که با گذشت زمان، این اختلاف بیشتر می‌شود. در هر حالت، میزان جذب آب پومیس بیشتر از اسکوریا است.



نمودار۱–جذب آب سنگدانه های اسکوریا و پومیس



نمودار۲- نرخ جذب آب سنگدانه‌های اسکوریا و پومیس در ۲۴ ساعت

۲-۵-خواص رئولوژیکی بتن سبک تازه

اسلامپ جهت تعیین یکی از مهمترین خواص رئولوژیکی بتن می باشد. مقدار **اسلامپ مناسب بتن** برای به دست آوردن میزان کارایی آن نیاز است، که نشانگر نسبت آب به **سیمان** بتن می‌باشد و بر روی بتن تازه انجام می‌گیرد. اما چندین عامل دیگر نیز در بتن وجود دارد که در اسلامپ آن تاثیر می‌گذارد؛ از جمله: نوع مواد مورد استفاده در بتن، روش‌های **مخلوط کردن بتن**، میزان مواد مورد استفاده، نوع و میزان سنگدانه‌ها. برای آزمایش اسلامپ از یک قالب که به شکل **مخروط ناقص** است استفاده می‌شود. قطر قاعده ی این مخروط ناقص، ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۳۰ سانتی‌متر است. **بتن تازه** به داخل این اسلامپ ریخته در سه لایه با ۲۰ ضربه تخماق روی هر لایه جهت تراکم استفاده می‌شود و سپس قالب را بر می‌دارند. مقدار افت و پایین آمدن بتن را اندازه‌گیری می‌کنند و آن را میزان اسلامپ بتن می‌نامند. در جدول(۴)؛ اسلامپ نمونه‌های حاوی زئولیت و نمونه‌های حاوی پلی پروپلین ارائه شده است.

جدول ۴-مقادیر اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط های بتن سبک

(kg/m^3) و تعیین اسلامپ نمونه‌ها

نمونه	سیمان	میکروسیلس	فوق روان کننده	نسبت آب به سیمان	اسلامپ (mm)
P0 Z0	۴۳۲	۴۸	۷/۲	۰/۳۱	۴۸
Z5	۴۳۲	۴۸	۷/۲	۰/۳۳	۶۵
Z10	۴۳۲	۴۸	۷/۲	۰/۳۵	۷۰
Z15	۴۳۲	۴۸	۷/۲	۰/۲۹	۴۵
P0.9	۵۰۳	۴۸	۷/۲	۰/۳۳	۵۲
P1	۵۰۳	۴۸	۷/۲	۰/۳۴	۶۲
P1.1	۵۰۳	۴۸	۷/۲	۰/۳۶	۶۵

نمونه‌های بتن در قالب‌های فلزی ریخته شده و با یک میز لرزان متراکم شدند. پس از ۲۴ ساعت، قالب‌ها باز گردیده و نمونه‌ها تا زمان آزمایش در آب $23\pm2^{\circ}C$ نگهداری شدند. نتایج این آزمایش نشان داد اسلامپ نمونه‌ها در محدود ۳۳ تا ۸۵ میلی متر بدست آمده است و این امر بدین معناست که نمونه‌های مورد مطالعه از اسلامپ قابل قبولی برخوردار هستند.

جدول۵- نتایج بدست آمده از حداکثر جذب آب برحسب درصد

آزمایش	استاندارد	P0 Z0	P0.9	P1	P1.1	Z5	Z10	Z15	حدود آیین نامه
زئولیت(٪)									
حداکثر جذب آب (٪)	ASTM C 127	۱/۷۲							۲/۸
پلی‌پروپلین(٪)									
حداکثر جذب آب (٪)	ASTM C 127	۱/۴۱							۲/۸
نمونه ها (٪)									
آزمایش	استاندارد	P0 Z0	P0.9	P1	P1.1	Z5	Z10	Z15	حدود آیین نامه
حداکثر جذب آب (٪)	ASTM C 127	۰/۸	۱	۱/۳	۱/۶	۱/۹	۲/۱	۲/۱	۲/۸

همانگونه که در جدول(۵) قابل مشاهده است؛ بالاترین حداکثر جذب آب بر حسب درصد برای نمونه‌های حاوی زئولیت بوده است که با افزایش زئولیت از ۵ درصد به ۱۰ درصد، میزان جذب آب از ۱/۹ درصد به ۲/۱ درصد افزایش یافته است و این روند با افزایش زئولیت در نمونه بتن سبک از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد ثابت مانده و بدون تغییر بوده است. همچنین کمترین حداکثر جذب آب برحسب درصد مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۰/۹ درصد پلی پروپلین بوده است که معادل ۱ درصد بدست آمده است. بنابراین براساس نتایج بدست آمده از آزمایش حداکثر جذب آب برحسب درصد؛ نمونه‌های پلی‌پروپلین نسبت به نمونه‌های بتن سبک حاوی زئولیت، دارای درصد جذب آب کمتری می‌باشند.

جدول۶- نتایج بدست آمده از حداکثر وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت بهینه نمونه های مورد مطالعه

آزمایش	وزن مخصوص خشک بیشینه (gr/cm^3)	رطوبت بهینه (٪)
زئولیت(٪)		
P0 Z0	۲/۱۸۵	۶/۳۲
P0.9		
P1		
P1.1		
Z5		
Z10		
Z15		
پلی‌پروپلین(٪)		
P0 Z0	۲/۲۵۶	۷/۵۲
P0.9		
P1		
P1.1		
Z5		
Z10		
Z15		

نمونه‌ها		
آزمایش	وزن مخصوص خشک بیشینه (gr/cm^3)	رطوبت بهینه (٪)
P0 Z0	۲/۰۲۳	۸/۱
P0.9	۲/۰۳۵	۷/۷۴
P1	۲/۰۷۶	۷/۶۲
P1.1	۲/۰۹۸	۶/۹۸
Z5	۲/۱۲۷	۶/۷۱
Z10	۲/۱۸۹	۶/۲۵
Z15	۲/۲۳۴	۶/۱۴

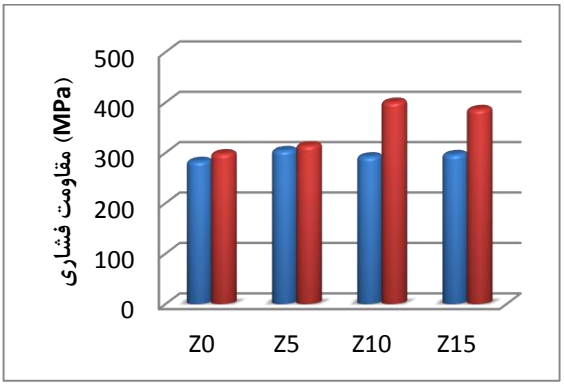
مطابق نتایج بدست آمده در جدول(۶)؛ نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت دارای بالاترین میزان وزن مخصوص خشک بیشینه معادل ۲/۲۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. لازم به ذکر است با افزایش زئولیت در نمونه بتن سبک، میزان وزن مخصوص خشک بیشینه نیز افزایش می‌یابد. همچنین از مقایسه دو نمونه حاوی درصدهای مختلف پلی پروپلین و درصدهای مختلف زئولیت، می‌توان دریافت که وزن مخصوص خشک بیشینه در نمونه‌های حاوی پلی‌پروپلین، پایین تر از نمونه‌های حاوی زئولیت می‌باشد. در نهایت براساس نتایج بدست آمده برای آزمایش میزان رطوبت بهینه برحسب درصد؛ در مقایسه دو نمونه حاوی زئولیت و پلی پروپلین، بالاترین درصد رطوبت بهینه مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۰/۹درصد پلی‌پروپلین بوده است و با افزایش پلی پروپلین از ۰/۹ به ۱/۱ ، میزان رطوبت بهینه از ۷/۷۴ به ۶/۹۸ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر است؛ در حالت کلی بالاترین درصد رطوبت بهینه مربوط به نمونه بتن سبک شاهد بوده است که به آن پلی‌پروپلین یا زئولیت افزوده نشده است و این میزان معادل ۸/۱ درصد بدست آمده است.

۳-۵-مقاومت فشاری بتن سبک حاوی زئولیت

آزمایش مقاومت فشاری جهت تعیین خواص مکانیکی در نمونه بتن‌های سخت شده در سنین بالا انجام می‌شود. این آزمایش با بهره‌گیری از جک هیدرولیکی صورت پذیرفته است. نتایج آزمایش فشاری نمونه‌های حاوی زئولیت به شرح جدول(۷) ارائه شده است.

جدول ۷-مقاومت فشاری بتن سبک حاوی زئولیت

نمونه ها	۷ روز(MPa)	۲۸ روز(MPa)
Z_0	۲۸۳/۲۴	۲۹۸/۴۳
Z5	۳۰۴/۷۵	۳۱۴/۵۷
Z10	۲۹۲/۳۵	۴۰۰/۷۵
Z15	۲۹۶/۸	۳۸۶/۳۵



نمودار۳- مقاومت فشاری بتن سبک حاوی زئولیت

براساس نتایج بدست آمده از جدول(۷) و نمودار(۳)؛ مقاومت فشاری نمونه بتن سبک در سن ۷ روز، با افزودن زئولیت، افزایش می‌یابد و بالاترین مقاومت فشاری نمونه بتن سبک حاوی زئولیت در سن ۷ روز برای نمونه بتن سبک حاوی ۵ درصد زئولیت بوده است که معادل ۳۰۴/۷۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد؛ بالاترین مقاومت فشاری نمونه بتن سبک حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۱۰ درصد

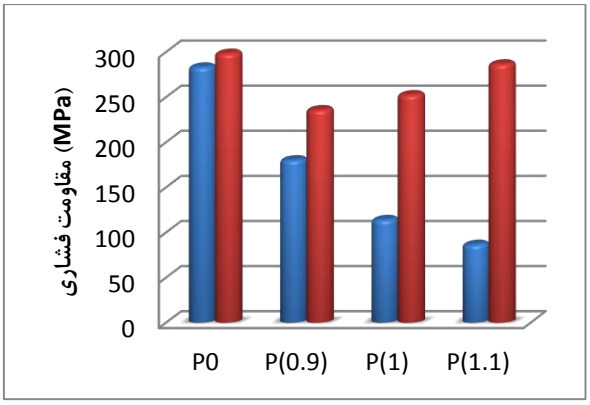
زئولیت بوده است که معادل ۴۰۰/۷۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است.

۴-۵-مقاومت فشاری بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

آزمایش فشاری نمونه‌های حاوی پلی پروپلین نیز با بهره‌گیری از جک هیدرولیکی صورت پذیرفته است. نتایج این آزمایش به شرح جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- مقاومت فشاری بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

نمونه ها	۷ روز(MPa)	۲۸ روز(MPa)
P_0	۲۸۳/۲۴	۲۹۸/۴۳
P(0.9)	۱۸۰/۳۱	۲۳۵/۸۲
P(1)	۱۱۴/۱۳	۲۵۲/۴۴
P(1.1)	۸۶/۶۶	۲۸۶/۶۲



نمودار۴- مقاومت فشاری بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

براساس نتایج بدست آمده از جدول(۸) و نمودار(۴)؛ مقاومت فشاری نمونه بتن سبک در سن ۷ روز، با افزودن پلی پروپلین، کاهش می‌یابد و بالاترین مقاومت فشاری نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین در سن ۷ روز برای نمونه بتن سبک حاوی ۰/۹ درصد پلی پروپلین بوده است که معادل ۱۸۰/۳۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد؛ بالاترین مقاومت فشاری نمونه بتن سبک حاوی پلی پروپلین در سن ۲۸ روز مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی پروپلین بوده است که معادل ۲۸۶/۶۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است.

نکته شایان ذکر از نتایج بدست آمده آن بوده است که مقاومت فشاری نمونه بتن سبک در سن ۷ روزه، با افزایش پلی پروپلین، کاهش یافته است در حالی که مقاومت فشاری همین نمونه بتن در سن ۲۸ روزه، با افزایش پلی‌پروپلین افزایش یافته است و از ۲۳۵/۸۲ به ۲۸۶/۶۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب رسیده است که این امر نشان می‌دهد با افزایش سن نمونه بتن سبک حاوی پلی پروپلین، مقاومت فشاری نمونه بتن سبک، افزایش می‌یابد. در مقایسه درصدهای مختلف نمونه بتن سبک حاوی زئولیت و نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین می‌توان اینگونه بیان نمود که؛ بالاترین مقاومت فشاری برای نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت و معادل ۴۰۰/۷۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب در سن ۲۸ روز و بالاترین مقاومت فشاری برای نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی‌پروپلین و معادل ۲۸۶/۶۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب در سن ۲۸ روز بدست آمده است.

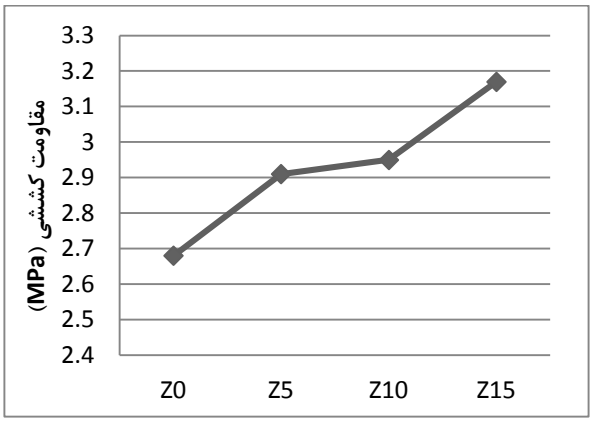
بنابراین در حالت کلی، از بین کلیه نمونه‌ها، نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت در سن ۲۸ روز، بالاترین مقاومت فشاری را به خود اختصاص داده و از این نظر مطلوب ترین نمونه به شمار می‌آید.

۵-۵-مقاومت کششی بتن سبک حاوی زئولیت

آزمایش مقاومت کششی نیز جهت تعیین خواص مکانیکی بتن انجام می پذیرد و شیوه انجام آزمایش کششی، روش برزیلی یا دو نیم شدن می باشد که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آزمایش مقاومت کششی بتن سبک حاوی زئولیت در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹- مقاومت کششی بتن سبک حاوی زئولیت

نمونه ها	۲۸ روز(MPa)
Z_0	۲/۶۸
Z5	۲/۹۱
Z10	۲/۹۵
Z15	۳/۱۷



نمودار۵- مقاومت کششی بتن سبک حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز

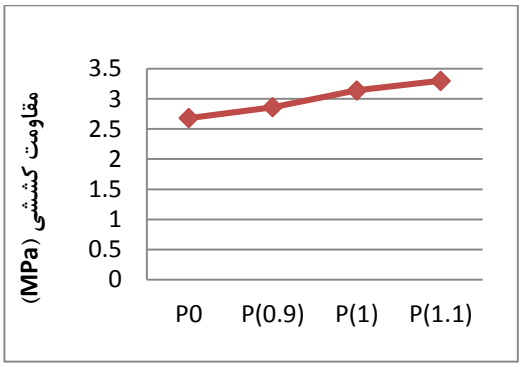
براساس نتایج بدست آمده از جدول(۹) و نمودار(۵)؛ مقاومت کششی نمونه بتن سبک در سن ۲۸ روز، با افزودن زئولیت، افزایش می‌یابد و بالاترین مقاومت کششی نمونه بتن سبک حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز برای نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت بوده است که معادل ۳/۱۷ مگاپاسکال بدست آمده است.

۶-۵-مقاومت کششی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

جهت بررسی مقاومت کششی بتن سبک حاوی پروپلین نیز همانند نمونه حاوی زئولیت از روش برزیلی استفاده شده است که نتایج به شرح جدول (۱۰) می‌باشد.

جدول ۱۰- مقاومت کششی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

نمونه ها	۲۸ روز(MPa)
P_0	۲/۶۸
P(0.9)	۲/۸۶
P(1)	۳/۱۴
P(1.1)	۳/۳۰



نمودار۶- مقاومت کششی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین در سن ۲۸ روز

براساس نتایج بدست آمده از جدول(۱۰) و نمودار(۶)؛ مقاومت کششی نمونه بتن سبک در سن ۲۸ روز، با افزودن پلی پروپلین، افزایش می یابد و بالاترین مقاومت کششی نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین در سن ۲۸ روز برای نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی پروپلین بوده است که معادل ۳/۳۰ مگاپاسکال بدست آمده است. در مقایسه درصدهای مختلف نمونه بتن سبک حاوی زئولیت و نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین می‌توان اینگونه بیان نمود که؛ بالاترین مقاومت کششی برای نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت و معادل ۳/۱۷ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز و بالاترین مقاومت کششی برای نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی‌پروپلین و معادل ۳/۳۰ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز بدست آمده است. بنابراین در حالت کلی، از بین کلیه نمونه‌ها، نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی‌پروپلین در سن ۲۸ روز، با اختلاف بسیار ناچیزی نسبت به نمونه بتن سب حاوی ۱۵ درصد زئولیت، بالاترین مقاومت کششی را به خود اختصاص داده و از این نظر مطلوب ترین نمونه به شمار می‌آید.

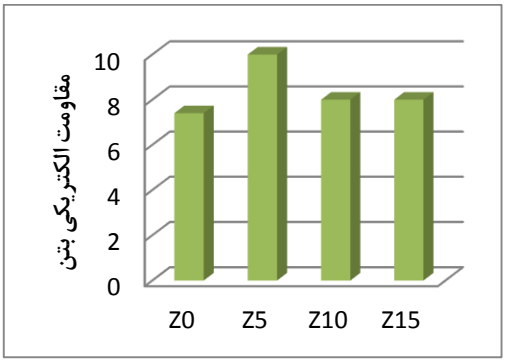
۷-۵-مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی زئولیت

در این مطالعه، مقاومت الکتریکی بتن سخت شده جهت تعیین نفوذپذیری و دوام بتن مورد بررسی قرار گرفته است(شکل ۳). برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن عمدتاً از دو روش دو نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای استفاده می‌شود که در این مطالعه از روش چهار نقطه‌ای جهت کاهش خطا در اندازه‌گیری استفاده شده است.

شکل ۳ نحوه اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی نمونه با دستگاه کانین

جدول ۱۱-مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی زئولیت

نمونه ها	۲۸ روز(Ωm)
Z_0	۷/۴
Z5	۱۰
Z10	۸
Z15	۸



نمودار ۷- مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی زئولیت در سن ۲۸ روز

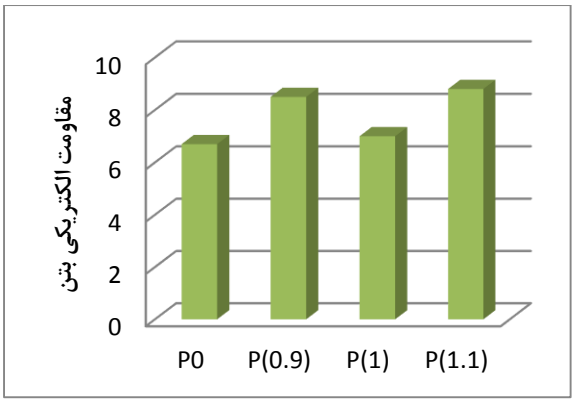
براساس نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روز، همانگونه که در جدول(۱۱) قابل مشاهده است؛ با افزودن زئولیت به نمونه شاهد، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد و با افزودن زئولیت به نمونه بتن سبک حاوی ۵ درصد زئولیت، روند مقاومت الکتریکی نزولی بوده و در نمونه حاوی ۱۰ درصد زئولیت کاهش یافته است، بطوریکه اندازه مقاومت الکتریکی در نمونه حاوی ۱۵ درصد نسبت به نمونه ی حاوی ۱۰ درصد این روند ثابت شده است.

۸-۵-مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

در این مطالعه پس از بررسی مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی زئولیت، با استفاده از روش دو نقطه‌ای به بررسی مقاومت الکرتیکی نمونه‌های حاوی پلی پروپلین پرداخته شده است که نتایج آن در (جدول ۱۲) ارائه شده است.

جدول ۱۲- مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین

مقاومت الکتریکی	۲۸ روز(Ω m)
P_0	۶/۷
P(0.9)	۸/۵
P(1)	۷
P(1.1)	۸/۸



نمودار ۸- مقاومت الکتریکی بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین در سن ۲۸ روز

براساس نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روز، همانگونه که در جدول(۱۲) قابل مشاهده است؛ با افزودن پلی‌پروپلین به نمونه شاهد، مقاومت الکتریکی در نمونه سبک حاوی ۰/۹ درصد پلی پروپلین افزایش یافته و معادل ۸/۵ بدست آمده است. لازم به ذکر است بالاترین مقاومت الکتریکی مربوط به نمونه ۱/۱ درصد پلی پروپلین بوده که معادل ۸/۸ بدست آمده است. همچنین در قالب مقایسه مقاومت الکتریکی نمونه‌های حاوی زئولیت با نمونه‌های حاوی پلی پروپلین می‌توان اینگونه بیان نمود که؛ نمونه‌های حاوی زئولیت از مقاومت الکتریکی بالاتری برخوردار بوده و این امر حاکی از آن است که دوام بتن و میزان مقاومت در برابر نفوذپذیری یون کلر در نمونه‌های بتن سبک حاوی زئولیت مناسب تر و مطلوبتر می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق خصوصیات رئولوژیکی و مکانیکی بتن سبک حاوی درصدهای مختلف زئولیت و در صدهای مختلف پلی پروپلین بصورت مجزا، مورد تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفت که نتایج این مطالعه نشان داد:

۱) اسلامپ نمونه‌ها در محدود ۳۳ تا ۸۵ میلی‌متر بدست آمده است و این امر بدان معناست که نمونه‌های مورد مطالعه از اسلامپ قابل قبولی برخوردار هستند.

۲) کمترین حداکثر جذب آب برحسب درصد مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۰/۹ درصد پلی پروپلین بوده است که معادل ۱ درصد بدست آمده است. نمونه های پلی‌پروپلین نسبت به نمونه‌های بتن سبک حاوی زئولیت، دارای درصد جذب آب کمتری می‌باشند.

۳) در مقایسه دو نمونه حاوی زئولیت و پلی پروپلین، بالاترین درصد رطوبت بهینه مربوط به نمونه بتن سبک حاوی ۰/۹ درصد پلی‌پروپلین بوده است و با افزایش پلی پروپلین از ۰/۹ به ۱/۱ ، میزان رطوبت بهینه از ۷/۷۴ به ۶/۹۸ درصد کاهش یافته است. در حالت کلی بالاترین درصد رطوبت بهینه مربوط به نمونه بتن سبک شاهد بوده است که به آن پلی‌پروپلین یا زئولیت افزوده نشده است و این میزان معادل ۸/۱ درصد بدست آمده است.

۴) در مقایسه درصدهای مختلف نمونه بتن سبک حاوی زئولیت و نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین می توان اینگونه بیان نمود که؛ بالاترین مقاومت فشاری برای نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت و معادل ۴۰۰/۷۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب در سن ۲۸ روز و بالاترین مقاومت فشاری برای نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی‌پروپلین و معادل ۲۸۶/۶۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب در سن ۲۸ روز بدست آمده است.

۵) در مقایسه درصدهای مختلف نمونه بتن سبک حاوی زئولیت و نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین می‌توان اینگونه بیان نمود که؛ بالاترین مقاومت کششی برای نمونه بتن سبک حاوی ۱۵ درصد زئولیت و معادل ۳/۱۷ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز و بالاترین مقاومت کششی برای نمونه بتن سبک حاوی ۱/۱ درصد پلی‌پروپلین و معادل ۳/۳۰ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز بدست آمده است.

۶) نمونه‌های حاوی زئولیت نسبت به نمونه بتن سبک حاوی پلی‌پروپلین، از مقاومت الکتریکی بالاتری برخوردار بوده و این امر حاکی از آن است که دوام بتن و میزان مقاومت در برابر نفوذپذیری یون کلر در نمونه‌های بتن سبک حاوی زئولیت مناسب‌تر و مطلوبتر می‌باشد.

در راستای نتایج حاصل از پژوهش حاضر، پیشنهادات ارائه شده به شرح ذیل می‌باشد:

۱- با توجه به مقاومت کششی بالا در بتن سبک حاوی پلی پروپلین، پیشنهاد می‌شود، جهت جلوگیری از ترک‌خوردگی نمونه‌های بتنی سازه‌ای، از این الیاف استفاده شود.

۲- در مناطقی که خطر لرزه خیزی بالا وجود دارد، پیشنهاد می‌شود جهت پایین آوردن وزن سازه‌ها از نمونه بتن حاوی زئولیت استفاده گردد.

۳- پیشنهاد می‌شود در سازه‌های دریایی، از نمونه بتن سبک حاوی زئولیت استفاده شود چرا که مقاومت الکتریکی مطلوبی از خود نشان داده و در برابر نفوذ یون کلر پایداری قابل قبولی ارائه نموده است.

۴- پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی؛ ذرات نانو سیلیس جهت ارزیابی خواص رئولوژیکی بتن سبک غیرسازه‌ای حاوی اسکوریا و پومیس مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گیرد.

۵- با توجه به اقتصادی بودن و مقرون به صرفه بودن طرح‌های اجرایی، پیشنهاد می‌گردد؛ از این نمونه بتن در پروژه هایی که ضرورت خاص داشته و از اهمیت بالایی برخوردار هستند، استفاده گردد.

منابع

[۱] اصغری، ک، وجدیان، م، بررسی آزمایشگاهی تاثیر انواع الیاف بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی بتن الیافی، نشریه عمران و پروژه، ۲(۵) ۱۳۹۹.

[۲] پریش، ی، مرادی، ا، نجایی آبادی، ف. ارزیابی بتن الیافی نقش آن در ترمیم سازه‌ها، دومین کنفرانس بین‌المللی مقاوم سازی لرزه‌ای، تبریز ۱۳۸۸.

[۳] حسنی اسکوئی، م، باغبان گلپسند، غ، بررسی تاثیر درصدهای مختلف الیاف سنتتیک بر روی نتایج مقاومت فشاری بتن با سنگدانه‌های بازیافتی، سومین همایش ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در علوم معماری و شهرسازی ایران، تهران.۱۳۹۸

[۴] خواجه‌پور، م و حسینی، س و شعبانی گلوگردی، م، بتن الیافی معرفی، کاربرد، مزایا و محدودیت‌های آن، سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران۱۳۹۴.

[۵] ذبیحی سامانی، م، ذاکرزاده، م، . بررسی خصوصیات مکانیکی بتن الیافی و موارد کاربرد آن، دومین کنفرانس ملی یافته‌های نوین پژوهشی و آموزشی عمران معماری شهرسازی و محیط زیست ایران، تهران ۱۳۹۶.

[۶] کلمندی، م، دشتی رحمت آبادی، م، بررسی بتن الیافی و میزان مقاومت آن در سازه‌های انفجاری، پنجمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری، مدیریت شهری و محیط زیست،کرج ۱۳۹۸.

[۷] کیوانی، ع، بتن الیاقی و کاربرد آن در سازه‌های بتنی، کارگاه‌های تخصصی بتن: بتن‌های ویژه.۱۳۸۴.

[۸] لک، م، فلاح، ا، یاراحمدی، ه، بررسی تجربی مقاومت کششی و حرارتی بتن خود تراکم حاوی الیاف فولادی و پشم سنگ بر اساس چگالی، سومین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان، میبد۱۳۹۴.

[۹] مخدومی، ح و رهگذر، ر، بررسی سبک‌سازی بتن و افزودنی‌های آن – مزایا و کاربرد، کنفرانس بین المللی سبک‌سازی و زلزله، کرمان ۱۳۸۹.

[۱۰] مسلمان یزدی، م و امامی میبدی، م و آقایی میبدی، س. خصوصیات و ویژگی‌های بتن پارچه‌ای، بتن بیولوژیکال وبتن سبز، پنجمین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، میبد۱۳۹۷.

[11] ACI544.1R-96, State of The Art Report on The Fiber Reinforced Concrete.

[12] Blazy J, Nunes S, Pimentel C. **Development of an HPFRC for use in flat slabs.,** Concrete Improvement Innovation., RILEM-Fib Int. Symposium. FRC2020, Springer. 2021; 10.1007/978-3-030-58482-5_19: 209-220.

[13] Gencel O, Ozel C, Brostow W, Martínez-Barrera G **Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres,** Material Research Innovation. 2011; 15: 216-225.

[14] Shi F, Pham T.M, Hao H, Hao Y **Post-cracking behavior of basalt and macro polypropylene hybrid fibre reinforced concrete with different compressive strengths.** Construction Building Material. 2020.

[15] Victor C Li., Shuxin W., Chynthia Wu. Tensile Strain Hardening of PV-ECC". ACI Material Journal. 2001.

Evaluation of Rheological and Mechanical Properties of Lightweight Concrete Containing Different Percentages of Polypropylene and Zeolite Fibers

Abdolkarim Abbasi Dezfouli
Assistant Professor, Department of civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Rozbeh Aghajary
M.S.c Student, Department of civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Abstract:

Lightweight concrete is one of the most important and efficient materials in the modern construction industry and has a variety of applications. Proper application of lightweight concrete can have many positive influences on the construction process of concrete structures. The possibility of application in the most geographical regions, utility of natural and cheap materials, high speed, low cost compared to the large volume of operations and its ductility due to the geometric shapes of the design, good performance and very high resistance, resistant to compressive forces and tensile strength, energy absorption and cracking stability are the prominent features of lightweight structural concretes. The main purpose of this research was to investigate the rheological and mechanical properties of the lightweight concrete containing different percentages of zeolite and polypropylene fiber separately. In this research, applying laboratory method, the rheological properties of fresh lightweight concrete (soft concrete) and the mechanical properties of hardened lightweight concrete at the ages of 7 and 28 days have been evaluated. According to ASTMC 39 standard, two samples of lightweight concrete without zeolite and polypropylene at the ages of 7 and 28 days have been prepared and mechanically evaluated. Then, in continuation of preparing of the light concrete samples prepared based on ASTMC 39 standard, three mixing designs with different percentages of polypropylene fibers (0.9, 1 and 1.1%) and 3 mixing designs with different percentages of zeolite (5, 10 and 15%) , at the mentioned ages were examined and compared with the base samples in the laboratory, which resulted in the following findings: Lightweight concrete samples containing zeolite had a higher electrical resistance than lightweight concrete samples containing polypropylene and the highest compressive strength was related to lightweight concrete samples containing 15% zeolite. This is equivalent to 400.75 kg / cm^3 at the age of 28 days.

Keyword: Lightweight concrete, zeolite, polypropylene fibers, rheological properties, mechanical properties