

بررسی آزمایشگاهی تاثیر آب حاوی میکرونانو حباب های هوا بر مقاومت های فشاری، کششی و خمشی فوم بتن (با تاکید بر بلوک غیر باربر)

حسین سلطانی^۱، سید فضل الله ساغروانی^۲، سعیدرضا زارع^۳، رضا مظفری نائینی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- ریاست هیئت مدیره انجمن بتن سبک ایران

۴- عضو هیئت مدیره شرکت نونافوران میناب طوس مشهد

H_soltani10@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش مقایسه ای بین آب معمولی و آب حاوی میکرونانو حباب های هوا در زمینه ی فوم بتن انجام شد. تمرکز آزمایش ها روی یک طرح مخلوط و با تکرارهای بالا است تا بتوان به صورت قطع به نتایج استناد کرد. بطور کلی مصالح مورد نیاز برای ساخت بلوک فوم بتن عبارتست از: سیمان، ماسه (اعم از پودر سنگ یا خاکستر بادی و غیره)، آب و کف فوم. لازم به ذکر است فوم بتن بدون ماسه در قسمت کف ریزی ساختمان کاربرد دارد که جنبه باربری ندارد و صرفاً روش نوینی است که اخیراً به جای پوکه ریزی در کف ساختمان ها، بازار را در اختیار گرفته است. طرح مخلوط آزمایش ها عبارتست از: عیار سیمان 350 kg/m^3 ، پودر سنگ 300 kg/m^3 و نسبت آب به سیمان ۰.۶. آزمایش های انجام شده نیز شامل: آزمون مقاومت فشاری، آزمون مقاومت کششی و آزمون مقاومت خمشی می باشد. طبق نتایج اخذ شده از آزمایش ها، آب حاوی میکرونانو حباب های هوا همانند دیگر نانو ذرات، تاثیر مثبتی روی خواص مکانیکی فوم بتن داشته بطوری که باعث افزایش مقاومت فشاری، خمشی و کششی شده است. چگالی خشک مدنظر بلوک ها در آزمایش ها 700 kg/m^3 تا 800 kg/m^3 می باشد. آزمون مقاومت فشاری در ۱۵ تکرار و ۱۶۴ عدد بلوک مکعبی ۱۰ سانتی متری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام گردید و نتایج افزایش مقاومت ۱۸، ۱۳ و ۵ درصدی نمونه های حاوی آب میکرونانو حباب را به ترتیب در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز نشان داد. به دلیل آن که چگالی آزمایش ها جز چگالی بلوک های جداکننده غیر باربر است لذا آزمون های مقاومت خمشی و کششی فقط در دو تکرار و فقط در سن ۲۸ روزه انجام شد و تمرکز پژوهش بر مقاومت فشاری است. آزمون مقاومت خمشی و کششی در دو تکرار یک مرتبه با آب معمولی و یک مرتبه با آب حاوی میکرونانو حباب (که به اختصار به آن میناب اطلاق می شود) انجام شد و نتیجه، افزایش ۲۲ درصدی مقاومت کششی و ۲۷ درصدی مقاومت خمشی را نسبت به نمونه های معمولی نشان داد.

کلمات کلیدی: فوم بتن، میکرونانو حباب، فشاری، خمشی، کششی.

۱. مقدمه

امروزه پیشرفت های علمی در همه ی بخش ها سرعتی بیش از پیش به خود گرفته است از جمله بخش هایی که توجهات زیادی را به سمت خود جلب کرده است نانوفناوری است. نانوفناوری برخلاف صنایع تجدیدناپذیری هم چون نفت و انرژی های طبیعی، نه تنها به پایان نمی رسد بلکه روزبه روز به تنوع استفاده ها و صرفه ی اقتصادی آن افزوده می شود. کاربردهای نانوتکنولوژی در علوم مختلف از پزشکی تا مهندسی این امید را می دهد تا بتوان با اطمینان بیشتری در این زمینه سرمایه گذاری کرد.

از جمله کاربردهای نانوتکنولوژی در عصر حاضر که بسیار به آن پرداخته شده است تولید مصالح ساختمانی با خواص و کارکردهای منحصر به فرد است. از مزایای نانوساختارها می توان به سبک بودن و در عین حال سخت تر بودن آن ها اشاره نمود.

در این پژوهش از آب حاوی میکرو نانو حباب‌های هوا استفاده شده است؛ میکرونانو حباب‌های هوا حفره های گازی بسیار ریز پایدار در آب هستند که امروزه به طرق مختلف قابل تولید و استفاده هستند. بهره‌گیری از روش کواپتاسیون هیدرودینامیکی ایده‌ای است که در این پژوهش به‌کارگیری شد. لازمی ایجاد کواپتاسیون، جریان با سرعت زیاد است که توسط پمپ‌ها می‌تواند ایجاد شود؛ پمپ‌ها سرعت مایعات را افزایش می‌دهند و وقتی سرعت یک جسم متحرک در آب افزایش یابد، طبق اصل برنولی، فشار کاهش می‌یابد به قدری که بصورت لحظه ای فشار در یک نقطه از مایع، به فشار زیر بخار مایع تنزل می‌کند.

بلوک فوم بتن عضوی از خانواده بتن سبک است که نام دیگر آن بتن سبک سلولی یا ^۱CLC است. مطابق تعریف استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۷۴۸، بتن سلولی عبارتست از بتن دارای سلول‌های پایدار هوا که به‌طور یکنواخت در مخلوط بتن توزیع شده‌اند. برای تولید این بتن از ملات ماسه، سیمان و کف فوم پایدار (از نوع پروتئین حیوانی و شیمیایی) و افزودنی‌های مجاز استفاده می‌گردد. عامل مهم در فوم بتن، چگالی محصول است که هر چگالی، کاربردهای متفاوت و مختص خودش را دارد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

این محصول نتوانسته آن‌چنان که شاید، تقاضای کارفرمایان چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ ویژگی‌های مکانیکی را پاسخ‌گو باشد. مهم‌ترین دلیل ضعف صرفه اقتصادی برای پیمانکاران می‌توان به مصرف بالای سیمان در این محصول اشاره کرد زیرا به‌علت نبود سنگدانه در بتن فوم و از طرفی بیشتر بودن سطح ویژه و تعداد حباب‌های کف فوم نسبت به سنگدانه، هم سیمان بیشتری مصرف می‌شود و هم مقاومت‌های محصول پایین خواهد شد.

۱-۳- زمینه نوآوری

فوم بتن به نسبت دیگر مصالح ساختمانی جدیدتر است و با آن‌که ضعف‌هایی دارد اما از محبوبیت نسبی خوبی در بین کارفرمایانی که تجربه‌ی استفاده از این محصول را دارند برخوردار است. لذا برای ارتقای کیفیت این محصول تحقیقات بروی آن کماکان در حال انجام است و از طرفی میکرونانو حباب، یک فناوری نوپا و کمتر استفاده شده و در عین حال قابل دسترس و دارای هزینه تولید پایین است.

۲. پیشینه تحقیق

پژوهش‌های قبلی در زمینه نانو ساختارها بیشتر معطوف به بتن معمولی بوده است و آن‌چنان در زمینه‌ی فوم بتن تحقیق صورت نگرفته است. لذا در ذیل ابتدا اندکی به تحقیقات اخیر در زمینه بتن و سپس فوم بتن می‌پردازیم:

الف: آب حاوی میکرونانو حباب‌های هوا در بتن: عارفی و همکاران در این پژوهش تاثیر میکرو-نانو حباب‌های هوا بروی ویژگی‌های مکانیکی بتن را مورد آزمایش قرار دادند. طبق آزمایش‌های انجام شده، میکرونانو حباب‌های هوا در بتن، باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن می‌شود. از دیگر نتایج عبارتند می‌توان به کاهش دمای هیدراتاسیون، کاهش زمان گیرش اولیه و نهایی ترکیب سیمان با آب حاوی ^۲MNB، کاهش اسلامپ و روانی کمتر نسبت به بتن معمولی اشاره کرد. [1]

ب: نانو اکسید سیلیس^۳ در بتن: سوبولف با انجام آزمایش‌ها روی بتن حاوی نانو سیلیس، افزایش مقاومت فشاری و خمشی را نتیجه گرفته است [1]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نانو اکسید سیلیس در بتن معمولی باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت خمشی [2] و مقاومت کششی [3] خصوصاً در اولین روزهای عمر بتن می‌گردد و روانی بتن را کاهش می‌دهد [4].

Cellular Light Weight Concrete^۱

Micro Nano Bubble^۱

Nano-SiO₂^۱

ج: نانواکسید تیتانیوم^۴ در بتن: مطالعات اخیر نشان داده است که بتن دارای نانواکسید تیتانیوم، مقاومت فشاری، خمشی و سایشی بیشتری نسبت به بتن معمولی برخوردار است و همچنین سرعت هیدراسیون سیمان را در سنین اولیه افزایش می-دهد [۵]. طبق مطالعات انجام شده، استفاده از نانواکسید تیتانیوم تا حداکثر ۲٪ باعث کاهش روانی بتن می‌گردد [۶].

د: نانواکسید سیلیس در بتن سبک: استفاده از درصد کمی از نانو سیلیس در بتن سبک، موجب افزایش چشم‌گیری در مقاومت فشاری می‌گردد (حداقل ۲۴ درصد افزایش مقاومت فشاری)، در واقع استفاده از این ماده در بتن سبک، موجب بهبود ریزساختار آن و کاهش اندازه تخلخل‌ها می‌گردد که این مساله منجر به کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت در برابر مواد مهاجم مانند یون کلر و خطر کربناسیون می‌شود و به نوبه خود به دوام بتن سبک نیز کمک می‌کند. آزمایش‌ها در مکعب‌های ۱۰*۱۰*۱۰ و در سنین ۷ و ۲۸ روزه و در چهار دسته بندی صفر، ۲،۵، ۵ و ۷ درصد نانو سیلیس انجام شد. بیشترین افزایش مقاومت فشاری در ۷ درصد رخ داد [۷].

ه: نانولوله‌های کربنی در فوم بتن: استفاده از این نانو ماده در سیمان مورد استفاده در بتن سبک غیر اتوکلاو، منتج به کاهش ضریب انتقال حرارتی به مقدار (۱۲-۲۰ درصد) و افزایش مقاومت فشاری به اندازه‌ی بیش از ۷۰ درصد شد. نانولوله‌های کربنی به عنوان یک تقویت کننده با استحکام بالا در مواد هیدراتی، ترکیبی برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی بتن فوم سیمانی غیر اتوکلاو مورد استفاده قرار گرفته است. چگالی نمونه‌ها با تمرکز بر 0.086 g/cm^3 بوده است [۸].

۳-۳ مواد و روش‌ها:

در این پژوهش مقایسه‌ای بین آب معمولی و آب حاوی میکرونانونو حباب‌های هوا در زمینه فوم بتن انجام شد. در ذیل مواد مورد استفاده شده در آزمایش‌ها و سپس نحوه‌ی تولید فوم بتن به تفکیک آورده شده است.

۳-۱-۱ سیمان: سیمان مورد استفاده، پرتلند نوع ۱ رده‌ی ۳۲۵ بجنورد مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ که سیمان پرتلند معمولی و برای ساختن ملات و بتن بکار می‌رود. عیار سیمان 350 kg/m^3 انتخاب شد.

۳-۲-۲ ماسه: ماسه در فوم بتن پارامتر مهم در کنترل چگالی محصول نهایی است. هر چگالی کاربردهایی دارد؛ چگالی‌های کمتر از ۶۰۰ برای کف ریزی ساختمان‌ها، بیش از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ برای بلوک جداکننده غیرباربر و ۱۰۰۰ به بالا برای بلوک‌های باربر و مصارف سازه‌ای کاربرد دارد. در این پژوهش از پودرسنگ گوهر مشهد و عیار آن در طرح مخلوط 300 kg/m^3 انتخاب شد تا به صنعت بلوک‌سازی نزدیک باشد. اندازه ذرات پودر سنگ نیز در بازه (۰-۱) میلی‌متر است.

۳-۳-۳ آب

به‌طور کلی هدف این پژوهش استفاده از دو نوع آب و مقایسه نتایج است. از نسبت آب به سیمان ۰٫۶ در آزمایش‌ها استفاده شد. الف: آب چاه‌های حومه شهر مشهد ب: آب حاوی میکرونانونو حباب‌های هوا که به اختصار میناب اطلاق می‌شود.

جدول ۱- مشخصات اولیه آب معمولی و میناب

آب معمولی	میناب	موارد اندازه‌گیری
۲۴٫۹	۲۵٫۳	دما (°C)
۸٫۱۹	۸٫۳۲	pH
۵۴۴	۱۱۷۰	قابلیت‌هدایت‌الکتریکی (μs/cm)
۱٫۲۳	۲۸٫۵	کدورت (ntu)

۳-۳-۱- نحوه تولید میناب: برای تولید آب حاوی میکرونانوحباب‌های هوا از دستگاه G2TM375 استفاده گردید. دستگاه میکرونانوحباب‌ساز از سه بخش عمده ورود هوا (گاز)، اعمال فشار بر مخلوط هوا و آب و منطقه کاهش یا افت فشار و آزادسازی بخشی از هوای حل شده تشکیل شده است. هدف از ورود هوا در این دستگاه، افزایش حلالیت میزان هوای حل شده در آب به منظور افزایش کارایی پدیده کاویتاسیون و تولید حباب می‌باشد. بنابراین، برخلاف سایر دستگاه‌ها، گاز یا هوا در این دستگاه قبل از پمپ، تزریق شده است. ویژگی طراحی و ساخت این دستگاه به نحوی است که به راحتی امکان استفاده از چندین مولد هیدرودینامیکی میکرونانوحباب با قطر گلوله‌های مختلف بطور همزمان وجود دارد، که در این دستگاه از پنج مولد استفاده شده است، از ویژگی‌های منحصر به فرد میکرونانوحباب‌ها می‌توان به پایداری آن‌ها تا چندین ماه در آب اشاره نمود [۹]. دستگاه میکرونانوحباب‌ساز بر پایه‌ی پدیده کاویتاسیون هیدرودینامیکی در شرکت نوفناوران میناب طوس طراحی و ساخته شده است. آب حاوی میکرونانوحباب‌های هوا از محل این شرکت در مشهد تهیه گردید و آزمایش‌ها این پژوهش در کارخانه‌ی شرکت بتن سبک آراتای مشهد صورت گرفت. طبق آزمایش گرفته شده و دز طی سه تکرار روی نمونه‌های آب میکرونانوحباب، اندازه‌ی میانگین قطر هیدرودینامیکی ذرات ۵۱۲ نانومتر است.

۳-۴- کف فوم

برای تولید کف معمولاً از یک ماده کفزا استفاده می‌شود. این ماده ابتدا با آب رقیق شده و سپس در محفظه‌ای به کمک فشار ناشی از کمپرس هوا یا در اثر هم زدن سریع، تبدیل به کفی می‌شود که در آن حباب‌هایی با قطر در حد میلی‌متر و کمتر تولید شده‌اند. برای تولید کفی پایدار در ساختار داخلی ماده کفزا و یا به طور مستقل، یک ماده پایدار کننده کف استفاده می‌شود تا حباب‌های تولید شده پایدار شوند. طبق گزارش راهنمای بتن کفی مرکز تحقیقات، برای ایجاد کف، مواد عصاره کف را با نسبت‌های ۱ به ۵ تا ۱ به ۴۰ با آب رقیق می‌کنند. این مواد بطور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: مواد بر پایه پروتئین حیوانی و مواد بر پایه مواد آلی (سورفکتانتی).

در این پژوهش از فوم شیمیایی و به نسبت ۱ به ۴۰ استفاده شد. چگالی کف نیز روی عدد 35 gr/lit تنظیم شد.

۳-۵- سیستم تولید فوم بتن:

برای تولید فوم بتن به تجهیزات مختلف نیاز است که در ادامه به سه مورد آن که در پژوهش هم استفاده شد می‌پردازیم.

۳-۵-۱- مخلوط کننده: طبق استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۴۵۰۴ طرح مخلوط بتن که مشخص کننده‌ی نسبت‌های اجزای تشکیل دهنده است طوری انتخاب شود که مشخصات نهایی بلوک‌های مورد نظر به دست آید. اجزا باید در یک مخلوط‌کن استوانه‌ای شکل مخلوط شوند. اجزای خشک مثل سیمان و ماسه باید ابتدا به مخلوط‌کن وارد شده و به طور کامل مخلوط شوند تا این که از پخش کامل سیمان نیز اطمینان حاصل شود. مقدار مناسبی از آب را اضافه کرده و بعد از آن، عمل مخلوط را ادامه دهید. برای تولید بتن سلولی کفی، کف آماده که با آمیخته کردن عصاره کف، آب و هوای فشرده در نسبت‌هایی که از قبل تعیین شده است در یک تولید کننده کف که تحت یک نرخ مشخص تخلیه تنظیم شده است باید در یک مقدار اندازه‌گیری شده به دوغابی از سیمان و ماسه و آب در پیمانته مخلوط‌کن اضافه شود.

۳-۵-۲- کمپرسور هوا: از کمپرسور هوا برای ایجاد فشار هوای مورد نیاز برای تولید کف فوم توسط فوم ژنراتور، استفاده گردید. که هوای فشرده شده توسط یک شلنگ از کمپرسور به ورودی فوم ژنراتور انتقال می‌یابد.

۳-۵-۳- فوم ژنراتور آزمایشگاهی: در این پژوهش از فوم ژنراتور آزمایشگاهی ساخت شرکت بتن سبک آراتا استفاده شد.

۳-۶- روش انجام کار: در این پژوهش ابتدا یک مخلوط‌کن استوانه‌ای به حجم ۲۰ لیتر فراهم شد. از موتور برقی متحرک به‌عنوان هم‌زن استفاده شد، میله‌ای که سر آن دو پره، و هر پره به اندازه‌ی 10×5 سانتیمتر جوش داده شده بود را به دریل وصل و عمل هم زدن انجام شد. ۱۱ تکرار بتن ریزی توسط این مخلوط‌کن انجام شد. لازم به ذکر است در هر بار تکرار، ۸ بلوک فلزی $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر به منظور آزمایش مقاومت فشاری از هر مخلوط کسب شد. در این مخلوط‌کن، برای هر تکرار ۶ دقیقه زمان نیاز بود شامل: ۴ دقیقه مخلوط کردن دوغاب سیمان-ماسه و ۲ دقیقه اضافه کردن کف و کسب ترکیب نهایی.

در مرحله‌ی دیگر از آزمایش‌ها برای کاهش خطای آزمایشگاهی از مخلوط‌کن استوانه‌ای دوران کننده خودکار (بدون دخالت نیروی انسانی برای دوران) با حجم ۲۰۰ لیتر ساخت شرکت بتن سبک آراتا استفاده شد (شکل ۳-۹). جمعاً ۴ تکرار، ۲ مرتبه با آب معمولی و ۲ مرتبه با سیال میکرونانو حباب آزمون انجام شد و در هر مرتبه حداقل ۲۰ مکعب ۱۰*۱۰*۱۰ برای مقاومت فشاری و از دو تکرار آخر و از هر تکرار ۳ قالب چوبی مکعب مستطیل به اندازه ۱۰*۱۰*۳۳ برای آزمون مقاومت خمشی و ۳ قالب چدنی استوانه‌ای به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر برای آزمون مقاومت کششی اخذ گردید. در این مرحله، به علت حجم بالای مصالح و ایجاد مخلوط یک‌دست و قوام بالا، ۳۰ دقیقه زمان برای مخلوط کردن اختصاص داده شد.



شکل ۲- مخلوط‌کن ۲۰۰ لیتری

تذکر: در نمونه‌گیری از بتن سبک، به دلیل عدم وجود سنگدانه، نیازی به ویریه کردن مخلوط نیست.
* عمل‌آوری نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM C495 انجام شد. چگالی خشک مدنظر بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و اندازه‌گیری چگالی نمونه‌ها مطابق استاندارد ۱۴۵۰۴ انجام شد.

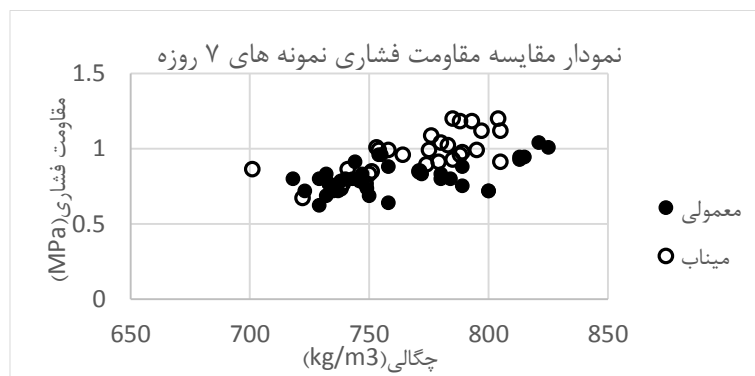
۴. نتایج

۴-۱- **آزمون مقاومت فشاری:** این آزمون طی سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شد. نمونه‌ها توسط جک هیدرولیکی کامپیوتری ساخت شرکت Toni Technic با سرعت بارگذاری 0.02 N.s/mm^2 تحت آزمون قرار گرفت. جدول ۳ تعداد نمونه از هر تکرار را نشان می‌دهد.

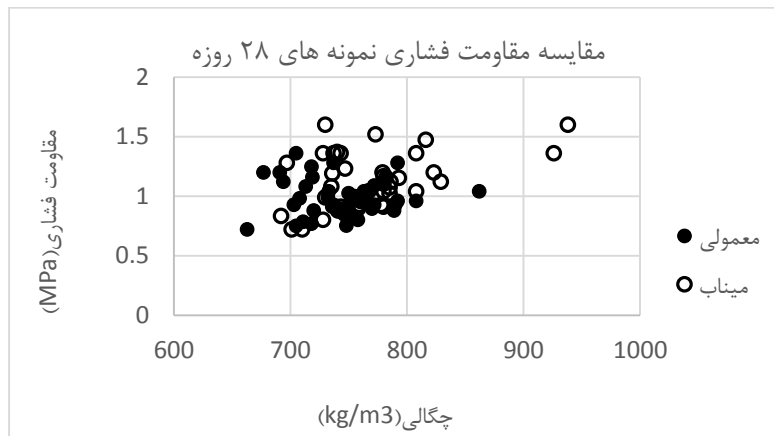
جدول ۲- تعداد نمونه‌های هر مخلوط

سن	تکرار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۷ روزه	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۰	۱۰	۸	۸
۲۸ روزه	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۱۹	۱۹	۵	۷
۹۰ روزه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴	۴

شکل ۵ پراکندگی نمونه‌های ۷ روزه و شکل ۶ نمونه‌های ۲۸ روزه را در نمودار چگالی-مقاومت نشان می‌دهد:



شکل ۳- نمودار مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه



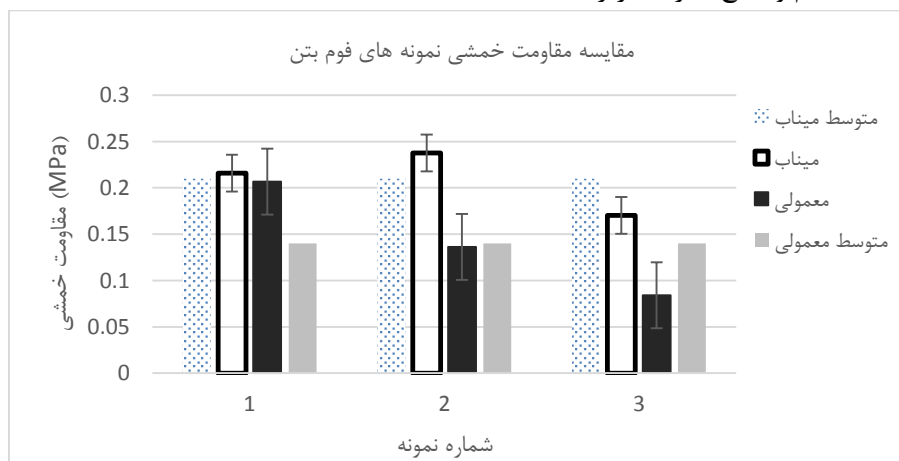
شکل ۴- نمودار مقایسه مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه

از کل تکرارها و نتایج آن میانگین گیری شد که به ترتیب جدول زیر است. عدد منفی به معنای کمتر بودن پارامتر مدنظر در نمونه های میناب دار است.

جدول ۳- نتایج پژوهش با میانگین گیری از ۱۶۴ نمونه

سن نمونه	چگالی (kg/m ³)		مقاومت فشاری (MPa)	
	معمولی	میناب	معمولی	میناب
۷	۷۶۲,۰۸	۷۶۹,۷۱	۰,۸۱	۰,۹۶
۲۸	۷۴۵	۷۶۸,۵۶	۰,۹۹	۱,۱۲
۹۰	۷۳۸	۷۱۹	۱,۳۷	۱,۴۴
محاسبه میزان اختلاف مقاومت و چگالی				
سن نمونه	چگالی		مقاومت فشاری	
۷	۰,۰۱		۰,۱۸	
۲۸	۰,۰۳		۰,۱۳	
۹۰	-۰,۰۲		۰,۰۵	

۴-۲- آزمون مقاومت خمشی: این آزمون فقط در سن ۲۸ روزه و روی ۳ نمونه از هر آب انجام شد. نمونه ها توسط جک هیدرولیکی کامپیوتری ساخت شرکت Toni Technic با سرعت بارگذاری 0.1 kN/min گسیخته شد. آزمون مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۰ انجام و نتایج به ترتیب زیر است:

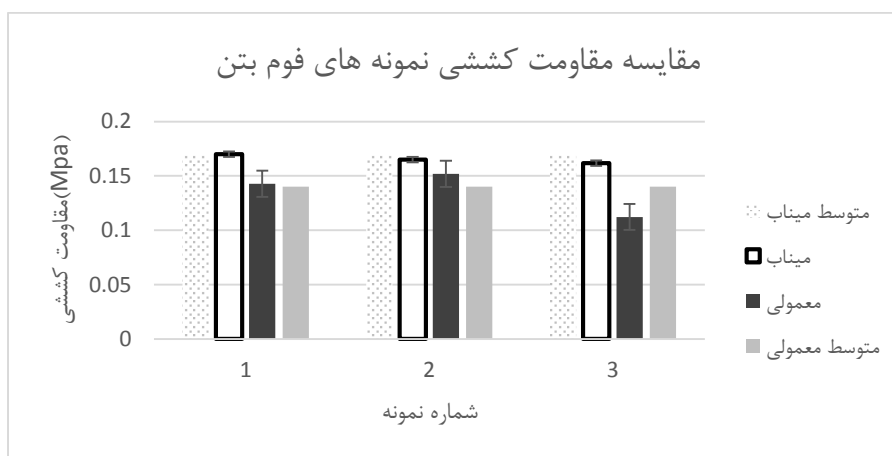


شکل ۵- نمودار مقایسه ی مقاومت خمشی بین نمونه های میناب و آب معمولی

جدول ۴- محاسبه‌ی تغییرات مقاومت خمشی بین نمونه‌های میناب و معمولی

درصد رشد مقاومت خمشی نمونه های میناب دار	
۲۸ روزه	
تغییر چگالی	مقاومت خمشی
۰,۰۱	۰,۲۷

۴-۳- آزمون مقاومت کششی (برزیلی): این آزمون طبق استاندارد ۶۰۴۷ ایران انجام شد. نمونه‌گیری فقط در سن ۲۸ روزه و روی ۳ نمونه از هر آب انجام شد. جک هیدرولیکی کامپیوتری ساخت شرکت Toni Technic با سرعت بارگذاری 1 kN/min گسیخته شد. نتایج به ترتیب زیر است.



شکل ۶- نمودار مقایسه‌ی مقاومت کششی بین نمونه‌های میناب و آب معمولی

جدول ۵- محاسبه‌ی تغییرات مقاومت کششی بین نمونه‌های میناب و معمولی

درصد رشد مقاومت کششی نمونه های میناب دار	
۲۸ روزه	
تغییر چگالی	مقاومت کششی
۰,۰۲	۰,۲۲

۵. نتیجه‌گیری:

یکی از دلایل شناوری پایین ذرات سیمان با آب، نرخ پایین فلوتاسیون ذرات به علت کم بازده بودن ذرات با برخورد به حباب‌های معمولی می‌باشد. هراندازه حباب‌های پایدار هوا در آب ریزتر و به نانو نزدیک‌تر باشند در نتیجه واکنش سیمان با آب سریع‌تر اتفاق می‌افتد که باعث افزایش مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی می‌شود. ارتقا محصول فوم بتن توسط میناب این نوید را می‌دهد که بیش از پیش به این صنعت بها داده شود. جایگزینی میناب به جای آب معمولی نیاز به زیرساخت‌هایی است که با هزینه کم می‌توان نتایج امیدوار کننده گرفت. امید است این پژوهش که طی شش ماه به نتیجه رسید مورد توجه مسوولین امر قرار گیرد.

۶. مراجع:

- [1] Arefi A, Saghravani S, Mozaffari R,(2016), “Mechanical Behavior of Concrete, Made with Micro-Nano Air Bubbles”, Civil Engineering Infrastructure Journal(CEIJ), vol. 49 (1), pp139.
- [2] Boshehrian A, Hosseini P,(2011), “Effect of nano-SiO₂ particles on properties of cement mortar applicable for ferrocement elements”, vol. 2 (1).
- [3] Khanzadi M, Tadayon M, Sepehri H and Sepehri M, (2010), “Influence of Nano-Silica Particles on Mechanical Properties and Permeability of Concrete”, international conference on sustainable construction material and technologies, ISBN:978-1-4507-1490-7.
- [4] Abd el-baky s, yehia s, s. khalil i, (2013), “influence of nano-silica addition on properties of fresh and hardened cement mortar”, 5th International Conference October 16th - 18th 2013.
- [5] Salemi N, Behfarnia K , Zaree S.A,(2014), “effect of nanoparticles on frost durability of concrete”, asian journal of civil engineering (bhrc), vol. 15 (3), pp 411.
- [6] Nazari A, Riahi Sh, Riahi Sh, Shamekhi S.F, Khademno A,(2010), “Assessment of the effects of the cement paste composite in presence TiO₂ Nanoparticles”, Journal of American Science, vol. 6 (4), pp43.
- [7] راهی و، مظفری ع، فلاح شیروانی م، (۱۳۹۰)، بررسی تاثیر نانو ذرات سیلیسی بر بتن سبک، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، ص ۴.
- [8] Yakovlev G, Kriene j , Gailius a, Girmiene I, (2006), “cement based foam concrete reinforced by carbon nanotubes”, materials science journal, vol. 12 (2).
- [9] مظفری نائینی ر، (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو- میکرو حباب هوا، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.