

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر آب حاوی میکرونانو حباب‌های هوا بر زمان گیرش اولیه و نهایی، جمع شدگی و جذب آب فوم بتن

حسین سلطانی^۱، سید فضل اله ساغروانی^۲، سعیدرضا زارع

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- ریاست هیئت مدیره انجمن بتن سبک ایران

H_soltani10@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش مقایسه‌ای بین آب معمولی و آب حاوی میکرونانو حباب‌های هوا در زمینه‌ی فوم بتن انجام شد. تمرکز آزمایش‌ها 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. طرح مخلوط آزمایش‌ها عبارتست از: عیار سیمان 350 kg/m^3 ، پودر سنگ 300 kg/m^3 و نسبت آب به سیمان ۰٫۶. آزمایش‌های انجام شده نیز شامل: آزمایش زمان گیرش سیمان، آزمایش زمان گیرش فوم بتن، آزمون جمع‌شدگی، آزمون جذب آب می‌باشد.

طبق نتایج اخذ شده از آزمایش‌ها، آب حاوی میکرونانو حباب‌های هوا همانند دیگر نانو ذرات، تاثیر مثبتی روی خواص فوم بتن داشته بطوری‌که باعث کاهش زمان گیرش سیمان، کاهش زمان گیرش فوم بتن، کاهش جزئی و قابل اغماض جذب آب و جمع شدگی شده است.

چگالی خشک مدنظر بلوک‌ها در آزمایش‌ها 700 kg/m^3 تا 800 kg/m^3 می‌باشد. آزمون گیرش سیمان در ۴ تکرار و آزمون گیرش فوم بتن، جذب آب و جمع شدگی در ۱۰ تکرار انجام شد. نتایج حاکی از کاهش ۳۰ دقیقه‌ای زمان گیرش نهایی خمیر سیمان، کاهش ۶۰ دقیقه‌ای زمان گیرش فوم بتن و کاهش ۱ درصدی جمع شدگی و جذب آب دارد.

کلمات کلیدی: فوم‌بتن، میکرونانو حباب، زمان گیرش، جمع شدگی، جذب آب

۱. مقدمه

فناوری نانو، از مهم‌ترین و موثرترین تکنولوژی حال حاضر است که تمامی ملت‌ها به دنبال پیشرفت و استفاده از آن در تمامی علوم هستند. کاملاً واضح است که کشورهای قدرتمند امروزی در صنعت، بهترین دستاوردها را در زمینه نانو داشته‌اند. نانو تکنولوژی یک رویکرد جدید است که علوم مختلف از مهندسی تا پزشکی به سمت و سوی آن رفته‌اند. در بخش راه و ساختمان نیز پژوهش‌ها منتج به ایجاد مصالح سخت و سبک‌تر نسبت به نسل پیشین شده است. در بخش بتن، اکسیدهای مختلف نانوساختارها از جمله: نانو اکسید آهن، نانو اکسید مس، نانو اکسید سیلیس، نانو لوله‌های کربنی و... باعث ایجاد مصالحی با کیفیت و با ضریب اطمینان بالاتر شده است. اما در بخش فوم بتن، پژوهش‌ها به خصوص در حوزه‌ی نانو نوپاست و البته این محصول به نسبت دیگر مصالح ساختمانی جدیدتر است که اخیراً در دنیا، سیر صعودی و پیشرفت در پیش گرفته است. لذا این بخش از مهندسی عمران به شدت نیاز به توجه و تحقیق‌های بیش از پیش دارد تا بتواند به کیفیت شایسته خود برسد.

بلوک فوم بتن عضوی از خانواده بتن سبک است که نام دیگر آن بتن سبک سلولی یا CLC^۱ 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. از جمله مشکلات در بخش فوم بتن که باعث شد این پژوهش به آن بپردازد، زمان فرآوری طولانی که باعث عقب ماندن پروژه می‌شود و جمع‌شدگی، که باعث افت سطح بتن در بخش کفریزی و ایجاد ترک در دیوار در بخش بلوک می‌شود. در این پژوهش از آب حاوی میکرو نانوحباب‌های هوا در فوم بتن استفاده شده است؛ میکرونانونوحباب‌های هوا حفره‌های گازی بسیار ریز پایدار در آب هستند که امروزه به طرق مختلف قابل تولید و استفاده هستند. بهره‌گیری از روش کاویتاسیون هیدرودینامیکی ایده‌ای است که در این پژوهش به‌کارگیری شد. لازمی ایجاد کاویتاسیون، جریان با سرعت زیاد است که توسط پمپ‌ها می‌تواند ایجاد شود.

۲. پیشینه تحقیق

از جمله نتایج قبلی در پژوهش‌های اخیر در زمینه زمان گیرش سیمان و فوم بتن و میکرونانونوحباب‌های هوا می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف: میکرونانونوحباب در بتن: عارفی و همکاران در این پژوهش تاثیر میکرو-نانو حباب‌های هوا بر ویژگی‌های مکانیکی بتن را مورد آزمایش قرار دادند. برای ساخت بتن از طرح مخلوط با نسبت آب به سیمان ۰٫۶ استفاده گردید. کاهش دمای هیدراسیون و زمان گیرش اولیه و نهایی ترکیب سیمان با آب حاوی MNB^۲ نیز کاهش می‌یابد. از دیگر ویژگی‌های بتن حاوی MNB^۲ می‌توان به اسلامپ و روانی کمتر نسبت به بتن معمولی اشاره کرد [۱].

ب: نانو اکسید آهن: طبق آزمایش‌های نظری و همکاران، به‌کارگیری حداکثر ۲ درصد نانو اکسید آهن در بتن باعث کاهش زمان گیرش اولیه و نهایی بتن و افزایش مقاومت کششی و خمشی آن می‌گردد [۲].

ج: نانو اکسید سیلیس در فوم بتن: وقتی که مقداری از نانو ذرات سیلیس به صورت یکنواخت در ملات سیمان پخش شود نانو ذرات به عنوان یک هسته به طور محکم به سیمان هیدراته شده چسبیده و به علت فعالیت شدید، زمان هیدراتاسیون سیمان را سرعت می‌بخشند و این مساله برای مقاومت ملات سیمان مطلوب می‌باشد [۳].

د: طول مدت گیرش فوم‌بتن در قالب و در صورت استفاده از سیمان تیپ ۱ و بدون استفاده از زودگیرکننده‌ها در حدود ۸-۱۲ ساعت است که با استفاده از مواد افزودنی می‌توان طول مدت را کاهش داد. درباره جمع‌شدگی می‌توان گفت با افزایش چگالی مقدار کاهش حجم کمتر می‌شود که باید در طراحی و ساخت قطعات پیش‌ساخته این نکته مدنظر قرار گیرد [۴].

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱-۱- فوم بتن: در این پژوهش مقایسه‌ای بین آب معمولی و آب حاوی میکرونانونوحباب‌های هوا در زمینه فوم بتن انجام شد. در ذیل مواد مورد استفاده شده در آزمایش‌ها و سپس نحوه تولید فوم بتن به تفکیک آورده شده است.

۳-۱-۱-۱- سیمان: عیار سیمان 350 kg/m^3 ، تیپ ۱ شماره ۳۲۵ بجنورد مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹.

۳-۱-۲- 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، ۱۰۰۰ به بالا برای بلوک‌های باربر و مصارف سازه‌ای کاربرد دارد. در این پژوهش از پودر سنگ گوهر مشهد و عیار 300 kg/m^3 استفاده شد تا به صنعت بلوک‌سازی نزدیک باشد. اندازه ذرات پودر سنگ نیز در بازه (۰-۱) میلی‌متر است.

^۱ Cellular Light Weight Concrete

^۲ Micro Nano Bubble

۳-۱-۳-آب: به طور کلی هدف این پژوهش استفاده از دو نوع آب و مقایسه و بررسی نتایج است. از نسبت آب به سیمان ۰.۶ در این پژوهش استفاده شد. دو نوع آب عبارتست از:

الف: آب چاه‌های حومه شهر مشهد ب: آب حاوی میکرونانو 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	قابلیت هدایت الکتریکی ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
۱,۲۳	۲۸,۵	کدورت (ntu)

*** نحوه تولید میناب:** دستگاه میکرونانوحباب‌ساز G2TM375 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 [۵].

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 آزمایش‌های این پژوهش در کارخانه‌ی شرکت بتن سبک آراتای مشهد صورت گرفت.

۳-۱-۴- کف فوم: 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. مایه فوم 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. در این پژوهش از فوم شیمیایی و به نسبت ۱ به ۴۰ استفاده شد. چگالی کف نیز روی عدد ۳۵gr/lit تنظیم شد.

۳-۱-۵- سیستم تولید فوم بتن: برای تولید آزمایشگاهی فوم بتن به تجهیزات زیر نیاز است.

الف) 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 این‌که 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 پیمانانه مخلوط‌کن اضافه شود.

ب) کمپرسور هوا: از کمپرسور هوا برای ایجاد فشار هوای مورد نیاز برای تولید کف فوم توسط فوم ژنراتور، استفاده گردید.

ج) فوم ژنراتور آزمایشگاهی: در این پژوهش از فوم ژنراتور آزمایشگاهی ساخت شرکت بتن سبک آراتا استفاده شد.

۳-۱-۶-روش انجام کار: برای انجام آزمایش‌ها ابتدا یک مخلوط کن 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 ۱۰*۵ سانتیمتر جوش داده شده بود را به دریل وصل و عمل هم‌زدن انجام شد. ۶ تکرار بتن ریزی توسط این مخلوط‌کن انجام شد. لازم به ذکر است در هر بار تکرار، ۱ بلوک ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتر به‌منظور آزمایش جذب آب، یک نمونه بلوک ۴*۴*۱۶ سانتی‌متر برای آزمایش جمع‌شدگی و و یک قالب ویکات برای آزمایش زمان گیرش فوم بتن، از هر تکرار کسب شد. زمان مخلوط در این مخلوط‌کن، برای هر تکرار ۶ دقیقه بود شامل: ۴ دقیقه مخلوط 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 دوران‌کننده خودکار (بدون دخالت نیروی انسانی برای دوران) با حجم ۲۰۰ لیتر ساخت شرکت بتن سبک آراتا استفاده شد. جمعاً ۴ تکرار، ۲ مرتبه با آب معمولی و ۲ مرتبه با سیال میکرونانو حباب آزمون انجام شد و در هر مرتبه ۱ مکعب ۱۰*۱۰*۱۰ برای آزمایش جذب آب و و ۲ عدد نمونه جمع‌شدگی و ۲ قالب ویکات برای آزمون گیرش فوم بتن، از مخلوط استخراج شد. چگالی خشک مدنظر بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و اندازه‌گیری چگالی نمونه‌ها مطابق استاندارد ۱۴۵۰۴ انجام شد.

۳-۲-آزمون ویکات خمیر سیمان: هدف از این آزمایش تعیین زمان گیرش سیمان است که طبق استاندارد ملی ایران ۳۹۲

انجام شد. این آزمایش زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان را بوسیله دستگاه سوزن ویکات مشخص می‌کند. در این آزمایش برای تهیه خمیر سیمان، نسبت آب به سیمان ۲۵ درصد نظر گرفته شد (۶۵۰ گرم سیمان با ۱۶۲,۵ml آب). این عدد با توجه به آزمایش غلظت نرمال سیمان هیدرولیکی مطابق با استاندارد ASTM C187 با سه مرتبه آزمون و خطا به‌دست آمده است.

۳-۳-آزمون سوزن ویکات توسعه یافته (ویژه فوم بتن): از آنجا که زمان گیرش فوم بتن یک پارامتر حساس و چالشی این

صنعت است ضروری است تا روشی برای اندازه‌گیری زمان گیرش کامل این محصول یافته‌شود. ابتدا چندین تکرار با سوزن ویکات معمولی (قطر ۱ میلی‌متر) آزمایش انجام شد اما به‌علت ریز بودن قطر سوزن و از طرفی اسفنجی بودن نوع محصول، زمان زیادی صرف انجام این آزمایش شد که بصورت میانگین حداقل ۱۲ ساعت زمان نیاز بود تا نفوذ سوزن به صفر حدی برسد؛ بنابراین لازمی کاهش مدت زمان آزمایش، افزایش قطر سوزن خواهد بود؛ لذا قطر سوزن به ۵ میلی‌متر افزایش داده شد؛ در عین حال وزن میله‌ی سوزن ویکات طبق استاندارد ملی ایران، همچنان همان ۳۰۰ گرم باقی ماند. لازم به ذکر است در این آزمون نمونه‌ی فوم بتن عیناً درون قالب‌های ویکات ریخته شد و اندازه‌گیری گیرش اولیه و نهایی آن محاسبه و مقایسه‌ای بین دو نوع آب انجام شد.

۳-۴-آزمایش جمع‌شدگی: طبق استاندارد ۱۴۵۰۴، جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن عبارتست از نسبت بین تغییر طول نمونه در حالت غوطه‌ور شده در آب و خشک شده در گرمخانه به طول خشک آن برحسب درصد. در هر تکرار یک الی دو قالب از نمونه جمع‌شدگی نیز جهت این آزمایش از مخلوط گرفته شد. اندازه‌ی نمونه‌های جمع‌شدگی ۴*۴*۱۶ سانتی‌متر می‌باشد. پس از رسیدن نمونه به سن ۲۸ روزه، به‌مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شود. پس از آن برای اندازه‌گیری جمع‌شدگی، از دستگاه جمع‌شدگی ساخت شرکت بتن سبک آراتا استفاده شد. نمونه را به‌صورت طولی زیر گیج دستگاه قرار داده و با چرخاندن گیج، عقربه روی عدد صفر کالیبره می‌شود. دقت گیج ۰,۰۱ میلی‌متر است. همراه داشتن یک عدد کرنومتر ثانیه شمار الزامی است؛ و با آغاز زدن کلید کرنومتر، اقدام به مرطوب کردن نمونه به‌وسیله‌ی بطری آب کنید و انبساط نمونه را در انتهای هر دقیقه اندازه‌گیری کنید. آزمایش تا زمانی ادامه می‌یابد که تغییر طول نمونه به صفر بگراید.

تذکر مهم: آزمایشی که شرح داده شد برعکس آزمایش جمع‌شدگی است در واقع استاندارد آزمایش این‌گونه است که در آن، نمونه را کاملاً خیس کرده و زیر گیج قرار می‌دهند و سپس آن را در آن آرام آرام خشک می‌کنند. آزمایش جمع‌شدگی نیاز به تجهیزات و زمان زیاد دارد اما در این پژوهش به‌علت جنبه‌ی مقایسه‌ای بودن و تسریع در انجام آزمایش‌ها، با روش خیساندن نمونه و روشی جدید و کم هزینه نتایج کسب شد.

۳-۵- آزمایش جذب آب: بلوک فوم بتن در این آزمایش در اندازه‌ی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر است. این آزمون مطابق استاندارد ۱۴۵۰۴ انجام شد.

۴. نتایج

۴-۱- آزمایش گیرش فوم بتن با دستگاه سوزن و یکات توسعه یافته: از اعداد ۱۲ تکرار این آزمون متوسط‌گیری شد:

جدول ۲- میانگین نتایج آزمون سوزن و یکات توسعه یافته به‌روی نمونه‌های فوم بتن

میانگین			
آب معمولی		میناب	
متوسط ۷ تکرار		متوسط ۵ تکرار	
زمان (ساعت)	فرورفت (میلیمتر)	زمان (ساعت)	فرورفت (میلیمتر)
۰:۰۰	۴۰	۰:۰۰	۴۰
۲:۵۶	۳۹	۲:۱۴	۳۹,۴۲
۳:۲۱	۳۵,۱۴	۲:۵۲	۳۷
۳:۴۹	۲۸,۶۴	۳:۲۵	۲۹,۳۳
۴:۲۲	۱۹,۹۴	۳:۵۸	۲۰,۱
۴:۵۹	۱۳,۲۴	۴:۲۸	۱۴,۷
۵:۳۵	۹,۱۷	۴:۴۷	۱۱,۱۲
۶:۰۵	۶,۷۴	۵:۰۸	۸,۵۳
۶:۲۶	۴,۷۶	۵:۳۰	۶,۰۸
۶:۵۰	۳,۰۱	۵:۵۳	۴,۱
۷:۱۲	۱,۵۹	۶:۱۴	۲,۵
۷:۳۰	۰,۸۹	۶:۳۱	۱,۵۶
۷:۴۲	۰,۵۸	۶:۴۷	۰,۷۶
۷:۴۸	۰,۵	۶:۵۳	۰,۵۳
۸:۰۵	۰	۷:۰۷	۰

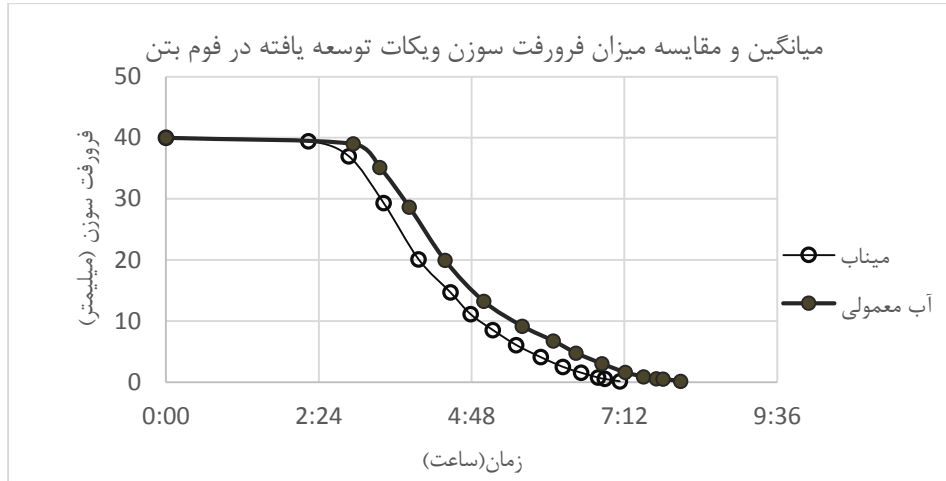
معادله‌ی خطی سه نقطه‌ی پیرنگ شده از جدول بالا از هر ستون را بدست آورده که نتیجه بصورت زیر است:

جدول ۳- زمان گیرش اولیه و ثانویه با توجه به میانگین نتایج کل نمونه‌های فوم بتن

نوع آب	گیرش اولیه (ساعت)	گیرش ثانویه (ساعت)
آب معمولی	۴:۰۲	۸:۰۵
میناب	۳:۴۰	۷:۰۷

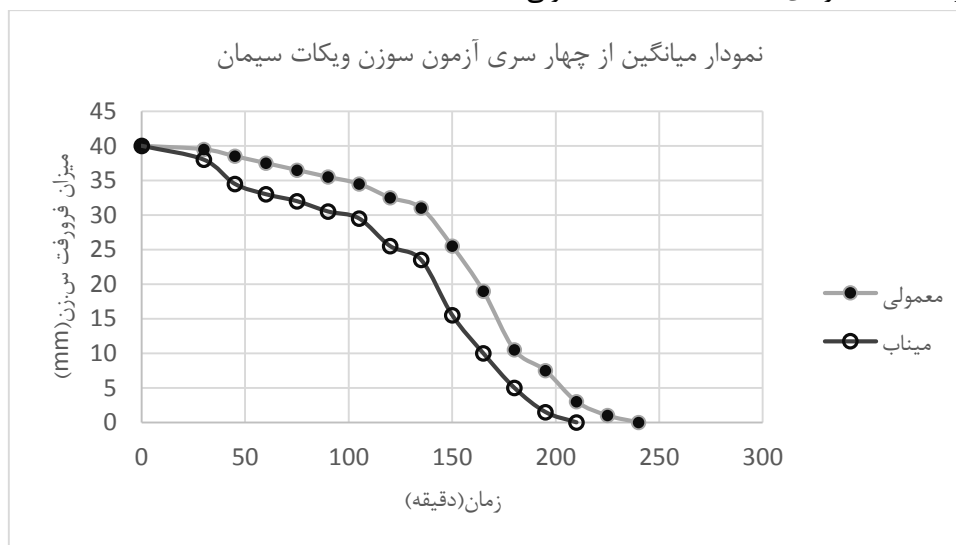
همانطور که مشاهده می‌شود میناب توانسته است مدت زمان گیرش فوم بتن را به میزان ۱ ساعت کاهش دهد.

نمودار حاصل از جدول ۲:



شکل ۱- نمودار مقایسه میانگین نتایج آزمون سوزن و یکات توسعه یافته نمونه‌های فوم بتن

۴-۲- آزمون سوزن و یکات سیمان: نتایج این آزمایش که در زیر آمده است نشان دهنده‌ی کاهش زمان گیرش خمیر سیمان میناب‌دار نسبت به نمونه‌ی ساخته شده با آب معمولی است.



شکل ۲- نمودار مقایسه ۴ نمونه از لحاظ زمان گیرش خمیر سیمان

محاسبه‌ی زمان گیرش اولیه و نهایی:

جدول ۴- زمان گیرش اولیه و نهایی بر حسب دقیقه

نوع آب	گیرش اولیه	گیرش نهایی
میناب	۱۱۹	۲۱۰
معمولی	۱۴۷	۲۴۰

۴-۳- آزمون جذب آب: نتایج جذب آب به ترتیب جدول زیر است.

جدول ۵- نتایج جذب آب آزمایش‌ها

جذب آب وزنی				
نوع آب	تکرار	W1(kg غرقاب)	W2(kg خشک)	جذب آب
میناب	۱	۱۰۰۳	۷۹۵	۰,۲۶
میناب	۲	۸۹۳	۶۹۵	۰,۲۸
میناب	۳	۸۹۰	۶۹۸	۰,۲۸
معمولی	۴	۹۶۸	۷۵۲	۰,۲۹
معمولی	۵	۹۱۵	۷۱۰	۰,۲۹
معمولی	۶	۹۰۹	۷۰۸	۰,۲۸
معمولی	۷	۸۷۸	۷۱۲	۰,۲۳
میناب	۸	۹۰۵	۷۴۰	۰,۲۲
معمولی	۱	۹۲۷	۷۱۲	۰,۳
میناب	۱۲	۸۹۴	۶۹۵	۰,۲۹

با متوسط گیری از نتایج می‌توان گفت که نمونه‌های میناب‌دار ۲۷ درصد و نمونه‌های معمولی ۲۸ درصد جذب آب دارند. استاندارد ملی ایران ۱۴۵۰۴ جذب آب برای چگالی ۸۰۰ را ۱۲,۵ درصد اعلام کرده است. هدف پژوهش مقایسه بین دو نوع آب است و همان‌گونه که از نتایج برمی‌آید نمونه‌های میناب‌دار توانست جذب آب را به میزان ۱ درصد کاهش دهند.

۴-۴- آزمون جمع شدگی: حداکثر میزان جمع شدگی مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۵۰۴ برابر است با ۰,۰۸ درصد، که جمع شدگی نمونه‌ها در این پژوهش به ترتیب زیر است:

جدول ۶- نتایج آزمون جمع شدگی

تکرار	نوع آب	طول اولیه (mm)	تغییر طول (mm)	طول ثانویه (mm)	جذب آب	جمع شدگی خشک شدن (%)
۱	میناب	۱۶۰	۰,۰۹۹	۱۶۰,۰۹۹	۰,۲۰	٪۰,۰۶
۲	میناب	۱۶۰	۰,۱۰۳	۱۶۰,۱۰۳	۰,۲۵	٪۰,۰۶
۳	میناب	۱۶۰	۰,۱۴۱	۱۶۰,۱۴۱	۰,۲۷	٪۰,۰۹
۴	معمولی	۱۶۰	۰,۱۳	۱۶۰,۱۳	۰,۲۸	٪۰,۰۸
۵	معمولی	۱۶۰	۰,۱۳۲	۱۶۰,۱۳۲	۰,۲۶	٪۰,۰۸
۶	معمولی	۱۶۰	۰,۱۱۲	۱۶۰,۱۱۲	۰,۲۶	٪۰,۰۷
۷	معمولی	۱۶۰	۰,۱۳۱	۱۶۰,۱۳۱	۰,۱۹	٪۰,۰۸
۸	میناب	۱۶۰	۰,۱۳	۱۶۰,۱۳	۰,۱۸	٪۰,۰۸
۹	معمولی	۱۶۰	۰,۱۰۶	۱۶۰,۱۰۶	۰,۲۴	٪۰,۰۷
۱۰	معمولی	۱۶۰	۰,۱۰۲	۱۶۰,۱۰۲	۰,۲۳	٪۰,۰۶

با متوسط‌گیری از نتایج ستون آخر جدول می‌توان دریافت که جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در نمونه‌های میناب ۰,۰۷ درصد و آب معمولی ۰,۰۸ درصد می‌باشد. که مشاهده می‌شود میناب توانسته است به میزان یک درصد از جمع‌شدگی بکاهد اگرچه عددی قابل اقباض است.

۵. نتیجه‌گیری:

زمان گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان با استفاده از میناب کاهش یافته است. ذرات ریز و پایدار هوا در میناب باعث سریع‌تر شدن واکنش بین سیمان و آب می‌شود. بهبود زمان گیرش فوم بتن از طریق یک راه ارزان و سریع، از نتایج مهم این پژوهش است چرا که در فوم بتن به علت وجود کف فوم، زمان رسیدن به محصول نهایی طولانی است، که کاهش زمان گیرش ثانویه آن به میزان تقریباً ۱ ساعت و زمان گیرش اولیه آن به میزان ۲۰ دقیقه از نتیجه‌ی این پژوهش است. جذب آب فوم بتن فرآوری شده با میناب اندکی (به میزان ۱ درصد) نسبت به آب معمولی کمتر است. جمع‌شدگی یکی از مشکلات فوم بتن است که تحقیقات پاسخ مناسبی برای آن پیدا نکرده است در این پژوهش میناب توانست به میزان یک درصد جمع‌شدگی را کاهش دهد. درباره‌ی جمع‌شدگی و جذب آب باید گفت که این دو جز دغدغه‌های این صنعت است که این پژوهش قدم کوچکی در این راستا برداشته است اما نتایج دلخواه گرفته نشد. امید است نتایج این پژوهش چراغ راهی برای تحقیق‌های آتی باشد. در عصر حاضر، مصالح سنگین جای خود را به مصالح سبک و سخت‌تر می‌دهند. صنعت فوم بتن این شایستگی را دارد تا بتواند نقش جدیدی در صنعت ساختمان ایفا کند. به امید آن روز که بتوان این صنعت را بر جایگاه شایسته خود دید. 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] Nazari A, Riahi Sh, Riahi Sh, Shamekhi S.F, Khademno A, (2010), "The effects of incorporation Fe2O3 nanoparticles on tensile and flexural strength of concrete", Journal of American Science, 6, 4, pp 90.

[۳] راهی و، مظفری ع، فلاح شیروانی م، (۱۳۹۰)، بررسی تاثیر نانو ذرات سیلیسی بر بتن سبک، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، ص ۴.

[۴] قربانی م، افسر دلیر ع، (۱۳۹۴)، بتن سبک وزن با ساختمان سلولی (فوم)، دومین همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، از ص ۱ الی ۸.

[۵] مظفری نائینی ر، (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای هیدرودینامیکی استاندارد جریان به کمک نانو-میکرو حباب هوا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.