

استفاده از امواج توان زیاد آلتراسونیک به منظور کاهش میزان جذب آب در بتن معمولی

سید محسن کریمی

کارشناس ارشد، مهندسی و مدیریت ساخت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

صابر صفار*

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران.

مجید صافحیان

استادیار، مهندسی و مدیریت ساخت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

امروزه، بتن به دلیل دارا بودن مقاومت فشاری زیاد، مقاومت در برابر آتش سوزی، دوام زیاد در محیط‌های خورنده و نفوذ پذیری کم، کاربرد وسیعی در پروژه‌های مختلف دارد. موثر بودن امواج آلتراسونیک توان زیاد با توجه به نداشتن آلودگی صوتی در صنایع ساخت و تولید نظیر کاهش نیروهای ماشینکاری، افزایش صافی سطح، ریزدانه کردن فلزات در حین انجماد می‌تواند انگیزه استفاده آن در صنعت ساختمان نیز باشد. بدین منظور در این تحقیق، استفاده از امواج توان زیاد آلتراسونیک با توان‌های مختلف، زمانهای متفاوت و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز در متراکم‌سازی بتن و تأثیر آن بر میزان جذب آب نیم‌ساعته بتن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که استفاده از امواج توان زیاد آلتراسونیک به عنوان یک فرایند تکمیلی در متراکم‌سازی بتن تازه، منجر به کاهش میزان جذب آب نیم‌ساعته بتن در حدود ۱۲/۵ تا ۱۵/۵ درصد، برحسب شکل قالب آزمون بتن خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بتن، جذب آب بتن، امواج آلتراسونیک توان زیاد، فرکانس.

* نویسنده مسئول: saffar@iribu.ac.ir

۱- مقدمه

ریزساختار فلزات انجام پذیرفت، نشان داده شد که اعمال امواج آلتراسونیک بر فلزات درحال انجماد در فرایند ریخته‌گری، قبل از سخت‌شدگی، باعث ریزساختار شدن فلز گردیده و افزایش مقاومت کششی و همچنین افزایش چقرمگی در فلز را به دنبال خواهد داشت [۵].

در سال ۲۰۱۷ فراتشوند و صدوقی، کومار^۷ و همکاران اثر امواج آلتراسونیک بر روی مشخصات مکانیکی فلزات تهیه شده به روش متالورژی پودر را مورد بررسی قرار دادند. [۱۰-۱۱].

تهیه بتن و فشرده‌سازی آن شباهتی به فرآیند فشرده‌سازی در متالورژی پودر فلزات دارد و از اینرو، تحقیق انجام شده در سال ۲۰۱۷ توسط عابدینی، عبدالله و علیزاده مورد توجه است. آنها نشان دادند ارتعاشات آلتراسونیک به روند تحکیم و سخت‌شدگی پودر فلزات در طول فرایند پرس گرم کمک می‌نماید. از نکات برجسته تحقیق می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در زمینه فرایند پرس گرم با استفاده از امواج آلتراسونیک می‌توان در درجه حرارت‌های پایین‌تر به فشرده‌گی مورد نظر دست یافت. همچنین، این تحقیق نشان می‌دهد بکارگیری امواج ارتعاشی آلتراسونیک در فرایندهای پرس گرم به بهبود همگنی ساختار و چگالی بیشتر در فلزات تهی شده به روش متالورژی پودر نیز منجر می‌شود [۱۲].

در طول دو دهه اخیر، بسیاری از محققان در مورد کاربرد امواج آلتراسونیک کم‌قدرت در اندازه‌گیری خواص مکانیکی و فیزیکی بتن تحقیق کردند که برخی از آخرین تحقیقات در اینجا بیان می‌شود. در این رابطه، ویی و ژواند^۸، روش تجزیه و تحلیل متغیر با زمان را در پردازش داده‌های آزمایش آلتراسونیک سازه بتنی معرفی کردند [۱]. قوش^۹ و همکاران، سعی در ایجاد رابطه بین سرعت پالس امواج آلتراسونیک (UPV) و مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمر داشت. نتایج نشان داد که رابطه بین UPV و مقاومت فشاری بتن به طور قابل توجهی تحت تأثیر سن و غلظت فعال‌کننده قلیایی است [۱۴]. شن^{۱۰} و همکاران، در رابطه بین انقباض اتوزن و سرعت موج آلتراسونیک HSC تقویت شده با الیاف مطالعه نمودند. نتایج آنها نشان داد با افزایش درصد حجم الیاف، انقباض

از جمله ویژگی‌های مهم بتن با کیفیت مطلوب، پایداری بتن است که تأثیر زیادی در حفظ کیفیت بتن با گذشت زمان دارد. بتن مقاوم در برابر عوامل جوی باید دارای ویژگی‌های مشخصی باشد که مهم‌ترین آنها، بر خورداری از سنگ‌دانه با کیفیت مناسب و تخلخل و جذب آب کم است. یکی از راه‌های کاهش تخلخل و جذب آب در بتن، تراکم‌سازی مناسب است. پایداری بتن بستگی به مواد تشکیل‌دهنده، نسبت‌ها و روش‌های اختلاط، جا دادن، تراکم و عمل‌آوری بتن دارد [۱-۴].

در این تحقیق بهبود کیفیت بتن از طریق به‌کارگیری روشی نوین در تراکم‌سازی بتن و مقایسه آن با روش سنتی تراکم‌سازی بتن تازه با استفاده از ویبراتورهای مرسوم مورد توجه است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که امواج توان بالای آلتراسونیک^۱ در افزایش چگالی^۲ و ریزدانه کردن مواد فلزی بسیار موثر است [۵]. چنانچه بتوان به منظور تراکم‌سازی بتن، این امواج را جایگزین ویبراتورهای معمولی و متداول در صنعت ساختمان نمود، بسیاری از نقاط ضعف و مشکلات ناشی از تراکم غیر اصولی بتن، نظیر جداشدگی، آب‌انداختگی و تخلخل مرتفع می‌شود. همچنین، آلودگی صوتی حاصل از ویبره زنی به دلیل بالاتر بودن فرکانس امواج آلتراسونیک از حد شنوایی انسان، حذف شده و امکان لحاظ کردن و استانداردهای نوفه^۳ فراهم می‌شود.

امواج آلتراسونیک در فرایندهای تولیدی (ماشینکاری، سوراخکاری، برشکاری و شکلدهی) و فرایندهای اندازه‌گیری مانند آزمون‌های غیر مخرب) کاربرد فراوانی دارند [۶].

در سال ۲۰۱۲ محققانی مانند صدیق^۴ و همکاران، و همچنین کی لین کیو و تسائو^۵ با تحقیق بر روی تأثیر امواج آلتراسونیک بر فرایندهای تولیدی توانستند تأثیر مثبت این امواج بر بهبود کیفیت فرایندهایی مانند سوراخکاری و برشکاری و همچنین کمتر شدن حرارت تولیدی و در نتیجه کاهش منطقه حرارتی (HAZ) را نشان دهند [۷-۹]. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۷ توسط عابدینی، عبدالله و علیزاده بر روی تأثیر امواج آلتراسونیک بر

⁶ Heat Affected Zone

⁷ Kumar

⁸ Xuand and Wei

⁹ Ghosh

¹⁰ Shen

¹ High Power Ultrasonic waves

² Density

³ Noise

⁴ Siddiq

⁵ Kuo and Tsao

توان مورد نیاز، وجود دارند که در این تحقیق تلاش بر آن است تا این پارامترهای مجهول در راستای افزایش تراکم بتن، معلوم گردند.

برای این منظور، بعد از انجام چند آزمایش اولیه، بتن با مقاومت فشاری ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع که بسیار متداول در صنعت بتن می باشد به عنوان عیار ثابت در آزمون‌ها تعیین شد. همچنین، فرکانس مبدل آلتراسونیک، ۲۰ کیلوهرتز (که بالاتر از حد شنوایی انسان می باشد) و توان‌های مختلف در نظر گرفته شده است.

۲- مشخصات مواد و تجهیزات

۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی در بتن

۲-۱-۱- سنگ دانه‌ها

سنگ دانه‌های استفاده شده در تهیه آزمون‌های بتنی جهت انجام این تحقیق آزمایشگاهی، از معادن شهریار تهیه شده است که به منظور تعیین مشخصات سنگ دانه‌های مصرفی در بتن، آزمایش دانه بندی و آزمایش تعیین وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک ((s.s.d) بر روی شن و ماسه مطابق ضوابط و دستورالعمل‌های سازمان ملی استاندارد مطابق استاندارد شماره ۴۹۷۷ سازمان ملی استاندارد ایران [۲۶] انجام گرفت و نتایج آن در طرح اختلاط بتن مورد استفاده قرار گرفت.

برای این منظور نمونه برداری از دپو شن و ماسه مطابق استاندارد شماره ۱۱۲۶۷ سازمان ملی استاندارد ایران انجام و سپس آزمون‌ها را در دمای $5 \pm 110^{\circ}C$ تا رسیدن به وزن ثابت خشک کرده و سپس الک های استاندارد را با استفاده از دستگاه مکانیکی برای مدت کافی (حدود ۱۰ دقیقه) تکان داده، سپس جرم مواد مانده روی هر الک را با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۱ گرم تعیین گردید. پس از آن درصد-های مانده روی هر الک، درصد تجمعی مانده روی هر الک و درصد تجمعی عبور کرده از هر الک مشخص گردید. منحنی دانه بندی شن و ماسه مصرفی در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص است، سنگ دانه‌های مصرفی مورد استفاده در این تحقیق در محدوده استاندارد واقع شده

توزن و سرعت امواج آلتراسونیک در بتن کاهش می یابد [۱۵].

هونگ^۱ و همکاران، مقاومت فشاری را با توجه به سن سازه بتونی با استفاده از روش سرعت پالس آلتراسونیک تخمین زد [۱۶]. لی^۲

با استفاده از تست سرعت پالس آلتراسونیک، مدل جدیدی را برای تخمین زمان تنظیم و مقاومت در برابر فشار که شامل تغییر در شرایط بتن در سنین اولیه است، ارائه داد [۱۷]. سریراماتسو^۳ و همکاران، به صورت تئوری و تجربی تأثیر حالت‌های موج هدایت طولی بر خوردگی حفره ای را مورد مطالعه قرار دادند تا مراحل خاص خوردگی را شناسایی کند [۱۸]. چنا^۴ و همکاران، یک

رویکرد مبتنی بر کوبه‌ای جدید غیر مخرب، برای شناسایی حفره-

های سطح زیرین در ساختارهای لوله ای فولادی پر از بتن (CFST) ارائه داده اند [۱۹]. لوتنس^۵ و همکاران، مدول الاستیک

و مقاومت فشاری خمیر سیمان یا بتن را از دامنه یک موج

آلتراسونیک منعکس شده تخمین زدند [۲۰]. اخیراً از امواج

آلتراسونیک با قدرت زیاد برای مخلوط کردن بتن در بهبود پیش

پردازش استفاده شده است [۲۱-۲۲]. لیو^۶ و همکاران، از امواج

آلتراسونیک برای ارتقا کارایی حذف کلرید الکتروشیمیایی

(ECR) بدون افزایش چگالی جریان استفاده کردند تا بتواند زمان

روشن شدن کلی را کاهش دهد، تا باعث کاهش مصرف برق و

خسارت مواد ناشی از الکتروسیسته شوند. آنها دریافتند که امواج

آلتراسونیک نه تنها می توانند باعث تخلیه یون‌های کلرید شوند،

بلکه روند انفعال میله های فولادی را نیز تقویت می کنند [۲۳].

تکنیک های جدیدی مانند امواج آلتراسونیک توان زیاد (PUS)

در حال حاضر برای بهبود هیدراتاسیون مواد سیمانی و تقویت اثر

جایگزینی مواد مکمل سیمانی در دست بررسی است. از این نظر،

گنجیان و همکاران، ساز و کارهای احتمالی مربوط به اثرات

PUS را به عنوان یک روش برای تقویت سینتیک هیدراتاسیون

سیمان روی سیمان پرتلند و مخلوط های باینری بیان نمودند [۲۴-۲۵].

در این تحقیق امواج توان زیاد آلتراسونیک به عنوان یه عامل

کمکی در متراکم سازی بتن، بکار گرفته شده است. با توجه به

جدید بودن روش استفاده از امواج آلتراسونیک در بحث متراکم-

سازی بتن، پارامترهای مجهولی نظیر مدت زمان اعمال امواج و

⁴ Chena

⁵ Lootens

⁶ Liu

¹ Hong

² Lee

³ Sriramadasu

است و ضوابط آیین نامه برای مصرف در بتن را اقعاع می نمایند. از آنجایی که معمولاً در محاسبات مربوط به طرح اختلاط بتن از وزن مخصوص سنگ دانه ها در حالت اشباع با سطح خشک استفاده می شود. بنابراین، در این تحقیق آزمایشگاهی وزن مخصوص شن و ماسه مصرفی بتن در حالت اشباع با سطح خشک مطابق استانداردهای شماره ۴۹۸۰ و ۴۹۸۲ سازمان ملی استاندارد تعیین شده است [۲۷-۲۸].

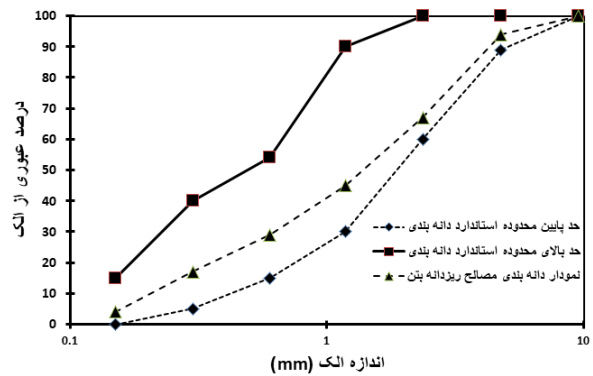
وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک برای مصالح درشت دانه ۲۴۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب و برای مصالح ریزدانه ۲۳۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد.

۲-۱-۲- سیمان

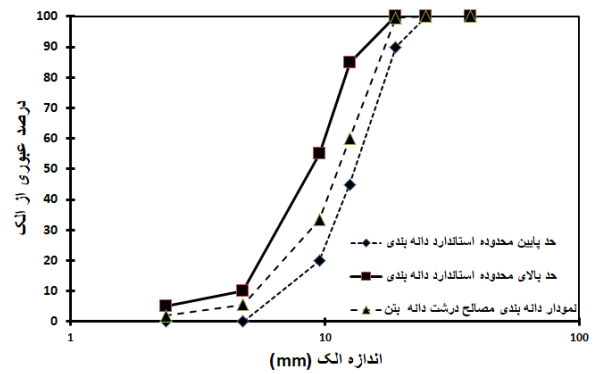
سیمان مصرفی در انجام این تحقیق آزمایشگاهی، سیمان تیپ ۲ کارخانه آبیگ قزوین انتخاب و مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن و مناسب بودن آن ها برای انجام این تحقیق در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است.

۳-۱-۳- آب

آب استفاده شده در ساخت نمونه های بتنی این تحقیق، آب آشامیدنی، بو و مزه مشخصی ندارد، صاف و تمیز بوده است که مطابق ضوابط پذیرش آب مصرفی در بتن در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران می توان از آن در بتن استفاده نمود.



شکل ۱- منحنی دانه بندی سنگ دانه ریز مصرفی در بتن



شکل ۲- منحنی دانه بندی سنگ دانه درشت مصرفی در بتن

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

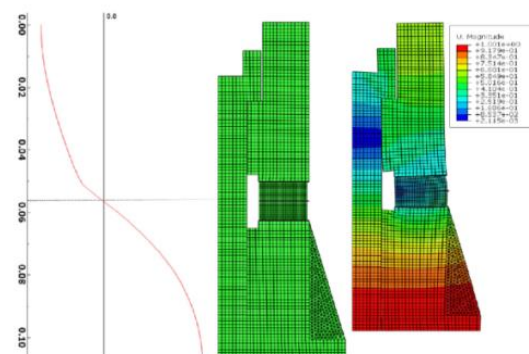
عنوان	انبساط اتوکلاو (%)			زمان گیرش (دقیقه)		سطح مخصوص (cm ² /gr)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	۳ روزه		۷ روزه	۲۸ روزه	
مقدار مجاز	< ۴۵	< ۳۶۰	< ۰/۸	> ۲۸۰۰	> ۱۰۰	> ۱۷۵	> ۳۱۵		
مقدار در سیمان	۴۵	۲۱۲	۰/۲۱	۳۰۸۱	۲۰۸	۳۳۳	۴۹۲		

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

عنوان	Na ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
درصد مجاز	-	< ۳	< ۵	فاقد محدودیت	< ۶	< ۶	> ۲۰	محدودیت اختیاری	-	-	< ۸	-
درصد در سیمان	۰/۳۷	۱/۸۹	۳/۲۲	۶۲/۲۸	۳/۸۶	۴/۷۶	۲۰/۷۹	۰/۸۶	۵۲/۵۹	۲۰/۰۳	۷/۱۶	۱۰/۸۷

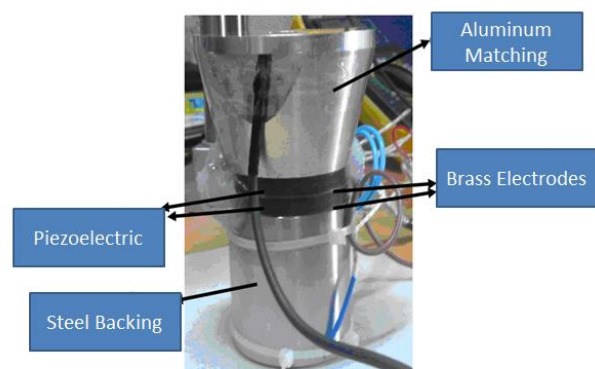
۲-۲- دستگاه ترانسدیوسر

برای ایجاد فرکانس و توان یاد شده، می‌بایست از مبدل آلتراسونیک استفاده نمود. این مبدل باید به گونه‌ای طراحی شود که ارتعاشات فقط به صورت طولی ایجاد شود. معمولاً برای دستیابی به ارتعاشات طولی از نرم افزارهای تحلیل اجزای محدود^۱ نظیر آباکوس^۲ و انسیس^۳ استفاده می‌شود. شکل (۳) شماتیکی را نشان می‌دهد که در آن سعی شده است اجزاء توسط نرم افزار انسیس طوری طراحی شوند که تنها موج طولی وجود داشته باشد.



شکل ۳- طراحی ابعاد اجزاء ترانسدیوسر آلتراسونیک در نرم افزار ANSYS

این ترانسدیوسر قادر به تولید امواج توان زیاد (ماکزیمم ۱ کیلو وات) در فرکانس تشدید ۲۰ کیلو هرتز است. این مبدل از اجزاء مولد ارتعاش از جنس PZT، الکتروود برنجی، قطعه تطبیق آلومینیومی، پشت بند فولادی و پیچ دو سر رزوه برای اتصال و تحت بار قراردادن آنها تشکیل شده است که در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- اجزاء مبدل آلتراسونیک

۳- روش انجام آزمون

۳-۱- ساخت و عمل آوری نمونه‌ها

۳-۱-۱- طرح اختلاط بتن

در این تحقیق آزمایشگاهی، بتنی با مقاومت فشاری ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و حداکثر اندازه سنگ‌دانه درشت ۱۲/۵ میلیمتر بر اساس استاندارد B.S^۴ طرح و جزئیات آن در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- طرح مخلوط بتن مورد استفاده در تحقیق

مدول	نسبت			حداکثر			طرح مخلوط
	آب	آب	سیمان	اندازه	سنگ‌دانه	(mm)	
نرمی	شن	آب	سیمان	سیمان	سیمان	سیمان	طرح B.S
ماسه	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	۱۲/۵
ماسه							۴۰۵
							۲۴۳
							۰/۶
							۱۰۶۰
							۳/۴۲

۳-۱-۲- ساخت نمونه‌ها

قبل از شروع آزمون‌ها ابتدا برای تعیین توان مورد نیاز برای ترانسدیوسر آلتراسونیک، به این صورت عمل شد که تعدادی پیش تست در توان‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ وات، و زمان‌های تابش امواج ۹۰، ۶۰ و ۳۰ ثانیه انجام گرفت. نتایج نشان دادند که توان‌های کمتر از ۱۰۰۰ وات، و زمان تابش امواج کمتر از ۶۰ ثانیه، تاثیری ندارد. همچنین زمان‌های بیشتر از ۶۰ ثانیه به دلیل اشباع شدن اثر امواج آلتراسونیک تاثیری در فشرده‌تر کردن بتن ندارند. صرفاً زمان بیشتر تابش تنها باعث افزایش تلفات انرژی و حتی ممکن باعث آب‌انداختگی بتن تازه شود. بنابراین توان ۱۰۰۰ وات و زمان تابش امواج ۶۰ ثانیه مبنای عمل در تست‌های اصلی قرار گرفت. فرایند ساخت تمامی نمونه‌ها مطابق با استاندارد شماره ۲-۱۶۰۸ سازمان استاندارد ایران انجام پذیرفته است [۲۹].

به منظور انجام این تحقیق آزمایشگاهی در مجموع تعداد ۱۸ نمونه تهیه شد. از این تعداد ۹ نمونه مکعبی شکل به ابعاد ۱۰ سانتیمتر و ۹ نمونه استوانه‌ای شکل به ابعاد ۲۰×۱۰ سانتیمتر تهیه شد تا بتوان علاوه بر بررسی تأثیر امواج آلتراسونیک، تأثیر شکل قالب بتن را نیز بررسی نمود. از این‌رو، در هر شکل قالب‌گیری تراکم ۳ نمونه به روش استاندارد و توسط میله فولادی با سطح

^۳ ANSYS

^۴ British Standards

^۱ Finite element method

^۲ ABAQUS

در گرم خانه با قابلیت کنترل دما در بازه $10.5 \pm 5^{\circ}\text{C}$ [۲۹] با فاصله بیشتر از ۲۵ میلیمتر از یکدیگر و از صفحه‌ها قرار گرفتند. به طوری که هوا در بین تمامی سطوح آزمون‌ها جریان یابد. تصاویری از نحوه ی عمل آوری آزمون‌های بتنی و قرارگیری در حوضچه آب در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ۶- تصاویری از نحوه ی عمل آوری آزمون‌های بتنی و قرارگیری آنها در حوضچه آب

۳-۲- تعیین جذب آب نیم‌ساعته آزمون‌ها

این آزمایش مطابق با ضوابط استاندارد شماره ۱۶۰۸-۱۲۲ سازمان ملی استاندارد ایران انجام شد. بعد از خروج آزمون‌ها از گرم خانه، آزمون‌ها در ظرف خشک کن به مدت (24 ± 0.5) ساعت خشک شدند. البته بلافاصله بعد از خشک شدن، هر آزمون وزن و مقدار آن ثبت شد [۳۰]. سپس آزمون‌ها به مدت (30 ± 0.5) دقیقه، به طوری که محور طولی آنها به صورت افقی قرار بگیرد و (25 ± 5) میلیمتر آب روی سطح آزمون‌ها وجود داشته باشد غوطه ور شدند. پس از سپری شدن زمان غوطه وری، بلافاصله آزمون‌ها از آب خارج و برای از بین بردن آب اضافی روی سطح آزمون‌ها، تکان داده شده و به سرعت با یک پارچه خشک شدند. سپس هر آزمون به دقت وزن و مقدار آن ثبت شد. تصاویری از مراحل انجام آزمایش جذب آب نیم‌ساعته در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۷- تصاویری از مراحل انجام آزمایش جذب آب نیم‌ساعته بتن

مقطع دایره‌ای شکل با قطر تقریبی ۱۶ میلیمتر و طول تقریبی ۶۰۰ میلیمتر که هر دو سر آن گرد است، انجام گرفت. برای این منظور بتن در سه لایه در قالب‌ها ریخته شد و هر لایه توسط اعمال ۲۵ ضربه متراکم شد. پس از تراکم هر لایه، به آرامی با چکش به سطوح خارجی قالب ضربه زده شد تا حفره‌های به جا مانده از میله تراکم برطرف شوند [۲۹].

تراکم ۳ آزمون‌ها با استفاده از تابش امواج آلتراسونیک به مدت ۶۰ ثانیه در هر لایه و تراکم ۳ آزمون‌ها با استفاده از هر دو روش و به صورت ترکیبی انجام گرفت. به عبارت دیگر، علاوه بر تراکم به وسیله میله استاندارد، تابش امواج نیز در هر لایه انجام شده است. تصاویری از مراحل ساخت آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵- تصاویری از مراحل ساخت آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای تحت تأثیر امواج

۳-۱-۳- عمل آوری آزمون‌ها

پس از قالب‌گیری، آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون قالب نگه داشته شده و در این مدت آزمون‌ها از هرگونه شوک، لرزش و از دست دادن آب هیدراسیون محافظت و در دمای $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ نگه‌داری شدند. سپس آزمون‌ها از قالب خارج و تا قبل از لحظه آزمون، در آب در دمای $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ عمل آوری شدند.

در تهیه آزمون‌ها، سعی شد از روغن رهاساز کمتری در قالب‌ها استفاده شود. همچنین، سطح آزمون‌ها بلافاصله بعد از بازکردن قالب‌ها به وسیله آب تمیز شستشو داده شد تا هرگونه مواد رهاساز باقی مانده از سطح آزمون‌ها حذف شود. سپس همه آزمون‌ها در حوضچه عمل آوری نگهداری شدند.

از آنجایی که آزمون جذب آب می‌بایست زمانی که آزمون‌ها در سن ۲۸ روزه تا ۳۲ روزه هستند، انجام شود، خشک کردن آزمون‌ها در سن ۲۴ روز آغاز و آزمون‌ها به مدت (72 ± 2) ساعت

۴- نتایج

حباب‌های هوا به واسطه وجود لایه آب در کف ظرف است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عمق نفوذ در توان ۱۰۰۰ وات به اندازه ارتفاع قالب هاست. اما به منظور مقایسه با روش استاندارد (کوبش با میله در سه لایه) از ترانسدیوسر در سه لایه استفاده می‌شد که و عملاً از عمق نفوذ موثر ترانسدیوسر استفاده نمی‌شد. بعد از انجام این سه مرحله (تعیین عیار مناسب بتن، توان و زمان بهینه تابش امواج آلتراسونیک و در نهایت تعیین عمق نفوذ موثر) آزمون‌های اصلی انجام شد. نتایج حاصل از انجام آزمایش جذب آب نیم ساعته آزمون‌های مکعبی و استوانه‌ای در سن ۲۸ روزگی در جداول (۴) و (۵) و مقایسه نتایج برای حالت‌های متفاوت تهیه آزمون‌ها در شکل (۸) ارائه شده است. نتایج آزمایش جذب آب نیم ساعته آزمون‌های ساخته شده که به منظور بررسی تأثیر شکل آزمون‌ها (میزان تطابق سطح مقطع ترانسدیوسر آلتراسونیک و سطح قالبگیری نمونه‌ها) و همچنین بررسی استفاده از امواج آلتراسونیک به عنوان یک عامل کمکی در بحث تراکم سازی بتن انجام گرفت، نشان می‌دهد، اولاً استفاده از امواج آلتراسونیک به عنوان یک عامل کمکی در تراکم سازی بتن منجر به کاهش حدود ۱۲/۵ درصدی میزان جذب آب بتن می‌شود. علاوه بر آن در آزمون‌های استوانه‌ای که شکل مقطع قالب آزمون و ترانسدیوسر بکار گرفته شده یکسان می‌باشد، کاهش میزان جذب آب به حدود ۱۵/۵ درصد می‌رسد. دلیل این اتفاق می‌تواند به خاطر این مساله باشد که امواج توان بالای آلتراسونیک توانایی ویریه کردن با فرکانس بسیار بالا را دارند و می‌توانند به حرکت ذرات درون بتن تازه در فضاهای خالی کمک کنند. در واقع امواج آلتراسونیک با حرکت درون بتن تازه، اصطکاک بین ذرات را کاهش داده و به سر خوردن آن‌ها روی هم کمک می‌کند تا فضاهای خالی بهتر پر شود. همچنین امواج می‌توانند به خروج حباب‌های هوای درون بتن کمک کنند تا بتن فشرده تر شده و در نهایت این فشردگی باعث کاهش جذب آب می‌شود. دلیل وضعیت بهتر در آزمون‌های استوانه‌ای هم به این خاطر است که مقطع ترانسدیوسر مورد استفاده دایروی بوده و تطابق بهتری با قالب استوانه‌ای دارد. بنابراین تراکم بهتری در بتن ایجاد شده است. می‌شود اینطور نتیجه‌گیری کرد که برای بدست آوردن بیشترین اثر می‌بایست سطح مقطع ترانسدیوسر به سطح مقطع قالب‌گیری یکسان باشد.

قبل از شروع آزمون‌ها ابتدا تعدادی آزمایش اولیه برای تعیین دو موضوع انجام گرفت. اول، پیدا نمودن عیار مناسب بتن برای انجام تحقیق، دوم، تعیین توان بهینه برای متراکم سازی و سوم تعیین عمق نفوذ موثر امواج آلتراسونیک.

در گام اول و در جهت تعیین عیار مناسب بتن، عیارهای ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم برسانتیمتر مربع و بر اساس استاندارد B.S در نظر گرفته شد و برای هر عیار تعداد ۳ نمونه ساخته شد و اثر امواج آلتراسونیک روی آنها بررسی شد. نتایج نشان دادند که هرچه عیار بتن بیشتر باشد، اثر امواج آلتراسونیک کمتر می‌شود. در واقع درشت شدن اندازه‌های شن و ماسه به عنوان سدی در برابر عبور امواج عمل کرده و راندمان را پایین می‌آورند. بنابراین برای دیدن اثر امواج آلتراسونیک می‌بایست، عیار با اندازه شن و ماسه کوچکتر انتخاب گردد. بنابراین در این تحقیق عیار با مقاومت فشاری ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در ادامه آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

در گام دوم، تعیین توان مورد نیاز برای ترانسدیوسر آلتراسونیک، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، تعدادی پیش تست در توان‌های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ وات، و زمان‌های تابش امواج ۹۰، ۶۰ و ۳۰ ثانیه انجام گرفت. نتایج نشان دادند که توان‌های کمتر از ۱۰۰۰ وات، و زمان تابش امواج کمتر از ۶۰ ثانیه، تأثیری ندارد. همچنین زمان‌های بیشتر از ۶۰ ثانیه به دلیل اشباع شدن اثر امواج آلتراسونیک تأثیری در فشرده‌تر کردن بتن ندارند. صرفاً زمان بیشتر تابش تنها باعث افزایش تلفات انرژی و حتی ممکن باعث آب-انداختگی بتن تازه شود. بنابراین توان ۱۰۰۰ وات و زمان تابش امواج ۶۰ ثانیه مبنای عمل در تست‌های اصلی قرار گرفت.

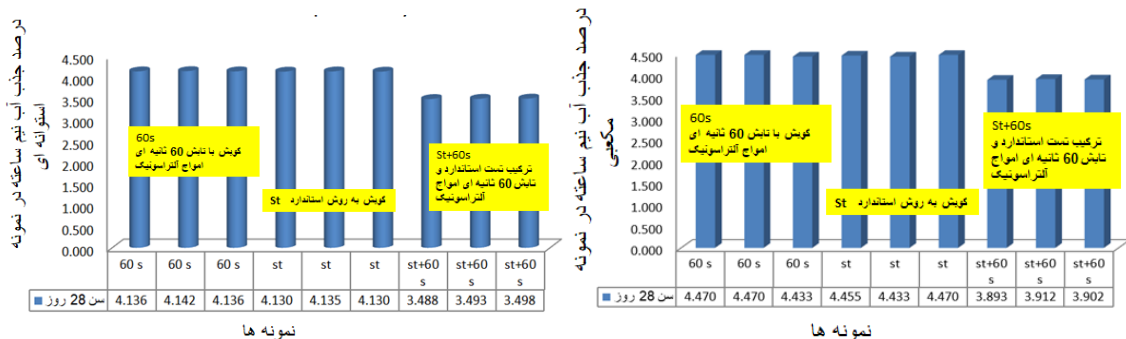
در گام سوم، عمق نفوذ تأثیر امواج بررسی شد. برای این منظور در کف ظرف قالب‌گیری بتن، یک فویل نازک آلومینیومی قرار داده می‌شد و روی آن مقدار کمی آب ریخته می‌شد و سپس یک فویل آلومینیومی دیگر گذاشته می‌شد تا آب جذب بتن درون ظرف نشود. سپس پر کردن قالبها در یک مرحله انجام می‌گرفت. نتایج نشان دادند که در صورت استفاده از توان ۱۰۰۰ وات، روی فویل آلومینیومی تعدادی سوراخ مشاهده می‌شود. این امر در توان‌های کمتر از ۱۰۰۰ وات مشاهده نمی‌شد. دلیل ایجاد سوراخ روی فویل آلومینیومی، تشکیل پدیده کاونتاسیون و ترکیدن

جدول ۴- نتایج آزمایش تعیین جذب آب نیم ساعته آزمون‌های مکعبی

میانگین	درصد جذب آب (%)			وزن نمونه (kg)			شرایط	روش متراکم سازی
	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳		
۴/۴۵۳	۴/۴۷۰	۴/۴۳۳	۴/۴۵۵	۲/۰۲۵	۲/۰۳۰	۲/۰۲۰	وزن خشک	استاندارد
				۲/۱۱۵	۲/۱۲۰	۲/۱۱۰	وزن تر	
۳/۹۰۲	۳/۹۰۲	۳/۹۱۲	۳/۸۹۳	۲/۰۵۰	۲/۰۴۵	۲/۰۵۵	وزن خشک	استاندارد+آلتراسونیک ۶۰ ثانیه
				۲/۱۳۰	۲/۱۲۵	۲/۱۳۵	وزن تر	
۴/۴۵۷	۴/۴۳۳	۴/۴۷۰	۴/۴۷۰	۲/۰۳۰	۲/۰۲۵	۲/۰۲۵	وزن خشک	آلتراسونیک ۶۰ ثانیه
				۲/۱۲۰	۲/۱۱۵	۲/۱۱۵	وزن تر	

جدول ۵- نتایج آزمایش تعیین جذب آب نیم ساعته آزمون‌های استوانه ای

میانگین	درصد جذب آب (%)			وزن نمونه (kg)			شرایط	روش متراکم سازی
	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳		
۴/۱۳۲	۴/۱۳۰	۴/۱۳۵	۴/۱۳۰	۳/۳۹۰	۳/۳۸۵	۳/۳۹۰	وزن خشک	استاندارد
				۳/۵۳۰	۳/۵۲۵	۳/۵۳۰	وزن تر	
۳/۴۹۳	۳/۴۹۸	۳/۴۹۳	۳/۴۸۸	۳/۴۳۰	۳/۴۳۵	۳/۴۴۰	وزن خشک	استاندارد+آلتراسونیک ۶۰ ثانیه
				۳/۵۵۰	۳/۵۵۵	۳/۵۶۰	وزن تر	
۴/۱۴۰	۴/۱۳۶	۴/۱۴۲	۴/۱۳۶	۳/۳۸۰	۳/۳۸۰	۳/۳۸۵	وزن خشک	آلتراسونیک ۶۰ ثانیه
				۳/۵۲۰	۳/۵۲۰	۳/۵۲۵	وزن تر	



شکل ۸- مقایسه نتایج آزمایش جذب آب نیم ساعته آزمون‌های مکعبی و استوانه ای تهیه شده به سه روش مختلف

به منظور بررسی اقتصادی تحقیق، هزینه‌های انجام آزمایش‌های انجام شده، مورد تحلیل قرار گرفت. هزینه‌ها در جدول (۶) برای متراکم سازی یک متر مکعب بتن در مقایسه با روش استفاده از ویراتورهای مرسوم داخل در کشور آورده شده است. هزینه ساخت ترانسدیوسر مورد استفاده در تحقیق که ابعادی در حدود ۲۰×۲۰ سانتیمتر و توانی در حدود ۱۵۰۰ وات را تأمین می‌نمود، در حدود ۵۰ میلیون ریال و با احتساب هزینه مربوط به ژنراتور آلتراسونیک، حدود ۱۰۰ میلیون ریال هزینه در بر داشت. از طرفی، هزینه خرید یک دستگاه ویراتور برقی با توان ۲ اسب بخار (۱/۵kw) که دارای توان مشابه با دستگاه ترانسدیوسر باشد حدود ۱۵ میلیون ریال در زمان انجام آزمون‌ها بود.

جدول ۶- مقایسه اقتصادی استفاده از امواج آلتراسونیک با روش متراکم سازی مرسوم

روش متراکم سازی	هزینه ساخت یا خرید دستگاه (میلیون ریال)	هزینه نیروی انسانی (میلیون ریال)	هزینه کل (میلیون ریال)
استفاده از ویره برقی	۱۲	۰/۷	۱۲/۷
استفاده از امواج آلتراسونیک	۱۰۰	۰/۷	۱۰۰/۷

نفوذپذیری و جذب آب بتن را در مقایسه با متراکم کننده‌های متعارف (ویراتورها) به همراه نخواهد داشت. در حالی که استفاده از امواج آلتراسونیک به عنوان یک عامل کمکی در متراکم سازی بتن منجر به کاهش در حدود ۱۲/۵ درصدی میزان جذب آب بتن می‌شود. علاوه بر آن در نمونه‌های استوانه‌ای که شکل مقطع قالب آزمونه و ترانسدیوسر بکار گرفته شده یکسان می‌باشد، کاهش میزان جذب آب به حدود ۱۵/۵ درصد می‌رسد. بنابراین تطابق سطح مقطع ترانسدیوسر آلتراسونیک با سطح قالب نمونه گیری تاثیری بسزایی در میزان جذب آب بتن دارد و می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

۶- مراجع

- [1] Claisse P., A.; "Chapter 26 - Production of durable concrete," in *Civil Engineering Materials*, P. A. Claisse, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, pp. 275-286, 2016.
- [2] Navarrete I., Lopez M.; "Understanding the relationship between the segregation of concrete and coarse aggregate density and size," *Construction and Building Materials*, vol. 149, pp. 741-748, 2017.
- [3] Banfill P., Teixeira M., Craik R.; "Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, no. 9, pp. 932-941, 2011.
- [4] Howes R., Hadi M., South W.; "Concrete strength reduction due to over compaction," *Construction and Building Materials*, vol. 197, pp. 725-733, 2019.
- [5] Abedini R., Abdullah A., Alizadeh Y.; "Ultrasonic assisted hot metal powder compaction," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 38, no. Supplement C, pp. 704-710, 2017.
- [6] ASM Metals Handbook "Nondestructive Evaluation and Quality Control". 1989.
- [7] Siddiq A., El Sayed T.; "Ultrasonic-assisted manufacturing processes: Variational model and numerical simulations," *Ultrasonics*, vol. 52, no. 4, pp. 521-529, 2012.
- [8] Kuo K., Tsao C.; "Rotary ultrasonic-assisted milling of brittle materials," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 22, pp. 793-800, 2012.
- [9] Nategh M., Razavi H., Abdullah A.; "Analytical modeling and experimental investigation of ultrasonic-vibration assisted oblique turning, part I: Kinematics analysis," *International Journal of*

بنابراین، در خصوص بررسی اقتصادی این تکنولوژی باید عنوان کرد، هزینه اولیه ساخت تجهیزات فراصوتی نسبت به روش ویریه برقی بالاتر است. بنابراین، استفاده از این تکنولوژی در دو صورت پیشنهاد می‌گردد. اول، استفاده در بتن ریزی مقاطع بتنی با تراکم آرماتور بالا یا مقاطع با شکل پیچیده که معمولاً در آنها استفاده از روش‌های متراکم‌سازی معمول منجر به حصول تراکم مناسب بتن و کیفیت بالا نمی‌گردد. دوم، در خط تولید بتن پیش‌ساخته که تیراژ تولید بالا باشد تا هزینه سربار و تجهیزات سرشکن شده و استفاده از این روش توجیه اقتصادی پیدا کند. در آخر نکته بسیار مهم این است که این روش عاری از آلودگی صوتی است و می‌تواند در صورت استفاده به حفظ سلامتی کاربران در بخش متراکم‌سازی کمک شایانی نماید.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی، که به منظور، معرفی روشی نوین و سازگار با محیط زیست و همراستا با سیاست بین‌المللی توسعه پایدار و در جهت حفظ منابع طبیعی جهان و حذف آلودگی صوتی ناشی از عملیات ویریه زنی و رعایت استانداردهای نوبه انجام پذیرفت، استفاده از امواج توان زیاد آلتراسونیک در متراکم سازی بتن تازه و تأثیر آن بر میزان جذب آب نیم ساعته بتن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اولیه نشان دادند که با کاهش اندازه ذرات شن و ماسه، بررسی امواج آلتراسونیک در بتن قابل توجه است. همچنین، نتایج بدست آمده نشان داد که، تابش امواج آلتراسونیک بر بتن تازه در مدت زمان بهینه ۶۰ ثانیه، با ایجاد ویریه مناسب و خروج هوا از بتن، فرصت رسیدن به یک تراکم مناسب را برای بتن فراهم می‌آورد. به علاوه پخش شدگی و جدا شدن مولکول‌های آب به کمک امواج فراصوت، باعث می‌شود که برخورد ذرات با یکدیگر بیشتر شده لذا ضمن افزایش قدرت نفوذ آب و خیس-کنندگی ذرات سیمان، باعث افزایش اکتیویته شیمیایی می‌شود. به عبارتی تعداد مولکول‌های شرکت کننده در واکنش هیدراسیون سیمان افزایش یافته و در نتیجه فرایند هیدراسیون کاملتری اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که، امواج توان زیاد آلتراسونیک به تنهایی و به عنوان عامل متراکم‌سازی بتن، می‌تواند جایگزین متراکم کننده‌های متداول بتن گردند و بتن را به میزان مناسب متراکم نمایند اما کاهش

- Zementsuspensionen", Tagungsband der 17. Internationalen Baustofftagung ibausil, Hrsg. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, S. 1 – 0259 – 1 – 0264.
- [22].Christiane R.; "Einfluss von Power-Ultraschall auf das Fließ- und Erstarrungsverhalten von Zementsuspensionen", Tagungsband der 17. Internationalen Baustofftagung ibausil, Hrsg. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, S. 1 – 0259 – 1 – 0264.
- [23].Liu Q., Song Z., Cai H. , Zhou A. , Wang W., Jiang L., Liu Y., Zhang Y., Xu N.; "Effect of Ultrasonic Parameters on Electrochemical Chloride Removal and Rebar Repassivation of Reinforced Concrete", journal of Materials, vol 12, 2774, 2019.
- [24].Ganjian E., Ehsani A., Mason T., Tyrer M.; "Application of power ultrasound to cementitious materials: Advances, issues and perspectives", journal of Materials & Design, Vol 160pp. 503-513, 2018.
- [25].Salvador R., Cavalaro S., Segura I., Hernández M., Ranz J., Figueiredo A.; "Relation between ultrasound measurements and phase evolution in accelerated cementitious matrices", Mater. Des., 113, pp. 341-352, 2017.
- [26].Iranian National Standardization organization (INSO 4977, 1st-Revision 2015)-Aggregate-Sieve Analysis of fine and coarse aggregates-Test method.
- [27].Iranian National Standardization organization (INSO 4980, 2nd-Revision 2018)-Aggregate-Determination of density, relative density (Specific gravity) and water absorption of fine aggregates-Test method.
- [28].Iranian National Standardization organization (INSO 4982, 2nd-Revision 2017)-Aggregate-Determination of density, relative density (Specific gravity) and water absorption of coarse aggregates-Test method.
- [29].Iranian National Standardization organization (INSO 1608-2, 1st edition 2015)-Hardened concrete- part2: Making and curing specimens for strength tests.
- [30].Iranian National Standardization organization (INSO 1608-122, 1st edition 2018)-Hardened concrete- part22: Determination of water absorption-Test method.
- Mechanical Sciences, vol. 63, no. 1, pp. 1-11, 2012.
- [10] Fartashvand V., Abdullah A., Ali Sadough Vanini S.; "Effects of high power ultrasonic vibration on the cold compaction of titanium," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 36, no. Supplement C, pp. 155-161, 2017
- [11] Kumar S., Wu C., Padhy G., Ding W.; "Application of ultrasonic vibrations in welding and metal processing: A status review," Journal of Manufacturing Processes, vol. 26, no. Supplement C, pp. 295-322, 2017.
- [12] Abedini R., Abdullah A., Alizadeh Y.; "Ultrasonic hot powder compaction of Ti-6Al-4V," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 37, 2017.
- [13] Xuand J., Wei H.; "Ultrasonic Testing Analysis of Concrete Structure Based on S Transform", journal of shock and vibration, 2019.
- [14].Ghosh R., Sagar P., Sunil A., Gupta K., Kumar S.; "Estimation of geopolymer concrete strength from ultrasonic pulse velocity (UPV) using high power pulser", Journal of Building Engineering, Vol 16,pp. 39-44, 2018.
- [15].Shen D., Wen C., Zhu P., Wu Y., Yuan J.; "Influence of Barchip fiber on early-age autogenous shrinkage of high strength concrete", journal of Construction and Building Materials, Vol 256,pp. 119-223 2020.
- [16].Hong S., Yoon S., Kim J., Lee C. , Kim S., Lee Y.; "Evaluation of Condition of Concrete Structures Using Ultrasonic Pulse Velocity Method", Appl. Sci., 10(2), 706, 2020.
- [17].Lee T., Lee J.; " Setting time and compressive strength prediction model of concrete by nondestructive ultrasonic pulse velocity testing at early age", Construction and Building Materials, Vol. 252, 119027, 2020.
- [18].Sriramadasu R., Banerjee S., Lu Y.; "Sensitivity of longitudinal guided wave modes to pitting corrosion of rebars embedded in reinforced concrete", Construction and Building Materials, Vol 239, 117855, 2020.
- [19].Chena D., Montano V., Huoa L., Fana S., Song G.; "Detection of subsurface voids in concrete-filled steel tubular (CFST) structure using percussion approach", Construction and Building Materials, Vol 262, 119761, 2020.
- [20].Lootens D., Schumacher M., Liard M., Jones S., Bentz D., Ricci S., Meacci V.; "Continuous strength measurements of cement pastes and concretes by the ultrasonic wave reflection method", Construction and Building Materials, Vol 242, 117902, 2020.
- [21].Christiane R.; "Einfluss von Power-Ultraschall auf das Fließ- und Erstarrungsverhalten von

Using high power ultrasonic waves to reduce water absorption in ordinary concrete

Seyed Mohsen Karimi

Islamic Azad University Science and Research Branch.

Saber Saffar *

IRIB university-faculty member of Audio engineering.

Majid Safehian

Islamic Azad University Science and Research Branch.

Abstract

Today, concrete has a wide range of applications in various projects due to its desirable properties such as high compressive strength, fire resistance, high durability in corrosive environments and low permeability. Therefore, the use of effective methods for the principled compaction of concrete in order to improve the mechanical properties of concrete is of great importance. For this purpose, for the first time in this study, the use of high ultrasonic power waves with different powers, different times and 20 kHz frequency in concrete compaction and its effect on the water absorption rate of half an hour of concrete has been investigated. The results of this study show that the use of high ultrasonic power waves as a complementary process in the compaction of fresh concrete, leads to a reduction in the water absorption rate of half an hour of concrete about 12.5 to 15.5 percent, depending on the shape of the test mold.

Keywords: Concrete Density, Concrete Water Absorption, Sound Waves, High Power, Frequency.

* Corresponding Author: saffar@iribu.ac.ir

