نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۳، سال ۱۳۹۸، صفحات ۱ تا ۱۶
DOI:

بررسی آزمایشگاهی میزان افت انتقال صوت از بتن حاوی لاستیک بازیافتی

نوید چلنگران[۱]، محمدمهدی جباری[۲*]

[۱]گروه مهندسی عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران
[۲]گروه مهندسی عمران، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده: با گسترش شهرنشینی و ساخته‌شدن فرودگاه‌ها و اتوبان‌ها در اطراف شهرها، آلودگی‌های صوتی ناشی از نشست و برخواست هواپیماها و تردد خودروها، یکی از زیان‌بارترین اثرات را بر ساکنین اطراف اتوبان‌ها و مناطق شهری می‌گذارد. برای جلوگیری از این تأثیرات مخرب و کاهش انتقال صوت می‌توان از مصالح جاذب صوت در سالن فرودگاه‌ها، ساختمان‌ها و اطراف اتوبان‌ها استفاده نمود. در این پژوهش باهدف کاهش انتقال صوت در بتن، ۴ طرح اختلاط بررسی شده که شامل نمونه کنترل، ۳ طرح اختلاط از لاستیک بازیافتی در اندازه ۱ تا ۳ میلی‌متر می‌باشد. این لاستیک جایگزین ۱۰،۵ و ۱۵٪ از ماسه شده است. در ابتدا مقاومت ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بتن اندازه‌گیری گردیده و سپس افت انتقال صوت از نمونه‌ها در بازه ۶۳ الی ۶۳۰۰ هرتز توسط لوله امپدانس اندازه‌گیری شده است. نتایج حاکی از کاهش انتقال صوت در نمونه‌های حاوی لاستیک در بازه‌های فرکانسی بالا می‌باشد که با توجه به کاهش ضایعات محیط زیستی استفاده از این نوع بتن در فرودگاه‌ها و آزادراه‌ها را توجیه می‌کند.

تاریخچه داوری:
دریافت:
بازنگری:
پذیرش:
ارائه آنلاین:

کلمات کلیدی:
افت انتقال صوت
لوله امپدانس
خرده لاستیک
مقاومت فشاری
بتن

۱- مقدمه

آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین عوامل زیان‌آور منزل، محیط کار و حتی خیابان‌ها می‌باشد. این عامل زیان‌بار فراگیرترین عامل فیزیکی تهدیدکننده سلامت ساکنین است. امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های صنعتی، مواجهه با صدای بیش‌ازحد مجاز کماکان یکی از معضلات بهداشتی ساکنین مناطق شهری و شاغلین محیط‌های صنعتی در دنیا محسوب می‌گردد [۱].

در محیط‌های صنعتی، علاوه بر توان صوتی منابع موجود در محیط کار، انعکاس صدا از سطوح داخلی می‌تواند نقش تشدیدکننده داشته باشد. وجود سطوح انعکاسی در اطراف منابع صوتی باعث می‌شود که تراز فشار صوت به علت انعکاس مکرر افزایش یابد. محاسبات نشان می‌دهد که حدود ۵ dB از صدای موجود در کارگاه‌های صنعتی موجود ناشی از تشدید صدا در اثر بازتابش سطوح می‌باشد. پدیده جذب صوت کم‌وبیش در تمام مصالح وجود دارد. درصد جذب انرژی صوت در کل باند فرکانسی برای هر ماده اختصاصی و ثابت بوده که تحت عنوان ضریب جذب صوتی آن ماده نامیده می‌شود. هر چه ضریب جذب صوتی ماده‌ای بیشتر باشد، میزان افزایش صدای ناشی از انعکاس از سطح آن کمتر خواهد بود و میزان انتقال صوت آن ماده نیز بیشتر است. استفاده از مصالح جاذب صوت به‌عنوان یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کنترل صدای ناشی از بازتابش سطوح و کنترل مواجهه افراد با صدا می‌باشد.

هنگام برخورد امواج صوتی با یک صفحه سخت و استوار، علاوه بر انعکاس و جذب امواج، بخش دیگری از آن سطح عبور می‌کند. پس هنگامی‌که گفته می‌شود که یک عنصر، جاذب صوتی بسیار خوبی است، این بدان معنا نیست که جداکننده و عایق صوتی خوبی نیز هست. جنس جداکننده هرچه سخت‌تر باشد انتقال صدا[۱] نیز کمتر خواهد بود [۲].

با اندازه‌گیری انرژی صوتی در دو طرف جداکننده می‌توان دریافت که چه مقدار از انرژی صوتی از جداکننده عبور کرده است. به‌وسیله رابطه (۱) می‌توان ضریب انتقال یک جداکننده را محاسبه نمود. روابط (۱) و (۲) جهت محاسبه ضریب انتقال جداکننده و افت انتقال صوت می‌باشد و از استاندارد ASTM E۲۶۱۱ تشریح شده است [۳].

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، τ ضریب انتقال جداکننده، W_i ، توان صوتی وارده به جداکننده و W_t توان صوتی منتقل‌شده از جداکننده می‌باشند.

$$TL = 10\log_{10}(\frac{W_i}{W_t}) = 10\log_{10}(\frac{1}{\tau}) \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) TL افت انتقال صوت است.

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mmjabbari96@gmail.com

1 Sound Transmission Loss

UNCORRECTED PROOF

استفاده از مصالح با خاصیت کاهش انتقال صوت در اماکن خصوصی، عمومی و صنعتی می‌تواند در کنترل صدای داخل بناها نقش بسیار مؤثری داشته باشد. در حال حاضر اندازه‌گیری افت انتقال صوت مصالح توسط دو روش قابل‌اندازه‌گیری است. روش اول آزمون کلاس انتقال صوت و روش دوم، محاسبه افت انتقال صوت به‌وسیله دستگاه لوله امپدانس می‌باشد [۴و۵].

پژوهشگران آکادمی آکوستیک دانشگاه میلان در سال ۱۹۹۸ به بررسی خواص آکوستیکی خرده لاستیک پرداخته‌اند. آن‌ها به دنبال راه‌حل منطقی برای مصرف دوباره خرده لاستیک در مصالح جاذب بودند تا راهی برای بتوانند آلودگی صوتی را کنترل کنند. آن‌ها آزمایش میزان جذب را به‌وسیله لوله کنت[1] انجام داده‌اند. نتایج نشان‌دهنده تأثیرات بسیار مطلوب استفاده از خرده لاستیک در جذب صداهای پهن باند می‌باشد [۶].

یوسف‌زاده و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۸ بروی مقایسه بین روش‌های اندازه‌گیری افت انتقال صوت با استفاده از یک لوله امپدانس کارکرده‌اند. آن‌ها لوله امپدانس طراحی‌شده شرکت بی‌اَندکا[2] مدل ۴۲۰۶ را بومی‌سازی کرده و جهت آزمایش استفاده نموده‌اند. آزمایش اِس‌اِل‌تی[3] را برای سه ماده همگن و ایزوتروپ با قطر یکسان و ضخامت متغیر انجام داده‌اند، به‌علاوه این نتایج با آزمایش نتایج دو اتاق مقایسه گردید. در هر دو روش نتایج به‌صورت دقیق موردبررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج هر دو آزمایش به این نتیجه رسیده‌اند که آزمون لوله امپدانس با روش ۲ بار و روش ختم پژواک، قابل‌اعتمادتر از آزمایش دو اتاق می‌باشد.

آسدروبالی و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۸ خواص جذب صوت از مواد ساخته‌شده از خرده لاستیک را بررسی کردند. آن‌ها به‌وسیله خرده لاستیک، پانل‌های جذب‌کننده صوت تهیه کردند و به‌وسیله لوله امپدانس مقدار جذب صوت این‌گونه پانل‌ها را محاسبه کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد رضایت‌بخش استفاده از خرده لاستیک در پانل‌ها بود.

سوکانتاسوکول [۹] در سال ۲۰۰۹، خصوصیات صوتی و حرارتی پانل بتن پیش‌ساخته حاوی خرده لاستیک را بررسی نموده است. وی خرده لاستیک را با مقادیر ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ جایگزین ریزدانه پانل کرده و برای بررسی خصوصیات جذب صوت این پانل، از امپدانس تیوب دست‌ساز آنالوگ استفاده کرده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش جذب صوت و کاهش انتقال حرارت به نسبت پانل بتن معمولی بوده است.

کالینگز و استوارت [۱۰] در سال ۲۰۱۱، میزان افت انتقال صدا از پانل‌های ساختمانی به‌وسیله لوله امپدانس و آزمون دو اتاق را مقایسه کرده‌اند. استفاده از لوله امپدانس برای محاسبه میزان افت انتقال صوت نرمال از پانل‌های تکی از مصالح ساختمانی متفاوت انجام‌شده و با اندازه‌گیری میزان افت انتقال صدا در آزمایش ۲ اتاق و مقایسه نتایج با یکدیگر به این نتیجه رسیده‌اند که آزمون به‌وسیله لوله امپدانس به‌مراتب دقیق‌تر از آزمون دو اتاق می‌باشد. از مزایای آزمون ۲ اتاق، می‌توان به انجام آزمایش در مقیاس واقعی اشاره کرد، اما از سوی دیگر این آزمایش نیازمند فضایی در حدود ۱۶۰مترمکعب برای مهیا ساختن آزمایشگاه می‌باشد. ساخت نمونه با ابعاد واقعی مستلزم هزینه و زمان بسیار بیشتری نسبت به لوله امپدانس است. همچنین ایجاد کوچک‌ترین صدایی در این دو اتاق، باعث ایجاد خطا در آزمایش می‌گردد.

هولمز و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۴، خواص آکوستیکی پانل‌های بتنی حاوی خرده لاستیک جایگزین شده با ماسه را بررسی نموده‌اند. آن‌ها با جایگزین کردن ۷/۵٪ و ۱۵٪ خرده لاستیک به‌جای ماسه به بررسی میزان ضریب جذب در فرکانس‌های پایین یعنی ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز و فرکانس‌های بالا یعنی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ هرتز و مقاومت فشاری بتن پرداخته‌اند. آن‌ها برای اندازه‌گیری مقدار جذب، از آزمون دو اتاق استفاده کرده‌اند. درنهایت آن‌ها این پانل را به‌عنوان یک روکش ساختمانی پیشنهاد داده‌اند.

۲- فعالیت آزمایشگاهی

پس از مطالعه پژوهش‌های انجام شده توسط محققین داخلی و خارجی، لاستیک ضایعاتی به علت دارا بودن ضریب جذب کم و قیمت بسیار ناچیز ، بین سایر مواد آزمایش شده توسط محققین، انتخاب گردید. لازم به ذکر است که مواد آزمایش شده بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و در صورت استفاده در بتن، ممکن است خواص آن‌ها بهبود و یا تضعیف گردد. ابتدا مصالح موردنیاز را دسته‌بندی کرده و پس از انجام آزمایش‌های اولیه و پایه، اقدام به ساخت بتن و نمونه‌گیری کرده و در انتها خصوصیات مقاومتی و صوتی بتن بررسی گردیده است.

۲- ۱- مصالح مورداستفاده

مصالح مورداستفاده برای این پژوهش، سیمان پرتلند تیپ ۲ تولیدشده توسط شرکت فارس نو، شن و ماسه مصرفی تولیدشده از معدن کوهی مرادی می‌باشد و از فوق روان‌کننده بر پایه کربوکسیلات اتر استفاده‌شده است که تولیدشده توسط شرکت رزین سازان فارس می‌باشد. آب مورداستفاده در این بتن، آب شرب شهر شیراز می‌باشد. لاستیک ضایعاتی مورداستفاده از خرد شدن لاستیک فرسوده خودرو به‌دست‌آمده است که با اندازه ۱ تا ۳ میلی‌متر خرد و استفاده‌شده است. جهت دانه‌بندی مصالح استفاده‌شده، مقدار ۵۰۰ گرم از مصالح سنگی را به‌صورت تماماً خشک، الک کرده و نمودار دانه‌بندی مصالح در شکل ۱ ترسیم‌شده است.

۲- ۲- طرح اختلاط

به‌صورت کلی در این پژوهش، ۴ طرح اختلاط موردبررسی قرار گرفت که شامل نمونه شاهد، ۳ طرح اختلاط حاوی خرده لاستیک ضایعاتی ریزدانه با ابعاد ۱ تا ۳ میلی‌متر می‌باشد. جزئیات طرح اختلاط در جدول ۱ آورده شده است. جهت کوتاه کردن نام نمونه‌ها، طرح‌های اختلاط حاوی ریزدانه

1 Kundt's Tube
2 B&K
3 STL

UNCORRECTED PROOF

جدول ۱: طرح اختلاط بتن.

Table 1.

	شن	ماسه	سیمان	آب	لاستیک	فوق روان‌کننده
نمونه کنترل	۹۹۲	۷۳۲/۳۹	۴۶۲/۲	۱۳۲/۵۲	–	۱/۳۹
PR %۵	۹۹۲	۶۹۵/۷۹	۴۶۲/۲	۱۳۲/۵۲	۳۶/۶	۱/۳۹
PR %۱۰	۹۹۲	۶۵۹/۱۶	۴۶۲/۲	۱۳۲/۵۲	۷۳/۲۳	۱/۴۹
PR %۱۵	۹۹۲	۶۲۲/۵۴	۴۶۲/۲	۱۳۲/۵۲	۱۰۹/۸۵	۱/۵۹

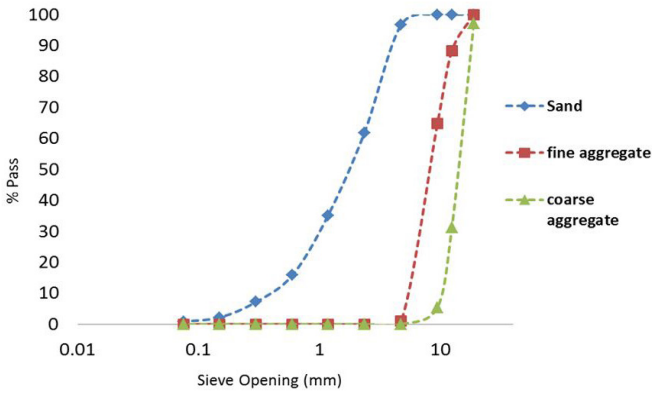

Fig. 1.

شکل ۱: دانه‌بندی مصالح سنگی.

لاستیکی بانام PR مشخص‌شده‌اند. خرده لاستیک با سه درصد ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی جایگزین ماسه گردیده و در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده‌شده‌اند. جهت بررسی مقاومت فشاری بتن، ۳ نمونه در اندازه ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر برای سن ۷ روزه، ۳ نمونه برای سن ۱۴ روزه و ۳ نمونه برای سن ۲۸ روزه تهیه گردید. در محاسبه این طرح اختلاط، نسبت شن درشت‌دانه به ریزدانه ۴۰ به ۶۰ قرار داده‌شده است. درصد رطوبت مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C۱۲۷ اندازه‌گیری شده و نحوه انجام آزمایش بدین‌صورت می‌باشد که مقداری از مصالح سنگی وزن گردیده، درون دستگاه خشک‌کن[1] به مدت‌زمان ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰°C قرارگرفته و سپس دوباره توزین گردیده و درصد رطوبت مصالح بر اساس خشک محاسبه گردید. سپس درصد رطوبت محاسبه‌شده از مقدار آب اختلاط کسر شده است. در طرح‌های اختلاط طراحی‌شده، به جهت اختلاط بهتر از فوق روان‌کننده استفاده نموده و سعی شده در تمامی طرح‌ها مقدار روانی بتن ۱۰±۵۰ میلی‌متر باشد [۱۲].

۲- ۳- آماده‌سازی نمونه جهت بررسی افت صوتی

برای بررسی افت انتقال صوت، ۳ نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و ۳ نمونه به قطر ۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر برای هر طرح اختلاط تهیه‌شده و پس از ۲۸ روز نگهداری در آب، آنالیز صوتی در آزمایشگاه مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران انجام‌شده است.

1 Oven

Fig. 2.

شکل ۲: خرده لاستیک با اندازه ۱ تا ۳ میلی‌متر.

Fig. 3.

شکل ۳:ماسه ترکیب‌شده با خرده لاستیک.

۲- ۴- اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن

به‌صورت کلی، جهت بررسی امکان اجرایی بودن این نوع بتن برای جداکننده‌های جاده‌ای یا دیوار و تیغه‌های ساختمانی، مقاومت فشاری نمونه‌ها بررسی گردیده است. پس از گذشت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز عمل‌آوری در

UNCORRECTED PROOF

Fig. 4.

شکل ٤: نمونه‌های آماده‌شده برای آنالیز صوتی.

Fig. 5.

شکل ٥: نمونه حاوی ۱۰٪ لاستیک ریزدانه، پس از اعمال نیرو.

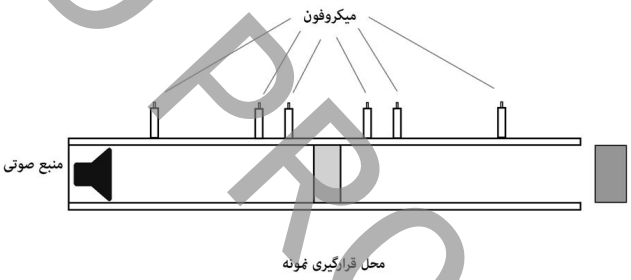

Fig. 6.

شکل ٦: طرح شماتیک لوله امپدانس تابع انتقال.

آب، نمونه‌ها از حوضچه خارج‌شده و به مدت حداکثر ۳ ساعت در گرمخانه با دمای ۳۰°C قرار داده‌شده تا سطوح نمونه خشک شوند، سپس زیر جک بتن شکن قرار داده و با آهنگ بارگذاری ۰/۳ MPa/s به‌صورت یکنواخت برای تمامی نمونه‌ها، مقاومت فشاری محاسبه گردیده است. آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS EN ۱۲۳۹۰ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انجام‌شده و لازم به ذکر است، پیش از انجام آزمایش‌ها، دستگاه کالیبره شده است. این دستگاه آنالوگ بوده و ظرفیت اعمال نیروی حداکثر ۲۰۰ تن را دارا می‌باشد [۱۳].

۲- ۵- محاسبه افت انتقال صوت

به‌منظور انجام این آزمایش جهت محاسبه افت انتقال صوت از دستگاه لوله امپدانس ساخته‌شده توسط شرکت بی‌اِس‌دبلیوآ[1] مدل SW۴۲۲+SW۴۷۷ که طبق استاندارد ای۲۶۱۱[2] می‌باشد استفاده‌شده است، این دستگاه شامل ۲ استوانه با دو قطر متفاوت و با جنس مواد سخت، سطحی یکنواخت، مستقیم و غیر متخلخل می‌باشد. لوله با قطر ۱۰۰ میلی‌متر برای بررسی خواص صوتی در بازه فرکانسی ۶۳ هرتز تا ۱۶۰۰ هرتز و قطر ۳۰ میلی‌متر برای بررسی خواص صوتی در بازه ۱۶۰۰ الی ۶۳۰۰ می‌باشد. دستگاه دارای ۳ محل میکروفون قبل از محل قرارگیری نمونه و ۳ محل بعد از قرارگیری نمونه می‌باشد. در انتهای هر لوله یک منبع صوت تعبیه گردیده شده که این منبع صوت و تمامی میکروفون‌ها جهت ارسال و دریافت فرمان به یک سیستم آنالیز فرکانس دیجیتال متصل شده‌اند. در زمان انجام آزمایش،

Fig. 7.

شکل ۷: دستگاه لوله امپدانس دانشگاه امیرکبیر.

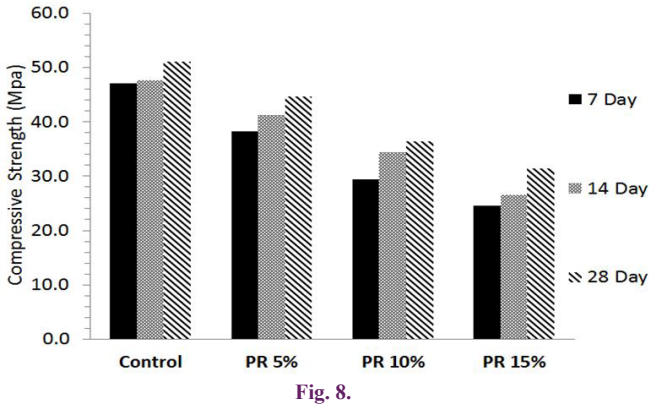

Fig. 8.

شکل ۸: مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی لاستیک ریزدانه.

1 BSWA
2 E2611

UNCORRECTED PROOF

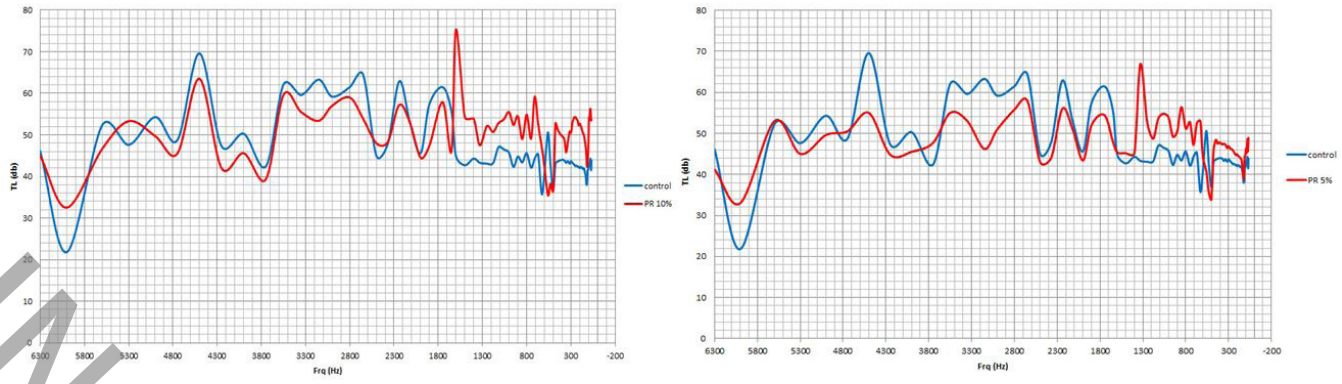

Fig. 9.

شکل ۹: افت انتقال صوت از بتن حاوی لاستیک ریزدانه با ٪۵ جایگزینی (شکل سمت راست) و با ٪۱۰ جایگزینی (شکل سمت چپ).

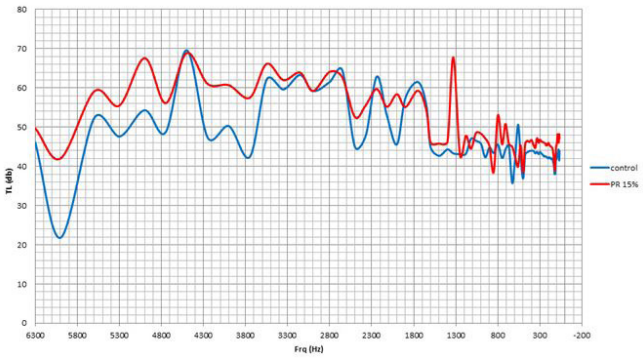

Fig. 10.

شکل ۱۰: افت انتقال صوت از بتن حاوی لاستیک ریزدانه با ٪۱۵ جایگزینی.

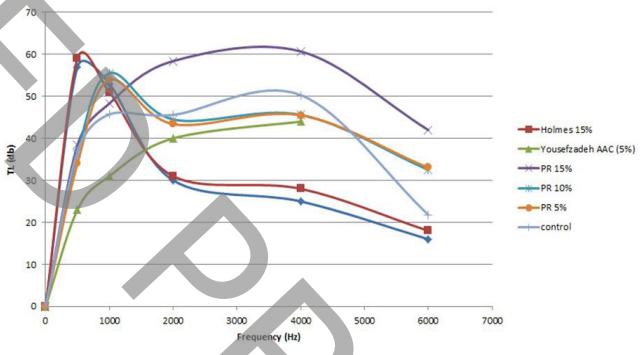

Fig. 11.

شکل ۱۱: نمودار مقایسه ای افت انتقال صوت نمونه ها.

می‌بایست عوامل محیطی از قبیل دما، رطوبت و فشار هوا در نرم‌افزار دستگاه وارد شود، زیرا از عواملی هستند که بر انتقال صوت تأثیرگذار می‌باشند. آزمایش طبق استاندارد ای۲۶۱۱ ، در محیطی با دمای ۲۰°C و رطوبت نسبی ٪۳۰ و چگالی هوا ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب انجام‌شده است. ابتدا دستگاه فرکانس‌های صوتی متفاوت را با شدت ۱۲۰ dB با استفاده از کامپیوتر و نرم‌افزار مربوطه تولید و از طریق بلندگو به‌صورت نویز سفید در طول لوله منتشر می‌کند. سپس با اندازه‌گیری فشار صوت در محل‌های ثابت میکروفن‌ها در دیواره لوله و جایگذاری در رابطه تابع انتقال فشار صوت، میزان افت انتقال صوت از مصالح موردنظر تعیین می‌گردد که این مقدار با واحد dB محاسبه و نمایش داده می‌شود. از مزایای استفاده از لوله امپدانس‌ها، می‌توان به‌دقت بسیار بالا، عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه در ابعاد و حجم بزرگ، امکان مقایسه با پژوهش سایر افراد در نقاط دیگر دنیا و امکان کالیبراسیون دقیق اشاره کرد و چشمگیرترین عیب این دستگاه در زمان آماده‌سازی بعضی نمونه‌ها مانند بتن مشخص می‌گردد که نیاز به ساخت قالب بسیار دقیق دارد.

۳- نتایج آزمایشگاهی

پس از گذشت ۷، ۱۴ و ۲۸ روز از نمونه‌گیری، نمونه‌ها از حوضچه نگهداری بتن خارج کرده و پس از خشک شدن، مقاومت فشاری و میزان افت انتقال صوت از نمونه‌ها اندازه‌گیری گردیده است.

۳- ۱- مقاومت فشاری

با جایگزینی لاستیک به‌جای سنگ‌دانه بتن، کاهش چشمگیر مقاومت مشاهده می‌گردد. با افزایش درصد جایگزینی خرده لاستیک، شاهد کاهش بیشتر مقاومت خواهیم بود. به‌طوری‌که با جایگزینی ٪۵ خرده لاستیک به‌جای ماسه، شاهد کاهش ٪۱۲/۵ مقاومت فشاری شده و با افزایش درصد جایگزینی، کاهش مقاومت فشاری در نمونه حاوی خرده لاستیک ٪۱۵ به ٪۳۸/۴ رسیده است. علت کاهش مقاومت در نمونه‌های حاوی لاستیک آن است که خرده لاستیک جایگزین مصالح سنگی شده از سوی دیگر وجود لاستیک در بتن موجب عدم چسبندگی کامل مصالح شده است. با شکست نمونه‌ها مشاهده می‌گردد که نمونه‌ها بار فشاری زیادی را بعد از گسیختگی تحمل می‌کنند و تغییر مکانه‌ای زیادی را بدون متلاشی شدن دارند. نمونه پس از شکست متلاشی نشده و امکان بارگذاری مجدد با مقدار کمتر را دارد. این رفتار نشان‌دهنده جذب انرژی بالای بتن حاوی لاستیک است.

باوجود کاهش مقاومت بتن، شاهد تغییر شکل بسیار کمتری پس از شکست بتن هستیم، به صورتی که پس از بارگذاری و شکست نمونه‌های حاوی خرده لاستیک، نمونه توانایی تحمل دوباره بار با مقدار کمتری را دارد.

UNCORRECTED PROOF

۳- ۲- آزمایش افت انتقال صوت

پس از انجام آزمایش توسط لوله امپدانس، طبق شکل‌های ۹ و ۱۰ که آنالیزهای مقایسه‌ای افت انتقال صوت از نمونه شاهد و نمونه حاوی خرده لاستیک می‌باشند، مشاهده می‌شود که ریزدانه لاستیکی جایگزین شده با ماسه تأثیر بسزایی در کاهش انتقال صوت دارد. بیشترین آسیب‌های آلودگی صوتی بر جسم انسان در محدوده فرکانسی ۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز اتفاق می‌افتد، بنابراین این بازه فرکانسی مهم‌ترین بخش برای کاهش انتقال صوت در محدوده فرکانسی قابل‌بررسی است [۱۴]. طبق آزمایش‌های صورت پذیرفته، هر چه خرده لاستیک بیشتری جایگزین ماسه شود، کاهش انتقال صوت بیشتر می‌گردد. نمونه حاوی ۱۵% خرده لاستیک در مقایسه با سایر نمونه‌ها، در بازه ۲۰۰۰ تا ۶۳۰۰ هرتز کاهش انتقال صوت چشمگیری داشته است. درواقع با افزایش حضور خرده لاستیک در بتن، افزایش افت انتقال صوت رقم خواهد خورد. در شکل ۱۱، فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ هرتز برای هر ۴ نمونه موردبررسی قرارگرفته‌اند. در نمونه حاوی ۵% خرده لاستیک، کاهش افت انتقال صوت در فرکانس‌های کمتر از ۱۰۰۰ هرتز رخداده و بیشترین کاهش انتقال صوت در فرکانس‌های ۱۰۰۰هرتز را نمونه حاوی ۱۰% کسب نموده، با افزایش مقدار لاستیک، روند کاهش افت انتقال صوت در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز تأثیرگذارتر شده است. در شکل ۱۱ به بررسی نتایج حاصل شده با نتایج سایر محققین پرداخته شده است. لازم به یاداوری است که هلمز در پژوهش خود بروی ابعاد خرده لاستیک کار کرده و از روش آزمایش دو اتاق و با دو درصد متفاوت خرده لاستیک استفاده نموده، که این روش با لوله امپدانس دارای اختلاف می‌باشد. همچنین یوسف‌زاده از دستگاه لوله امپدانس دست‌ساز استفاده نموده و فقط یک نوع بتن حاوی خرده لاستیک را تا فرکانس ۱۵۰۰هرتز بررسی کرده است. با توجه به اختلاف روش، دستگاه، مصالح و محیط آزمایش، اختلاف مقادیر نتیجه منطقی به نظر می‌رسد.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

با جایگزینی لاستیک به‌عنوان ماسه، شاهد انتقال صوت در بتن کاهش می‌یابد، گرچه این جایگزینی باعث بهبود خواص آکوستیکی بتن می‌شود، اما به علت جنس لاستیک و همچنین عدم چسبندگی با مخلوط بتن باعث کاهش مقاومت فشاری می‌گردد. به‌طوری که در نمونه PR ۱۵% که بیشترین افت صوت را نتیجه داده، مقاومت فشاری بیش از ۳۸% کاهش به همراه داشته است. میزان افت انتقال صوت در تمامی بازه‌های فرکانسی یکسان نیست، حتی با استفاده از لاستیک در بتن، بتن قادر به کاهش انتقال صوت در تمامی فرکانس‌ها به یک اندازه نیست. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که جایگزین کردن خرده لاستیک به‌جای ماسه با مقادیر ۵% و ۱۰% تأثیرات مطلوب بر روی فرکانس‌های پایین دارد و افزایش جایگزینی بیش از ۱۰%، تأثیرات چشمگیر بر فرکانس‌های بالا دارد. با توجه به عملکرد مطلوب این نوع بتن در فرکانس‌های بالا و مقاومت قابل قبول، امکان استفاده از این نوع بتن در سالن های انتظار فرودگاه‌ها و آزادراه‌ها وجود دارد.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

TL	**افت انتقال**، db
frequency	**فرکانس**، Hz

منابع

[1] M. Concha-Barrientos, K. Steenland, A. Prüss-Üstün, D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalán, A. Woodward, W.H. Organization, Occupational noise: assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels, Geneva, World Health Organization, 9 (2004).

[2] T. Gholami, P. Piran Veyseh, M. Aliabadi, M. Farhadian, Evaluation of noise pollution and its effects on subjective fatigue of staffs in the governmental banks of Hamadan city, Iran Occupational Health, 11(5) (2014) 65-73.

[3] A. Standard, E2611-09, Standard test method for measurement of normal incidence sound transmission of acoustical materials based on the transfer matrix method, (2009).

[4] F. Forouharmajd, Z. Mohammadi, The feasibility of using impedance tube with two microphones and sound absorption coefficient measurement of iranian-made materials using transfer function method, Health System Research, 13 (2016). (in Persian)

[5] F. Forouharmajd, Z. Mohammadi, J. Salehian, M. Mosayebi, The Effect of Foam Thickness, Sound Intensity, And Air Layer On Sound Absorption Coefficient of Polyurthane Foam Using Transfer Function Method, Health System Research, 12 (2016) 119 To 124. (in Persian)

[6] J. Pfretzschner, R.M. Rodriguez, Acoustic properties of rubber crumbs, Polymer testing, 18(2) (1999) 81-92.

[7] B. Yousefzadeh, M. Mahjoob, N. Mohammadi, A. Shahsavari, An experimental study of sound transmission loss (STL) measurement techniques using an impedance tube, Journal of the Acoustical Society of America, 123(5) (2008) 3119.

[8] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni, Sound absorbing properties of materials made of rubber crumbs, Journal of the Acoustical Society of America, 123(5) (2008) 3037.

[9] P. Sukontasukkul, Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel, Construction and Building Materials, 23(2) (2009) 1084-

UNCORRECTED PROOF

1092.

[10] S. Collings, K. Stewart, Building material panel transmission loss evaluation using an impedance tube, Proceedings of the ACOUSTICS, Gold Coast, Australia, (2011).

[11] N. Holmes, A. Browne, C. Montague, Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement, Construction and Building Materials, 73 (2014) 195-204.

[12] Standard, A. S. T. M. C127,". Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

[13] B. EN, 12390-3. Testing hardened concrete, Compressive strength of test specimens, 19 (2009).

[14] F. Forouharmajd, M. Ahmadvand, F. Forouharmajd, Noise Pollution Caused by Low Frequency Sound in a Channel, Health System Research, 8(5) (2012). (in

UNCORRECTED PROOF

Persian)

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF

UNCORRECTED PROOF