ارزیابی پاسخ صوتی و ارتعاشی اتاق بتنی با به‌کارگیری ورق‌های سفت‌شده با تسمه‌های فولادی بر روی دیواره‌ی بازشوی فولادی زیر بار انفجار

سعیدرضا مساح*، حمید زهره‌وند، عباس قدمی

گروه سازه و زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

نیاز به درک چگونگی ساکت‌سازی سازه‌ای در طراحی‌ها، توجه مهندسین به تولید و تراگسیل صدا از سازه‌های مرتعش را به همراه داشته است. در این پژوهش با به‌کارگیری نرم‌افزار آباکوس، اثر چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده در یک وجه از اتاق بر روی پاسخ صوتی و ارتعاشی اتاق زیر اثر انفجار بررسی شده است. هم‌چنین، تحلیل بسامدی برای بررسی افت تراگسیل صدا در گستره‌ی بسامد زیر اثر یک میدان پخشیده نوفه‌ی سفید، برای هر یک از چیدمان‌ها انجام شده است. سه گونه سفت‌کننده‌ی قطری، ضربدری و موازی در تحلیل‌ها به‌کار رفته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که گونه‌ی سفت‌کننده تأثیر چشم‌گیری بر روی پاسخ ارتعاشی سامانه ندارد و تنها در حالتی که سفت‌کننده‌ی ضربدری به‌کار رود کاهش پاسخ ارتعاشی نسبت به حالت بدون به‌کارگیری سفت‌کننده پدید می‌آید. ولی به‌کارگیری سفت‌کننده می‌تواند در پاسخ صوتی سامانه تأثیر چشم‌گیری بگذارد، به گونه‌ای که به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی قطری، پاسخ صوتی سامانه را به اندازه‌ی زیادی کاهش داده است. هم‌چنین، به‌کارگیری سفت‌کننده ضربدری می‌تواند کاهش خوبی در پاسخ صوتی پدید آورد. کاربرد سفت‌کننده با اعضای موازی نسبت به حالتی که سفت‌کننده به‌کار نرفته باشد اثر چشم‌گیری روی پاسخ صوتی و ارتعاشی سامانه ندارد. نمودارهای افت تراگسیل صدا در گستره‌ی بسامد نشان می‌دهند که سفت‌کننده‌ی ضربدری بهترین کارایی را داشته و به دنبال آن سفت‌کننده‌ی قطری، حالت بدون سفت‌کننده و سفت‌کننده‌ی موازی جای دارند.

کلیدواژه‌ها: پاسخ صوتی، پاسخ ارتعاشی، افت تراگسیل، سفت‌کننده.

۱. مقدمه

نیاز به درک چگونگی ساکت‌سازی[1] سازه‌ای در طراحی‌ها، توجه روزافزون مهندسین به تولید و تراگسیل صدا از سازه‌های مرتعش را به همراه داشته است. مهندسان برای کاهش نوفه‌ی سازه‌ای دو رویکرد فراگیر را دنبال کرده‌اند. نخست، یافتن راه‌هایی برای کاهش تولید صدا[2] با روش‌های مهار غیرعامل[3] مانند بازطراحی و اصلاح سازه‌ها و دوم، به‌کارگیری رویکرد مهار عامل. اگر چه مهار عامل به ویژه برای بسامدهای پایین توانایی بالایی دارد، ولی مهار غیرعامل هنوز از جایگاه خوبی برخوردار است زیرا نوفه را در سرچشمه و با هزینه‌ی کم‌تر از میان برداشته و یا کاهش داده و نیز در مهار نوفه[4] در بسامدهای بالا بسیار کارا است. روش‌های گوناگونی برای مهار نوفه به گونه‌ی غیرعامل هم اکنون به‌کار گرفته می‌شوند. یکی از این روش‌ها به‌کارگیری سفت‌کننده‌ها[5] بر روی صفحات برای مهار ارتعاش در آن‌ها و به دنبال آن کاهش نوفه‌ی تولیدی و تراگسیل شده از سوی آن‌ها است.

مایدانیک در پژوهش خود پاسخ یک ورق سفت‌شده[6] که از سوی یک میدان پخشیده تحریک شده است را ارزیابی کرد [۱]. او دریافت که به‌کارگیری سفت‌کننده‌ها مقاومت پرتویی[7] ورق را افزایش داده و بنابراین تبادل انرژی میان ورق و میدان صدا را بهبود می‌بخشد. فهی نیز باور دارد که بازتاب امواج تولیدی از سوی سفت‌کننده‌ها روابط پاشیدگی[8] را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که موج‌های آزاد[9]، که مولفه‌های برداری عدد موج[10] با سرعت فازی اَبَرآوایی[11]

* نویسنده پاسخگو: massah@iust.ac.ir

[1] Quieting
[2] Sound generation
[3] Passive control
[4] Noise control
[5] Stiffener
[6] Ribbed plate, stiffened plate
[7] Resistance radiation
[8] Dispersion relationships
[9] Free waves
[10] Wavenumber
[11] Supersonic phase velocity

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

دارند، می‌توانند در بسامدهای پایین‌تر از بسامد بحرانی ورق یکنواخت گسترش یابند [۲]. این مؤلفه‌ها کارایی تشعشع در بسامدهای زیر بسامد بحرانی[1] را افزایش می‌دهند و ممکن است ورق‌ها با برخورد موج‌های صدایی در بسامدهایی پایین‌تر از بسامد هم‌اتفاق[2] در یک حالت هم‌اتفاق تحریک شوند، بنابراین افت تراگسیل[3] را کاهش می‌دهند.

لی و کیم سفت‌کننده‌ها را با به‌کارگیری ترکیبی از جرم‌های متمرکز و فنرهای انتقالی و چرخشی[4] الگوسازی کردند تا افت تراگسیل صدا را به کمک روش هماهنگ فضایی[5] که از سوی مید گسترش داده شده بود، ارزیابی کنند [۳-۶]. این الگو هندسه‌ی سفت‌کننده‌ها را در نظر نمی‌گیرد؛ افزون بر این، یافته‌های عددی آن‌ها با یافته‌های آزمایش راستی‌آزمایی نشدند. ماری و متی سفت‌کننده‌ها را بسان یک نیرو در الگوی عددی افزودند ولی لنگرها[6] را به الگو نیفزودند [۷]. لین سفت‌کننده‌ی ورق‌هایی با تکیه‌گاه‌های ساده را با نیرو و لنگر در شبیه‌سازی جایگزین کرد و ویژگی‌های ارتعاش اجباری ورق‌های تخت سفت‌شده در یک راستا[7] را در بازه‌ی بسامدی پایین بررسی نمود [۸-۹]. لیو و همکاران روش ریسپتنس[8] و روش بسط مدی[9] را برای ارزیابی عایق‌بندی صدای هوابرد[10] در ورق‌های خمیده‌ی[11] بدنه‌ی هواپیما همراه با قاب بدنه به‌کار بردند و پاسخ میدان پخشیده صوتی ورق‌های سفت‌شده را بررسی کردند [۱۰]. روابط پیشنهادی آن‌ها برای ورق‌های سفت‌شده در دو راستا، همانند روابط پیشنهادی برای ورق‌های سفت‌شده در یک راستا است. در پژوهش آن‌ها، از بررسی سفت‌کننده‌های پیرامونی چشم‌پوشی شد و ورق‌های سفت‌شده در دو راستا همانند ورق‌های سفت‌شده در یک راستا دیده شدند. در این پژوهش با به‌کارگیری نرم‌افزار آباکوس پاسخ صوتی و ارتعاشی اتاق بتنی با به‌کارگیری چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده بر روی دیواره‌ی بازشوی فولادی زیر اثر انفجار بررسی شده است. هم‌چنین تحلیل بسامدی برای بررسی افت تراگسیل در گستره‌ی بسامد زیر اثر یک میدان پخشیده‌ی نوفه‌ی سفید[12]، برای هر کدام از چیدمان‌ها انجام شده است. سه گونه سفت‌کننده‌ی قطری، ضربدری و موازی در تحلیل‌ها به‌کار گرفته شده‌اند. در این راستا در آغاز، سامانه بدون به‌کارگیری سفت‌کننده و با به‌کارگیری الگوی انفجاری کان‌وپ در نرم‌افزار آباکوس[13] زیر اثر امواج ناشی از انفجار ۵ کیلوگرم تی‌ان‌تی الگوسازی و تحلیل شد و سپس پاسخ صوتی و ارتعاشی سامانه با به‌کارگیری سه گونه سفت‌کننده به‌دست آمده و در پایان یافته‌ها با هم سنجیده شدند.

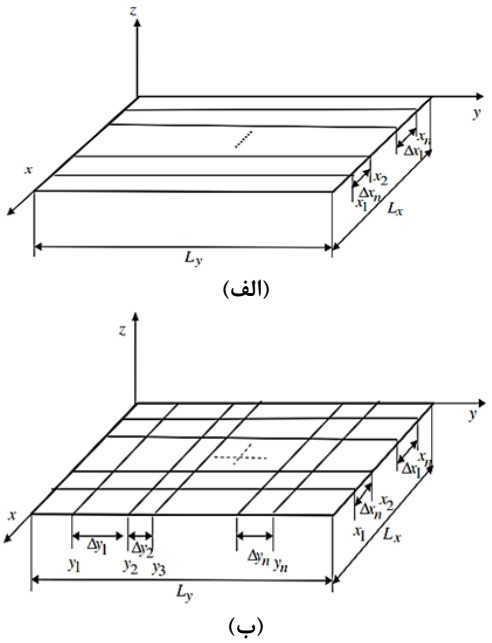
۲. فرضیات

ورق‌های مستطیلی تخت[14] که در این پژوهش ارزیابی شده‌اند، هم به تنهایی در تک‌راستا و هم در هر دوراستا[15] تقویت شده‌اند (شکل ۱). فرض شده است که ورق تکیه‌گاه ساده دارد و با n_x و n_y سفت‌کننده‌ی خارج از مرکز[16] به ترتیب در راستاهای x و y تقویت شده است. این این سفت‌کننده‌ها هم به گونه‌ای یکنواخت و هم نایکنواخت در راستای سطح ورق جای گرفته‌اند. ورق با به‌کارگیری نظریه پوسته نازک[17] و سفت‌کننده‌ها با به‌کارگیری نظریه‌ی تیر اولر- برنولی[18] شناسانده می‌شوند. فرض می‌شود که سفت‌کننده‌ها از دید فیزیکی از یکدیگر جدا بوده و موازی لبه‌ی ورق مستطیلی جای گرفته‌اند. هم‌چنین فرض می‌شود که سفت‌کننده‌ها در راستای درازای خود پیوسته به ورق متصل هستند. پرتودهی صوتی از سفت‌کننده‌ها در نظر گرفته نشده است، ولی اثر بارگذاری شاره دیده شده و نشان داده شده که در چیدمان‌های در دست بررسی تأثیر اندکی دارد. معادله حاکم بر حرکت یک ورق نازک و نیز معادلات حاکم بر جابه‌جایی خمشی و پیچشی سفت‌کننده‌ها را که بر پایه

[1] Subcritical radiation efficiency
[2] Coincidence frequency
[3] Transmission loss
[4] Translational and rotational springs
[5] Spatial harmonic technique
[6] Moments
[7] Unidirectionally stiffened flat plate
[8] Receptance
[9] Modal expansion technique
[10] Airborne sound insulation
[11] Curved panels
[12] Diffused field of a white noise
[13] CONWEP blast model in ABAQUS software
[14] Flat rectangular panel
[15] Unidirectionally and bidirectionally
[16] Eccentric
[17] Thin shell theory
[18] Euler-Bernoulli beam theory

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

شکل ۱ به‌دست آمده‌اند را می‌توان در منابع [۱۱-۱۲] دنبال نمود.

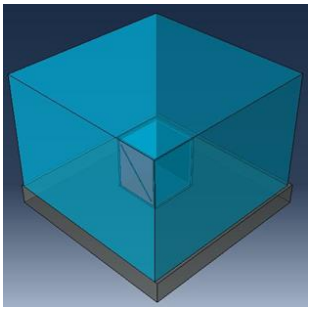


شکل ۱ (الف) ورق سفت‌شده در تک‌راستا، (ب) ورق سفت‌شده در دو راستا.

برای در نظر گرفتن خروج از مرکزیت میان محور خنثای سفت‌کننده‌ها و محور خنثای ورق، رابطه هویگنس[1] برای به‌دست آوردن گشتاور لختی سفت‌کننده‌ها گرد محور خنثای ورق به‌کار گرفته شد [۱۳]. شرایط سازگاری[2] در سطح مشترک تیر/ ورق به شرح زیر است.

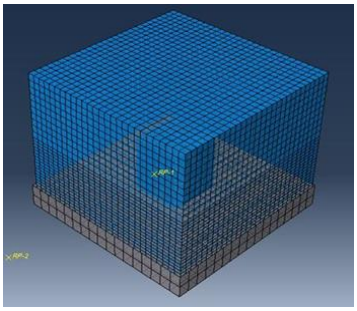
۳. الگوی به‌کار گرفته شده و روش پژوهش

اتاق بتن مسلح که یک وجه آن دیواره‌ی بازشوی فولادی با ضخامت ۸ میلی‌متر است شبیه‌سازی عددی شده و پاسخ صوتی این اتاق زیر اثر انفجار ۵ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۱۰ متری از مرکز دیواره‌ی بازشو به‌دست آمده است. سپس تسمه‌های سفت‌کننده‌ی فولادی با چیدمان‌های گوناگون در رویه‌ی درونی این دیواره‌ی بازشو به‌کار گرفته شدند. بعد، پاسخ صوتی و ارتعاشی اتاق با سفت‌کننده‌ها و بدون آن‌ها با یکدیگر سنجیده شدند. هم‌چنین، برای بررسی اندازه‌ی افت تراگسیل امواج صوتی در هر یک از چیدمان‌های سفت‌کننده، تحلیل بسامدی زیر اثر نوفه‌ی سفید در بسامدهای ۱ تا ۵۰۰۰ هرتز در یک میدان پخشیده انجام شد.



شکل ۲ نمایی از اتاق و محیط پیرامون آن، دربرگیرنده‌ی هوا، بتن و خاک، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.

برای شبیه‌سازی عددی، نرم‌افزار عناصر متناهی (اجزای محدود)[3] آباکوس به کار گرفته شده است. برای در نظر گرفتن پاسخ صوتی اتاق، هوای پیرامون اتاق و هوای درون آن با محیط صوتی در نرم‌افزار شبیه‌سازی شدند. با این کار، می‌توان خروجی‌های مربوط به فشار صدا و شدت صدا را نیز از تحلیل به‌دست آورد. در شبیه‌سازی بار انفجاری، نرم‌افزار آباکوس نرم‌افزار توانمندی است و انواع بارهای انفجاری همانند انفجار در زیر آب، انفجار در هوا و انفجار در روی سطح را با وارد کردن تابع فشار، شتاب و یا سرعت در نقطه‌ی ارزیابی در گزینه‌های خود دارد. نمایی از اتاق و محیط پیرامون آن، دربرگیرنده‌ی هوا، بتن و خاک، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

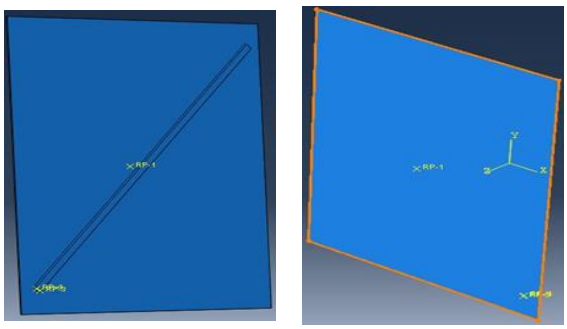


شکل ۳ نمایی از الگوی عناصر متناهی (اجزای محدود) اتاق و محیط پیرامون آن دربرگیرنده‌ی هوا، بتن و خاک، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس.

[1] Huygens
[2] Compatibility condition
[3] Finite element

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

اتصال دیواره‌ی بازشو به اتاق بتنی با تکیه‌گاه ساده فرض شده است. جنس این دیواره و سفت‌کننده‌ها از فولاد با چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ضریب کشسانی ۲۱۰×۱۰^{۹} پاسکال و ضریب پواسون ۰٫۳ است. سه گونه چیدمان سفت‌کننده‌ی قطری (گونه‌ی ۱)، موازی (گونه‌ی ۲) و ضربدری (گونه‌ی ۳) بررسی شده‌اند. این چیدمان‌ها در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به همراه ورق بدون سفت‌کننده نشان داده شده‌اند. برای الگوسازی ورق فولادی، عناصر توپر همگن[1]، و برای الگوسازی سفت‌کننده‌ها تسمه‌های توپر همگن با اندازه‌های ۱×۵ سانتی‌متر به‌کار گرفته شدند. سفت‌کننده‌ها با به‌کارگیری گزینه‌ی ادغام[2] در نرم‌افزار بر روی ورق ثابت شدند.

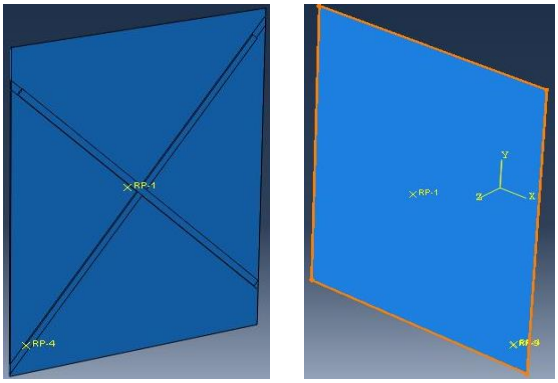


(الف) (ب)

شکل ۴ (الف) رویه‌ی بیرونی بدون سفت‌کننده، (ب) رویه‌ی درونی با سفت‌کننده‌ی قطری.

(الف) (ب)

شکل ۵ (الف) رویه‌ی بیرونی بدون سفت‌کننده، (ب) رویه‌ی درونی با سفت‌کننده‌ی موازی.

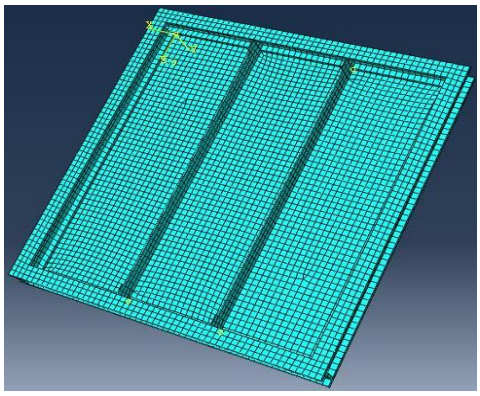


(الف) (ب)

شکل ۶ (الف) رویه‌ی بیرونی بدون سفت‌کننده، (ب) رویه‌ی درونی با سفت‌کننده‌ی ضربدری.

۴. راستی‌آزمایی الگوسازی

برای راستی‌آزمایی شبیه‌سازی، پژوهش انجام شده از سوی لوکا و همکاران به‌کار گرفته شده است [۱۴]. در این راستا، آزمایش انجام شده از سوی آن‌ها در نرم‌افزار آباکوس الگوسازی شد و با بارگذاری یکسان تحلیل انجام پذیرفت. در آزمایش انجام شده، یک ورق روی تیرهای پیرامونی با اندازه‌های ۲۵×۱۳۳×۲۰۳ میلی‌متر ثابت شده است. ورق، با اندازه‌ی ۲٫۵×۲٫۵ متر، ضخامت ۸ میلی‌متر و با دو سفت‌کننده‌ی عمودی با اندازه‌های ۷×۱۴۰ میلی‌متر که در فاصله‌ی ۹۰۰ میلی‌متر از یکدیگر جای گرفته‌اند، ساخته شده است. الگوسازی عناصر متناهی (اجزای محدود) انجام شده در نرم‌افزار بر پایه‌ی این آزمایش، در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است.

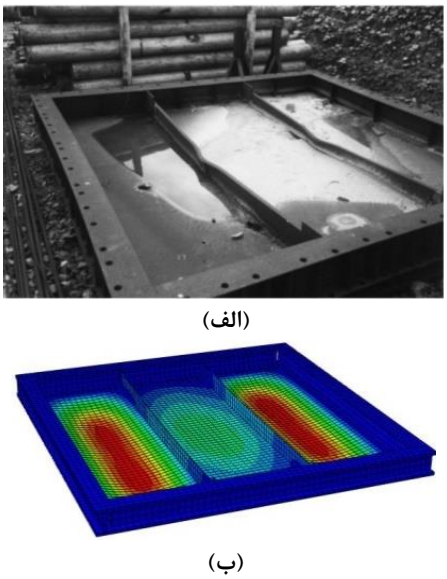


شکل ۷ الگوی عناصر متناهی (اجزای محدود) ورق سفت‌شده در آزمایش لوکا [۱۴].

[1] Solid homogeneous elements
[2] Merge option

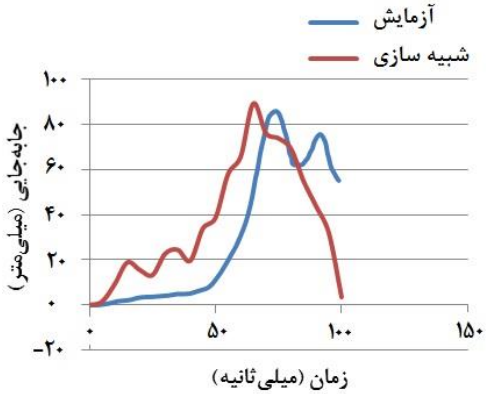
[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

ورق‌ها و سفت‌کننده‌ها از جنس فولاد با ضریب کشسانی برابر با ۲۰۰ گیگاپاسکال، ضریب پواسون برابر با ۰٫۳ و چگالی برابر با ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشند.



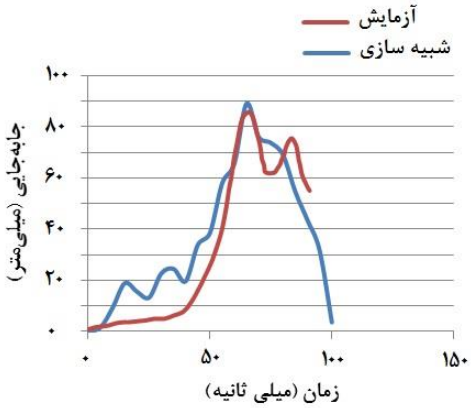
شکل ۸ (الف) نمونه ورق سفت‌شده آزمایشگاهی [۱۴]، (ب) نمونه ورق شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار.

منحنی به‌دست آمده از تحلیل با منحنی به دست‌آمده از آزمایش در شکل ۹ با یکدیگر سنجیده شده‌اند.



شکل ۹ مقایسه منحنی‌های جابه‌جایی- زمان به دست آمده از آزمایش و شبیه‌سازی عددی.

برای مقایسه بهتر، منحنی مربوط به آزمایش به اندازه‌ی ۸ میلی‌ثانیه، در شکل ۱۰، به سمت چپ جابه‌جا شده است، این روش در مرجع [۱۴] نیز انجام پذیرفته است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود یافته‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی برابری خوبی را با یافته‌های آزمایش نشان می‌دهند. بیشینه جابه‌جایی به‌دست آمده از آزمایش برابر با ۸۵٫۷ میلی‌متر و بیشینه جابه‌جایی به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی انجام شده در این پژوهش برابر با ۸۹٫۵ میلی‌متر است.



شکل ۱۰ مقایسه منحنی‌های جابه‌جایی- زمان به‌دست آمده از آزمایش و شبیه‌سازی عددی پس از جابه‌جایی زمان در منحنی آزمایش.

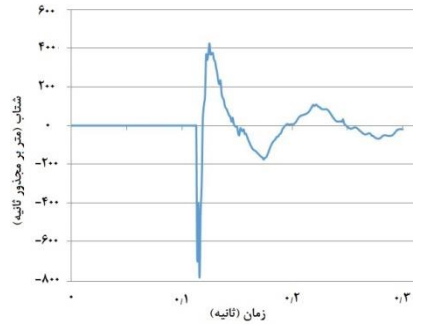
۵. بحث درباره یافته‌ها

۵-۱. پاسخ صوتی و ارتعاشی در گستره‌ی زمان

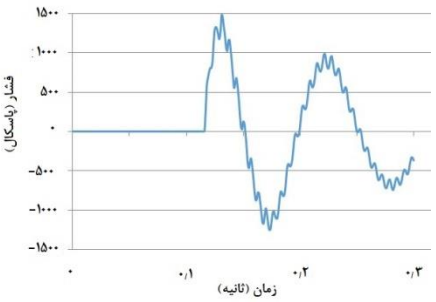
نمودارهای مربوط به پاسخ صوتی و ارتعاشی سامانه بدون به‌کارگیری سفت‌کننده و با به‌کارگیری سفت‌کننده از گونه‌های ۱، ۲ و ۳ در شکل ۱۱ تا شکل ۱۴ نمایش داده شده‌اند. بیشینه پاسخ صوتی در میانه‌ی اتاق بدون به‌کارگیری سفت‌کننده برابر با ۱۴۸۳ پاسکال و با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱ برابر با ۷۹۰ پاسکال است، که تفاوتی در حدود ۴۶٫۷ درصد را نشان می‌دهد. این تفاوت با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۰٫۲ و ۲۳٫۱ درصد است.

هم‌چنین، بیشینه پاسخ ارتعاشی روی رویه‌ی درونی دیواره بدون به‌کارگیری سفت‌کننده برابر با ۷۸۶ متر بر مجذور ثانیه است که در مقایسه با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱، که برابر با ۷۹۰ متر بر مجذور ثانیه است، تفاوت چشم‌گیری ندارد. این تفاوت با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲، ۸٫۸ درصد (۸۵۵ متر بر مجذور ثانیه) و با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳، ۱۱٫۸ درصد (۶۹۳ متر بر مجذور ثانیه) است. هم‌چنین، نسبت پاسخ صوتی برای به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱ به گونه‌ی ۲، ۵۴ درصد و نسبت به گونه‌ی ۳، ۷۰٫۱ درصد است.

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

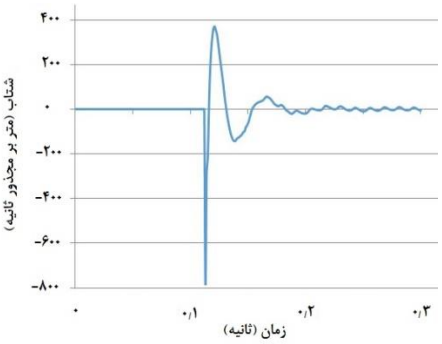


(الف)

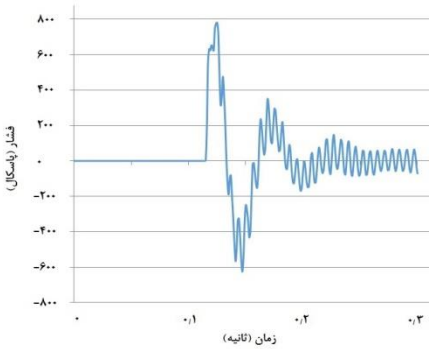


(ب)

شکل ۱۱ پاسخ صوتی و ارتعاشی ورق بدون سفت‌کننده، (الف) شتاب، (ب) فشار.

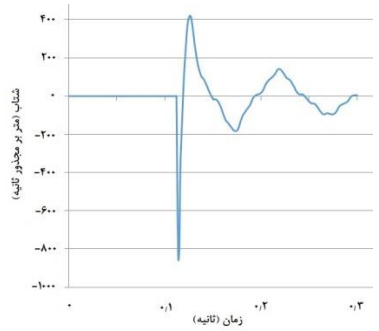


(الف)

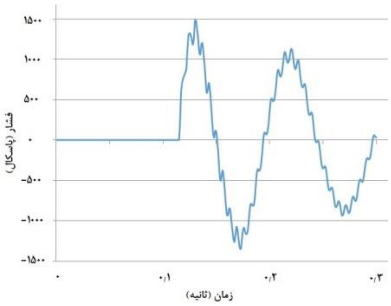


(ب)

شکل ۱۲ پاسخ صوتی و ارتعاشی ورق سفت‌شده گونه‌ی ۱، (الف) شتاب، (ب) فشار.

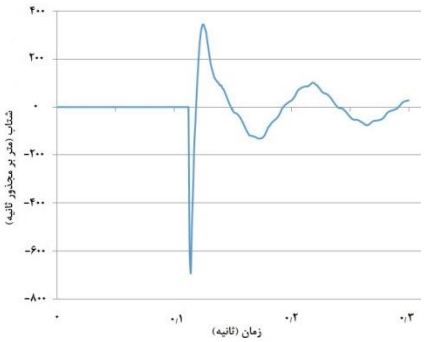


(الف)

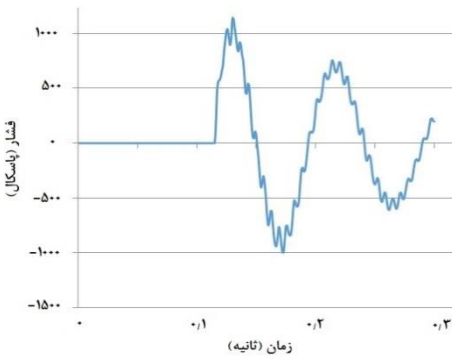


(ب)

شکل ۱۳ پاسخ صوتی و ارتعاشی ورق سفت‌شده گونه‌ی ۲، (الف) شتاب، (ب) فشار.



(الف)



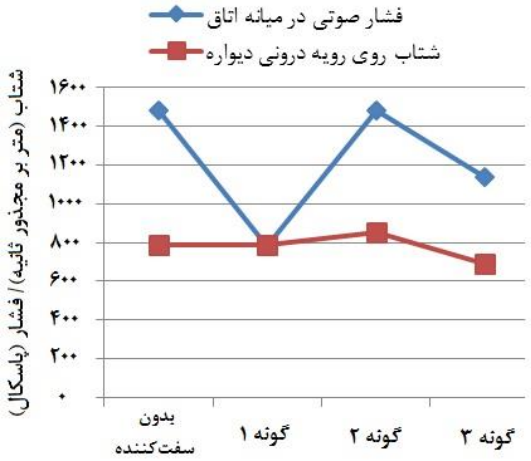
(ب)

شکل ۱۴ پاسخ صوتی و ارتعاشی ورق سفت‌شده گونه‌ی ۳، (الف) شتاب، (ب) فشار.

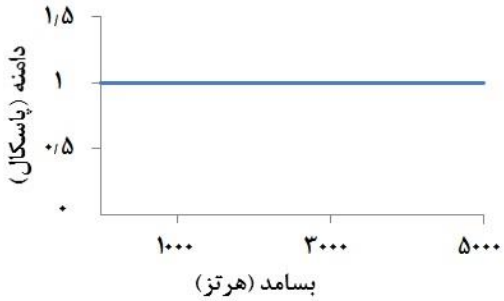
[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

برای ارزیابی بهتر اثر هر کدام از سفت‌کننده‌ها، نمودار بیشینه پاسخ صوتی و ارتعاشی برای هر یک از گونه‌های سفت‌کننده در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود گونه‌ی سفت‌کننده تأثیر چشم‌گیری بر روی پاسخ ارتعاشی سامانه نگذاشته و تنها در حالتی که سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ به‌کار رفته باشد، نسبت به حالت بدون سفت‌کننده، کاهشی در حدود ۱۲ درصد در پاسخ ارتعاشی پدید آمده است. البته به‌کارگیری سفت‌کننده در کاهش پاسخ صوتی سامانه تأثیر چشم‌گیری داشته است؛ به گونه‌ای که به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱، پاسخ صوتی سامانه را ۴۷/۴ درصد کاهش داده که بسیار برجسته است. هم‌چنین، به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ توانسته کاهش ۲۳/۱ درصدی در پاسخ صوتی را پدید آورد. به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲ نسبت به حالت بدون سفت‌کننده، تأثیر اندکی بر روی پاسخ صوتی و ارتعاشی سامانه داشته است.



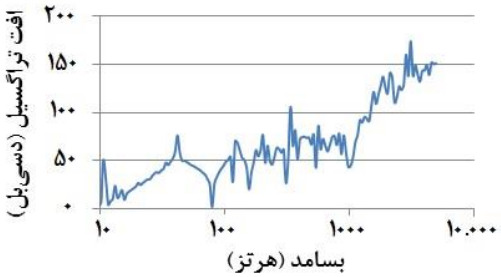
شکل ۱۵ بیشینه پاسخ صوتی و ارتعاشی برای گونه‌های سفت‌کننده.



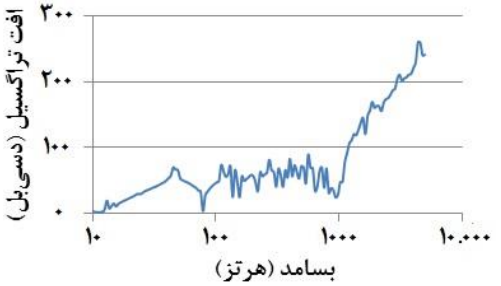
شکل ۱۶ نوفه‌ی سفید به‌کار رفته برای تحلیل بسامدی سامانه‌ی سازه صوتی.

۵-۲. افت تراگسیل در دامنه‌ی بسامدی

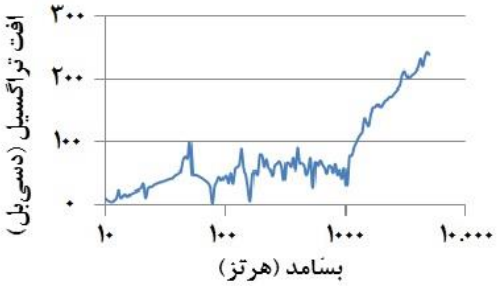
برای بررسی افت تراگسیل[1] در هر یک از گونه‌های سفت‌کننده، تحلیل بسامدی زیر اثر نوفه‌ی سفید در بسامدهای ۱ تا ۵۰۰۰ هرتز در یک میدان پخشیده، هم‌چون شکل ۱۶، انجام شد و یافته‌های آن در شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ نشان داده شده‌اند. هم‌چنین، مقایسه افت تراگسیل همه‌ی گونه‌های سفت‌کننده با یکدیگر در شکل ۲۱ آمده است. برای نمودارهای به‌دست آمده می‌توان دو بازه‌ی بسامدی در نظر گرفت؛ بازه‌ی بسامدی ۱ تا ۱۰۰ هرتز و بازه‌ی بسامدی ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز.



شکل ۱۷ افت تراگسیل برای دیواره‌ی فولادی بدون به‌کارگیری سفت‌کننده.



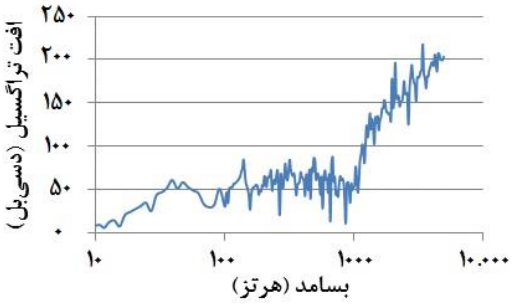
شکل ۱۸ افت تراگسیل برای دیواره‌ی فولادی با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱.



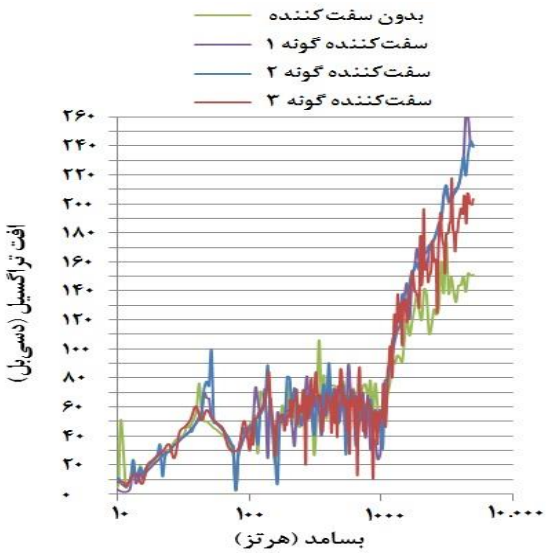
شکل ۱۹ افت تراگسیل برای دیواره‌ی فولادی با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲.

[1] Transmission loss

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]



شکل ۲۰ افت تراگسیل برای دیواره‌ی فولادی با به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳.

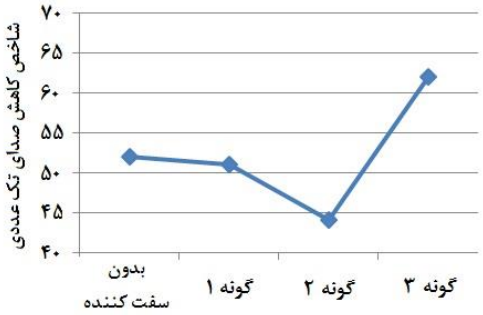


شکل ۲۱ افت تراگسیل برای دیواره‌ی فولادی با چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده‌ها.

در بازه‌ی بسامدی ۱ تا ۱۰۰ هرتز که بازه‌ی بسامد پایین نامیده می‌شود، حوادث صوتی با بسامد پایین مانند انفجارها رخ می‌دهند. همان‌گونه که در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ دیده می‌شود، در این بازه‌ی بسامدی برای حالت بدون سفت‌کننده بیشترین افت تراگسیل در بسامد ۴۱/۴ هرتز رخ می‌دهد که برابر با ۷۶/۳ دسی‌بل و برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱ در بسامد ۴۵/۱ هرتز برابر با ۶۹/۶ دسی‌بل است. هم‌چنین، در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ دیده می‌شود که بیش‌ترین افت تراگسیل برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲ در بسامد ۵۱/۳ هرتز برابر با ۹۹/۴ دسی‌بل و برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ در بسامد ۳۹ هرتز برابر ۵۴/۶ دسی‌بل می‌باشد.

در بازه‌ی بسامدی ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز که بازه بسامدهای میانی نامیده می‌شود، رویدادهای صوتی با بسامدهای بالاتر رخ می‌دهند که دربرگیرنده‌ی صداهایی مانند صدای انسان، صدای آمدوشد خودروها و ... است. در این بازه‌ی بسامدی بدون به‌کارگیری سفت‌کننده، بیش‌ترین افت تراگسیل در بسامد ۳۱۲۲/۵ هرتز برابر با ۱۷۴/۳ دسی‌بل، برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱ در بسامد ۴۳۹۷/۵ هرتز برابر با ۲۵۹/۸ دسی‌بل، برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲، در بسامد ۴۷۹۰/۵ هرتز برابر با ۲۴۳/۲ دسی‌بل و برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ در بسامد ۳۴۴۱/۵ هرتز برابر با ۲۱۷/۷ دسی‌بل است.

برای مقایسه این سه گونه سفت‌کننده با یکدیگر، با به‌کارگیری روش ارائه شده در آیین‌نامه‌ی ایزو ۱-۷۱۷، شاخص کاهش صدای تک ارزشی (مقدار تک ارزش افت تراگسیل)[1] برای این سه گونه سفت‌کننده به‌دست آمد که اندازه‌های آن در شکل ۲۲ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در این نمودار دیده می‌شود، شاخص کاهش صدای تک ارزشی، بدون به‌کارگیری سفت‌کننده و سفت‌کننده‌های گونه‌ی ۱، گونه‌ی ۲ و گونه‌ی ۳، به ترتیب برابر با ۵۲، ۵۱، ۴۴ و ۶۳ دسی‌بل است. کارآیی خوب سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱ و گونـه‌ی ۳ در این نمودار دیده می‌شود.



شکل ۲۲ اندازه تک عددی شاخص کاهش صدا برای چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده‌ها.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر به‌کارگیری چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده‌ها در یک وجه دیواره‌ی بازشوی اتاق بر روی پاسخ صوتی و ارتعاشی و افت تراگسیل موج صوتی بررسی شد. سه گونه سفت‌کننده‌ی قطری، ضربدری و موازی در تحلیل‌ها به‌کار رفته‌اند. بر پایه‌ی یافته‌های به‌دست آمده،

[1] Single Value Sound Reduction Index

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]

گونه‌های سفت‌کننده تأثیر چشم‌گیری بر روی پاسخ ارتعاشی سامانه نداشتند و تنها در حالت به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳، کاهشی در حدود ۱۲ درصد نسبت به حالت بدون سفت‌کننده در پاسخ ارتعاشی پدید آمده است.

به‌کارگیری سفت‌کننده در پاسخ صوتی سامانه تأثیر چشم‌گیری دارد، به طوری که به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۱، پاسخ صوتی سامانه را ۴۷/۴ درصد کاهش داده است، که بسیار چشم‌گیر است. هم‌چنین، به‌کارگیری سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ کاهش ۲۳/۱ درصدی پاسخ صوتی را به همراه داشته است. سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۲ نسبت به حالت بدون سفت‌کننده اثر بسزایی بر روی پاسخ صوتی و ارتعاشی سامانه نداشته است. یافته‌های به‌دست آمده برای افت تراگسیل در هر یک از گونه‌های سفت‌کننده در گستره‌ی بسامدی نیز درستی دستاوردهای این پژوهش را نشان می‌دهند. بر پایه‌ی این یافته‌ها، در میان چیدمان‌های گوناگون سفت‌کننده‌ها، بیش‌ترین شاخص کاهش صدای تک ارزشی (افت تراگسیل تک ارزشی) برای سفت‌کننده‌ی گونه‌ی ۳ و پس از آن گونه‌ی ۱ به‌دست آمده است. در پایان پیشنهاد می‌شود که برای کاهش پاسخ صوتی، بهتر است سفت‌کننده‌ی قطری (گونه‌ی ۱) یا ضربدری (گونه‌ی ۳) به‌کار رود.

۷. فهرست منابع

[1] G. Maidanik, “Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 34, no. 6, pp. 809-826, 1962.

[2] F. Fahy, “Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response,” Academic Press, London, 1985.

[3] J.H. Lee, J. Kim, “Analysis of sound transmission through periodically stiffened panels by space-harmonic expansion method,” Journal of Sound and Vibration, vol. 251, no.2, pp. 349-366, 2002.

[4] D.J. Mead, “Space-harmonic analysis of periodically supported beams: response to convected random loading,” Journal of Sound and Vibration, vol. 14, no.4, pp. 525-531, 1971.

[5] D.J. Mead, “Free wave propagation in periodically supported infinite beams,” Journal of Sound and Vibration, vol. 11, no.2, pp. 181-197, 1970.

[6] D.J. Mead, “Wave propagation in continuous periodic structures: research contributions from Southampton, 1964–1995,” Journal of Sound and Vibration, vol. 190, no.3, pp. 495-524, 1996.

[7] C. Maury, P.O. Mattei, “Sound transmission through a rib-stiffened plate: comparisons of a light fluid approximation with experimental results,” Journal of Sound and Vibration, vol. 249, no. 1, pp. 206-212, 2002.

[8] T.R. Lin, J. Pan, “A closed form solution for the dynamic response of finite ribbed plates,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 119, pp. 917-925, 2006.

[9] T.R. Lin, “A study of modal characteristics and the control mechanism of finite periodic and irregular ribbed plates,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 123, pp. 729-737, 2008.

[10] B. Liu, L. Feng, A. Nilsson, “Sound transmission through curved aircraft panels with stringer and ring frame attachments,” Journal of Sound and Vibration, vol. 300, no. 3-5, pp. 949-973, 2007.

[11] E.E. Ungar, “Transmission of plate flexural waves through reinforcing beams; dynamic stress concentrations,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 33, pp. 633-639, 1961.

[12] B. Mace, “The response of a fluid-loaded, beam-stiffened plate,” Journal of Sound and Vibration, vol. 79, pp. 439-542, 1981.

[13] E. Popov, “Mechanics of Materials,” Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976.

[14] L. Louca, Y. Pan, J. Harding, “Response of stiffened and unstiffened plates subjected to blast loading,” Engineering Structures, vol. 20, pp. 1079-1086, 1998.

[Downloaded from joasi.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1394.3.2.5.7]