بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

پیش‌بینی نویز ضربه‌ای در طبقات مختلف ساختمان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

کاوه دارابی

استاد راهنما

دکتر سعید ضیائی‌راد

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک، گرایش طراحی کاربردی

کاوه دارابی

تحت عنوان

پیش‌بینی نویز ضربه‌ای در طبقات مختلف ساختمان

در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سعید ضیائی‌راد
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکترمصطفی غیور
۳- استاد داور	دکترحمیدرضا میردامادی
۴-استاد داور	دکتر محمدرضا فروزان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدرضا سلیم‌پور

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم، از زحمات استاد ارجمند، جناب آقای دکتر سعید ضیائی‌راد که در کلیه مراحل انجام این رساله، از هیچ کوششی برای راهنمایی بنده فروگذار نکردند قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای دکتر غیور که با مشاوره خود مرا در انجام بهتر این رساله یاری فرمودند،کمال تشکر را دارم. از اساتید محترم دانشکده مکانیک، جناب آقای دکتر میردامادی و جتاب آقای دکتر فروزان که با وجود مشغله زیاد، زحمت داوری این رساله را بر عهده گرفتند تشکر می‌کنم. از دوستان خوبم در دانشکده مهندسی مکانیک به‌ویژه آقای مهندس نیما نوری که دراین مدت از نظرات ایشان بهره بردم و برادر عزیزم که در مراحل ویرایش و تدوین پایان‌نامه مرا یاری نمودند نیز سپاسگزارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱ آکوستیک ساختمان ۲

۱-۲ نویز در ساختمان ۳

۱-۲-۱ نویز ضربه‌ای ۳

۱-۳ اندازه‌گیری‌های آکوستیکی ۴

۱-۴ تعریف مساله ۵

۱-۵ نتایج تجربی ۶

۱-۶ استاندارد ایزو ۶

۱-۷ راه‌کارهای مقابله با نویز ضربه‌ای ۶

۱-۷-۱ کف‌پوش نرم ۷

۱-۷-۲ طبقات شناور ۷

۱-۷-۳ نصب سقف ارتجاعی ۷

۱-۷-۴ مستهلک‌کننده‌های ویسکوالاستیک ۸

۱-۸ مروری بر کارهای انجام‌شده ۸

۱-۹ قراردادهای نگارشی در این رساله ۱۱

۱-۱۰ ساختار رساله ۱۱

فصل دوم : مقدمات تئوری ۱۳

۲-۱ امواج صوتی در هوا ۱۳

۲-۱-۱ معادله انتشار موج صوتی در هوا ۱۵
۲-۱-۲ معادله هلمهولتز ۱۷
۲-۱-۳ امواج صفحه‌ای ۱۸
۲-۲ موج در سازه ۱۸
۲-۲-۱ امواج خمشی ۱۹
۲-۳ شدت صوت، توان صوتی، سطح فشار صوتی ۲۲
۲-۴ میدان صوتی دیفیوز ۲۳
۲-۵ امپدانس و موبیلیتی ۲۴
۲-۵-۱ امپدانس و موبیلیتی مکانیکی ۲۴
۲-۵-۲ امپدانس و موبیلیتی آکوستیکی در سطوح ۲۵
۲-۶ میرایی در امواج صوتی ۲۶
۲-۶-۱ جذب و بازتابش در سطوح ۲۶
۲-۶-۲ مساحت جذب ۲۸
۲-۷ زمان پژواک برای اتاق ۲۹
۲-۷-۱ محاسبه زمان پژواک اتاق درمیدان صوتی دیفیوز ۳۰
۲-۷-۲ رابطه ضریب استهلاک کلی با زمان پژواک اتاق ۳۱
۲-۸ میرایی در سازه طبقه ساختمانی ۳۱
۲-۸-۱ میرایی درونی ۳۲
۲-۸-۲ میرایی سازه‌ای در اتصالات و سطوح واسط ۳۵
۲-۸-۳ میرایی تابشی ۳۶
۲-۸-۴ میرایی سیال ۳۶
۲-۸-۵ مقایسه ضرایب استهلاک سازه ۳۶
۲-۹ زمان پژواک سازه و رابطه آن با ضریب استهلاک کلی در سازه ۳۷

۲-۱۰ تبدیل فوریه ۳۷
۲-۱۱ پردازش سیگنال ۳۸
۲-۱۱-۱ فیلتر ۳۸
۲-۱۱-۲ آشکارساز ۴۰
فصل سوم: مدل‌سازی و محاسبه نیروی ناشی از برخورد وزنه‌های ماشین ضربه‌زن با طبقه ساختمانی ٤٢
۳-۱ مقدمه ۴۲
۳-۲ ماشین ضربه‌زن استانداردایزو ۴۵
۳-۳ فرضیات ساده‌کننده برای محاسبه نیروی ماشین ضربه‌زن ۴۶
۳-۴ نیروی وارد از طرف ماشین ضربه‌زن به طبقات سنگین‌وزن و طبقات سبک‌وزن ۴۶
۳-۵ نیروی وارد از طرف ماشین ضربه‌زن در حوزه زمان و فرکانس ۴۷
۳-۶ مروری بر مدل‌های ارائه شده برای محاسبه نیروی ماشین ضربه‌زن ۴۸
۳-۶-۱ مدل کرمر ۴۹
۳-۶-۲ مدل ور ۵۲
۳-۶-۳ مدل اسکال و مایسن‌هولدر ۵۳
۳-۶-۴ مدل برانزکگ و هامر ۵۴
۳-۶-۵ مدل رابولد ۵۶
۳-۷ مدل پارامتر گسسته ۵۷
۳-۷-۱ بخش ارتجاعی، سختی تماسی ۵۸
۳-۷-۲ بخش میراگر، امپدانس طبقه ساختمانی ۵۹
۳-۷-۳ محاسبه نیروی مدل پارامتر گسسته در حوزه زمان ۶۱
۳-۷-۴ محاسبه نیروی مدل پارامتر گسسته در حوزه فرکانس ۶۲
۳-۷-۵ بررسی عددی ۶۴

۳-۷-۶ محاسبه توان تابیده شده برای مدل پارامتر گسسته ۶۸
۳-۸ محاسبه نیروی ماشین ضربه‌زن برای طبقه ساختمانی مورد بررسی در این رساله ۶۹
۳-۹ نیروی ناشی از راه رفتن انسان ۷۲
۳-۱۰ نتیجه‌گیری ۷۳
فصل چهارم: ارائه مدل پیش‌بینی برای مساله نویز ضربه‌ای با استفاده از روش المان محدود..۷۵
۴-۱ تحلیل آکوستیکی به‌روش المان محدود ۷۶
۴-۲ المان‌های آکوستیکی ۷۷
۴-۲-۱ المان Fluid 30 ..... ۷۸
۴-۳ المان‌های سازه‌ای ۷۹
۴-۳-۱ المان‌های پوسته‌ای ۷۹
۴-۴ بارگذاری روی مدل ۸۰
۴-۴-۱ برهم‌کنش سازه و سیال ۸۱
۴-۴-۲ مشخص کردن موبیلیتی مشخصه سطح برای سطوح جذب ۸۲
۴-۵ مدل ساختمانی استفاده‌شده به‌منظور بررسی انتقال نویز ضربه‌ای ۸۲
۴-۵-۱ انتخاب المان مناسب سیال و سازه ۸۴
۴-۵-۲ کاویتی ۸۵
۴-۵-۳ خصوصیت مواد طبقه ساختمانی ۸۵
۴-۶ میرایی در مساله نویز ضربه‌ای ۸۶
۴-۶-۱ میرایی ارتعاشی در نرم‌افزار انسیس ۸۷
۴-۷ تئوری حل المان محدود برای حل مسائل آکوستیکی ۸۸
۴-۷-۱ مجزاسازی معادله موج ۸۹
۴-۷-۲ استخراج ماتریس‌های آکوستیکی سیال ۹۰
۴-۷-۳ اثرات میرایی در مرز سیال ۹۱

۴-۷-۴ درهم‌گیرش سازه و سیال ۹۲
۴-۸ لوله اندازه‌گیری امپدانس ۹۲
۴-۸-۱ تئوری اندازه‌گیری امپدانس مشخصه سطح ۹۳
۴-۸-۲ مدل المان محدود لوله اندازه‌گیری امپدانس ۹۴
۴-۹ محاسبه ضریب جذب و موبیلیتی آکوستیکی مشخصه برای سطوح اتاق ۹۸
۴-۱۰ دیفیوزر ۹۹
فصل پنجم: آنالیز مودال ۱۰۲
۵-۱ آنالیز مودال هوای اتاق ، بدون در نظر گرفتن برهم‌کنش سازه و سیال ۱۰۲
۵-۱-۱ بررسی مودهای محلی برای اتاقی با دیواره‌های کاملا صلب ۱۰۲
۵-۱-۲ بررسی مودهای محلی برای اتاقی با دیواره‌های دارای ضریب جذب ۱۰۸
۵-۱-۳ بررسی مودهای محلی اتاقی با دیواره‌های دارای دیفیوزر ۱۱۱
۵-۲ آنالیز مودال سازه طبقه ساختمانی بدون در نظر گرفتن برهم‌کنش سازه و سیال ۱۱۲
۵-۲-۱ مودهای محلی برای یک صفحه مستطیلی با تکیه‌گاه‌های ساده ۱۱۲
۵-۲-۲ آنالیز مودال طبقه ساختمانی مورد بررسی در این رساله ۱۱۵
۵-۳ آنالیز مودال کامل سازه طبقه ساختمانی و هوای اتاق با درنظرگرفتن برهم‌کنش سازه و سیال ۱۱۵
۵-۴ فرکانس اسچرودر ۱۱۷
فصل ششم: آنالیز هارمونیک ۱۱۹
۶-۱ مقدمه ۱۱۹
۶-۲ آنالیز هارمونیک در روش المان محدود ۱۲۰
۶-۳ هدف از انجام آنالیز هارمونیک ۱۲۱
۶-۴ خطی بودن سیستم ۱۲۱
۶-۵ ماتریس میرایی در آنالیز هارمونیک ۱۲۲
۶-۵-۱ مدل کردن میرایی در سازه با استفاده از امکانات نرم‌افزار ۱۲۲

۶-۶ الگوریتم حل مساله در آنالیز هارمونیک ۱۲۴
۶-۷ محاسبه سطح فشار صوتی متوسط با استفاده از توان تابیده‌شده ۱۲۵
۶-۷-۱ اندازه‌گیری عملی ۱۲۵
۶-۷-۲ محاسبه توان متوسط تابیده‌شده از یک سطح در آنالیز هارمونیک ۱۲۸
۶-۷-۳ محاسبه توان تابیده‌شده در مدل المان محدود ۱۲۹
۶-۷-۴ ارتباط توان تابیده‌شده با سطح فشار صوتی متوسط درون اتاق ۱۳۱
۶-۷-۵ نمودار سطح فشار صوتی متوسط درون اتاق ۱۳۲
۶-۸ محاسبه سطح فشار صوتی متوسط با استفاده از فشار نقاط درون اتاق ۱۳۳
۶-۸-۱ اندازه‌گیری عملی ۱۳۳
۶-۸-۲ انتخاب نقاط نصب سنسور ۱۳۴
۶-۸-۳ اندازه‌گیری فشار در مدل المان محدود ۱۳۶
۶-۸-۴ ارتباط بین فشار خوانده شده با سطح فشار صوتی متوسط ۱۳۷
۶-۸-۵ نمودار سطح فشار صوتی متوسط درون اتاق ۱۳۷
۶-۹ ضریب تصحیح واترهوس ۱۳۸
۶-۱۰ بررسی برابری توان تابیده‌شده با توان جذب‌شده در سطوح اتاق ۱۴۱
۶-۱۱ بهبود مدل پیش‌بینی ۱۴۱
۶-۱۱-۱ تاثیر مدل‌سازی کاویتی و طبقه بالا ۱۴۱
۶-۱۱-۲ تاثیر نصب دیفیوزر روی دیوارهای اتاق ۱۴۴
۶-۱۱-۳ نتایج مدل‌سازی با المان‌های کوچکتر ۱۴۴
۶-۱۱-۴ موارد دیگر ۱۴۵
۶-۱۲ مقایسه با نتایج تجربی ۱۴۵
فصل هفتم: آنالیز گذرا ۱۴۹
۷-۱ مقدمه ۱۴۹

۷-۲ آنالیز گذرا در روش المان محدود ۱۵۰
۷-۳ هدف از انجام آنالیز گذرا ۱۵۰
۷-۴ خطی بودن سیستم ۱۵۱
۷-۴-۱ پاسخ سیستم به تحریک ضربه ۱۵۱
۷-۵ ماتریس میرایی در آنالیز گذرا ۱۵۱
۷-۶ الگوریتم حل مساله در آنالیز گذرا ۱۵۲
۷-۷ پایا شدن وضعیت سیستم ۱۵۳
۷-۸ مقایسه آنالیز گذرا و هارمونیک ۱۵۵
۷-۸-۱ مقایسه کلی ۱۵۵
۷-۸-۲ مقایسه پاسخ به‌دست‌آمده از دو آنالیز برای مساله نویز ضربه‌ای ۱۵۶
فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۵۹
۸-۱ نتیجه‌گیری ۱۵۹
۸-۲ پیشنهادات ۱۶۱
مراجع ۱۶۳

چکیده

در این پژوهش، یک مدل پیش‌بینی نویز ضربه‌ای در طبقات ساختمانی بر مبنای روش المان محدود ارائه شده‌است. مدل‌های پیش‌بینی که به‌مرور جایگزین روش‌های پرهزینه تجربی خواهند شد، از سه بخش تحریک، سیستم و پاسخ تشکیل می‌شوند. منبع تحریک، ماشین ضربه‌زن استاندارد ایزو است. در این تحقیق، روش‌های مختلف محاسبه نیروی وارد از طرف ماشین ضربه‌زن به طبقه ساختمانی بررسی شده و از میان این روش‌ها، یک روش مناسب برای محاسبه نیروی وارد به طبقه ساختمانی سبک‌وزن مورد بررسی در این رساله، انتخاب شده‌است. در روش انتخاب‌شده، نیرو با استفاده از موبیلیتی نقطه تحریک به‌دست می‌آید. نیروی به‌دست‌آمده در حوزه زمان را می‌توان با استفاده از تبدیل فوریه به حوزه فرکانس انتقال داد. در این مدل پیش‌بینی، سیستم، طبقه ساختمانی و هوای درون اتاق‌ها و مرزهای اتاق است که با استفاده از المان‌های سازه‌ای و آکوستیکی نرم‌افزار انسیس شبیه‌سازی شده‌است. در مدل‌سازی سیستم، سعی بر آن بوده که تا حد امکان از خصوصیات مکانیکی و ابعاد هندسی یک نمونه تست واقعی استفاده شود. با مشخص شدن تحریک و سیستم، بخش سوم یک مدل پیش‌بینی یعنی پاسخ سیستم به منبع تحریک باید مشخص شود. پاسخ مورد نظر در این تحقیق، سطح فشار صوتی متوسط درون اتاق تست، پس از اعمال ضربه به طبقه ساختمانی است. برای رسیدن به این پاسخ از آنالیزهای هارمونیک و گذرا استفاده شده‌است. از مقادیر حوزه فرکانس و زمان نیروی به‌دست‌آمده از مرحله قبل، به‌ترتیب به‌عنوان منبع تحریک در آنالیز هارمونیک و گذرا استفاده می‌شود. با توجه به حجم بالای محاسبات در این شبیه‌سازی‌ها، یک الگوریتم بهینه برای آنالیز مساله ارائه شده‌است. برای رسیدن به پاسخ مورد نظر، سطح فشار صوتی درون اتاق در هر کدام از آنالیزهای هارمونیک و گذرا به دو روش مختلف محاسبه شده‌است. در روش اول، از توان تابیده شده به اتاق گیرنده نویز و در روش دوم از متوسط زمانی و مکانی فشار در نقاط مختلف درون اتاق برای رسیدن به پاسخ مورد نظر استفاده شده‌است. نتایج دو روش با هم مقایسه شده و اختلاف پاسخ آنها توجیه شده‌است. برای تایید صحت شبیه‌سازی، باید نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج یک آزمایش واقعی مقایسه شود. برای این منظور از نتایج یک نمونه آزمایشی واقعی در آزمایشگاهی در کشور سوئد استفاده شده‌است. پس از مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار با نتایج واقعی مشاهده می‌شود، در بخش بزرگی از بازه فرکانسی مورد بررسی، انطباق مناسبی بین این نتایج برقرار است و خطای محاسبات در این بازه کمتر از سه درصد است. در بازه‌های فرکانسی که نتایج شبیه‌سازی با نتایج نمونه واقعی سازگاری ندارد، دلایل عدم انطباق بررسی و تحلیل شده‌است.

کلمات کلیدی : ۱-آکوستیک ۲-نویز ضربه‌ای ۳-آنالیز هارمونیک ۴-آنالیز گذرا ۵-روش المان محدود

فصل اول

مقدمه

۱-۱ آکوستیک ساختمان

آکوستیک علم بررسی نحوه پیدایش و انتقال صداست که به تحلیل انتشار امواج صوتی در گازها، مایعات و جامدات می‌پردازد. برای مباحث متنوع مورد بررسی در علم آکوستیک، تقسیم‌بندی‌های مختلفی وجود دارد. از یک دیدگاه محیطی که موج صوتی در آن منتشر می‌شود، به‌عنوان مبنای مرزبندی انتخاب می‌شود و می‌توان گسترش امواج صوتی را در گازها، مایعات یا اجسام جامد بررسی نمود. از دیدگاه دیگر، فرکانس موج صوتی در حال انتشار به‌عنوان مبنا در نظر گرفته می‌شود. در این حالت بازه فرکانسی ۱۶ تا ۲۰,۰۰۰ هرتز که در آن گوش انسان، قادر به درک امواج صوتی است، به‌عنوان حوزه شنوایی انسان و فرکانس‌های پیش و پس از این بازه به‌ترتیب در حوزه‌های فرو صوت[1] و فراصوت[2] جای می‌گیرند.

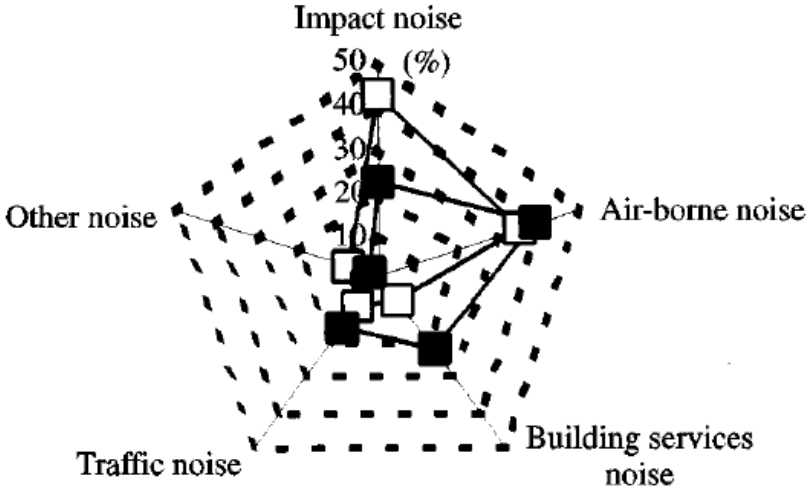
آکوستیک ساختمان یکی از حوزه‌های کاربردی علم آکوستیک است که به بررسی چگونگی انتقال صدا بین اتاق‌ها و طبقات، کاهش نویز و عایق‌سازی مناسب فضاهای ساختمانی، بهبود کیفیت صوتی در سالن‌های بزرگ تئاتر و موسیقی و مواردی از این دست می‌پردازد. در مبحث آکوستیک ساختمان معمولا بازه فرکانسی ۵۰ تا ۵۰۰۰ هرتز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

---

[1] Infra Sound
[2] Ultra Sound

۱-۲ نویز در ساختمان

آنچه در طراحی آکوستیکی فضای درون یک اتاق بیش از هر چیز اهمیت دارد، عایق نمودن این فضا از صداهایی است که از بیرون به ساختمان وارد می‌شوند یا از درون آن خارج می‌گردند. این صداها می‌توانند از منابع متفاوتی ناشی شده و ماهیت‌های مختلفی داشته باشند. جئون[1] یک ارزیابی آماری روی نویزهایی که در طول شبانه‌روز در ساختمان‌های مسکونی شنیده می‌شود انجام داده است [۱]. شکل ۱-۱ نتیجه این ارزیابی آماری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مهم‌ترین عامل آلودگی صوتی فضای داخل ساختمان در روز نویز ضربه‌ای[2] و در شب نویز هوابرد[3] است. هر چند استفاده از کف‌پوش‌های سخت در ساختمان‌های مورد بررسی توسط جئون اهمیت نویز ضربه‌ای را تا حدودی پراهمیت‌تر از حالتی که کف ساختمان با یک کف‌پوش نرم مانند فرش پوشیده شده باشد جلوه می‌دهد.



شکل ۱-۱- درصد منابع مختلف ایجاد نویز در ساختمان، سفید : روز، سیاه : شب [۱]

۱-۲-۱ نویز ضربه‌ای

نویز ضربه‌ای، نویزی است که در اثر برخورد یک جسم به جسم دیگر ایجاد می‌شود. راه رفتن، افتادن اشیا، حرکت دادن و جابجا کردن مبلمان، بسته شدن ناگهانی درب و ارتعاشات مکانیکی برخی از وسایل منزل مانند ماشین لباسشوئی، منابع روزمره تولید چنین نویزی در داخل ساختمان محسوب می‌شوند. امروزه گسترش چشمگیر استفاده از کف‌پوش‌های سخت نظیر سرامیک و چوب از یک طرف و گرایش به استفاده از مصالح سبک‌وزن در صنعت ساختمان سازی از طرف دیگر، اهمیت نویز ضربه‌ای را نسبت به گذشته محسوس‌تر نموده‌است. آیین‌نامه‌های ساختمانی جدید هم نسبت به گذشته، قوانین سخت‌گیرانه‌تری در زمینه عایق‌بندی صوتی فضای داخلی ساختمان‌ها وضع نموده‌اند.

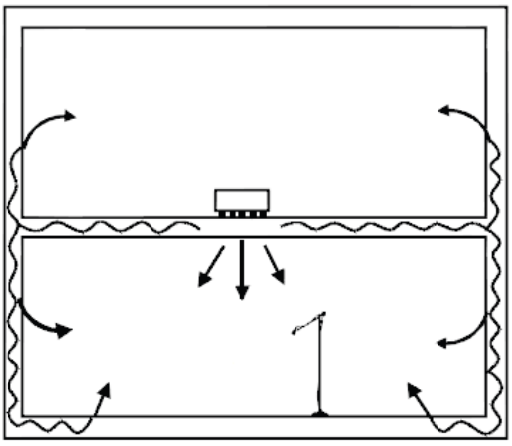
---

[1] Jeon
[2] Impact Noise
[3] Airborne Noise

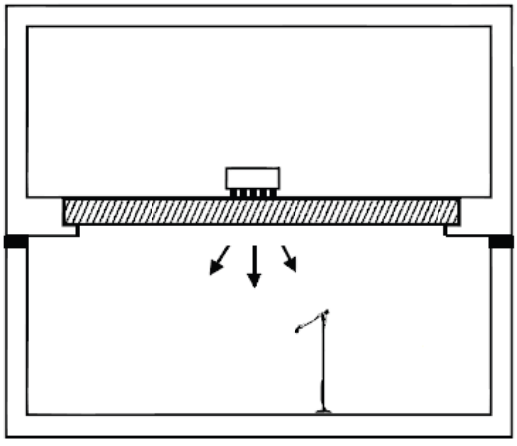
۱-۳ اندازه‌گیری‌های آکوستیکی

اندازه‌گیری‌های آکوستیکی، به‌طور کلی به دو گروه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی[1] و اندازه‌گیری‌های میدانی[2] تقسیم می‌شوند. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، همان‌طور که از نام آن بر می‌آید در اتاق‌های تست مخصوص مانند اتاق‌های پژواک[3] و اتاق‌های ضد اکو[4] انجام می‌شوند. هدف از انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، به‌دست آوردن اطلاعات مورد نیاز از مدل، در مرحله طراحی است. در مقابل، اندازه‌گیری‌های میدانی در ساختمان‌های واقعی انجام می‌شوند و معمولا با دو هدف عمده صورت می‌گیرند. دسته اول از اندازه‌گیری‌های میدانی با هدف نشان دادن میزان سازگاری یک ساختمان مسکونی مشخص با آیین‌نامه‌های عایق‌سازی صوتی ساختمان‌های مسکونی انجام می شود. دسته دوم از اندازه‌گیری‌های میدانی با هدف حل کردن مشکلات صوتی در یک ساختمان ساخته‌شده انجام می‌گیرد (مرحله پس از طراحی و ساخت).

اندازه‌گیری‌های میدانی نسبت به اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نیازمند ملاحظات بیشتری هستند. به‌عنوان مثال، یکی از مشکلات تست‌های میدانی هم در محاسبات تئوری و هم در اندازه‌گیری‌های عملی بروز پدیده انتقال از جانب[5] است. اشکال ۱-۲- الف وب، اندازه‌گیری سطح فشار صوتی ناشی از نویز ضربه‌ای ماشین ضربه‌زن استاندارد را به‌صورت میدانی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در اندازه‌گیری آزمایشگاهی تمام توان ماشین ضربه‌زن از طریق طبقه تحت آزمایش به‌طور مستقیم به اتاق پایین منتقل می‌شود. اما در اندازه‌گیری میدانی، بخشی از توان ماشین ضربه‌زن از طریق اتصالات فیزیکی در مرزهای طبقه ساختمانی به دیوارها و فضاهای مجاور انتقال پیدا می کند.



شکل ۱-۲- الف-اندازه‌گیری میدانی سطح فشار صوتی



شکل ۱-۲-ب-اندازه‌گیری آزمایشگاهی سطح فشار صوتی

[1] Laboratory Measurement
[2] Field Measurement
[3] Reverberation Room
[4] Unechoic Room
[5] Flanking Transmission

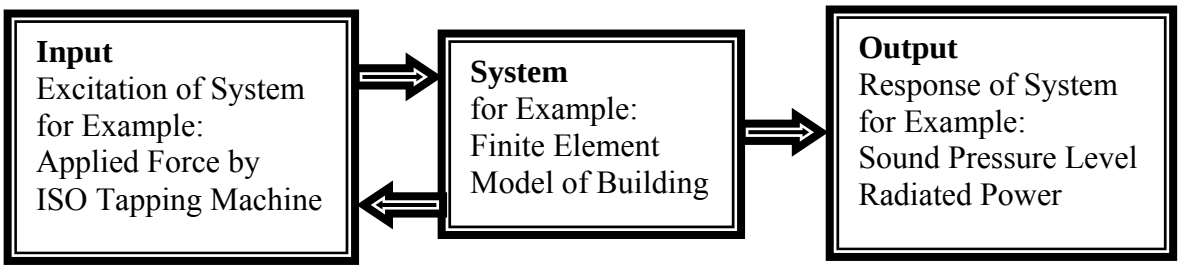
۱-٤ تعریف مساله

تاکنون، بیشتر پروژه‌های تحقیق و توسعه[1] در زمینه آکوستیک ساختمان بر مبنای اندازه‌گیری و آزمایش صورت گرفته است. روش‌های تجربی برای بهینه‌سازی و طراحی اجزای جدید ساختمانی با کیفیت صوتی مطلوب مستلزم صرف وقت و هزینه بالا هستند. چنانچه بخشی از این اندازه‌گیری‌های تجربی با مدل‌های پیش‌بینی محاسباتی جایگزین شوند باعث صرفه‌جویی چشمگیری در هزینه و زمان خواهد شد.

هدف این رساله، ارائه یک مدل پیش‌بینی نویز ضربه‌ای برای طبقات ساختمانی است. یک مدل پیش‌بینی می‌تواند کلیه رخدادها را از لحظه پیدایش تا زمان گسترش و پخش نویز ضربه‌ای در محیط شبیه‌سازی نماید.

مدل‌های پیش‌بینی همان‌طور که در شکل ۱-۳ مشاهده می‌شود، معمولا از سه بخش تحریک، سیستم و پاسخ تشکیل می‌شوند. تحریک می‌تواند نیروی ناشی از برخورد یک جسم با کف طبقه ساختمانی باشد. سیستم باید به‌گونه‌ای باشدکه بتوان کلیه ویژگی‌های تاثیرگذار یک طبقه ساختمانی مانند چگالی، ابعاد هندسی، مدول الاستیسیته، ضرائب میرایی، خصوصیت مواد، اتصالات و شرایط مرزی را برای آن تعریف نمود. هر چه یک سیستم، کامل‌تر و دقیق‌تر تعریف شود نتایج مدل پیش‌بینی به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های واقعی نزدیک‌تر خواهد شد. پاسخ معمولا کمیت‌هایی مانند سطح فشار صوتی، توان تابیده‌شده، فرکانس‌های بحرانی و مواردی از این دست می‌باشد.

بایستی توجه داشت، نیروی تحریک وارد بر سیستم به مشخصات و ویژگی‌های سیستم بستگی دارد. به‌عبارتی، بین سیستم و ورودی، برهم‌کنش[2] وجود دارد. اثر متقابل نیروی تحریک و سیستم، به‌ویژه در ساختمان‌های سبک‌وزن بیشتر مشهود است. مدل پیش‌بینی ارائه‌شده در این رساله، مبتنی بر آنالیز المان محدود است. مدل‌سازی نیروی وارد بر سازه و آنالیزهای مختلفی که روی مدل انجام می‌شود در فصول سوم تا هفتم توضیح داده شده‌است.



شکل ۱-۳- ساختار کلی مدل‌های پیش‌بینی

[1] R & D : Research & Development
[2] Interaction

۱-۵ نتایج تجربی

برای صحت‌سنجی مدل‌سازی و آنالیزهای انجام‌شده روی مدل، نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی باید با نتایج تجربی مقایسه شوند. برای این منظور از داده‌های تجربی بودلاند[1] استفاده می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی میزان مقاومت یک طبقه ساختمانی چوبی، در برابر نویز هوابرد و نویز ضربه‌ای است [۲]. بخشی از داده‌های بودلاند که مربوط به اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نویز ضربه‌ای در طبقه ساختمانی مذکور است، در این رساله به‌عنوان مبنای مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج تجربی استفاده شده‌است. تست‌های آزمایشگاهی در اتاق تستی به ابعاد ۳/۷×۶/۶۶×۵/۳۸ متر مکعب و بر مبنای استاندارد ایزو انجام شده‌اند. سایر ابعاد و اندازه‌های هندسی و خصوصیات مواد مورد استفاده در فصول سوم و چهارم ارائه شده‌است. در مدل‌سازی المان محدود، سعی شده ابعاد هندسی و خصوصیات مواد تا حد امکان با مدل تجربی بودلاند شباهت داشته باشد.

۱-۶ استاندارد ایزو

استاندارد ایزو ۱۴۰، با عنوان "اندازه‌گیری آکوستیکی ایزولاسیون صوتی در ساختمان‌ها و المان‌های ساختمانی[2]"، از ده بخش تشکیل شده و دارای مباحثی در زمینه اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی نویز هوابرد و نویز ضربه‌ای در ساختمان‌ها و نیازمندی‌های لازم برای تجهیزات مورد استفاده در این اندازه‌گیری‌ها می‌باشد.

بخش‌های ششم و هفتم از این استاندارد، به‌ترتیب با عناوین "اندازه‌گیری آزمایشگاهی ایزولاسیون نویز ضربه‌ای در طبقات ساختمانی[3]" و"اندازه‌گیری میدانی ایزولاسیون نویز ضربه‌ای در طبقات ساختمانی[4]" در این رساله مورد استفاده قرار می‌گیرند[۳] و [۴]. با توجه به اینکه نمودارهای تجربی مورد استفاده در این رساله با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده، از بخش ششم استاندارد ایزو ۱۴۰ به‌عنوان مبنای مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تجربی استفاده شده است.

۱-۷ راه‌کارهای مقابله با نویز ضربه‌ای

پیش از ارائه مدل پیش‌بینی نویز ضربه‌ای، به بررسی راهکارهای صنعتی و تجاری که هم‌اکنون برای مقابله با نویز ضربه‌ای در صنعت ساختمان به کار می‌رود می‌پردازیم. به طور کلی این راهکارها در چهار گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند [۵]:

---

[1] Bodlund
[2] ISO 140: Acoustics Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements.
[3] ISO 140-6: Laboratory Measurements of Impact Sound Insulation of Floors.
[4] ISO 140-7: Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors.

- کف‌پوش نرم
- زیرلایه‌های ارتجاعی
- نصب سقف ارتجاعی
- مستهلک‌کننده‌های ویسکوالاستیک

۱-۷-۱ کف‌پوش نرم

استفاده از کف‌پوش نرم یا ضخیم، یکی از مناسب‌ترین و کارآمدترین راه‌ها برای کاهش نویز ضربه‌ای، به ویژه نویز ناشی از راه رفتن، محسوب می‌شود. فرش با مستهلک کردن ضربه وارد شده عملا جلوی انتقال بخش عمده‌ای از انرژی ضربه را به کف اتاق می‌گیرد. از معایب عمده این روش، می‌توان به کاهش کارایی در فرکانس‌های پایین و عدم امکان استفاده در برخی ساختمان‌ها مانند ادارات و اماکن عمومی اشاره نمود.

۱-۷-۲ طبقات شناور

استفاده از طبقات شناور در ساختمان‌های بتنی و چوبی روش متداولی برای کاهش نویز ضربه‌ای است. این لایه‌ها که معمولا از جنس فایبرگلاس صلب[1]، چوب پنبه[2] ، لاستیک و فوم هستند، مانع رسیدن انرژی به لایه زیرین خود (کف اتاق) می‌شوند و از این طریق نقش خود را به عنوان عایق صوتی بین دو طبقه ایفا می‌کنند. مشابه مورد قبل، این روش در فرکانس های پایین کارایی خود را از دست می‌دهد.

۱-۷-۳ نصب سقف ارتجاعی

کانال‌های ارتجاعی، گیره‌های صوتی و آویزهای سقفی فنری تاثیر بسزایی در کاهش نویز ضربه‌ای دارند. بر خلاف دو روش قبلی که در آنها از طریق جذب انرژی، ایزولاسیون صوتی انجام می‌شد، در این روش با قطع راه ارتباطی بین کف اتاق با سقف طبقه پایینی، ایزولاسیون صورت می‌گیرد. مشابه دو روش ذکر شده، این روش هم در فرکانس‌های بالا کارآمدتر است.

1 Rigid fiberglass
2 Cork