



سازمان جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

مهندسی آکوستیک

(و کاربرد های آن در مهندسی ساختمان، معماری و راه آهن)

تألیف

داود یونساز

استاد تمام دانشگاه علم و صنعت ایران

سامان فرهنگ دوست

دانشجوی دکتری مهندسی سازه دانشگاه بین المللی فلوریدا، آمریکا

عماد پناهی

کارشناس ارشد مهندسی ماشین های ریلی دانشگاه علم و صنعت ایران

سرشناسه:

یونسیان، داود، ۱۳۵۵.

عنوان و نام پدیدآور:

مهندسی آکوستیک (و کاربردهای آن در مهندسی ساختمان، معماری و راه‌آهن) / تألیف داود

مشخصات نشر:

یونسیان، سامان فرهنگ دوست و عماد پناهی

مشخصات ظاهری:

تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی شریف، ۱۳۹۷.

شابک:

۵۵۳ ص: مصور، جدول، نمودار.

وضعیت فهرست‌نویسی:

۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۴۵-۱

یادداشت:

فیبا

موضوع:

کتابنامه: ص. ۵۵۱-۵۵۳.

موضوع:

صوت شناسی — مهندسی

موضوع:

Acoustical Engineering

موضوع:

صوت شناسی ساختمانی

موضوع:

Architectural Acoustics

شناسه افزوده:

فرهنگ دوست، سامان، ۱۳۶۷.

شناسه افزوده:

پناهی، عماد، ۱۳۷۲.

شناسه افزوده:

جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی شریف.

رده‌بندی کنگره:

۱۳۹۷ م ۶۴۴۵-۴۵-۱

رده‌بندی دیویی:

۶۲۰/۳

شماره کتاب شناسی ملی:

۵۵۳۸۳۷۷



سازمان جهاد دانشگاهی ملی سراب

عنوان کتاب: مهندسی آکوستیک (و کاربردهای آن در مهندسی ساختمان، معماری و راه‌آهن)

تألیف: داود یونسیان، سامان فرهنگ‌دوست و عماد پناهی

طراح جلد: سیدحسن کمالی

ناشر: جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: زمستان ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۵۵۰۰۰ ریال

کلیه حقوق برای جهاد دانشگاهی صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۴۵-۱

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۴۵-۴۵-۱

نشانی: تهران، خیابان آزادی، شمال دانشگاه صنعتی شریف، خیابان شهید قاسمی، پلاک ۷۱

تلفن: ۶۶۰۷۵۰۱۱، نمابر: ۶۶۰۷۵۲۵۰ پست الکترونیک: journal@jdsharif.ac.ir

پیش گفتار

این کتاب عمدتاً در برگیرنده مباحث حوزه مهندسی آکوستیک بوده و اطلاعات لازم جهت شناخت مفاهیم و تعاریف مهندسی، شاخص های صوت، پردازش سیگنال های صوتی و روش های اندازه گیری و ارزیابی شرایط آکوستیکی محیط های گوناگون را در بر می گیرد. در تالیف این کتاب سعی شده است تا تجربه سالیان متمادی تدریس درس مهندسی آکوستیک و ارتعاشات در سطوح کارشناسی ارشد و دکتری و همچنین پژوهش های دامنه دار مولفین در این حوزه مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که به مهندسی آکوستیک به عنوان یک حوزه بین رشته ای میان شاخه های گوناگون مهندسی از جمله مکانیک، برق، عمران، معماری و بهداشت حرفه ای به عنوان یک رشته مستقل که پرداخت شده است، خلاء منابع و مراجع فارسی در این حوزه نیز کاملاً مشهود است. در این کتاب با یک رویکرد فیزیکی، سیر پیوسته، ابتدا در فصل اول مبانی لازم برای پردازش سیگنال های صوتی با ذکر مثال های متعدد نرم افزار MATLAB تبیین می گردد. سپس در فصل دوم کلیات و مفاهیم مهندسی آکوستیک با ذکر مثال های کاربردی بیان می شود. آکوستیک یا علم صوت از جمله شاخه های علم فیزیک بوده که از دیرباز توجه بشر را به خود جلب نموده است. صوت به عنوان ابزار اصلی برای ارتباط بشر همواره مورد توجه دانشمندان و مهندسين بوده و تاریخی به قدمت علم فیزیک را به همراه دارد. با توجه به محدوده وسیع کاربرد این علم در زندگی روزمره بشر، شاخه های مختلفی برای علم آکوستیک تعریف شده است. از جمله تقسیم بندی های معتبر در این زمینه می توان به دسته بندی انجمن آکوستیک آمریکا اشاره نمود که دوازده شاخه زیر را برای این حوزه بر شمرده است:

آکوستیک زیر آب، آکوستیک معماری، آکوستیک موسیقی، فیزیک آکوستیک، آکوستیک گفتاری و شنیداری، اثرات روانی و زیست محیطی صدا، کنترل صدا، صدا شناسی حیوانات، آکوستیک تشخیص درمانی و در نهایت مهندسی آکوستیک شاخه های مختلف این دسته بندی را تشکیل می دهند. در فصل سوم به تئوری انتشار امواج آکوستیکی در محیط هوا و تحلیل معادله هلمهولتز در محیط های مختلف آکوستیکی پرداخته می شود. در فصل چهارم ارتباط ریاضی بین ارتعاشات یک سطح مرتعش با صدای منتشر شده از آن بیان می شود. در فصل پنجم کتاب، مدل های پیش بینی صدای سامانه های ریلی به عنوان منبع صدا ارائه می شود که به نوعی مطالب این فصل را می توان در مطالعه صدای دیگر شکل های حمل و نقل نیز استفاده نمود.

فصل ششم کلیات لازم برای ارزیابی زیست محیطی صدای منتشر شده از خطوط راه آهن را بیان می کند. فصل هفتم عوامل موثر در صدای سامانه های ریلی و به تبع روش های حذف و کنترل این منابع را مرور می نماید. فصل هشتم که جنبه عام دارد، به مبانی طراحی موانع صوتی در حریم بزرگراه ها و خطوط راه آهن می پردازد. فصل نهم نیز که جنبه عمومی پیدا می کند، مبانی طراحی اماکن بسته را برای دستیابی به بهترین عملکرد صوتی بیان می دارد. فصل دهم روش ها و استاندارد های اندازه گیری صدا را مرور می نماید و در فصل آخر نرم افزار ها و الگوریتم های مختلف مدل سازی آکوستیکی مورد مطالعه قرار می گیرد.

طبیعی است که نحوه نگارش، مطالب ارائه شده و سلیقه نویسندگان کتاب بخصوص در چاپ اول آن خالی از اشکال نیست و رساله هر دو نه پیشنهاد به آدرس مؤلفین (younesian@iust.ac.ir) ضمن تقدیر در چاپ های بعدی کتاب مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در پایان نویسندگان بر خود فرض می دانند تا پس از سپاس از درگاه ایزد منان، مراتب تشکر و سپاسگزاری از کلیه معلمین و اساتید خود را در طول دوران تحصیل ابراز نمایند. همچنین لازم است تا مراتب امتنان صمیمانه از کلیه دانشجویانی که با ذهن پویای خود در کلاس های درس و دوره های تحصیلات تکمیلی ابزار ایشان را پیش رویشان را فراهم می آورند، اظهار گردد. در پایان از آقایان مهندس علی حسینخانی و مهندس علیرضا سلیمانی خوشرو جهت ویرایش دقیق کتاب تقدیر به عمل می آید. همچنین مؤلفین مراتب تقدیر خود را از انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی شریف که پیشرو در گسترش و نشر کتب علمی و دانشگاهی می باشد، ابراز می نمایند. لازم به ذکر است که از آقایان دکتر حمید مهدی قلی و مهندس پیروز مالکی بابت داوری و صلاحیت علمی کتاب مراتب تقدیر و سپاس به عمل می آید.

مؤلفین

داود یونسیان

سامان فرهنگ دوست

عماد پناهی

فهرست مطالب

۱۹	فصل اول
۱۹	مقدمه ای بر پردازش سیگنال
۲۰	۱-۱ تعریف سیگنال
۲۲	۲-۱ انواع سیگنال
۲۳	۱-۲-۱ نمونه هایی از سیگنال ها
۲۷	۳-۱ پردازش سیگنال
۲۹	۴-۱ نسبت سیگنال به نویز (SNR)
۳۰	۵-۱ ویژگی های سیگنال
۳۰	۱-۵-۱ متوسط سیگنال
۳۱	۲-۵-۱ انحراف معیار سیگنال
۳۲	۳-۵-۱ ضرب تغییرات
۳۲	۴-۵-۱ ریشه میانگین مجذور یا مقدار موثر سیگنال
۳۴	۵-۵-۱ اندازه مطلق و نسبی سیگنال
۳۴	۶-۱ تابع چگالی احتمال برای سیگنال معین
۳۸	۷-۱ تابع چگالی احتمال برای سیگنال تصادفی
۴۰	۸-۱ توزیع گوسی
۴۱	۹-۱ تابع توزیع احتمال
۴۲	۱۰-۱ ارتباط بین تابع توزیع احتمال و تابع چگالی احتمال
۴۲	۱۱-۱ ارتباط متوسط و واریانس سیگنال با تابع چگالی احتمال
۴۴	۱۲-۱ متوسط آماری سیگنال
۴۶	۱۳-۱ محاسبه ی پارامترهای مختلف یک سیگنال مرتبه ی N ام
۴۹	۱۴-۱ محتوای فرکانسی سیگنال
۴۹	۱-۱۴-۱ تبدیل فوریه گسسته (DFT)
۵۱	۲-۱۴-۱ نمونه برداری
۵۱	۳-۱۴-۱ قانون شانون (Shannon)
۵۲	۴-۱۴-۱ فرکانس نایکوئیست
۵۲	۵-۱۴-۱ انعکاس آینه ای

۵۵	۶-۱۴-۱ خطاهای روش DFT
۵۶	۷-۱۴-۱ تبدیل فوریه سریع (FFT)
۵۹	۱۵-۱ عرض باند فرکانسی
۶۱	۱۶-۱ مثال هایی در نرم افزار متلب
۷۷	فصل دوم
۷۷	کلیات و مفاهیم مهندسی آکوستیک
۷۸	۱-۲ امواج صوتی
۸۷	۲-۲ کمیات صوت
۸۷	۱-۲-۲ فشار صوت (p)
۸۷	۲-۲-۲ توان صوت (W)
۸۸	۳-۲-۲ شدت صوت (I)
۸۸	۳-۲ کمیات لگاریتمی
۹۹	۱-۳-۲ تراز
۹۹	۲-۳-۲ تراز توان صوت (SWL)
۹۰	۳-۳-۲ تراز شدت صوت (SIL)
۹۰	۴-۳-۲ تراز فشار صوت (SPL)
۹۱	۴-۲ جمع ترازهای صوت
۹۴	۵-۲ تفاضل تراز ها
۹۵	۶-۲ میانگین تراز صوت
۹۶	۷-۲ میانگین تراز فشار صوت به صورت تقریبی
۹۷	۸-۲ تراز معادل صوت
۹۷	۹-۲ اکتاو باند فرکانس
۱۰۶	۱۰-۲ بلندی صوت
۱۱۰	۱۱-۲ تراز صوت قابل درک
۱۱۳	۱۲-۲ شبکه توزین فرکانس
۱۱۶	۱۳-۲ شبکه سرعت پاسخ دستگاه
۱۱۶	۱-۱۳-۲ دستگاه تراز سنج صوت

۱۱۷.....	۲-۱۳-۲ کالیبراسیون دستگاه سنجش صوت.....
۱۱۸.....	۲-۱۴ میکروفن ها.....
۱۱۸.....	۲-۱۴-۱ انواع میکروفن ها.....
۱۲۵.....	۲-۱۴-۱ الگوی قطبی میکروفن ها.....
۱۳۰.....	۲-۱۴-۲ پاسخ فرکانسی میکروفن ها.....
۱۳۱.....	۲-۱۴-۳ میکروفن گذاری.....
۱۳۵.....	۲-۱۴-۴ نگهداری میکروفن ها.....
۱۳۶.....	۲-۱۵ بلندگوها.....
۱۳۶.....	۲-۱۵-۱ نحوه عملکرد بلندگو.....
۱۳۷.....	۲-۱۵-۲ اجزای اصلی بلندگو.....
۱۴۱.....	۲-۱۶ دوربین آکوستیک (ACOUSTIC CAMERA).....
۱۴۲.....	۲-۱۷ دیاگرام جهت پذیری.....
۱۴۳.....	۲-۱۸ انتشار صدا در یک محیط بسته.....
۱۴۴.....	۲-۱۹ اثرات موج صوت.....
۱۴۵.....	۲-۱۹-۱ پراش.....
۱۴۶.....	۲-۱۹-۲ تداخل.....
۱۴۶.....	۲-۲۰ زمان باز آوایی (REVERBERATION TIME).....
۱۴۸.....	۲-۲۰-۱ مقادیر استاندارد زمان باز آوایی.....
۱۴۹.....	۲-۲۰-۲ ضرایب جذب متداول.....
۱۴۹.....	۲-۲۰-۳ زمان اولین فرو پاشی (Early Decay Time).....
۱۵۱.....	۲-۲۰-۴ اندازه گیری RT و EDT.....
۱۵۱.....	۲-۲۱ فاصله تأخیر زمانی نخستین (ITDG).....
۱۵۳.....	۲-۲۲ زمان مرکزی (TS).....
۱۵۴.....	۲-۲۲-۱ قدرت صدا (G).....
۱۵۴.....	۲-۲۲-۲ شفافیت صدا (C).....
۱۵۵.....	۲-۲۲-۳ شفافیت گفتار (D).....
۱۵۵.....	۲-۲۲-۴ وضوح گفتار.....
۱۵۵.....	۲-۲۲-۵ پژواک صوت.....

- ۵۵..... ۲-۲۲-۶ نویز پس زمینه.
- ۵۶..... ۲-۲۲-۷ شاخص کاهش صدای یک ماده.
- ۵۶..... ۲-۲۲-۸ قانون جرم.
- ۵۶..... ۲-۲۳-۲ پارامتر تقویت اولیه صدا (ST_{early}).
- ۵۷..... ۲-۲۳-۱ کمترین تغییرات قابل درک (JND).
- ۵۷..... ۲-۲۴-۲ میدان های صدا.
- ۵۸..... ۲-۴-۱، ۱-۴-۱، ۱-۴-۲ میدان آزاد.
- ۵۸..... ۲-۴-۲، ۲-۴-۲ میدان نزدیک.
- ۵۸..... ۲-۲۴-۳ میدان دور.
- ۵۸..... ۲-۲۴-۴ میدان مستقیم.
- ۵۹..... ۲-۲۴-۵ میدان پخش.
- ۵۹..... ۲-۲۴-۶ میدان فعال و واکنشی.
- ۵۹..... ۲-۲۵-۲ پاسخ ضربه.
- ۶۱..... ۲-۲۶-۲ منحنی های توزین سرو صدا.
- ۶۱..... ۲-۲۶-۱ منحنی نرخ صدا (NR).
- ۶۵..... ۲-۲۶-۲ منحنی معیار سرو صدا (NC).
- ۶۹..... ۲-۲۷-۲ اندازه گیری وضوح گفتار.
- ۶۹..... ۲-۲۷-۱ تابع وضوح گفتار.
- ۷۰..... ۲-۲۷-۲ آستانه درک گفتار (SRT).
- ۷۲..... ۲-۲۷-۳ عوامل موثر بر وضوح گفتار.
- ۷۳..... ۲-۲۸-۲ لوله ی امیدانس.
- ۷۴..... ۲-۲۸-۱ روش محاسبه ی ضریب جذب.
- ۷۵..... ۲-۲۹-۲ انواع جاذب صدا.
- ۷۷..... ۲-۲۹-۱ مکانیزم جذب در مواد متخلخل.
- ۷۷..... ۲-۲۹-۲ مکانیزم جذب در جاذب های رزونانسی.
- ۷۷..... ۲-۲۹-۳ انواع جاذب متخلخل.
- ۸۳..... ۲-۲۹-۴ انواع جاذب های رزونانسی.

۱۸۷.....	۳۰-۲ گفتار در انسان
۱۹۰.....	۳۱-۲ رفتار گوش انسان
۱۹۲.....	۳۱-۲ آسیب شنوایی
۱۹۳.....	فصل سوم
۱۹۳.....	تئوری انتشار امواج آکوستیکی در محیط هوا
۱۹۴.....	۱-۳ تئوری انتشار امواج آکوستیکی در محیط
۱۹۴.....	۲-۳ استخراج معادله انتشار موج آکوستیکی یک بعدی در دستگاه کارترین
۱۹۶.....	۲-۳ حل معادله انتشار موج آکوستیکی یک بعدی در دستگاه کارترین
۲۰۱.....	۳-۳ استخراج معادله انتشار موج آکوستیکی یک بعدی در دستگاه استوانه ای
۲۰۴.....	۴-۳ استخراج معادله انتشار موج آکوستیکی یک بعدی در دستگاه کروی
۲۰۸.....	۵-۳ تحلیل مودال آکوستیکی محفظه سه بعدی مکعبی مستطیلی
۲۱۲.....	۶-۳ تحلیل مودال آکوستیکی محفظه سه بعدی استوانه ای
۲۱۷.....	۷-۳ تحلیل مودال آکوستیکی محفظه سه بعدی کروی
۲۲۳.....	۸-۳ محاسبه فشار آکوستیکی داخل محفظه سه بعدی مکعبی مستطیلی در اثر تحریک توسط منبع خارجی
۲۲۵.....	۹-۳ میدان های صوتی انتشار یافته از منابع ساده
۲۲۵.....	۱-۹-۳ انتشار صوت از یک منبع نقطه ای تک قطبی
۲۲۶.....	۲-۹-۳ انتشار صوت از یک منبع نقطه ای دو قطبی
۲۲۷.....	۳-۹-۳ انتشار صوت از یک منبع نقطه ای چهار قطبی عرضی
۲۲۹.....	۴-۹-۳ انتشار صوت از یک منبع نقطه ای چهار قطبی خطی
۲۳۱.....	۱۰-۳ محاسبه میدان فشار آکوستیکی در اطراف منبع نقطه ای تک قطبی و دو قطبی
۲۳۶.....	۱۱-۳ محاسبه میدان فشار آکوستیکی در اطراف منبع چهار قطبی نقطه ای عرضی و طولی
۲۴۱.....	۱۲-۳ تحلیل تجربی مودال آکوستیکی کابین خودرو
۲۴۷.....	فصل چهارم
۲۴۷.....	تئوری حاکم بر صدای ناشی از ارتعاش
۲۴۸.....	۱-۴ اهمیت صدای ناشی از ارتعاش
۲۴۹.....	۲-۴ معرفی معادلات حاکم بر منبع ساده حجمی
۲۵۲.....	۳-۴ انتشار صوت از طریق یک جفت منبع سطحی
۲۵۵.....	۴-۴ تیغه پیستون

۲۵۷	۵-۴ انتشار صوت توسط مود های موجی صفحات مرتعش
۲۶۳	۶-۴ فشار آکوستیکی ناشی از ارتعاشات ورق حلقوی همراه با جاذب مکانیکی
۲۶۴	۱-۶-۴ معادله دیفرانسیل حاکم بر مسئله و حل آن تحت نیروی هارمونیک
۲۶۶	۲-۶-۴ معادله دیفرانسیل حاکم و حل آن تحت نیروی متحرک
۲۶۹	۷-۴ معکوس گیری عددی لا پلاس
۲۶۹	۸-۴ میدان آکوستیکی ورق حلقوی شکل
۲۷۴	۱-۸-۴ مایع عددی ورق فولادی با جاذب، تحت بار گذاری هارمونیک
۲۸۰	۲-۸-۴ مایع عددی ورق فولادی با جاذب، تحت بار گذاری متحرک
۲۸۲	۹-۴ تحلیل میدان آکوستیک در اطراف پل بر اثر عبور بار متحرک
۲۸۹	فصل پنجم
۲۸۹	مدل های پیش بینی صد و آه زن در راه آهن
۲۹۰	۱-۵ اهمیت سرو صدا در راه آهن
۲۹۱	۲-۵ مدل پیش بینی نویز راه آهن در کشورهای مختلف (DOT 1978)
۲۹۲	۱-۲-۵ محاسبه ی صدای ناشی از عبور واگن
۲۹۳	۲-۲-۵ محاسبه ی صدای ناشی از عبور یک لوکوموتیو
۲۹۴	۳-۲-۵ محاسبه میزان صدای کل ناشی از عبور یک قطار
۲۹۷	۳-۵ مدل پیش بینی نویز راه آهن بر اساس مدل کشور فرانسه (NCF)
۲۹۸	۱-۳-۵ مراحل محاسبه
۲۹۹	۴-۵ مدل پیش بینی نویز راه آهن بر اساس کشور انگلستان (UK DOT 1995)
۳۰۸	۵-۵ مدل پیش بینی نویز راه آهن بر اساس کشور آمریکا (DOT-FRA 2012)
۳۱۱	۱-۵-۵ شرایط عملیاتی
۳۱۲	۲-۵-۵ خصوصیات انتشار
۳۱۴	۶-۵ مدل پیش بینی نویز قطارهای شهری
۳۱۷	فصل ششم
۳۱۷	استاندارد های محیط زیستی صدا در راه آهن
۳۱۸	۱-۶ اهمیت استاندارد های محیط زیستی در راه آهن
۳۱۸	۲-۶ استاندارد مربوط به صدای منتشر شده از واگن به محیط اطراف

۳۱۹.....	۶-۲-۱ استاندارد مربوط به صدای منتشر شده از واگن های باری.....
۳۱۹.....	۶-۲-۲ حدود مجاز صدای ناشی از عبور و مرور واگن قطار های باری.....
۳۲۰.....	۶-۲-۳ حدود مجاز صدای ناشی از وضعیت سکون واگن قطار های باری.....
۳۲۰.....	۶-۲-۴ استاندارد مربوط به صدای منتشر شده از لوکوموتیو ها و قطار های مسافری.....
۳۲۱.....	۶-۲-۵ حدود مجاز صدای ناشی از وضعیت سکون لوکوموتیو ها و قطار های چند واحدی.....
۳۲۲.....	۶-۲-۶ حدود مجاز صدای ناشی از شروع به حرکت لوکوموتیو ها و قطار های چند واحدی.....
۳۲۲.....	۶-۲-۷ حدود مجاز صدای ناشی از عبور و مرور لوکوموتیو ها و قطار های چند واحدی.....
۳۲۳.....	۶-۳ الزامات مربوط به صدا در ایستگاه راه آهن.....
۳۲۴.....	۶-۴ استاندارد مربوط به داخل کابین لوکوموتیو و واگن.....
۳۲۵.....	۶-۴-۱ استاندارد مربوط به کشتا فعال نیز در کابین لوکوموتیو.....
۳۲۵.....	۶-۴-۲ استاندارد مربوط به صدای داخل کابین واگن.....
۳۲۹.....	۶-۵ استاندارد مربوط به آسایش ساکنین در محل عبور و مرور قطار ها.....
۳۳۰.....	۶-۵-۱ استاندارد مربوط به مقادیر برانگیزنده صدای داخل شده توسط هوا در راه آهن.....
۳۳۵.....	۶-۵-۲ استاندارد مربوط به مقادیر برانگیزنده صدای منتقل شده از طریق زمین در راه آهن.....
۳۳۸.....	۶-۶ استاندارد های عمومی محیط زیستی صدا.....
۳۴۳.....	فصل هفتم
۳۴۳.....	عوامل موثر در انتشار نویز راه آهن و روش های کاهش نویز ریلی
۳۴۴.....	۷-۱ عوامل موثر در انتشار نویز ریلی.....
۳۴۵.....	۷-۱-۱ نویز غلتشی.....
۳۵۲.....	۷-۱-۲ دینامیک خط.....
۳۵۷.....	۷-۱-۳ نویز ضربه ای.....
۳۵۷.....	۷-۱-۴ جیغ چرخ در قوس.....
۳۵۸.....	۷-۱-۵ نویز آیرودینامیکی.....
۳۶۰.....	۷-۲ اهداف بلند مدت عمومی ۲۰۳۰ انجمن بین المللی راه آهن (UIC).....
۳۶۱.....	۷-۲-۱ برنامه ی کاهش نویز در کشور انگلستان.....
۳۶۲.....	۷-۳ تاثیر زبری و ناهمواری های چرخ بر نویز غلتشی.....
۳۶۴.....	۷-۳-۱ مقادیر مجاز زبری چرخ بر اساس استاندارد TSI.....
۳۶۴.....	۷-۳-۲ انواع ترمز های کشکی.....

- ۳-۳-۷ هزینه‌ی تعویض و نگهداری ترمز های کفشکی جهت بهبود ترمز گیری..... ۶۵
- ۴-۳-۷ انواع دیگر از ترمز های کفشکی برای واگن های باری..... ۶۷
- ۵-۳-۷ برنامه های عملی UIC جهت بهبود سیستم ترمز قطار..... ۶۸
- ۶-۳-۷ روش کاهش زبری..... ۶۹
- ۴-۷ تاثیر زبری و ناهمواری های ریل بر نویز غلتشی..... ۷۲
- ۱-۴-۷ مقادیر مجاز زبری برای ریل بر اساس استانداردهای ISO و TSI..... ۷۴
- ۴-۷ جلگه‌گیری از ایجاد ناهمواری و موج بر روی سطح ریل..... ۷۵
- ۵-۷ اثر تپس چرخ و ریل بر نویز غلتشی..... ۷۶
- ۱-۵-۷ روابط مربوط به تماس هرترز حاکم بر اندرکنش چرخ و ریل..... ۷۶
- ۲-۵-۷ تغییرات در کنش چرخ و ریل..... ۷۹
- ۶-۷ روش های کاهش نویز ریل..... ۸۰
- ۱-۶-۷ بهینه کردن پروفیل چرخ..... ۸۰
- ۲-۶-۷ افزایش میرایی چرخ..... ۸۶
- ۳-۶-۷ چرخ های ساخته شده از مواد چندکانه..... ۹۲
- ۴-۶-۷ چرخ های ارتجاعی..... ۹۳
- ۵-۶-۷ کاهش انتشار صدا از چرخ..... ۹۴
- ۶-۶-۷ نویز ناشی از خط را آهن..... ۹۶
- ۷-۶-۷ عملیات نصب میراکننده ریل..... ۹۸
- ۸-۶-۷ بهینه کردن پروفیل ریل..... ۱۰۳
- ۹-۶-۷ موبیلیتی خط..... ۱۰۴
- ۱۰-۶-۷ خط بدون بالاست..... ۱۰۵
- ۱۱-۶-۷ حفاظ صوتی..... ۱۰۷
- ۷-۷ نتایج مطالعاتی اقدامات پیشگیرانه نویز ریلی..... ۱۰۸

فصل هشتم..... ۱۳

طراحی موانع صوتی..... ۱۳

- ۱-۸ تنوری موانع صوتی..... ۱۴
- ۲-۸ موانع صوتی..... ۱۶

۴۱۷.....	۳-۸ روش محاسباتی تاثیر موانع صوتی.....
۴۱۸.....	۴-۸ دیواره های صوتی در فضای باز.....
۴۱۹.....	۴-۸-۱ دیواره های صوتی نازک.....
۴۲۰.....	۴-۸-۲ تاثیر باد و درجه حرارت.....
۴۲۱.....	۴-۸-۳ دیواره صوتی ضخیم.....
۴۲۲.....	۴-۸-۴ دیواره صوتی با طول محدود.....
۴۲۲.....	۴-۸-۵ اثر سطوح جذب در دیواره های صوتی.....
۴۲۲.....	۴-۸-۶ خاکریزها.....
۴۲۳.....	۵-۸ شیشه سازی افت صوت ناشی از مانع صوتی با استفاده از روش المان مرزی.....
۴۲۸.....	۶-۸ محاسبات مربوط به کاهش تراز صوت در اثر طراحی مانع صوتی.....
۴۲۹.....	۶-۸-۱ اثر تغییر فاصله منبع بر میراث کاهش تراز صوت در مانع ۲ متری.....
۴۳۷.....	۶-۸-۲ اثر تغییر فرکانس در میزان کاهش تراز صوت در مانعی با ارتفاع ۲ متر.....
۴۳۸.....	۷-۸ محاسبات مربوط به کاهش تراز صوت در اثر طراحی مانع صوتی مایل.....
۴۴۲.....	۷-۸-۱ محاسبه زاویه بهینه دیواره مانع.....
۴۴۴.....	۷-۸-۲ اندازه گیری نویز قطار و تعیین زاویه بهینه دیواره.....

فصل نهم.....

طراحی آکوستیکی اماکن.....

۴۵۰.....	۱-۹ اهمیت طراحی آکوستیکی اماکن.....
۴۵۲.....	۲-۹ پدیده جذب صوت.....
۴۵۵.....	۳-۹ پدیده افت انتقال صوت.....
۴۵۵.....	۳-۹-۱ ضربه انتقال متوسط.....
۴۵۷.....	۳-۹-۲ ارتباط بین جذب صدا و افت انتقال صدا.....
۴۵۸.....	۴-۹ طراحی آکوستیکی اماکن با فرض قرار گرفتن گیرنده و منبع در داخل آن.....
۴۶۳.....	۴-۹-۱ روش زمان باز آوایی و حجم اتاق.....
۴۶۶.....	۴-۹-۲ روش نصب سطح مؤثر جذب.....
۴۶۶.....	۵-۹ طراحی آکوستیکی اماکن با فرض قرار گرفتن گیرنده در داخل مکان بسته و منبع صوت بیرون از آن.....
۴۶۸.....	۶-۹ طراحی آکوستیکی اماکن با فرض قرار گرفتن منبع در داخل مکان بسته و گیرنده بیرون از آن.....

۷۱	فصل دهم
۷۱	روش های اندازه گیری آکوستیکی
۷۲	۱-۱۰ کمیت های اندازه گیری صدای عبور قطار
۷۳	۱-۱-۱۰ مشخصات قطار
۷۳	۲-۱-۱۰ بالاترین سطح تراز صدا
۷۳	۳-۱-۱۰ سطح تراز مواجهه صدا (SEL)
۷۴	۱-۱۰ سطح تماس عبوری (TEL)
۷۴	۱-۱۰ سطح زیری
۷۵	۶-۱-۱۰ سطح تراز فشار صوت
۷۵	۷-۱-۱۰ سطح فشار صوت اندازه گیری شده
۷۵	۸-۱-۱۰ بیشترین سطح فشار صوت اندازه گیری شده
۷۵	۹-۱-۱۰ سطح فشار صوت پیرشته دادن اندازه گیری شده
۷۶	۱۰-۱-۱۰ سطح فشار صوت پیوسته معادل کوتاه مدت اندازه گیری شده
۷۶	۱۱-۱-۱۰ سطح فشار صوت پیوسته معادل اندازه گیری شده در طول زمان عبور قطار
۷۷	۱۲-۱-۱۰ سطح فشار صوت معادل ضربه ای اندازه گیری شده
۷۷	۱۳-۱-۱۰ صدا با ویژگی ضربه ای
۷۸	۱۴-۱-۱۰ مدت زمان اندازه گیری T و زمان عبور قطار
۷۸	۲-۱۰ استانداردهای اندازه گیری آکوستیکی قطار
۷۸	۱-۲-۱۰ استاندارد ISO 3095-1975
۷۹	۲-۲-۱۰ استاندارد ISO 3095-2005
۷۹	۳-۲-۱۰ استاندارد TSI ۲۰۰۲ برای قطار های پر سرعت
۷۹	۴-۲-۱۰ استاندارد TSI ۲۰۰۴ برای وسایل حمل و نقل ریلی متعارف
۸۰	۵-۲-۱۰ پروژه NOEMIE
۸۱	۶-۲-۱۰ استاندارد های کاربردی در TSI برای جنبه های مختلف صدای وسایل حمل و نقل ریلی متعارف
۸۴	۳-۱۰ معرفی استاندارد ISO 3381:2005 در اندازه گیری آکوستیکی قطار
۸۴	۱-۳-۱۰ مراجع اصلی
۸۵	۲-۳-۱۰ کمیت های اندازه گیری

۴۸۵	۳-۳-۱۰ تجهیزات اندازه گیری
۴۸۶	۴-۳-۱۰ شرایط محیط پیرامون آزمایش
۴۸۷	۵-۳-۱۰ محل های قرار گیری میکروفن
۴۸۹	۶-۳-۱۰ شرایط وسیله نقلیه ریلی
۴۹۰	۷-۳-۱۰ شرایط خط راه آهن
۴۹۱	۸-۳-۱۰ روش انجام آزمایش
۴۹۳	۹-۳-۱۰ گزارش آزمایش
۴۹۴	۴-۱۰ معرفی استاندارد EN ISO 3095:20۰۵ در اندازه گیری آکوستیکی قطار
۴۹۴	۱-۴-۱۰ مراجع اصل
۴۹۵	۲-۴-۱۰ کمیت های اندازه گیری
۴۹۶	۳-۴-۱۰ تجهیزات اندازه گیری
۴۹۶	۴-۴-۱۰ شرایط محیط پیرامون آزمایش
۴۹۷	۲-۴-۴-۱۰ شرایط آب و هوایی
۴۹۸	۵-۴-۱۰ محل های قرار گیری میکروفن
۴۹۹	۶-۴-۱۰ شرایط وسیله نقلیه ریلی
۵۰۰	۷-۴-۱۰ شرایط خط راه آهن
۵۰۱	۸-۴-۱۰ روش انجام آزمایش
۵۰۴	۹-۴-۱۰ گزارش آزمایش
۵۰۷	فصل یازدهم
۵۰۷	روش های مدل سازی آکوستیکی
۵۰۸	۱-۱۱ مدل سازی آکوستیکی
۵۱۰	۲-۱۱ روش های مبتنی بر آکوستیک هندسی
۵۱۲	۱-۲-۱۱ روش ردیابی اشعه
۵۱۳	۲-۲-۱۱ روش اتصالات ناحیه ای
۵۱۴	۳-۲-۱۱ روش منبع تصویر
۵۱۷	۴-۲-۱۱ مدل های ترکیبی
۵۱۸	۵-۲-۱۱ روش ردیابی مخروطی یا هرمی
۵۱۹	۶-۲-۱۱ روش ردیابی ذرات

۲۲.....	۷-۲-۱۱ نرم افزار های آکوستیک هندسی.....
۲۳.....	۳-۱۱ روش های تجربی و آماری.....
۲۴.....	۱-۳-۱۱ تئوری تحلیل انرژی آماری (SEA).....
۲۴.....	۲-۳-۱۱ فرضیات روش انرژی آماری.....
۲۵.....	۳-۳-۱۱ مزیت های روش SEA.....
۲۵.....	۴-۳-۱۱ معادلات روش تحلیل انرژی آماری.....
۳۰.....	۳-۱۱ کاربردهای روش تحلیل انرژی آماری.....
۳۳.....	۳-۳-۱۱ نرم افزار SEA.....
۳۳.....	۴-۱۱ روش های عددی بر مبنای.....
۳۵.....	۱-۴-۱۱ روش المان محدود (FEM).....
۳۶.....	۲-۴-۱۱ روش تحلیل المان محدود آکوستیک.....
۳۸.....	۳-۴-۱۱ روش المان مرزی (BEM).....
۴۰.....	۴-۴-۱۱ نرم افزار های المان محدود.....
۴۳.....	۵-۴-۱۱ نرم افزار های المان مرزی.....
۴۵.....	پیوست.....
۵۱.....	مراجع.....