



انتشارات دانشگاه تهران
۳۳۵۰
چاپ سوم

مقدمه‌ای بر

آهوستیک



تألیف: پروفسور هاینریش کوتروف

ترجمه: دکتر امیر مسعود عباسی





شماره مسلسل ۹۲۱۷

شماره ۳۲۵۰

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	کوتروف، هایتریش، ۱۹۳۰ - م.
عنوان و نام پدیدآور	مقدمه‌ای بر آکوستیک / [نویسنده هایتریش کوتروف] : ترجمه امیرمسعود عباسی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۴۱۰ ص: مصور.
فروست	انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره ۳۲۵۰.
شابک	978-964-03-6239-6
وضعیت فهرست‌نویسی	قیبا.
یادداشت	چاپ سوم.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	نمایه.
موضوع	صوت.
موضوع	صوت‌شناسی - مهندسی.
شناسه افزوده	عباسی، امیرمسعود، ۱۳۳۶ - مترجم.
شناسه افزوده	دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات.
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۷ م ۷ ک ۹ / ۱۵ / QC ۲۲۵
رده‌بندی دیویی	۶۲۰/۲ -
شماره کتابشناسی ملی	۲۵۹۲۳۹۱

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

عنوان: مقدمه‌ای بر آکوستیک

تألیف: هایتریش کوتروف

ترجمه: دکتر امیرمسعود عباسی

نوبت چاپ: سوم

تاریخ انتشار: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

ISBN: 978-964-03-6239-6



9 789640 362396

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجم است»

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

فهرست مطالب

مقدمه مترجم.....	ر
فصل اول - مقدمه	۱
۱-۱ صدا چیست؟.....	۱
۱-۲ آکوستیک چیست؟.....	۴
فصل دوم - نکته‌هایی در باب ارتعاشات مکانیکی	۷
۲-۱ چند مثال.....	۷
۲-۲ نمایش مختلط ارتعاشات هارمونیک.....	۱۰
۲-۳ زنش.....	۱۱
۲-۴ ارتعاشات واداشته، امیدانس.....	۱۲
۲-۵ تشدید.....	۱۳
۲-۶ ارتعاشات آزاد یک تشدیدکننده ساده.....	۱۶
۲-۷ تشابهات الکترومکانیکی.....	۱۷
۲-۸ توان.....	۲۰
۲-۹ آنالیز فوریه.....	۲۱
۲-۱۰ تابع انتقال و پاسخ پالس.....	۲۶
۲-۱۱ نکته‌ای در مورد دستگاه‌های غیرخطی.....	۲۸
فصل سوم - متغیرهای آکوستیکی و روابط اساسی	۳۱
۳-۱ متغیرهای آکوستیکی.....	۳۱
۳-۲ روابط اساسی در آکوستیک.....	۳۳
۳-۳ معادلات موج.....	۳۸
۳-۴ شدت و چگالی انرژی امواج صوتی در سیالات.....	۴۰
۳-۵ تراز فشار صوت.....	۴۲
فصل چهارم - امواج تخت، تضعیف	۴۵
۴-۱ حل معادله موج.....	۴۵

ج □ مقدمه‌ای بر آکوستیک

- ۴-۲ امواج هارمونیک ۴۸
- ۴-۳ نکاتی در مورد سرعت صوت ۵۰
- ۴-۴ تضعیف صوت ۵۱
- ۴-۵ آثار غیرخطی ۵۹

فصل پنجم - موج کروی و تابش صوتی ۶۳

- ۵-۱ حل معادله موج ۶۳
- ۵-۲ چشمه نقطه‌ای ۶۴
- ۵-۳ اثر داپلر ۶۷
- ۵-۴ ضریب جهت داری و مقاومت تابشی ۶۹
- ۵-۵ دو قطبی ۷۱
- ۵-۶ آرایه خطی ۷۳
- ۵-۷ چشمه کروی ۷۶
- ۵-۸ پیستون در یک مرز تخت ۷۸

فصل ششم - بازتاب و شکست ۸۵

- ۶-۱ زوایای بازتاب و شکست ۸۵
- ۶-۲ انتشار صوت در جو ۸۷
- ۶-۳ ضریب بازتاب و امیدانس دیوار ۸۹
- ۶-۴ ضریب جذب ۹۲
- ۶-۵ امواج ایستا ۹۴
- ۶-۶ جذب صوت توسط دیواره‌ها و پوشش‌ها ۹۵

فصل هفتم - پراش و پراکندگی ۱۰۵

- ۷-۱ فرمولبندی دقیق مسایل پراش ۱۰۷
- ۷-۲ پراش از یک کره صلب ۱۰۸
- ۷-۳ عبور صوت از شکاف‌ها ۱۱۰
- ۷-۴ اصل بایننه ۱۱۷
- ۷-۵ پراکندگی چندباره، پراکندگی از سطوح زبر ۱۱۸

فصل هشتم - انتقال صوت در لوله‌ها و بوق‌ها ۱۲۳

- ۸-۱ تضعیف صوت در لوله‌ها ۱۲۳

فهرست مطالب □ ح

۸-۲	روابط اساسی خطوط انتقال	۱۲۵
۸-۳	لوله‌های با گسستگی در سطح مقطع	۱۲۷
۸-۴	لوله‌های با سطح مقطع متغیر پیوسته (بوق‌ها)	۱۳۳
۸-۵	انواع موج از مرتبه‌های بالاتر	۱۳۹
۸-۶	پاشندگی	۱۴۴

فصل نهم - صوت در فضاهای بسته

۹-۱	مدهای طبیعی در فضای یک- بعدی	۱۴۷
۹-۲	مدهای طبیعی در اتاق مکعب مستطیل با دیوارهای صلب	۱۴۹
۹-۳	مدهای طبیعی در کاواک‌های استوانه‌ای و کروی	۱۵۳
۹-۴	ارتعاشات واداشته در فضای بسته تک- بعدی	۱۵۴
۹-۵	ارتعاشات واداشته در فضاهای بسته با هر شکل	۱۵۷
۹-۶	ارتعاشات آزاد	۱۶۰
۹-۷	ویژگیهای آماری تابع انتقال	۱۶۳

فصل دهم - امواج صوتی در جامدات همسانگرد

۱۰-۱	امواج صوتی در جامدات بدون مرز	۱۶۷
۱۰-۲	بازتاب و شکست، موج رابلی	۱۷۱
۱۰-۳	امواج در صفحه‌ها و میله‌ها	۱۷۳

فصل یازدهم - موسیقی و کلام

۱۱-۱	تن‌های ساده و پیچیده ، نویز	۱۸۵
۱۱-۲	زیروبم بودن ، فواصل و گام‌ها	۱۸۷
۱۱-۳	نکته کلی در عمل ادوات موسیقی	۱۸۹
۱۱-۴	سازهای زهی	۱۹۰
۱۱-۵	سازهای بادی	۱۹۶
۱۱-۶	صدای انسان	۲۰۰

فصل دوازدهم - شنوایی انسان

۱۲-۱	آناتومی و عملکرد گوش	۲۰۶
۱۲-۲	زیروبم از دیدگاه آکوستیک روانی	۲۱۱
۱۲-۳	آستانه شنیدن و بهنه ادراک شنیداری	۲۱۳

خ □ مقدمه‌ای بر آکوستیک

- ۲۱۵ ۱۲-۴ تراز بلندی و بلندی، باندهای فرکانسی بحرانی
- ۲۱۹ ۱۲-۵ استتار شنیداری
- ۲۲۰ ۱۲-۶ اندازه‌گیری بلندی
- ۲۲۲ ۱۲-۷ شنوایی فضایی

۲۲۷ **فصل سیزدهم - آکوستیک اتاق**

- ۲۲۸ ۱۳-۱ آکوستیک اتاق هندسی
- ۲۳۰ ۱۳-۲ پاسخ پالس یک اتاق
- ۲۳۲ ۱۳-۳ میدان صوتی پخشیده
- ۲۳۵ ۱۳-۴ چگالی انرژی حالت ایستا و بازآوایش
- ۲۳۸ ۱۳-۵ جذب صدا
- ۲۴۳ ۱۳-۶ آکوستیک سالن‌های سخنرانی
- ۲۴۵ ۱۳-۷ اتاق‌های ویژه برای اندازه‌گیری‌های آکوستیکی

۲۴۹ **فصل چهاردهم - آکوستیک ساختمان**

- ۲۵۰ ۱۴-۱ توصیف و اندازه‌گیری عایق‌کاری صدای هوابرد
- ۲۵۲ ۱۴-۲ عایق‌کاری صدای هوابرد جدارهای مرکب
- ۲۵۴ ۱۴-۳ عایق‌کاری صدای هوابرد جدارهای تک-لایه
- ۲۵۹ ۱۴-۴ عایق‌کاری صدای هوابرد جدارهای دو-لایه
- ۲۶۴ ۱۴-۵ عایق‌کاری صداهای سازه‌ای

۲۷۱ **فصل پانزدهم - مبانی کنترل نویز**

- ۲۷۲ ۱۵-۱ معیارهای نویز
- ۲۷۳ ۱۵-۲ مکانیزم‌های ساده ایجاد نویز
- ۲۷۷ ۱۵-۳ کنترل اولیه نویز
- ۲۸۱ ۱۵-۴ کنترل ثانوی نویز
- ۲۹۰ ۱۵-۵ حفاظت شنوایی فردی

۲۹۳ **فصل شانزدهم - صوت زیر آب و فراصوت**

- ۲۹۳ ۱۶-۱ آشکارسازی آکوستیکی و تعیین موقعیت اجسام (سونار)
- ۲۹۴ ۱۶-۲ انتشار صوت در آب دریا
- ۲۹۶ ۱۶-۳ شدت پژواک‌ها

فهرست مطالب □ د

۲۹۷	۱۶-۴ نويز محیط، بازآوایش
۲۹۹	۱۶-۵ آرایه مبدل ها
۳۰۱	۱۶-۶ نکات کلی در مورد فراصوت
۳۰۱	۱۶-۷ تولید و آشکارسازی فراصوت
۳۰۳	۱۶-۸ کاربردهای تشخیصی فراصوت
۳۰۷	۱۶-۹ کاربردهای فراصوت پُرسدند
۳۱۰	۱۶-۱۰ تولید فراصوت با فرکانس های بالا و بالاترین آن

فصل هفدهم - مبدل های الکتروآکوستیکی ۳۱۵

۳۱۶	۱۷-۱ مبدل پیزوالکتریکی
۳۲۰	۱۷-۲ مبدل الکترواستاتیکی
۳۲۲	۱۷-۳ مبدل دینامیکی
۳۲۵	۱۷-۴ مبدل مغناطیسی
۳۲۷	۱۷-۵ مبدل مغناطوتنشی
۳۲۸	۱۷-۶ ضریب کوپلاژ
۳۳۰	۱۷-۷ معادلات دو-درگاهی و روابط متقابل

فصل هیجدهم - میکروفن ها ۳۳۳

۳۳۳	۱۸-۱ اصول میکروفن ها برای صدای هوا برد
۳۳۶	۱۸-۲ میکروفن کندانسوری
۳۳۹	۱۸-۳ میکروفن های پیزوالکتریکی
۳۴۱	۱۸-۴ میکروفن های دینامیکی
۳۴۳	۱۸-۵ میکروفن کرنی
۳۴۳	۱۸-۶ جهت دار بودن میکروفن
۳۴۷	۱۸-۷ هیدروفن ها
۳۴۸	۱۸-۸ پیکاپ های ارتعاش
۳۵۰	۱۸-۹ کالیبراسیون میکروفن

فصل نوزدهم - بلندگوها و سایر منابع صوتی الکتروآکوستیکی ۳۵۳

۳۵۴	۱۹-۱ بلندگوی دینامیکی
۳۵۷	۱۹-۲ بلندگوی الکترواستاتیکی یا کندانسوری
۳۵۹	۱۹-۳ بلندگوی مغناطیسی

ذ □ مقدمه‌ای بر آکوستیک

- ۳۵۹ ۱۹-۴ اصلاح بازده بلندگو
- ۳۶۵ ۱۹-۵ جهت‌داری بلندگو
- ۳۶۶ ۱۹-۶ ایرفن‌ها
- ۳۶۸ ۱۹-۷ فرستنده‌های صوتی برای صوت آب‌برد و فراصوت

فصل بیستم - دستگاه‌های الکتروآکوستیکی ۳۷۳

- ۳۷۴ ۲۰-۱ استریوفونی
- ۳۷۹ ۲۰-۲ ضبط صدا
- ۳۸۷ ۲۰-۳ دستگاه‌های تقویت صدا

منابع ۳۹۵

نمایه ۳۹۷

فصل اول

مقدمه

صدا، از هر نوع آن در تمام طول زندگی همراه همیشگی ماست. بامدادان زنگ ساعت با صدایی کم و بیش جلب کننده به خواب ما پایان داده و پس از آن انواع صداهای گوناگون را در طول روز می شنویم. در محل های پرجمعیت که بسیاری از ما در آنها سکونت داریم اغلب صداها توسط افراد به صورت عمدی و یا در نتیجه فعالیت های انسانی به صورت اجتناب ناپذیر تولید می شود. هر یک از ما انواع مختلفی از صداها را تولید می کنیم، یا دیگر افراد صحبت می کنیم، رادیو، تلویزیون و یا دستگاه استریو را روشن می کنیم، رانندگی، و یا از ابزارهای تولید نویز و یا ماشین ها در کارهای خود بهره می بریم.

از سوی دیگر ما به ندرت سکوت مطلق را تجربه می کنیم. در فضای باز چهجهه پرنندگان و یا صدای ورزش باد در میان درختان، و یا اگر در ساحل باشیم صدای خروش امواج را می شنویم. سکوت کامل بسیار بندرت اتفاق می افتد و آنقدر برای ما عجیب است که آنرا تا اندازه ای نامطبوع و حتی غیرقابل تحمل می یابیم. از جانب دیگر صدا می تواند بسیار آزار دهنده و یا حتی موجب آسیب رساندن به سلامتی ما باشد. در مورد اول به هیچ عنوان صرف شدت یا بلندی صوت مطرح نیست. گرچه نویز آهسته چکه شیرآب تقریباً قابل اندازه گیری نیست ولی اگر در هنگام شب آنرا بشنویم ممکن است موجب برانگیختگی و عصبانیت ما شود. از جانب دیگر صداهای بسیار بلند می تواند عامل آسیب بر شنوایی ما باشد، یعنی هنگامی که اندام های شنیداری در معرض صدای شدید قرار گیرد ممکن است موجب آسیب دیدگی موقتی و یا حتی صدمات دائمی منجر به کر شدن کامل آن شود. حتی صدای با شدت متوسط ممکن است موجب آسیب دستگاه نباتی عصبی شده و نتیجه آن به صورت آشفستگی در هنگام خواب، تشنج، افزایش فشار خون و غیره ظاهر شود.

این واقعیتی قابل تأمل است که ما نمی توانیم از خود در برابر صداها تا حد بالایی به طور طبیعی مراقبت کنیم. وقتی که می خواهیم چیزی را ببینیم ما می توانیم چشم خود را ببندیم؛ هنگامی که به خواب می رویم این کار را بی اختیار انجام می دهیم. ولی به عکس، صداهای دریافتی را متوقف نمی کنیم، حتی در حالی که خواب هستیم بدون آنکه آگاه باشیم در حال شنیدن هستیم. ظاهراً طبیعت ویژگی هشدار دهنده گی بخصوصی را به صدا داده است. در همین راستا ملاحظه می شود که میدان دیدن ما کاملاً محدود است در حالی که ما صداهای رسیده از تمامی جهات را مستقل از جهت گیری سر خود درک می کنیم. به این ترتیب ما نمی توانیم یک خطر، برای مثال ماشینی را که از پشت سرمان می آید، ببینیم ولی می توانیم آنرا بشنویم.

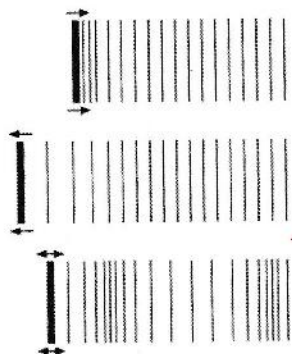
۱-۱ صدا چیست؟

طبیعت فیزیکی صدا چیست؟ ابتدا می توان گفت که تولید، انتشار و درک صدا به ارتعاشات مکانیکی یا نوسانات مربوط می شود. در برخی موارد می توانیم بی درنگ متقاعد شویم برای مثال با لمس کردن ناحیه حنجره خود هنگامی که در حال صحبت یا آواز خواندن هستیم. به این ترتیب ارتعاشات ماشین های مولد نویز اغلب می تواند توسط دست احساس شود، اگر این ارتعاشات متوقف شود صدا هم شنیده نمی شود. ارتعاش

۲ □ مقدمه‌ای بر آکوستیک

سیم‌های یک وسیلهٔ موسیقی را می‌توان با چشم غیر مسلح مشاهده کرد، و در زمان‌های قدیم دریافته بودند که احساس حاصل از شنیدن یک نت به طول سیم و به عبارتی به تعداد نوسانات بر واحد زمان ویا چیزی که امروزه به آن فرکانس ارتعاش می‌گوییم، بستگی دارد. اما در بیشتر موارد این ارتعاشات به اندازه‌ای ضعیف هستند که مشاهده یا احساس سریع آنها ممکن نیست. این واقعیتی است، برای مثال هنگامی که صدا از یک دیوار نفوذ می‌کند، در این حالت ارتعاشات را تنها به کمک ابزارهای ویژهٔ اندازه‌گیری می‌توان مشاهده کرد.

بسیاری از صداها دارای کیفیت آهنگ بوده، یعنی می‌توان ارتفاع خاصی را به آنها نسبت داد. چنین صداهایی عناصر پایهٔ موسیقی را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این صداهای دیگری وجود دارند که علیرغم داشتن ویژگی کلی‌تری نظیر وضوح یا گنگی، ارتفاع مشخصی ندارند. برای مثال صدای بنگ و یا نواز یک جریان هوایی را تصور کنید. چنانکه بعداً خواهیم دید این نوع از صداها را نیز می‌توان به ارتعاشات مربوط کرد.



شکل (۱-۱): انتشار امواج صوتی از یک جسم متحرک

اکنون موضوع تولید صدا توسط یک جسم مرتعش را بررسی کنیم، برای مثال تنهٔ یک آلت موسیقی زهی، پوستهٔ یک بلندگو ویا بخشی از یک ماشین در حال کار. شکل (۱-۱) بخش کوچکی از سطح جسم را به صورت یک خط توپر نشان می‌دهد. هنگامی که از سمت چپ به راست حرکت می‌کند، همچنانکه در قسمت بالایی شکل نشان می‌دهد، تمامی هوای جلوی آنرا نمی‌تواند جابجا کند، بلکه بخشی از آن را فشرده خواهد کرد. هنگامی که در جهت عکس حرکت می‌کند، موجب مکش مقداری از هوا شده، باز هم نه تمام ستون هوای مقابل بلکه قسمتی از آنرا منبسط می‌کند (شکل میانی). حال هر تغییری در چگالی هوا با تغییر در فشار هوا مرتبط می‌شود. در نتیجه این هوای فشرده افزایش فشار را به حجم هوای همسایگی خود منتقل می‌کند. به همین صورت یک حجم هوای منبسط شده افت فشار را به مجاورت خود تحمیل می‌کند. به طور کلی، تمامی اختلال‌های فشاری ایجاد شده در اثر حرکت بدنهٔ جسم در هوا منتشر می‌شود. در نهایت، فرض می‌کنیم که سطح جسم حرکت رفت و برگشت و یا به تعبیر دیگر نوسان کند. به این ترتیب فشردگی و انبساط‌های متوالی هوا از سطح جسم جدا شده و در محیط منتشر می‌شود (شکل پایینی). نتیجه این یک موج صدا است. به تدریج بزرگ شده و به نواحی دورتری می‌رسد، شبیه موج آب که از انداختن سنگ به درون یک استخر بوجود می‌آید. به این دلیل

فصل اول - مقدمه □ ۳

است که ما اصطلاح " امواج صدا " را به کار می‌بریم تا منظورمان را از انتشار یک حالت یا فرآیند بیان کنیم. به ناحیه‌ای که در آن یک یا چند موج صوتی وجود دارد اغلب عنوان "میدان صوتی" اطلاق می‌شود.

تغییرات حالت هوا که توضیح داده شد تلویحاً گویای آنست که ذرات تشکیل دهنده هوا از موقعیت تعادل خود جابجا می‌شوند، و ارتعاشات بدنه جسم که مولد موج است را تبعیت می‌کنند. پس یک موج صوتی به صورت یک اختلال فشاری یا یک سری اختلالات و یا معادل آن به صورت ارتعاشات تعداد زیادی از ذرات هوا تلقی می‌شود. البته، این موضوع برای امواج در سایر گازها و یا سیالات هم صادق است.

در شنیدن صداها فرآیند معکوس چنین رخ می‌دهد که : هنگام برخورد موج صوتی با سر یک شنونده، بخش مختصری از آن وارد مجرای گوش او می‌شود. در انتهای آن به پرده گوش برخورد کرده و توسط اختلال فشار آنرا به ارتعاش و می‌دارد. پس از طی فرآیندهای بیشتری در گوش میانی و گوش داخلی سرانجام این نوسانات به مغز می‌رسند.

بنابراین می‌توان گفت که انتشار صوت وابسته به وجود یک محیط مناسب، برای مثال هواست؛ در فضای تهی هیچ صدایی نیست. به علاوه درک این نکته مهم است که انتقال نوسانات از یک عنصر حجم به عناصر همجوار نمی‌تواند آبی صورت گیرد، بلکه مستلزم زمان است، زیرا جرم‌ها باید شتاب بگیرند که این تأخیری را به همراه دارد. به این دلیل امواج صوتی با سرعتی محدود منتشر می‌شوند. هر یک از ما به تجربه دریافته است که در یک رعد و برق صدای رعد معمولاً چند ثانیه پس از دیدن جرقه برق که عامل آنست شنیده می‌شود. سرعتی را که با آن امواج صوتی منتقل می‌شوند، تندی یا سرعت صوت می‌نامیم. این سرعت به نوع و حالت محیطی که موج صوتی در آن منتشر می‌شود، بستگی دارد.

در اینجا مناسب است تا مقایسه‌ای میان امواج صوتی و نوع دیگری از موج که بر زندگی روزمره ما حاکم است، یعنی امواج الکترومغناطیسی، داشته باشیم. بدون این امواج نه رادیو، نه تلویزیون، نه مخابرات از راه دور و نه تلفن همراه وجود نخواهد داشت. نور هم از امواج الکترومغناطیسی است. امواج الکترومغناطیسی شبیه امواج صوتی با سرعتی محدود ولی بسیار بزرگ‌تر منتقل می‌شوند. اما بر خلاف امواج صوتی، وابسته به محیط مادی نبوده بلکه بر حسب طبیعت متفاوتی که دارند می‌توانند در فضای تهی انتشار یابند. به همین منوال توصیف رسمی آنها اساساً با امواج صوتی تفاوت دارد. در حالی که در مورد امواج صوتی کمیت فیزیکی مربوطه، یعنی فشار یک اسکالر است، کمیت میدانها در امواج الکترومغناطیسی، یعنی میدانهای الکتریکی و مغناطیسی دارای طبیعت برداری هستند. از این نقطه نظر توصیف امواج صوتی پیچیدگی کمتری از امواج الکترومغناطیسی دارند (حداقل اگر مبحث صوت در جامدات را کنار بگذاریم).

باوجود این اختلافها مفاهیم یکسان و تشابهات فراوانی میان امواج آکوستیکی و الکترومغناطیسی وجود دارد. زیرا معادله دیفرانسیلی مربوط به هر دو، موسوم به معادله موج، دارای ساختار یکسانی است. چنین تشابهاتی میان نوسانات مکانیکی و الکتریکی هم وجود دارد؛ بسیاری از مفاهیم از جمله امپدانس یا انرژی به روش مشابهی تعریف می‌شوند. در این کتاب اغلب چنین تشابهات را متذکر می‌شویم، زیرا شاید بسیاری از خوانندگان با مفاهیم اساسی الکتریسته آشنا باشند و در هنگامی که به ارتعاشات مکانیکی و دستگاه‌های نوسانی می‌رسیم به آن دانسته‌ها رجوع کنند.

۲-۱ آکوستیک چیست؟

آکوستیک دانش صداست و با منبع صدا و انتشار آن، یا در فضای آزاد و یا در لوله‌ها و کانال‌ها، یا در فضاهای بسته سروکار دارد. این دانش مبنای بسیاری از پدیده‌ها بوده و نیز دارای کاربردهای عملی فراوانی است. بسیاری از آنها را به اختصار در اینجا ملاحظه خواهیم کرد.

اولین زیر بخش‌سازی در این دانش می‌تواند بر اساس محیط‌های مختلفی که صدا در آن انتشار می‌یابد انجام شود. در زندگی روزمره ما امواج صوتی را در هوا، یا به گونه کلی‌تر در گازها داریم. از اینجا تفکیک صوت در مایعات که مهمترین کاربرد آن در سازوکارهای زیر آب است، و فراتر از آن، صوت در جامدات برای ما مشخص می‌شود. این زیر بخش‌سازی با نوع دیگر آن که بر مبنای فرکانس صداست تلاقی دارند. امواج صدا با فرکانس‌های قابل شنیدن در صدر علائق ما قرار دارد. دامنه فرکانس قابل شنیدن در انسان تقریباً از ۱۶ هرتز تا حوالی ۲۰۰۰۰ هرتز است. در اینجا هرتز (Hz) واحد فرکانس است (۱ هرتز به معنای یک تناوب در ثانیه است). این ارقام را خیلی جدی نمی‌توان تلقی کرد؛ در فرکانس‌های پایین، حد میان شنیدن و احساس تا اندازه‌ای درهم است، و حد بالایی نشان از تفاوت گسترده‌ای میان افراد مختلف دارد و با افزایش سن به سمت فرکانس‌های پایین‌تر می‌گراید.

پایین‌تر از صداهای قابل شنیدن محدوده فروصوت^۱ است. صداهای با فرکانس بسیار کم می‌تواند برای مثال از ارتعاشات ساختمان‌ها یا فرایندهای صنعتی که در آنها مقادیر معتدایی از گاز به حرکت می‌آید، تولید شود. فروصوت با شدت‌های بسیار زیاد دارای آثار کاملاً نامطبوعی بر انسان‌هاست بطوریکه ممکن است همراه با تهوع بوده؛ در شرایط حاد می‌تواند موجب صدماتی بر سلامتی باشد. یک حد پایینی فرکانس صدا بطور کلی وجود ندارد. امواج صدا با فرکانس‌های بالاتر از حد شنیداری، یعنی ۲۰۰۰۰ هرتز، به فراصوت^۲ نامیده می‌شوند. علاوه بر این صدا با فرکانس‌های فراتر از ۱ گیگاهرتز (10^9 Hz) را گاهی ابرصوت^۳ می‌نامند. از آنجا که فراصوت دارای کاربردهای متعدد مهم و مفیدی است برای آن و نیز مبحث صدا در آب یک فصل ویژه را اختصاص داده‌ایم، بر خلاف وضعیت فرکانس‌های پایین در واقع برای فرکانس‌های بالا حد بالایی فرکانس پدیده‌های آکوستیکی وجود دارد. دلیلش این واقعیت است که تمامی مواد دارای ساختاری انفصالی هستند، زیرا از اتم‌ها، ملکول‌ها یا یون‌ها تشکیل شده‌اند. این حد بالایی فرکانس بستگی به نوع محیط داشته و از مرتبه 10^{13} Hz = 10 Terahertz است. در فصل ۱۶ به جزئیات بیشتر آن خواهیم پرداخت.

اولین وظیفه دانش آکوستیک فرمولبندی قوانین فیزیکی حاکم بر صوت در هنگام انتشار آن در فضای آزاد است. موضوع جالب دیگر بررسی روشی است که طی آن انتشار صدا توسط موانع از هر نوع، خواه توسط سطوح گسترده و یا توسط اجسام با ابعاد محدود، دستخوش تغییر می‌شود. در ضمن صدا می‌تواند توسط انواع گوناگون کانال‌ها هدایت شود؛ می‌تواند در ساختارهای جامد نظیر دیوارها یا کف‌های یک ساختمان انتقال یابد و می‌تواند از میان پنجره‌ها و درها عبور کند. در این نوشتار ما ناچار از بررسی صداهای ناخواسته که عموماً تحت عنوان نویز نامیده می‌شوند هستیم گرچه تمایز واضح و روشنی میان نویز و دیگر صداها وجود ندارد. از آنجا که نویز مسئله

1. Infrasonic range
2. ultrasound
3. hypersound

فصل اول - مقدمه □ ۵

در حال گسترشی در جامعه ماست، تکنیک‌های کنترل نوبز بخش وسیعی از مطالب را در آکوستیک عملی به خود اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر صدا به شکل کلام، مهمترین و ساده‌ترین راه برقراری ارتباط با دیگران است زیرا هر فرد سالمی قادر به تکلم و فهم کلام است.

موضوع مهم دیگر و اساساً جلوه مطبوع صدا، موسیقی است که در تمامی فرهنگ‌های بشری نقش برجسته‌ای داشته و احتمالاً ریشه آن در اجرای مراسم آیینی است. امروزه موسیقی بیشتر در خدمت التذاذ یک اجرای هنری یا صرفاً تفریح محض است. جنبه‌های آکوستیکی موسیقی در قالب ویژه‌ای موسوم به آکوستیک موسیقی بررسی می‌شود که از یک جهت به نحوه تولید نت‌ها توسط ادوات موسیقی و از جهت دیگر به ادراکات موسیقی توسط شنونده می‌پردازد. از این لحاظ آکوستیک موسیقی با آکوستیک روانشناختی (که هدف آن بررسی نظام‌مند راه‌هایی است که طی آنها صداها از هر نوع توسط شنوایی ما پردازش و ادراک می‌شود) درهم می‌آمیزد. نتیجه این امر نه تنها موجب افزایش ارزشمند آگاهی ما از نحوه عملکرد اندام‌های شنیداری انسان است بلکه همچنین به معیاری برای قضاوت ذهنی اصوات، برای مثال، ارزیابی کیفیت صدا در تلفن، یا اندازه قابل قبول بودن یک حالت نوبز بخصوص منتهی می‌شود.

بخش اعظم صداهایی که دریافت می‌کنیم توسط بلندگوها و دیگر چشمه‌های الکتروآکوستیکی تولید می‌شوند. با بلندگوهاست که پیام‌رسانی را انجام می‌دهیم، تفریح می‌کنیم و در اغلب موارد عصبانی می‌شویم. در هر حال استفاده از سیستم‌های صوتی برای جمعیت‌های انبوه در میدان‌های ورزشی، اجراهای در فضای باز، سالن‌های همایش بزرگ و غیره بدون به کارگیری دستگاه‌های تقویت‌کننده الکتروآکوستیکی امکان‌پذیر نیست. دیگر مثال مهم از انتقال الکتروآکوستیکی، تلفن است و همچنین فراصوت که نقش ضروری در تشخیص پزشکی پیدا کرده و به وسیله چشمه‌های الکتروآکوستیکی ایجاد می‌شود. سرانجام امکان ذخیره سازی صداها را یادآور می‌شویم که طبیعت و ذات آنها از بین‌رونده است و به این ترتیب می‌توانیم آنها را در هر زمان و مکان بازیابی کنیم.

چنانکه قبلاً ذکر شد سرعت صوت، بستگی به نوع محیط موج دارد. این موضوع برای تضعیف که امواج حین انتشار متحمل می‌شوند هم صادق است. متقابلاً، اطلاعات ارزشمندی از طبیعت فیزیکی و ساختار داخلی تمامی انواع مواد را می‌توان از داده‌های تجربی مربوط به انتشار صوت جمع‌آوری شده در دامنه‌های فرکانسی گوناگون به دست آورد.

بدون تردید این مرور کوتاه کامل نیست زیرا به بسیاری از شاخه‌های آکوستیک حتی اشاره‌ای هم نشد. ولی با این همه می‌تواند ایده‌ای از گستره وسیع پدیده‌های آکوستیکی و کاربردهای صوت را ارائه کند. علاوه بر این، نشان می‌دهد که آکوستیک یک دانش میان رشته‌ای بوده و شاخه‌های متعددی را به هم مرتبط می‌کند (فیزیک، مهندسی مکانیک و برق، پزشکی، روانشناسی، بیولوژی، معماری و ساختمان سازی، موسیقی و غیره) واقعیتی که موجب می‌شود تا مرزهای آکوستیک تا اندازه‌ای واضح نبوده ولی در جذابیت ویژه این دانش سهم بسزایی دارد.



University of Tehran Press

3250

3rd Edition

(((Acoustics)))

An introduction



by: Professor Heinrich Kuttruff

translated by: Dr. Amir Masoud Abbassi



مرکز موسیقی بتهوون شیراز

ISBN:978-964-03-6239-6



9 789640 362396