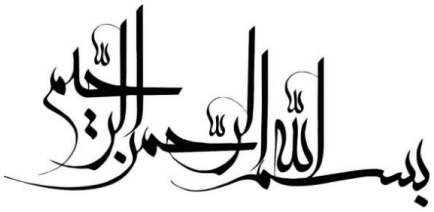

امواج الاستیک و فراصوت

نگارنده

برایان ام. لمپریر

مترجمان

دکتر منیژه مختاری دیزجی

عفت سلیمانی

۱۳۹۸

سرشناسه: لمپریر، برایان ام. Lempriere, Brian M
عنوان و نام پدیدآور: امواج الاستیک و فراصوت/ نگارنده برایان ام. لمپریر؛
مترجمان منیژه مختاری دیزجی، عفت سلیمانی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، ۱۳۹٤.
مشخصات ظاهری: ٤٦٨ ص.: مصور، جدول.
شابک: 978-600-7589-17-5
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: .Ultrasound and elastic waves: frequently asked questions
یادداشت: واژه نامه.
یادداشت: کتابنامه : ص. ۳٦۱– ۳٦۲.
یادداشت: نمایه.
موضوع: امواج ماورای صوت
موضوع: امواج کشسان
شناسه افزوده: مختاری دیزجی، منیژه، مترجم
شناسه افزوده: سلیمانی، عفت، ۱۳٦٤ -، مترجم
شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس. مرکز نشر آثار علمی
رده‌بندی کنگره:۱۳۹٤ ۸الف۸ل/QC ۲٤٤
رده‌بندی دیویی: ٦۲۰/۲۸
شماره کتابشناسی ملی: ٤۱۳۷۹۵۹

امواج الاستیک و فراصوت
نگارنده: برایان ام. لمپریر
مترجمان: دکتر منیژه مختاری دیزجی، عفت سلیمانی
ویراستار ادبی و فنی: زهرا نابع
طراح جلد: ترنج
حروفچینی: فاطمه طالبی/ سمیه زهانی
شماره انتشار: ۱۹۲
شماره پیاپی: ۳۹۸
تاریخ انتشار: ۱۳۹۸
شمارگان: ۵۰۰
شابک: ۵-۱۷-۷۵۸۹-٦۰۰-۹۷۸ **شابک الکترونیکی:** ۰-٤۰-۸۳۷٦-٦۲۲-۹۷۸
ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت مدرّس
نوبت چاپ: دوم
کارشناس اجرایی: فاطمه طالبی
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران‌گرافیک
چاپ و صحافی: قشقایی
مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران،
انتشارات دانشگاه تربیت مدرّس، صندوق پستی: ۳۱۸-۱٤۱۱۵
تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹٦ **دورنگار:** ۸۲۸۸۳۰۳۲
آدرس اینترنتی فروش: pub.modares.ac.ir

صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارندگان و صحت ترجمه برعهدهٔ مترجمان است.

تمام حقوق این اثر برای مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است و تکثیر کتاب به هر روشی بدون اجازه کتبی ناشر موجب پیگرد قانونی می‌شود.

تقدیم به

آنان که

ناتوان شدند تا توانا شویم . . .

عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجودمان و روشنگر راهمان شوند . . .

آنان که همواره نیک می اندیشند و بر آستان انسانیت سرفرومی آورند . . .

فهرست مطالب

پیشگفتار نگارنده ..... **س**

پیشگفتار مترجمان ..... **ش**

فصل ۱ مقدمه **۱**

۱-۱ تعریف فراصوت (US) ۱

۱-۲ چگونگی ارتقای فناوری فراصوتی ۲

۱-۳ کاربردهای اخیر فراصوتی در تولید/ صنعت ۳

۱-٤ آشکارسازی نقایص ۳

۱-۵ نشر صوتی (AE) ٦

۱-٦ آزمایش ضربه ۷

۱-۷ اندازه‌گیری خواص مواد ۷

۱-۸ مهم‌ترین کاربردهای US در پزشکی ۷

۱-۹ سونوگرافی ۸

۱-۱۰ سنگ‌شکن ۱۰

۱-۱۱ برخی از کاربردهای منحصر به‌فرد امواج فراصوت ۱۱

۱-۱۲ کمیت‌هایی که با استفاده از امواج فراصوت اندازه‌گیری می‌شود ۱۲

۱-۱۳ تفاوت میان جامد، مایع و گاز ۱۳

فصل ۲ تعاریف و پیشینه موضوع ۱۵
۲-۱ تعریف موج ۱۵
۲-۱-۱ سرعت ذرات محیط ۱۶
۲-۱-۲ بزرگی نوسانات تنش ۱۶
۲-۱-۳ شکل موج ۱۷
۲-۱-۳-۱ نمایشگرهای فرکانس رادیویی، ویدیویی و پوش تحلیلی ۱۸
۲-۱-٤ جبهه موج و رویه موج ۱۹
۲-۱-۵ بردارهای انتشار و بردار قطبش ۲۰
۲-۱-٦ باریکه یا الگوی موج ۲۱
۲-۱-۷ نمودار x-t موج ۲۱
۲-۲ پارامترهایی از موج که به‌طور کمی اندازه‌گیری می‌شوند ۲۲
۲-۲-۱ فاز، فرکانس (Hz، kHz، MHz، GHz) و دوره تناوب ۲۳
۲-۲-۲ طول موج و عدد موج ۲٤
۲-۲-۳ سرعت موج یا سرعت فاز ۲۵
۲-۲-٤ دامنه سرعت ذرات و تنش ۲٦
۲-۳ لختی ۲٦
۲-٤ الاستیسیته ۲۷
۲-٤-۱ تنش و کرنش ۲۸
۲-٤-۲ همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی ۲۹
۲-٤-۳ مدول الاستیک ۳۰
۲-٤-٤ نسبت پواسن ۳۲
۲-٤-۵ تراکم‌پذیری ۳۲
۲-٤-٦ ویسکوالاستیسیته ۳۳
۲-٤-۷ امپدانس صوتی ۳۳
۲-٤-۸ انرژی موج ۳٤
۲-۵ یکاهای الاستیسیته، چگالی و سرعت موج ۳٤

۲-۵-۱ سیستم واحدها ۳۵

فصل ۳ مفاهیم انتشار موج ۳۹

۳-۱ انواع موج الاستیک ۳۹

۳-۱-۱ امواج اصلی جسم ۳۹

۳-۱-۱-۱ موج طولی (P-) و عرضی (S-) ۴۱

۳-۱-۱-۲ موج SV و موج SH ۴۲

۳-۱-۱-۳ امواج اصلی در مواد ناهمسان‌گرد ۴۳

۳-۱-۲ موج وابسته به مرز ۴۵

۳-۱-۲- الف۱ امواج سطحی رایلی و موج رأسی ۴۶

۳-۱-۲- الف۲ امواج مرز مشترک استونلی و لیکی لمب ۴۸

۳-۱-۲- ب۱ امواج میله / قالب ۴۸

۳-۱-۲- ب۲ امواج خمشی ۵۰

۳-۱-۲-ج امواج صفحه‌ای لمب ـ خمشی و کششی ۵۲

۳-۱-۳ امواجی که در ساختارهای مهندسی منتشر می‌شوند ۵۳

۳-۱-۴ امواجی که در بدن انسان انتشار می‌یابد ۵۴

۳-۲ باریکه فراصوتی ۵۵

۳-۲-۱ میدان نزدیک و میدان دور ۵۷

۳-۲-۲ انواع سرعت فاز در محیط‌های همسان‌گرد الاستیک ۵۹

۳-۲-۳ اثر غیرخطی روی سرعت موج یا shock-up ۶۱

۳-۳ تغییر یک موج در حال انتشار ۶۴

۳-۳-۱ تضعیف یا بهره (دسی‌بل (dB) و نپر) ۶۴

۳-۳-۲ فرایندهای عامل تضعیف و اعوجاج شکل موج ۶۶

۳-۳-۳ تضعیف هندسی ۶۷

۳-۳-۴ تضعیف (ذاتی) محیط ۶۸

۳-۳-۵ تفرق (پراش) ۶۹

۳-۳-٦ آثار غیرخطی ۷۱

فصل ٤ برهم‌کنش‌های امواج ۷۳

٤-۱ برهم‌کنش دو یا چند موج با یکدیگر ۷۳

٤-۱-۱ امواج متقاطع ۷۳

٤-۱-۱-۱ تداخل سازنده و ویرانگر و فاز ثابت ۷۵

٤-۱-۱-۲ گروه موج ۷٦

٤-۱-۱-۲-۱ تشکیل گروه موج ۷٦

٤-۱-۱-۳ منحنی تفرق ۷۷

٤-۲ برهم‌کنش موج با سطح ۷۹

٤-۲-۱ بازتاب یک موج ورودی عمود بر یک سطح آزاد ۷۹

٤-۲-۲ عبور (T) و یا بازتاب (R) موج عمودی از یک سطح برخورد ۸۰

٤-۲-۲-۱ تطبیق امپدانس ۸۳

٤-۲-۲-۲ لایه نیم‌موج و لایه یک‌چهارم موج ۸۵

٤-۲-۲-۳ تغییرشکل موج در مرز مشترک دو محیط ۸٦

٤-۲-۳ بازتاب و شکست مایل ۸۷

٤-۲-۳-۱ قانون اسنل ۸۷

٤-۲-۳-۲ زاویه حد ۹۰

٤-۲-۳-۳ زاویه شکست در موج انتقالی ۹۱

٤-۲-۳-٤ موج ورودی لمب(لیکی) ۹۱

٤-۲-۳-۵ ضرایب بازتابش یک سطح آزاد مایل ۹۲

٤-۲-۳-٦ تبدیل مُد ۹٤

٤-۲-٤ برهم‌کنش موج با سطح جدایی مایل ۹۵

٤-۲-۵ پراش ۹٦

٤-۲-٦ رفتار امواج رایلی در گوشه یک محیط ۹۷

٤-۳ برهم‌کنش موج با یک جسم غیریکنواخت ۹۷

٤-٣-١ پراکندگی ٩٨
٤-٣-٢ حفره‌سازی ١٠١
٤-٣-٣ اثر داپلر ١٠١

فصل ٥ سخت افزار؛ مفاهیم کلی پیرامون تجهیزات ١٠٥

٥-١ سیستم فراصوتی ١٠٥
٥-٢ چگونگی عملکرد مبدل‌ها ١٠٦
٥-٢-١ مبدل‌های پیزوالکتریک ١٠٦
٥-٢-٢ مبدل‌های فیلم پلاستیکی قطبی ١٠٧
٥-٢-٣ لیزرها ١٠٨
٥-٢-٤ مبدل‌های صوتی ـ الکترومغناطیسی، EMATS، (برای قطعات آزمایش‌های رسانش الکتریکی) ١٠٩
٥-٣ لایه انطباقی ١٠٩
٥-٣-١ مخزن غوطه‌ورسازی و گنتری ١٠٩
٥-٣-٢ مبدل فواره‌ای ١١٠
٥-٣-٣ حباب‌ساز ١١١
٥-٣-٤ مبدل چرخ‌دار یا غلتکی ١١١
٥-٤ تنظیم مبدل‌ها ١١٢
٥-٥ تحریک مبدل ١٢٠
٥-٥-١ آهنگ تکرار و متوسط‌گیری ١٢٢
٥-٥-٢ راه انداز ١٢٢
٥-٥-٣ سیستم گیرنده دیجیتال یا آنالوگ ١٢٣
٥-٦ استانداردسازی ١٢٣
٥-٧ کالیبراسیون ١٢٥
٥-٧-١ اندازه‌گیری زمان ١٢٥
٥-٧-٢ اندازه‌گیری دامنه ١٢٦

۵-۷-۳ فاکتورهایی که باید در تجهیزات اندازه‌گیری شوند ۱۲۶
۵-۸ کالیبراسیون سیستم فراصوتی ۱۲۷
۵-۸-۱ قطر مبدل ۱۲۷
۵-۸-۲ امپدانس مبدل و لایه تطبیق‌دهنده ۱۲۹
۵-۸-۳ تصحیح اندازه‌گیری میرایی ۱۳۳
۵-۸-۳-۱ واگرایی شعاعی ۱۳۳
۵-۸-۳-۲ کاهش محوری موج فراصوتی ۱۳۵
۵-۸-۳-۳ تطبیق مرز مشترک‌ها ۱۳۵
۵-۹ طراحی بلوک‌های کالیبراسیون ۱۳۵

فصل ٦ پردازش اطلاعات ۱۳۷

٦-۱ کارایی نرم‌افزارها ۱۳۷
٦-۱-۱ حوزه زمان ۱۳۷
٦-۱-۲ حوزه فرکانس و طیف ۱۳۸
٦-۲ انواع نرم‌افزارها ۱۳۸
٦-۳ انواع تحلیل‌گرهای حوزه زمان ۱۳۸
٦-۳-۱ اسکن A مُد و اسکن B مُد در حوزه زمان ۱۳۹
٦-۳-۲ نمایش شکل موج‌ها ۱٤۱
٦-۳-۲-۱ سیگنال RF ۱٤۱
٦-۳-۲-۲ شکل موج ویدیویی ۱٤۱
٦-۳-۲-۳ پوش تحلیلی ۱٤۱
٦-٤ کمیت‌هایی که با استفاده از شکل موج در حوزه زمان اندازه‌گیری می‌شوند. ۱٤۲
٦-٤-۱ اندازه‌گیری یک رویداد زمانی ۱٤۳
٦-٤-۱-۱ فوق تقویت ۱٤۳
٦-٤-۱-۲ دروازه‌گذاری و آستانه‌گذاری ۱٤٤
٦-٤-۱-۳ زمان پرواز ۱٤۵

٦-٤-١-٤ کاربرد زمان پرواز در اندازه‌گیری سرعت موج یا طول مسیر ١٤٦
٦-٤-٢ اندازه‌گیری دامنه ١٤٧
٦-٤-٣ همبستگی و کانوُلوشن شکل موج.....١٤٨
٦-٤-٣-١ تحلیل تفرق ١٤٩
٦-٤-٣-٢ تحلیل تقاطع با صفر ١٤٩
٦-٤-٣-٣ محدودسازی شکل موج ١٥١
٦-٥ عوامل اثرگذار بر سیگنال حوزه زمان ١٥١
٦-٥-١ نویز و نسبت سیگنال به نویز،S/N ١٥١
٦-٥-٢ نمونه‌گیری و رقمی‌کردن ١٥٢
٦-٥-٢-١ الایزینگ ١٥٤
٦-٥-٢-٢ افست و دریفت.....١٥٥
٦-٥-٢-٣ نشت فرکانسی ١٥٦
٦-٥-٢-٤ قطع سیگنال و پهنای باند نمونه‌گیری.....١٥٦
٦-٥-٣ محدودسازی شکل موج‌ها در حوزه زمان ١٥٨
٦-٥-٣-١ متوسط‌گیری شکل موج.....١٥٨
٦-٥-٣-٢ محدودسازی اولیه ١٥٩
٦-٥-٣-٣ هموارسازی با روش متوسط‌گیری متحرک ١٥٩
٦-٥-٣-٤ پنجره‌گذاری.....١٦١
٦-٥-٣-٥ اضافه‌کردن داده ١٦٢
٦-٦ انواع روش‌های تحلیل طیف.....١٦٣
٦-٦-١ سری هارمونیک‌های فوریه ١٦٣
٦-٦-٢ طیف فوریه.....١٦٤
٦-٦-٣ تبدیل فوریه.....١٦٥
٦-٦-٤ تبدیل فوریه سریع (FFT) ١٦٧
٦-٦-٤-١ فرکانس نایکوئیست.....١٦٨
٦-٦-٥ الگوریتم تبدیل فوریه سریع کولی-تاکی.....١٦٩

۶-۶-۶ چگالی طیف توان (PSD) و جذر میانگین مربعات (RMS) چگالی ۱۶۹
۶-۶-۶-۱ طیف سفید (نویز سفید) ۱۷۰
۶-۶-۶-۲ طیف فاز ۱۷۰
۶-۷ روش‌های متداول تحلیل طیف ۱۷۲
۶-۸ اندازه‌گیری‌هایی که با استفاده از طیف انجام می‌شود ۱۷۲
۶-۹ فیلتر یا هموارسازی شکل موج ۱۷۳
۶-۱۰ تحلیل تفرق در حوزه فرکانس ۱۷۴
۶-۱۱ کمیت‌های آماری که اندازه‌گیری می‌شوند ۱۷۴
۶-۱۱-۱ پارامترهای آماری مقدماتی ۱۷۴
۶-۱۱-۲ بافت‌نگار (هیستوگرام) ۱۷۵
۶-۱۱-۳ توزیع تجمعی ۱۷۸
۶-۱۱-۴ رگرسیون خطی (برازش منحنی) ۱۷۹
۶-۱۱-۵ همبستگی ۱۸۰
۶-۱۱-۶ کانوُلوشن ۱۸۴
۶-۱۱-۷ همبستگی طیف ۱۸۴
۶-۱۱-۸ تابع انتقال ۱۸۵
۶-۱۱-۹ مشخصه شکل موج ۱۸۶
۶-۱۱-۱۰ تمایزپذیری و تحلیل ویژگی ۱۸۷
۶-۱۲ تصویربرداری ۱۸۹
۶-۱۳ انواع تصاویر ۱۸۹
۶-۱۳-۱ اسکن C مُد ۱۸۹
۶-۱۳-۱-۱ پیکسل ۱۹۰
۶-۱۳-۲ برش‌نگاری ۱۹۰
۶-۱۳-۳ تصاویر جاروب‌شده ۱۹۲

پیوست ۱ تنش، کرنش و الاستیسیته (و بردارها و تانسورها) ۱۹۳
پ۱-۱ الاستیسیته ۱۹۳
پ۱-۲ تنش ۱۹۵
پ۱-۲-۱ نیرو، مساحت و تنش در سه بُعد: بردارها و تانسورها ۱۹۶
پ۱-۲-۲ تغییر دستگاه مختصات ۱۹۸
پ۱-۲-۳ ویژگی‌های تنش ۲۰۱
پ۱-۲-٤ تنش در محورهای دوران یافته ۲۰۳
پ۱-۲-۵ نمونه دوبُعدی: دایره مور و تنش اصلی ۲۰۳
پ۱-۳ کرنش ۲۰۵
پ۱-۳-۱ ویژگی‌های کرنش ۲۰۵
پ۱-۳-۲ دَوران ۲۰۷
پ۱-۳-٤ کرنش در مختصات دوار ۲۰۸
پ۱-٤ نمادگذاری اندیس‌ها ۲۰۸

پیوست ۲ تعمیم قانون هوک ۲۱۱
پ۲-۱ قانون هوک ۲۱۱
پ۲-۲ سفتی در مختصات دوار ۲۱۳
پ۲-۳ دسته‌بندی مواد الاستیک ۲۱٤
پ۲-۳-۱ شاره‌ها ۲۱٤
پ۲-۳-۲ مواد جامد متقارن ۲۱۵
پ۲-۳-۲-۱ محدودیت‌ها ۲۱۸
پ۲-۳-۳ مواد با تقارن مکعبی ۲۱۹
پ۲-۳-٤ مواد جامد با همسان‌گردی عرضی (تقارن شش‌وجهی) ۲۲۰
پ۲-۳-٤-۱ محدودیت‌ها ۲۲۲
پ۲-۳-۵ مواد جامد متعامد (تقارن متوازی‌الاضلاعی) ۲۲۲
پ۲-۳-۵-۱ محدودیت‌ها ۲۲٤

پیوست ۳ حالت تنش یا کرنش در امواج ۲۲۵
پ۳-۱ تنش یا کرنش تک‌محوری ۲۲۵
پ۳-۱-۱ کرنش عمودی تک‌محوری: موج طولی ۲۲۶
پ۳-۱-۲ کرنش برشی عرضی تک‌محوری ۲۲۸
پ۳-۱-۳ تنش عمودی تک‌محور ۲۳۰
پ۳-۱-٤ تنش عرضی تک‌محوری ۲۳۱
پ۳-۲ روابط تنش – کرنش تک‌محوری ۲۳۲

پیوست ٤ تعادل نیروها و قانون لختی نیوتن ۲۳۵
پ٤-۱ مختصات یک‌بعدی ۲۳٦
پ٤-۲ مختصات سه‌بعدی ۲۳۷

پیوست ۵ نظریه انتشار موج ۲٤۱
پ۵-۱ یک بعد ۲٤۲
پ۵-۱-۱ معادلات دیفرانسیل ۲٤۳
پ۵-۱-۱-۱ سرعت موج ۲٤۳
پ۵-۱-۲ روش ویژه معادلات ۲٤٤
پ۵-۱-۳ نمودار x-t موج ۲٤۵
پ۵-۲ سه بُعد ۲٤٦
پ۵-۲-۱ معادلات دیفرانسیل ۲٤۷
پ۵-۲-۲ روش ویژه معادله ۲٤۷
پ۵-۳ تحریک موج ۲٤۹
پ۵-۳-۱ تحریک پیزوالکتریک ۲٤۹
پ۵-۳-۲ تحریک لیزر ۲۵۰

پیوست ٦ پاسخ‌های معادلات موج ۲۵۳
پ٦-۱ جواب‌های بنیادی ۲۵۳

پ٦-١-١ امواج کروی: فضای نامحدود سه‌بعدی با چشمه نقطه‌ای..... ٢٥٣
پ٦-١-٢ امواج استوانه‌ای: فضای سه‌بعدی نامحدود با چشمه خطی (یا فضای دوبعدی با چشمه نقطه‌ای)..... ٢٥٦
پ٦-١-٣ امواج پله‌ای: امواج یک‌بعدی ٢٥٧
پ٦-١-٤ جواب‌های غیرانتشاری..... ٢٥٩
پ٦-٢ جداسازی متغیرها..... ٢٥٩
پ٦-٢-١ امواج یک‌بعدی..... ٢٥٩
پ٦-٣ امواج تخت در دو یا سه بُعد ٢٦١
پ٦-٣-١ پتانسیل‌های سرعت در همسان‌گردی ٢٦٣
پ٦-٤ جواب‌های موج تخت ٢٦٥
پ٦-٤-١ حرکت در صفحه ٢٦٥
پ٦-٤-٢ حرکت عرضی ٢٦٨

پیوست ٧ پراکندگی، سرعت گروه..... ٢٧١

پ٧-١ انتشار موج در محیط ویسکوالاستیک..... ٢٧٣
پ٧-٢ انتشار موج در یک میله ضخیم ٢٧٤
پ٧-٢-١ تقریب میندلین- هرمن (دویل، ١٩٨٩) ٢٧٤
پ٧-٣ امواج خمشی ٢٧٦

پیوست ٨ تشکیل باریکه در مبدل فراصوتی..... ٢٧٩

پ٨-١ تحلیل ساده‌شده تشکیل باریکه ٢٧٩
پ٨-٢ تحلیل تغییرات شعاعی در باریکه..... ٢٨١
پ٨-٣ تحلیل تغییر محوری قدرت موج ٢٨٧

پیوست ٩ جواب‌های معادله موج در محیط ناهمسان‌گرد ٢٩١

پ٩-١ سرعت موج (فاز) ٢٩٣
پ٩-٢ حرکت محیط (ذره) و ویژه‌بردارها..... ٢٩٦
پ٩-٣ موارد خاص..... ٢٩٩

پ۹-۳-۱ بردار انتشار (بردار عمود موج) در صفحه شامل دو محور قرار می‌گیرد ۲۹۹
پ۹-۳-۱-۱ مورد خاص‌تر: همسان‌گردی عرضی.....۳۰۱
پ۹-۳-۲ بردار عمود در راستای یکی از محورها قرار گیرد ۳۰۲
پ۹-۳-۳ مورد همسان‌گرد ۳۰۳
پ۹-۳-۳-۱ امواج طولی.....۳۰۵
پ۹-۳-۳-۲ امواج عرضی.....۳۰۵
پ۹-٤ سرعت گروه.....۳۰٦

پیوست ۱۰ برهم‌کنش‌های مایل میان امواج و مرزها ۳۱۱
پ۱۰-۱ بازتاب مایل موج طولی از سطح آزاد.....۳۱۱
پ۱۰-۱-۱ قانون اسنل.....۳۱۳
پ۱۰-۱-۲ ضرایب بازتاب و پتانسیل‌های تنش ۳۱٤
پ۱۰-۲ بازتاب مایل موج عرضی از یک سطح آزاد.....۳۱٦
پ۱۰-۳ شکست (عبور مایل) یک موج طولی یا عرضی.....۳۱۸
پ۱۰-٤ امواج رایلی.....۳۲۱

پیوست ۱۱ تنش و کرنش جانبی در میله‌هایی با کشش محوری ۳۲۵
پ۱۱-۱تقریب ساده برای میله‌های باریک ۳۲۵
پ۱۱-۲ تقریب میندلین- هرمن ۳۲٦

پیوست ۱۲ امواج خمشی در باریکه‌ها و صفحات ۳۳۵
پ۱۲-۱ خمش باریکه.....۳۳۵
پ۱۲-۱-۱ EBT.....۳۳٦
پ۱۲-۱-۲ نظریه خمش تیموشنکو.....۳٤۱
پ۱۲-۲ صفحات نازک ۳٤۷
پ۱۲-۲-۱ نظریه صفحه کلاسیک (CPT).....۳٤۸

پیوست ۱۳ تحلیل در حوزه زمان ۳۵۱
پ۱۳-۱ تبدیل هیلبرت، فاز و پوش تحلیلی ۳۵۱
پ۱۳-۱-۱ تبدیل هیلبرت ۳۵۱
پ۱۳-۱-۲ پوش تحلیلی ۳۵۳
پ۱۳-۱-۳ فاز تحلیلی ۳۵۳
پ۱۳-۲ محدود سازی سیگنال در حوزه زمان ۳۵٤
پ۱۳-۲-۱ میانگین‌گیری داده‌ها ۳۵٤
پ۱۳-۲-۲ هموارسازی در حوزه زمان ۳۵۵
پ۱۳-۲-۳ تغییر رفتار افست و دریفت ۳۵۷
پ۱۳-۲-٤ کانوُلوشن ۳۵۹
مراجع ۳٦۱
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۳٦۳
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۳۹۱
نمایه ٤۲۲

پیشگفتار نگارنده

کتاب حاضر، نگرش وسیعی درباره امواج فراصوت یا به تعبیر جامعه پزشکی، سونوگرافی فراهم می‌کند. این کتاب مرجعی برای مفاهیم نظری و اصولی به‌شمار می‌رود که در قالبی کاربردی تهیه شده است. به‌عبارت‌دیگر، تا حد امکان با زبانی ساده همراه با توضیحات شهودی به رشته تحریر درآمده است. هدف از نگارش این کتاب، ارائه مرجعی برای همگان است تا کاربرد، مزایا و مخاطرات امواج فراصوت را دریابند و نگرشی کلی از این امواج به‌دست آورند.

کتاب حاضر نظریه پیچیده‌ای ندارد. برخی از روابط مفید در متن و روش استخراج آنها در پیوست ارائه شده است. گفتنی است که تسلط بر این روابط ضروری نیست و فقط برای آگاهی خواننده از حساب تفاضلی، بردارها و جبر ماتریس‌ها ارائه شده است.

این کتاب هر دو جنبه نظری و کاربردی امواج فراصوت را دربرمی‌گیرد، امواجی که علاوه بر بنیان علمی، تجربه و هنر را نیز شامل می‌شود. تعدادی مراجع مفید و یک پیشینه مناسب نیز ارائه شده است. اما، مطالعه مروری جامع – آن‌گونه‌که در انتشارات تحقیقاتی به آن پرداخته می‌شود– ارائه نشده است.

در فصل اول به مقدمه‌ای کلی پیرامون موضوع فراصوت پرداخته می‌شود و در فصل دوم، تعاریف ارائه می‌شود. در فصل سوم، مفاهیم انتشار موج توضیح داده می‌شود که به‌عنوان مفاهیم پایه فراصوت نیز به‌شمار می‌روند. در فصل چهارم، برهم‌کنش میان امواج مختلف با یکدیگر و نیز برهم‌کنش امواج و سطوح توضیح داده می‌شود. در فصل

پنجم، مفاهیم مربوط به سخت‌افزارهای الکترونیکی و مبدل‌ها (بدون ارجاع به اطلاعات تخصصی) ارائه می‌گردد و در فصل ششم، مفاهیم نرم‌افزارهای پردازش اطلاعات مرور می‌شود. پیوست‌های ۱-۱۳ نیز جزئیات فنی از نظریه‌های مربوطه را فراهم می‌کنند.

توضیحات به‌صورت شماتیک ترسیم شده‌اند و در هر ترسیم به‌جای تأکید بر اندازه‌گیری‌های دقیقی که در آنها چند فرایند خاص روی می‌دهد و ضرورت اندازه‌گیری‌ها کم‌رنگ می‌شود، بر یک مفهوم ویژه تأکید می‌شود.

ضرورت تألیف کتاب حاضر

امواج فراصوت به امواج در حال انتشاری می‌پردازد که بر دو اصل بسیار کهن الاستیسیته و لختی استوار است که به‌ترتیب در سال‌های ۱٦٦۰ و ۱٦۸۷ میلادی تعریف شدند. درک کامل این اصول برای دستیابی به درکی از امواج فراصوت کفایت می‌کند. در طی سال‌های اخیر، گام‌های زیادی در این عرصه برداشته شده است، ولی پیشرفت‌های حائز اهمیت مربوط به سال‌های بسیار دور است. پیشرفت‌های اخیر نیز به‌سبب ارتقای تجهیزات الکترونیکی و پردازش اطلاعات و در ارتباط با رشته‌های پزشکی، زلزله‌شناسی، آکوستیک و مهندسی پویا بوده است. باوجوداین، فرایندهای فراصوتی هنوز کاملاً شناخته‌شده، نیست.

کاربرد امواج فراصوت از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد، اما تا پیش از توسعه تجهیزات ردیابی زیردریایی طی دو جنگ جهانی قرن بیستم، پیشرفت‌های چندانی حاصل نشده بود. پیش از عصر دیجیتال، در بیشتر فنون، از روش‌های سخت‌افزاری برای کنترل تحریک مبدل و از مدارهای آنالوگ برای پردازش سیگنال استفاده می‌شد. اغلب متون منتشر شده در یک یا چند دهه قبل نیز بر چنین رویکردهایی متمرکز شده است. این در حالی است که امروزه، چنین روش‌هایی کاملاً منسوخ شده است. در این رویکردهای ابتدایی، بازتاب یک موج ساده که در محیطی یکنواخت منتشر می‌شد، به‌طور بصری ارزیابی می‌شد.

به‌کارگیری امواج فراصوت در آزمایش‌های مدرن، اغلب بـه نتـایج نادرسـتی منتهـی شد، زیرا این امواج رفتار پیچیده‌ای دارند که تفسیر آنها مستلزم داشتن درک درسـتی از فرایندهای درگیر است. این موضوع، مهم‌ترین بحث در زمینه امواج فراصوت در ابتدای قرن ۲۱ به‌شمار می‌رفت.

امروزه، کاربرد امواج فراصوت افزایش چشم‌گیری داشته است و افـرادی کـه تحـت آموزش‌های ویژه‌ای درباره کلیت، عمق و ظرافت ایـن موضـوع قـرار نگرفتـه‌انـد و یـا تجربه‌ای در این زمینه ندارند، با پرسش‌های زیادی درباره مفهوم نتایج حاصـل مواجـه هستند. این افراد – که نویسنده نیز خود را از جمله ایشان می‌داند- ناگزیرنـد سـؤالات زیادی درباره امواج فراصوت بپرسند، زیرا مفاهیم مربوط بـه آن، معمـولاً آمـوزش داده نمی‌شود و متون ساده و روان در این موضوع نیز بسیار اندک اسـت. آگـاهی از دانـش نظری و تجربیات آزمایشـگاهی کـاربردی، ضـروری اسـت. در کتـاب حاضـر، پاسـخ سؤالات متداول بر مبنای نظری و تجربی ارائه می‌شود. شایان ذکر است که دستیابی بـه اطلاعات دقیق از رویدادها می‌تواند موجب ایجاد فنون جدید شود.

برخی از کتاب‌های مفید

کتاب نظریه امـواج فراصـوت کـه در سـال ۱۹۹۰ از سـوی کروتکرمـر[1] و کروتکرمـر[2] بازنویسی‌شده و اکنون چاپ چهارم آن است، نخستین بـار در دهـه ۱۹٤۰ چـاپ شـده است. همچنین، مرور کاملی از امواج فراصوتی به‌دست (انسمینگر[3]، ۱۹۹۸) انجام شـده است که برای افـراد متخصـص یـا دانشـجویان رشـته‌هـای تخصصـی مناسـب اسـت. باوجوداین، در کتاب یادشده، مفاهیم ریاضیاتی عمیقـی بـا مـتن آمیختـه شـده و درک محتوای آن را دشوار کرده است. کتاب مذکور، پیشینه جالبی از موضوع گردآوری کرده

1. Krautkramer
2. Krautkramer
3. Ensminger

است و امواج فراصوت طبیعی را در خفاش‌ها (ردیابی انعکاس)، نهنگ‌ها (برقراری ارتباط) و سگ‌ها (که سوت‌های فراصوتی را می‌شنوند) و بسیاری از حیوانات دیگر و حتی حشرات بحث کرده است.

کاتراف[1] (۱۹۹۱) نیز متن جامع و مفیدی را برای محققان و دانشجویان تخصصی فراهم کرده است که اغلب مفاهیم کلیدی فراصوت و جزئیات ریاضیاتی مربوط به آنها را دربرمی‌گیرد. این متن شامل انتشار امواج در گازها، مایعات و جامدات، اثر پیزوالکتریک و مبدل‌ها، تابش و تشکیل باریکه، پراکندگی و جذب، نمایشگرها، حفره‌سازی و آثار شدت بالا و تعاریف است؛ اما در تبیین کاربردهای پزشکی کافی نیست. در کتاب یاد شده، همچنین، بسیاری از فنون پردازش سیگنال و سخت‌افزارها (مانند خطوط تأخیری، مدارهای فیلتر آنالوگ و نمایشگرها) توضیح داده شده‌اند که همگی منسوخ شده‌اند. کتاب یادشده ترجمه‌ای از نسخه آلمانی مربوط به سال ۱۹۸۸ است و عبارات ترجمه شده‌ای دارد که با انگلیسی روان سازگاری چندانی ندارد.

در میان شمار زیاد کتب تحقیقاتی، کتاب ترستون و پرس[2] (۱۹۹۰) شامل مجموعه‌ای از کتاب‌های پیشرفته در زمینه- امواج فراصوت است. کتاب یادشده، پیشینه‌ای از امواج فراصوت را در دسترس قرار می‌دهد و شامل دستگاه‌های فراصوتی، انتشار امواج، روش‌های اندازه‌گیری، جزئیات مربوط به میدان‌های تابش و مبدل‌ها، سنجش سرعت و تضعیف، مبدل‌های الکترومغناطیسی، آشکارسازهای اپتیکی، مشخصه ابزارهای پیزوالکتریک، مشاهده پالس‌های فراصوتی با استفاده از فوتوالاستیسیته و غیره است.

نظریه موج الاستیک در قالب متنی کلاسیک درباره الاستیسیته، از سوی لاو[3] (۱۹۹٤) (که ابتدا در سال ۱۸۹۲ منتشر شده بود) ارائه شد که قالبی بسیار قدیمی دارد. قالب‌بندی جدید کتاب یادشده در متون زلزله‌شناسی، از سوی آکو و ریچاردز[4] (۱۹۸۰)

1. Kutruff
2. Thurston & Pierce
3. Love
4. Ako & Richards

ارائه شده است. با پیشرفت فناوری پس از جنگ جهانی دوم، متون زیادی درباره انتشار امواج منتشر شد که از جمله آنها می‌توان به میسون[1] (۱۹۵۸) و آچنباک[2] (۱۹۷۳) اشاره کرد. چگونگی انتشار امواج در محیط‌های ناهمسان‌گرد برای نخستین‌بار از سوی مسگرو[3] (۱۹۵٤) تحلیل شد. لاو نیز جزئیات نظریه الاستیسیته را ارائه کرد. جزئیات این نظریه با استفاده از نمادگذاری تانسوری در سال ۱۹٤٦ از سوی سوکولینکوف و اسپچ[4] ارائه شد که در آن، نظریه بردارها و تانسورها نیز مرور شده بود. پس از آن، ویلز[5] (۱۹۵۸) تفسیر روشنی از این مطالب را ارائه کرد. دویل[6] (۱۹۸۹) نیز نظریه انتشار امواج در میله‌ها و صفحه‌ها را ارائه داد.

مقالات تحقیقاتی بسیاری نیز در زمینه مفاهیم امواج فراصوت، امواج الاستیک و فنون دیجیتال در مجلاتی مانند Ultrasound، Acoustical Society of America، Journal of Applied Physics، IEEE و نیز چکیده کنفرانس‌ها به چاپ رسیده است که برخی از آنها در اینترنت در دسترس است. برخی از بخش‌های کتاب حاضر، حاصل گزارش‌ها و چکیده کنفرانس‌های چاپ نشده‌ای است که نویسنده، خود آنها را به رشته تحریر در آورده است.

---

1. Mason
2. Achenbac
3. Masgrave
4. Sokolnikoff & Specht
5. Wills
6. Doyle

پیشگفتار مترجمان

کتاب امواج الاستیک و فراصوت، حاوی اصلی‌ترین مباحث نظریه امواج و صوتیات است که به شیوه‌ای روان و مطلوب همراه با مبانی نظری مفاهیم مذکور عرضه شده است. کتاب ترجمه‌شده حاضر دو بخش دارد که در بخش نخست، تعاریف اولیه، پیشینه موضوع، کاربردها، مفاهیم و تعاریف تخصصی، برهم‌کنش‌های امواج با یکدیگر و با دیگر محیط‌ها، تجهیزات و سخت‌افزار مربوط به امواج مکانیکی به‌ویژه صوتیات تبیین شده است (فصول اول تا ششم). این مفاهیم اطلاعات جامعی را درباره مبانی، کاربردها و مزایای امواج فراصوتی فراهم می‌کند و قابل استفاده برای تمام علاقه‌مندان به موضوع امواج و صوتیات است. همچنین ارائه کاربردهای درمانی و صنعتی امواج و صوتیات در هر مبحث یکی دیگر از نکات مثبت این کتاب است.

همچنین در بخش دوم کتاب، اصول و زیربنای نظری متناظر با مفاهیم بخش اول کتاب و روش استخراج آنها به‌صورت مبسوط و در قالب سیزده فصل پیوست ارائه شده است. ارائه اصول فیزیکی امواج الاستیک و فراصوت با دو بیان توصیفی و نظری در یک کتاب منفرد از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این کتاب به‌شمار می‌رود که تاکنون در هیچ‌یک از کتاب‌های تألیفی یا ترجمه‌ای دیگری در موضوع امواج به آن پرداخته نشده است.

در این کتاب، مفاهیم و اصول فیزیکی امواج مکانیکی به‌ویژه امواج فراصوتی با دو بیان عمومی و روان، و نیز ذکر تئوری ریاضی مفاهیم مذکور همراه با به‌کارگیری اشکال

و نمودارهای ساده و ملموس ارائه شده است، بنابراین به نظر می‌رسد نسبت بـه دیگـر کتاب‌های علمی - آموزشی منتشر شده، متفاوت‌تر، کامل‌تر و به مراتـب مفیـدتر بـرای یادگیری شایسته مطالب علمی و کاربردی در زمینه امواج فراصوتی باشـد. امیـد اسـت تمام علاقه‌مندان و متخصصان در حوزه‌های مربوط به امواج مکانیکی قادر به استفاده و بهره‌وری از مطالب کتاب حاضر باشند.