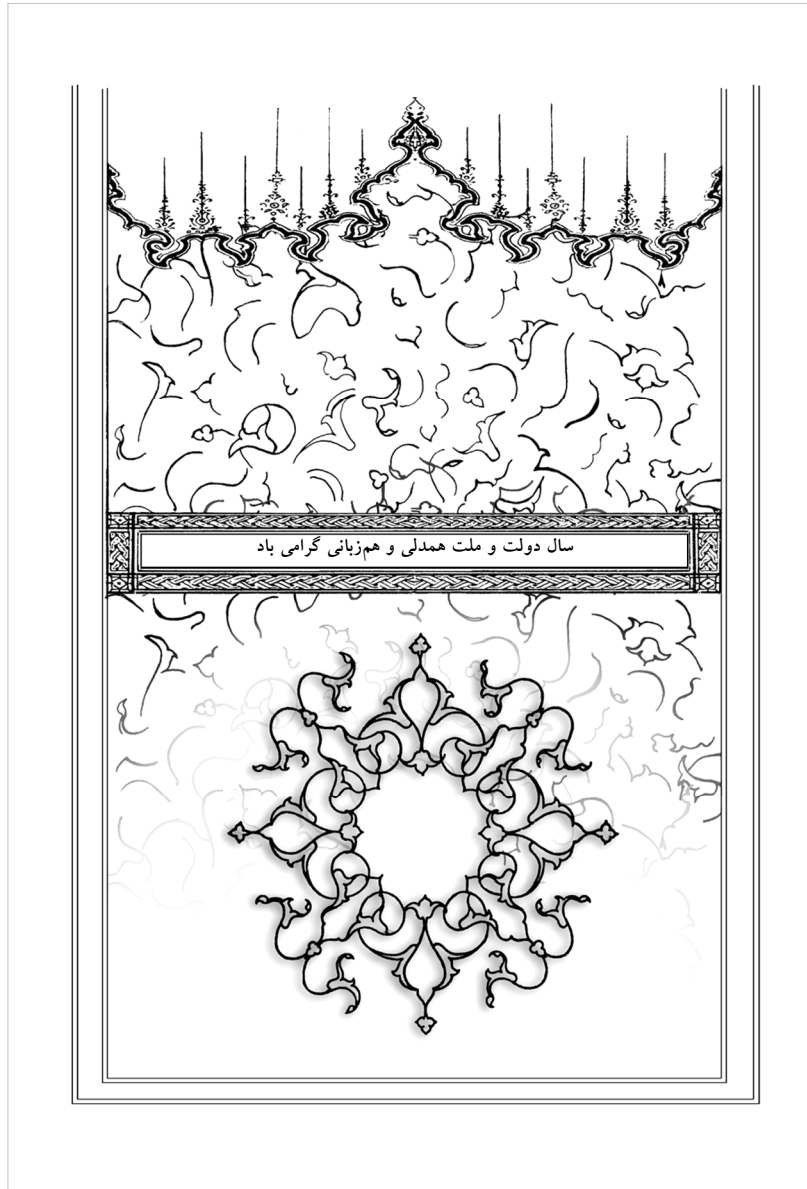


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





سال دولت و ملت همدلی و هم‌زبانی گرامی باد



# امواج الاستيڪ و فراصوت

نگارنده

برايان ام. لمپريز

مترجمان

دڪٽر منيڙهه مختاري ديزجي

عفت سليمانی



سرشناسه:  
عنوان و نام پدیدآور:  
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، 1392.  
مشخصات ظاهری:  
شابک:  
وضعیت فهرست نویسی:  
یادداشت: یادداشت:  
موضوع: موضوع:  
شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی  
رده‌بندی کنگره:  
رده‌بندی دیویی: :

### امواج الاستیک و فراصوت

نگارنده: برایان ام. لمپریر

مترجمان: دکتر منیژه مختاری دیزجی، عفت سلیمانی

ویراستار ادبی و فنی: زهرا نابع

طراح جلد: مصطفی جانجانی

حروفچینی: فاطمه طالبی / سمیه زهانی

شماره انتشار:

شماره پیاپی:

تاریخ انتشار: 1394

شمارگان: 1000

ISBN: 978-600-5394-??-?

شابک: 978-600-5394-۴۴-۴

ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس

نوبت چاپ: اول

کارشناس اجرایی: فاطمه طالبی

ناظر چاپ:

لیتوگرافی:

چاپ و صحافی: قشقایی

مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران،

دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، صندوق پستی: 14115-318

تلفن: 82883096 دورنگار: 82883032

بها: ریال

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

تقدیم به

آنان که

ناتوان شدند تا توانا شویم ...

عاشقانه سوختند تا کرم بخش وجودمان و روسمگر را همان شوند ...

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





## فهرست مطالب

پیشگفتار نگارنده.....	س
پیشگفتار مترجمان.....	ش
فصل 1 مقدمه.....	1
1-1 تعریف فراصوت (US).....	1
2-1 چگونگی ارتقای فناوری فراصوتی.....	2
3-1 کاربردهای اخیر فراصوتی در تولید/ صنعت.....	3
4-1 آشکارسازی نقایص.....	3
5-1 نشر صوتی (AE).....	6
6-1 آزمایش ضربه.....	7
7-1 اندازه‌گیری خواص مواد.....	7
8-1 مهم‌ترین کاربردهای US در پزشکی.....	7
9-1 سونوگرافی.....	8
10-1 سنگ‌شکن.....	10
11-1 برخی از کاربردهای منحصر به فرد امواج فراصوت.....	11
12-1 کمیت‌هایی که با استفاده از امواج فراصوت اندازه‌گیری می‌شود.....	12
13-1 تفاوت میان جامد، مایع و گاز.....	13

ب امواج الاستیک و فراصوت

- 15..... فصل 2 تعاریف و پیشینه موضوع
- 15..... 1-2 تعریف موج
- 16..... 1-1-2 سرعت ذرات محیط
- 16..... 2-1-2 بزرگی نوسانات تنش
- 17..... 3-1-2 شکل موج
- 18..... 1-3-1-2 نمایشگرهای فرکانس رادیویی، ویدیویی و پوش تحلیلی
- 19..... 4-1-2 جبهه موج و رویه موج
- 20..... 5-1-2 بردارهای انتشار و بردار قطبش
- 21..... 6-1-2 باریکه یا الگوی موج
- 21..... 7-1-2 نمودار  $x-t$  موج
- 22..... 2-2 پارامترهایی از موج که به طور کمی اندازه گیری می شوند
- 23..... 1-2-2 فاز، فرکانس (Hz, kHz, MHz, GHz) و دوره تناوب
- 24..... 2-2-2 طول موج و عدد موج
- 25..... 3-2-2 سرعت موج یا سرعت فاز
- 26..... 4-2-2 دامنه سرعت ذرات و تنش
- 26..... 3-2 لختی
- 27..... 4-2 الاستیسیته
- 28..... 1-4-2 تنش و کرنش
- 29..... 2-4-2 همسان گردی و ناهمسان گردی
- 30..... 3-4-2 مدول الاستیک
- 32..... 4-4-2 نسبت پواسن
- 32..... 5-4-2 تراکم پذیری
- 33..... 6-4-2 ویسکوالاستیسیته
- 33..... 7-4-2 امپدانس صوتی
- 34..... 8-4-2 انرژی موج
- 34..... 5-2 یکاهای الاستیسیته، چگالی و سرعت موج

## فهرست مطالب ج

35.....	1-5-2 سیستم واحدها.....
39.....	فصل 3 مفاهیم انتشار موج.....
39.....	1-3 انواع موج الاستیک.....
39.....	1-1-3 امواج اصلی جسم.....
41.....	1-1-1-3 موج طولی (P-) و عرضی (S-).....
42.....	2-1-1-3 موج SV و موج SH.....
43.....	3-1-1-3 امواج اصلی در مواد ناهمسانگرد.....
45.....	2-1-3 موج وابسته به مرز.....
46.....	2-1-3 الف-1 امواج سطحی رایلی و موج رأسی.....
48.....	2-1-3 الف-2 امواج مرز مشترک استونلی و لیکی لمب.....
48.....	2-1-3 ب-1 امواج میله / قالب.....
50.....	2-1-3 ب-2 امواج خمشی.....
52.....	2-1-3 ج- امواج صفحه‌ای لمب - خمشی و کششی.....
53.....	3-1-3 امواجی که در ساختارهای مهندسی منتشر می‌شوند.....
54.....	4-1-3 امواجی که در بدن انسان انتشار می‌یابد.....
55.....	2-3 باریکه فراصوتی.....
57.....	1-2-3 میدان نزدیک و میدان دور.....
59.....	2-2-3 انواع سرعت فاز در محیط‌های همسانگرد الاستیک.....
61.....	3-2-3 اثر غیرخطی روی سرعت موج یا shock-up.....
64.....	3-3 تغییر یک موج در حال انتشار.....
64.....	1-3-3 تضعیف یا بهره (دسی بل (dB) و نپر).....
66.....	2-3-3 فرایندهای عامل تضعیف و اعوجاج شکل موج.....
67.....	3-3-3 تضعیف هندسی.....
68.....	4-3-3 تضعیف (ذاتی) محیط.....
69.....	5-3-3 تفرق (پراش).....

د امواج الاستیک و فراصوت

- 71..... 6-3-3 آثار غیرخطی
- 73..... فصل 4 برهم کنش های امواج
- 73..... 1-4 برهم کنش دو یا چند موج با یکدیگر
- 73..... 1-1-4 امواج متقاطع
- 75..... 1-1-1-4 تداخل سازنده و ویرانگر و فاز ثابت
- 76..... 2-1-1-4 گروه موج
- 76..... 1-2-1-1-4 تشکیل گروه موج
- 77..... 3-1-1-4 منحنی تفرق
- 79..... 2-4 برهم کنش موج با سطح
- 79..... 1-2-4 بازتاب یک موج ورودی عمود بر یک سطح آزاد
- 80..... 2-2-4 عبور (T) و یا بازتاب (R) موج عمودی از یک سطح برخورد
- 83..... 1-2-2-4 تطبیق امپدانس
- 85..... 2-2-2-4 لایه نیم موج و لایه یک چهارم موج
- 86..... 3-2-2-4 تغییر شکل موج در مرز مشترک دو محیط
- 87..... 3-2-4 بازتاب و شکست مایل
- 87..... 1-3-2-4 قانون اسنل
- 90..... 2-3-2-4 زاویه حد
- 91..... 3-3-2-4 زاویه شکست در موج انتقالی
- 91..... 4-3-2-4 موج ورودی لمب (لیکی)
- 92..... 5-3-2-4 ضرایب بازتابش یک سطح آزاد مایل
- 94..... 6-3-2-4 تبدیل مُد
- 95..... 4-2-4 برهم کنش موج با سطح جدایی مایل
- 96..... 5-2-4 پراش
- 97..... 6-2-4 رفتار امواج رایلی در گوشه یک محیط
- 97..... 3-4 برهم کنش موج با یک جسم غیریکنواخت

فهرست مطالب ه

98.....	1-3-4	پراکنندگی
101.....	2-3-4	حفره‌سازی
101.....	3-3-4	اثر داپلر
105.....	5	فصل سخت افزار؛ مفاهیم کلی پیرامون تجهیزات
105.....	1-5	سیستم فراصوتی
106.....	2-5	چگونگی عملکرد مبدل‌ها
106.....	1-2-5	مبدل‌های پیزوالکتریک
107.....	2-2-5	مبدل‌های فیلم پلاستیکی قطبی
108.....	3-2-5	لیزرها
	4-2-5	مبدل‌های صوتی - الکترومغناطیسی، EMATS، (برای قطعات آزمایش‌های
109.....		رسانش الکتریکی)
109.....	3-5	لایه انطباقی
109.....	1-3-5	مخزن غوطه‌ورسازی و گنتری
110.....	2-3-5	مبدل فواره‌ای
111.....	3-3-5	حباب‌ساز
111.....	4-3-5	مبدل چرخ‌دار یا غلتکی
112.....	4-5	تنظیم مبدل‌ها
120.....	5-5	تحریک مبدل
122.....	1-5-5	آهنگ تکرار و متوسط‌گیری
122.....	2-5-5	راه انداز
123.....	3-5-5	سیستم گیرنده دیجیتال یا آنالوگ
123.....	6-5	استانداردسازی
125.....	7-5	کالیبراسیون
125.....	1-7-5	اندازه‌گیری زمان
126.....	2-7-5	اندازه‌گیری دامنه

## و امواج الاستیک و فراصوت

- 126..... 3-7-5 فاکتورهایی که باید در تجهیزات اندازه‌گیری شوند
- 127..... 8-5 کالیبراسیون سیستم فراصوتی
- 127..... 1-8-5 قطر مبدل
- 129..... 2-8-5 امپدانس مبدل و لایه تطبیق‌دهنده
- 133..... 3-8-5 تصحیح اندازه‌گیری میرایی
- 133..... 1-3-8-5 واگرایی شعاعی
- 135..... 2-3-8-5 کاهش محوری موج فراصوتی
- 135..... 3-3-8-5 تطبیق مرز مشترک‌ها
- 135..... 9-5 طراحی بلوک‌های کالیبراسیون
- 137 ..... فصل 6 پردازش اطلاعات
- 137..... 1-6 کارایی نرم‌افزارها
- 137..... 1-1-6 حوزه زمان
- 138..... 2-1-6 حوزه فرکانس و طیف
- 138..... 2-6 انواع نرم‌افزارها
- 138..... 3-6 انواع تحلیل‌گرهای حوزه زمان
- 139..... 1-3-6 اسکن A مُد و اسکن B مُد در حوزه زمان
- 141..... 2-3-6 نمایش شکل موج‌ها
- 141..... 1-2-3-6 سیگنال RF
- 141..... 2-2-3-6 شکل موج ویدیویی
- 141..... 3-2-3-6 پوش تحلیلی
- 142..... 4-6 کمیت‌هایی که با استفاده از شکل موج در حوزه زمان اندازه‌گیری می‌شوند
- 143..... 1-4-6 اندازه‌گیری یک رویداد زمانی
- 143..... 1-1-4-6 فوق تقویت
- 144..... 2-1-4-6 دروازه‌گذاری و آستانه‌گذاری
- 145..... 3-1-4-6 زمان پرواز

## فهرست مطالب ز

- 146..... 4-1-4-6 کاربرد زمان پرواز در اندازه‌گیری سرعت موج یا طول مسیر
- 147..... 2-4-6 اندازه‌گیری دامنه
- 148..... 3-4-6 همبستگی و کائولوشن شکل موج
- 149..... 1-3-4-6 تحلیل تفرق
- 149..... 2-3-4-6 تحلیل تقاطع با صفر
- 151..... 3-3-4-6 محدودسازی شکل موج
- 151..... 5-6 عوامل اثرگذار بر سیگنال حوزه زمان
- 151..... 1-5-6 نویز و نسبت سیگنال به نویز، S/N
- 152..... 2-5-6 نمونه‌گیری و رقمی کردن
- 154..... 1-2-5-6 الایزینگ
- 155..... 2-2-5-6 افست و دریفت
- 156..... 3-2-5-6 نشت فرکانسی
- 156..... 4-2-5-6 قطع سیگنال و پهنای باند نمونه‌گیری
- 158..... 3-5-6 محدودسازی شکل موج‌ها در حوزه زمان
- 158..... 1-3-5-6 متوسط‌گیری شکل موج
- 159..... 2-3-5-6 محدودسازی اولیه
- 159..... 3-3-5-6 هموارسازی با روش متوسط‌گیری متحرک
- 161..... 4-3-5-6 پنجره‌گذاری
- 162..... 5-3-5-6 اضافه کردن داده
- 163..... 6-6 انواع روش‌های تحلیل طیف
- 163..... 1-6-6 سری هارمونیک‌های فوریه
- 164..... 2-6-6 طیف فوریه
- 165..... 3-6-6 تبدیل فوریه
- 167..... 4-6-6 تبدیل فوریه سریع (FFT)
- 168..... 1-4-6-6 فرکانس نایکوئیست
- 169..... 5-6-6 الگوریتم تبدیل فوریه سریع کولی-تاکی

## ح امواج الاستیک و فراصوت

- 6-6-6 چگالی طیف توان (PSD) و جذر میانگین مربعات (RMS) چگالی ..... 169
- 1-6-6-6 طیف سفید (نویز سفید) ..... 170
- 2-6-6-6 طیف فاز ..... 170
- 7-6 روش‌های متداول تحلیل طیف ..... 172
- 8-6 اندازه‌گیری‌هایی که با استفاده از طیف انجام می‌شود ..... 172
- 9-6 فیلتر یا هموارسازی شکل موج ..... 173
- 10-6 تحلیل تفرق در حوزه فرکانس ..... 174
- 11-6 کمیت‌های آماری که اندازه‌گیری می‌شوند ..... 174
- 1-11-6 پارامترهای آماری مقدماتی ..... 174
- 2-11-6 بافت‌نگار (هیستوگرام) ..... 175
- 3-11-6 توزیع تجمعی ..... 178
- 4-11-6 رگرسیون خطی (برازش منحنی) ..... 179
- 5-11-6 همبستگی ..... 180
- 6-11-6 کانولوشن ..... 184
- 7-11-6 همبستگی طیف ..... 184
- 8-11-6 تابع انتقال ..... 185
- 9-11-6 مشخصه شکل موج ..... 186
- 10-11-6 تمایزپذیری و تحلیل ویژگی ..... 187
- 12-6 تصویربرداری ..... 189
- 13-6 انواع تصاویر ..... 189
- 1-13-6 اسکن C مُد ..... 189
- 1-1-13-6 پیکسل ..... 190
- 2-13-6 برش‌نگاری ..... 190
- 3-13-6 تصاویر جاروب‌شده ..... 192



فهرست مطالب ط

- پیوست 1 تنش، کرنش و الاستیسیته (و بردارها و تانسورها) ..... 193
- پ1-1 الاستیسیته ..... 193
- پ1-2 تنش ..... 195
- پ1-2-1 نیرو، مساحت و تنش در سه بُعد: بردارها و تانسورها ..... 196
- پ1-2-2 تغییر دستگاه مختصات ..... 198
- پ1-2-3 ویژگی‌های تنش ..... 201
- پ1-2-4 تنش در محورهای دوران یافته ..... 203
- پ1-2-5 نمونه دو بُعدی: دایره مور و تنش اصلی ..... 203
- پ1-3 کرنش ..... 205
- پ1-3-1 ویژگی‌های کرنش ..... 205
- پ1-3-2 دوران ..... 207
- پ1-3-4 کرنش در مختصات دوار ..... 208
- پ1-4 نمادگذاری اندیس‌ها ..... 208
- پیوست 2 تعمیم قانون هوک ..... 211
- پ2-1 قانون هوک ..... 211
- پ2-2 سفتی در مختصات دوار ..... 213
- پ2-3 دسته‌بندی مواد الاستیک ..... 214
- پ2-3-1 شماره‌ها ..... 214
- پ2-3-2 مواد جامد متقارن ..... 215
- پ1-2-3-2 محدودیت‌ها ..... 218
- پ2-3-3 مواد با تقارن مکعبی ..... 219
- پ2-3-4 مواد جامد با همسان‌گردی عرضی (تقارن شش‌وجهی) ..... 220
- پ1-4-3-2 محدودیت‌ها ..... 222
- پ2-3-5 مواد جامد متعامد (تقارن متوازی‌الاضلاع) ..... 222
- پ1-5-3-2 محدودیت‌ها ..... 224

ی امواج الاستیک و فراصوت

- 225 ..... پیوست 3 حالت تنش یا کرنش در امواج
- 225..... پ3-1 تنش یا کرنش تک محوری
- 226..... پ3-1-1 کرنش عمودی تک محوری: موج طولی
- 228..... پ3-1-2 کرنش برشی عرضی تک محوری
- 230..... پ3-1-3 تنش عمودی تک محور
- 231..... پ3-1-4 تنش عرضی تک محوری
- 232..... پ3-2 روابط تنش - کرنش تک محوری
- 235 ..... پیوست 4 تعادل نیروها و قانون لختی نیوتن
- 236..... پ4-1 مختصات یک بعدی
- 237..... پ4-2 مختصات سه بعدی
- 241 ..... پیوست 5 نظریه انتشار موج
- 242..... پ5-1 یک بعد
- 243..... پ5-1-1 معادلات دیفرانسیل
- 243..... پ5-1-1-1 سرعت موج
- 244..... پ5-1-2 روش ویژه معادلات
- 245..... پ5-1-3 نمودار  $x-t$  موج
- 246..... پ5-2 سه بُعد
- 247..... پ5-2-1 معادلات دیفرانسیل
- 247..... پ5-2-2 روش ویژه معادله
- 249..... پ5-3 تحریک موج
- 249..... پ5-3-1 تحریک پیزوالکتریک
- 250..... پ5-3-2 تحریک لیزر
- 253 ..... پیوست 6 پاسخهای معادلات موج
- 253..... پ6-1 جوابهای بنیادی

فهرست مطالب ک

- پ 6-1-1 امواج کروی: فضای نامحدود سه بعدی با چشمه نقطه‌ای ..... 253
- پ 6-1-2 امواج استوانه‌ای: فضای سه بعدی نامحدود با چشمه خطی (یا فضای دوبعدی  
با چشمه نقطه‌ای) ..... 256
- پ 6-1-3 امواج پله‌ای: امواج یک بعدی ..... 257
- پ 6-1-4 جواب‌های غیرانتشاری ..... 259
- پ 6-2 جداسازی متغیرها ..... 259
- پ 6-2-1 امواج یک بعدی ..... 259
- پ 6-3 امواج تخت در دو یا سه بُعد ..... 261
- پ 6-3-1 پتانسیل‌های سرعت در همسان‌گردی ..... 263
- پ 6-4 جواب‌های موج تخت ..... 265
- پ 6-4-1 حرکت در صفحه ..... 265
- پ 6-4-2 حرکت عرضی ..... 268
- پیوست 7 پراکندگی، سرعت گروه ..... 271
- پ 7-1 انتشار موج در محیط ویسکوالاستیک ..... 273
- پ 7-2 انتشار موج در یک میله ضخیم ..... 274
- پ 7-2-1 تقریب میندلین - هرمن (دویل، 1989) ..... 274
- پ 7-3 امواج خمشی ..... 276
- پیوست 8 تشکیل باریکه در مبدل فراصوتی ..... 279
- پ 8-1 تحلیل ساده شده تشکیل باریکه ..... 279
- پ 8-2 تحلیل تغییرات شعاعی در باریکه ..... 281
- پ 8-3 تحلیل تغییر محوری قدرت موج ..... 287
- پیوست 9 جواب‌های معادله موج در محیط ناهمسان‌گرد ..... 291
- پ 9-1 سرعت موج (فاز) ..... 293
- پ 9-2 حرکت محیط (ذره) و ویژه‌بردارها ..... 296
- پ 9-3 موارد خاص ..... 299

ل امواج الاستیک و فراصوت

- پ 9-3-1 بردار انتشار (بردار عمود موج) در صفحه شامل دو محور قرار می‌گیرد.... 299
- پ 9-3-1-1 مورد خاص تر: همسان‌گردی عرضی..... 301
- پ 9-3-2 بردار عمود در راستای یکی از محورها قرار گیرد..... 302
- پ 9-3-3 مورد همسان‌گرد..... 303
- پ 9-3-3-1 امواج طولی..... 305
- پ 9-3-3-2 امواج عرضی..... 305
- پ 9-4 سرعت گروه..... 306
- پیوست 10 برهم‌کنش‌های مایل میان امواج و مرزها..... 311
- پ 10-1 بازتاب مایل موج طولی از سطح آزاد..... 311
- پ 10-1-1 قانون اسنل..... 313
- پ 10-1-2 ضرایب بازتاب و پتانسیل‌های تنش..... 314
- پ 10-2 بازتاب مایل موج عرضی از یک سطح آزاد..... 316
- پ 10-3 شکست (عبور مایل) یک موج طولی یا عرضی..... 318
- پ 10-4 امواج رایلی..... 321
- پیوست 11 تنش و کرنش جانبی در میله‌هایی با کشش محوری..... 325
- پ 11-1 تقریب ساده برای میله‌های باریک..... 325
- پ 11-2 تقریب میندلین - هرمن..... 326
- پیوست 12 امواج خمشی در باریک‌ها و صفحات..... 335
- پ 12-1 خمش باریکه..... 335
- پ 12-1-1 EBT..... 336
- پ 12-1-2 نظریه خمش تیموشنکو..... 341
- پ 12-2 صفحات نازک..... 347
- پ 12-2-1 نظریه صفحه کلاسیک (CPT)..... 348

فهرست مطالب م

351	..... پیوست 13 تحلیل در حوزه زمان
351	..... پ1-13 تبدیل هیلبرت، فاز و پوش تحلیلی
351	..... پ1-1-13 تبدیل هیلبرت
353	..... پ2-1-13 پوش تحلیلی
353	..... پ3-1-13 فاز تحلیلی
354	..... پ2-13 محدود سازی سیگنال در حوزه زمان
354	..... پ1-2-13 میانگین گیری داده ها
355	..... پ2-2-13 هموارسازی در حوزه زمان
357	..... پ3-2-13 تغییر رفتار افسست و دریفت
359	..... پ4-2-13 کانولوشن
361	..... مراجع
363	..... واژه نامه فارسی به انگلیسی
391	..... واژه نامه انگلیسی به فارسی
422	..... نمایه



## 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

## ع امواج الاستیک و فراصوت

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 1-13 نیز جزئیات فنی از نظریه‌های مربوطه را فراهم می‌کنند. توضیحات به صورت شماتیک ترسیم شده‌اند و در هر ترسیم به جای 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 به ترتیب در سال‌های 1660 و 1687 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 به سبب ارتقای تجهیزات الکترونیکی و پردازش اطلاعات و در ارتباط با رشته‌های پزشکی، زلزله‌شناسی، آکوستیک و مهندسی پویا بوده است. با وجود این، 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، به طور بصری ارزیابی می‌شد.



## پیشگفتار نگارنده ف

به کارگیری امواج فراصوت در آزمایش‌های مدرن، اغلب به نتایج نادرستی منتهی شد، زیرا این امواج رفتار پیچیده‌ای دارند که تفسیر آنها مستلزم داشتن درک درستی از فرایندهای درگیر است. این موضوع، مهم‌ترین بحث در زمینه امواج فراصوت در ابتدای قرن 21 به‌شمار می‌رفت.

امروزه، کاربرد امواج فراصوت افزایش چشم‌گیری داشته است و افرادی که تحت آموزش‌های ویژه‌ای درباره کلیت، عمق و ظرافت این موضوع قرار نگرفته‌اند و یا تجربه‌ای در این زمینه ندارند، با پرسش‌های زیادی درباره مفهوم نتایج حاصل مواجه هستند. این افراد - که نویسنده نیز خود را از جمله ایشان می‌داند - ناگزیرند سؤالات زیادی درباره امواج فراصوت بپرسند، زیرا مفاهیم مربوط به آن، معمولاً آموزش داده نمی‌شود و متون ساده و روان در این موضوع نیز بسیار اندک است. آگاهی از دانش نظری و تجربیات آزمایشگاهی کاربردی، ضروری است. در کتاب حاضر، پاسخ سؤالات متداول بر مبنای نظری و تجربی ارائه می‌شود. شایان ذکر است که دستیابی به اطلاعات دقیق از رویدادها می‌تواند موجب ایجاد فنون جدید شود.

## برخی از کتاب‌های مفید

کتاب نظریه امواج فراصوت که در سال 1990 از سوی کروتکرمر<sup>1</sup> و کروتکرمر<sup>2</sup> بازنویسی شده و اکنون چاپ چهارم آن است، نخستین بار در دهه 1940 چاپ شده است. همچنین، مرور کاملی از امواج فراصوتی به‌دست (انسمنگر<sup>3</sup>، 1998) انجام شده است که برای افراد متخصص یا دانشجویان رشته‌های تخصصی مناسب است. با وجود این، در کتاب یادشده، مفاهیم ریاضیاتی عمیقی با متن آمیخته شده و درک محتوای آن را دشوار کرده است. کتاب مذکور، پیشینه جالبی از موضوع گردآوری کرده

---

1. Krautkramer  
2. Krautkramer  
3. Ensminger

## ص امواج الاستیک و فراصوت

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<sup>1</sup> (1991) 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 1988 است و عبارات ترجمه شده‌ای دارد که با انگلیسی روان سازگاری چندانی ندارد.

در میان شمار زیاد کتب تحقیقاتی، کتاب ترستون و پرس<sup>2</sup> (1990) 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<sup>3</sup> (1994) (که ابتدا در سال 1892 منتشر شده بود) ارائه شد که قالبی بسیار قدیمی دارد. قالب‌بندی جدید کتاب یادشده در متون زلزله‌شناسی، از سوی آکو و ریچاردز<sup>4</sup> (1980)

---

1. Kutruff

2. Thurston & Pierce

3. Love

4. Ako & Richards

## پیشگفتار نگارنده ق

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<sup>1</sup> (1958) و آچنباک<sup>2</sup> (1973) اشاره کرد. چگونگی انتشار امواج در محیط‌های ناهمسان‌گرد برای نخستین بار از سوی مسگرو<sup>3</sup> (1954) تحلیل شد. لاو نیز جزئیات نظریه الاستیسیته را ارائه کرد. جزئیات این نظریه با استفاده از نمادگذاری تانسوری در سال 1946 از سوی سوکولینکوف و اسپچ<sup>4</sup> ارائه شد که در آن، نظریه بردارها و تانسورها نیز مرور شده بود. پس از آن، ویلز<sup>5</sup> (1958) تفسیر روشنی از این مطالب را ارائه کرد. دوایل<sup>6</sup> (1989) 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 *Acoustical Society of America*, *IEEE Journal of Applied Physics* 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 به صورت 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 منحصر به فرد 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

## ت امواج الاستیک و فراصوت

و نمودارهای ساده و ملموس ارائه شده است، بنابراین به نظر می‌رسد نسبت به دیگر کتاب‌های علمی - آموزشی منتشر شده، متفاوت‌تر، کامل‌تر و به مراتب مفیدتر برای یادگیری شایسته مطالب علمی و کاربردی در زمینه امواج فراصوتی باشد. امید است تمام علاقه‌مندان و متخصصان در حوزه‌های مربوط به امواج مکانیکی قادر به استفاده و بهره‌وری از مطالب کتاب حاضر باشند.