

آزمون‌های غیرمخرب

(مبانی، روش‌ها و کاربردها)

جلد اول

www.ketab.ir

فرهنگ هنرور

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۱۳۹۹



دانشگاه تهران

شماره ۴۹۶

سرشناسه: هنرور، فرهنگ، ۱۳۴۲ -

عنوان و نام پدیدآور: آزمون‌های غیرمخرب (مبانی، روش‌ها و کاربردها)/فرهنگ هنرور.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۹.

مشخصات ظاهری: ج.

شابک: ج ۱ 978-622-6655-68-2

وضعیت فهرست نویسی: فیفا

یادداشت: کتابنامه..

موضوع: آزمایش‌های غیر مخرب/ **Nondestructive testing**

موضوع: آزمون ماورای صوتی/ **Ultrasonic testing**

رده بندی کنگره: TA۴۱۷/۲

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۲۲۷

شماره کتابشناسی ملی: ۷۴۱۰۸۶

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: آزمون‌های غیرمخرب (مبانی، روش‌ها و کاربردها)

مؤلف: دکتر فرهنگ هنرور

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: دی ۱۳۹۹، تهران

شمارگان: ۲۰۰ جلد

ویرایش: ویراستار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

صحافی: گرنامی

چاپ: سعید

قیمت: ۶۶۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (ع) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

پیشگفتار

این کتاب با هدف معرفی اصول کلی، روش‌های به‌کارگیری و کاربردهای آزمون‌های غیرمخرب نگاشته شده است. آزمون یا ارزیابی غیرمخرب شامل روش‌هایی است که به کمک آنها می‌توان مواد و قطعات را بدون وارد کردن صدمه‌ای به آنها بازمی‌کرد. کتاب حاضر حاصل بیش از بیست سال تدریس درس‌های مختلف کارشناسی، کارشناسی ارشد و دوره‌های کوتاه‌مدت صنعتی در موضوع آزمون‌های غیرمخرب در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه تهران و صنایع مختلف کشور است. آزمون غیرمخرب مبحث نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر در دانشگاه‌ها مورد توجه قرار گرفته است و هم‌اکنون در اکثر دانشگاه‌های مهندسی کشور تدریس می‌شود. مبحث آزمون غیرمخرب شامل روش‌های متعددی است که هر یک مرتبط با مبحث فیزیکی خاصی همچون نور، الکترومغناطیس، مکانیک سیالات، الکتریسته، صوت، مغناطیس و ... است؛ بدین علت، می‌توان گفت که مبحث آزمون غیرمخرب مبحثی فرارشته‌ای است که فهم آن مستلزم آشنایی با مباحث مختلفی است. هر چند کتاب‌های زیادی در موضوع آزمون‌های غیرمخرب به دیگر زبان‌ها نگاشته شده است؛ اما کتاب‌هایی که بتوان از آنها به‌عنوان کتاب درسی استفاده کرد، بسیار محدودند. در زبان فارسی نیز، هر چند در سال‌های اخیر توجه بیشتری به ترجمه و تألیف کتاب‌هایی در زمینه آزمون‌های غیرمخرب شده است، غالب این کتاب‌ها به‌صورت کاربردی است و برای مخاطبان صنعتی نوشته شده است.

کتاب حاضر، کتابی درسی در موضوع آزمون‌های غیرمخرب است. این کتاب اولین جلد

از یک مجموعه دوجلدی است که شامل هفت فصل است و به سه روش غیرمخرب آزمون فراصوتی، آزمون مایع نافذ و آزمون ذرات مغناطیسی می‌پردازد. از آنجا که این کتاب می‌تواند هم در دوره‌های کارشناسی و هم در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا مورد استفاده قرار گیرد، عنوان‌های پیشرفته که متناسب با دوره‌های تحصیلات تکمیلی است، با ستاره مشخص شده‌اند. در صورت کمبود وقت، مدرسان دوره‌های کارشناسی می‌توانند از تدریس این مباحث صرف‌نظر کنند. دیگر روش‌های متداول آزمون‌های غیرمخرب، از جمله آزمون‌های پرتونگاری، جریان گردابی، نشرآوایی و دمانگاری در جلد دوم این کتاب ارائه خواهند شد که به یاری خداوند در آینده نزدیک منتشر خواهد شد.

مطالب کتاب حاضر در طول مدتی بیش از بیست سال به تدریج جمع‌آوری و آماده شده است. در طول این مدت، افراد و دانشجویان زیادی در تایپ مطالب و آماده‌سازی شکل‌های کتاب با من همکاری داشته‌اند که بدین وسیله از همه آنها صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. نسخه نهایی کتاب را آقای مهندس احسان نادریان با استفاده از نرم‌افزار LaTeX آماده کرده‌اند. بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌شائبه و دقیق نظر و حسن توجه ایشان به آماده‌سازی هر چه دقیق‌تر کتاب و تکمیل بسیاری از شکل‌ها تشکر و قدردانی ویژه داشته باشم.

در پایان، خدا را شاکرم که توفیق نگارش این کتاب را عنایت فرمود. از تمامی استادان و خوانندگان محترم کتاب تقاضا دارم که مرا از نظرهای سازنده خود برای رفع کاستی‌ها آگاه فرمایند. امید که این تلاش اندک مورد توجه و استفاده استادان، دانشجویان و علاقه‌مندان به مبحث آزمون‌های غیرمخرب قرار گیرد و قدمی باشد، هر چند کوچک، در جهت گسترش دانش و فناوری آزمون‌های غیرمخرب در راستای اعتلا و پیشرفت کشور عزیزمان ایران.

فرهنگ هنرور

مهرماه ۱۳۹۹ خورشیدی

فهرست مطالب

پیشگفتار

ج

فصل ۱ مقدمه

۱

۱.۱ آزمون غیرمخرب چیست؟ ۱

۲.۱ نقش آزمون‌های غیرمخرب در سلامت و ایمنی ۳

۳.۱ روش‌های آزمون غیرمخرب ۴

۴.۱ کاربردهای آزمون غیرمخرب ۷

۵.۱ مدارک فنی در آزمون‌های غیرمخرب ۸

۶.۱ مجریان آزمون غیرمخرب ۱۰

۷.۱ توانایی‌های آزمون‌های غیرمخرب ۱۲

تمرین ۱.۱ ۱۲

مراجع ۱۳

فصل ۲ آزمون فراصوتی-اصول کلی

۱۵

۱.۲ مقدمه ۱۵

۲.۲ تاریخچه ۱۸

۳.۲ مزایا و معایب ۱۹

۲۱	۴.۲ امواج فراصوتی
۲۱	۱.۴.۲ حرکت نوسانی
۲۱	۲.۴.۲ تعاریف و مفاهیم پایه
۲۵	۳.۴.۲ حالت‌های انتشار امواج فراصوتی
۲۹	۴.۴.۲* انتشار موج یک بعدی
۳۵	۵.۴.۲* حل معادله موج
۳۹	تمرین ۱.۲
۴۰	۵.۲ بازتابش و شکست امواج
۴۰	۱.۵.۲* تابش قائم موج به مرز دو محیط
۴۲	۲.۵.۲ ضریب بازتابش و ضریب عبور
۴۶	۳.۵.۲ تابش زاویه‌ای موج به مرز دو محیط
۴۷	۴.۵.۲* اثبات قانون اسنل
۵۰	۵.۵.۲ تغییر حالت موج
۵۲	۶.۵.۲ زاویه‌های حد
۵۴	۷.۵.۲ زاویه موج ریلی
۵۶	۸.۵.۲ بازتابش و شکست امواج عرضی
۵۸	تمرین ۲.۲
۶۰	۶.۲* پاشندگی
۶۳	۷.۲* امواج هدایت شده
۶۳	۱.۷.۲ موج سطحی
۶۶	۲.۷.۲ موج ورقی
۶۷	۸.۲ تضعیف فراصوتی
۷۱	تمرین ۳.۲
۷۴	پیوست: بررسی تحلیلی دیسپرژن و سرعت گروه
۷۵	مراجع
۷۷	فصل ۳ آزمون فراصوتی- تولید امواج
۷۷	۱.۳ مقدمه
۷۸	۱.۱.۳ تراگذارهای پیزوالکتریک
۸۰	۱.۱.۱.۳ پیزوسرامیک‌ها
۸۳	۲.۱.۱.۳ پیزوالکتریک‌های پلیمری
۸۴	۳.۱.۱.۳ پیزوکامپوزیت‌ها

۸۵	انواع کاوندهای پیزوالکتریک	۲.۱.۳
۸۵	تقسیم‌بندی براساس نوع موج تولید شده	۱.۲.۱.۳
۸۷	تقسیم‌بندی براساس روش انجام آزمون	۲.۲.۱.۳
۸۸	تقسیم‌بندی براساس زاویه ارسال پرتو	۳.۲.۱.۳
۸۹	تقسیم‌بندی براساس تعداد المان‌های به‌کار رفته در کاوند	۴.۲.۱.۳
۹۱	تقسیم‌بندی براساس شکل سطح کاوند	۵.۲.۱.۳
۹۲	تقسیم‌بندی براساس پهنای باند فرکانسی	۶.۲.۱.۳*
۹۲	مدار الکتریکی تراگذار پیزوالکتریک	۳.۱.۳*
۹۳	ساختمان تراگذارهای پیزوالکتریک	۴.۱.۳
۹۵	تراگذارهای الکترومغناطیس آکوستیک (EMAT)	۵.۱.۳*
۹۹	تراگذارهای خازنی	۶.۱.۳*
۹۹	تولید فراصوت با استفاده از لیزر	۷.۱.۳*
۱۰۰	چگونگی تولید و دریافت امواج فراصوتی توسط لیزر	۱.۷.۱.۳
۱۰۳	تمرین ۱.۳	
۱۰۴	میدان صوتی	۲.۳
۱۰۴	منطقه‌های صوتی	۱.۲.۳
۱۰۸	گسترده‌گی پرتو	۲.۲.۳
۱۱۱	ویژگی‌های تراگذارها	۳.۳
۱۱۴	تحریک تراگذارها	۴.۳
۱۱۶	تمرین ۲.۳	
۱۱۷	مراجع	
۱۱۹	فصل ۴ آزمون فراصوتی-جنبه‌های کاربردی	
۱۱۹	مقدمه	۱.۴
۱۱۹	بلوک‌های استاندارد	۲.۴
۱۲۰	بلوک V1	۱.۲.۴
۱۲۲	بلوک V2	۲.۲.۴
۱۲۳	مجموعه بلوک‌های سطح-دامنه، فاصله-دامنه و ASTM	۳.۲.۴
۱۲۶	سایر بلوک‌ها و قطعات واسنجی	۴.۲.۴
۱۲۷	ماده واسط	۳.۴
۱۲۹	تمرین ۱.۴	