

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۰۹۸۰۸۵

۹۹، ۸، ۳.

سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق

تألیف

دکتر فریدرضا بیگلری

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

بهار ۹۹

سرشناسه	پیگلری، فریدرضا، ۱۳۴۳-
عنوان و نام پدیدآور	سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق / تدوین فریدرضا پیگلری
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	۳۳۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-964-463-788-9
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	واژه‌نامه
یادداشت	کتاب‌نامه
یادداشت	نمایه
موضوع	اندازه‌گیری - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Measurement - Study and teaching (Higher):
موضوع	ابزار اندازه‌گیری - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Measuring instruments - Study and teaching (Higher):
شناسه خزانه	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
رده‌بندی کنگر	T۵۰:
رده‌بندی دیویی	۵۰۰/۸
شماره کتابشناسی ملی	۹۴۰۷۶:



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۰۸ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق
تدوین	دکتر فریدرضا پیگلری
ناشر	مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	بهار ۹۹
قیمت	۵۸۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰ نسخه
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۷۸۸-۹
	ISBN : 978-964-463-788-9

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست شکل‌ها

فهرست جدول‌ها

پیشگفتار

۱	فصل اول: نگاهیم اندازه‌گیری.....
۱-۱-۱	مقدمه‌ای بر مفاهیم اولیه در اندازه‌گیری.....
۲-۱	اندازه‌گیری اندازه‌سناسی.....
۳-۱	واحدهای اندازه‌گیری.....
۱-۳-۱	دستگاه بین‌المللی یکسان.....
۲-۳-۱	سیستم انگلیسی.....
۳-۳-۱	واحدهای اندازه‌گیری مایه.....
۴-۱	تعاریف اولیه.....
۱-۴-۱	خطا در اندازه‌گیری.....
۲-۴-۱	صحت اندازه‌گیری.....
۳-۴-۱	دقت اندازه‌گیری.....
۴-۴-۱	خطای سیستماتیک و رندوم.....
۵-۱	تأثیر میانگین گرفتن از نتایج.....
۱-۵-۱	زینه بندی یا درجه بندی.....
۲-۵-۱	قلمرو.....
۳-۵-۱	حساسیت.....
۴-۵-۱	بزرگنمایی.....
۵-۵-۱	کالیبراسیون و خطایابی.....
۶-۵-۱	تعامد.....
۷-۵-۱	خطای طول.....

- ۱-۵-۸- خطای توازی..... ۱۳
- ۱-۵-۹- خطای نامستقیمی..... ۱۴
- ۱-۵-۱۰- خطای عدم تختی..... ۱۴
- ۱-۵-۱۱- خطای عدم گردی و استوانه بودن..... ۱۴
- ۱-۵-۱۲- تلرانس..... ۱۴
- ۱-۵-۱۳- کلیرانس..... ۱۵
- ۱-۵-۱۴- آلوانس..... ۱۵
- ۱-۵-۱۵- منابع خطا در اندازه گیری..... ۱۵
- ۱-۵-۱۶- خطای وارپانس..... ۲۵
- ۱-۶- پرسش و پاسخ..... ۲۶
- فصل دوم: آرایش و استاندارد واحد طول..... ۳۵
- ۱-۲- مقدمه‌ای بر اندازه گیری با امواج نور..... ۳۵
- ۲-۲- فیزیک و طبیعت نور..... ۳۶
- ۱-۲-۲- لنزهای محدب..... ۳۷
- ۲-۲-۲- لنزهای مقعر..... ۳۸
- ۲-۲-۳- طول موج انواع نور در رنگ های مختلف..... ۳۹
- ۲-۲-۴- اشعه های تک رنگ..... ۴۰
- ۲-۲-۵- تداخل امواج..... ۴۰
- ۲-۲-۶- تداخل نور در آزمایش دو شکاف (دو منبع A و B)..... ۴۱
- ۲-۳- تختی سنج نوری کوارتز و تداخل امواج نور..... ۴۲
- ۲-۳-۱- تشخیص قطعات محدب از مقعر زیر تختی سنج نوری..... ۴۶
- ۲-۳-۲- نکات مهم برای محافظت از تختی سنج نوری..... ۴۷
- ۲-۳-۳- اختلاف ارتفاع سطوح منحنی شیب دار..... ۴۸
- ۲-۳-۴- تختی سنج نوری لابرانوار فیزیک ملی N.P.L..... ۴۸
- ۲-۳-۵- کاربرد میز گردان در تختی سنج نوری..... ۵۱
- ۲-۴- اندازه گیری ۳ بعدی با لیزر..... ۵۱
- ۲-۵- اسکنرهای غیر لیزری..... ۵۲
- ۲-۶- پرسش و پاسخ..... ۵۴

فصل سوم: اندازه‌گیری طول.....	۵۹
۱-۳- مقدمه‌ای بر روش‌های اندازه‌گیری طول.....	۵۹
۲-۳- ساعت اندازه‌گیری به‌عنوان ابزار قیاسی.....	۵۹
۳-۳- قلمرو و دقت روش‌های مختلف اندازه‌گیری.....	۶۰
۴-۳- کمپراتورها.....	۶۰
۳-۴-۱- انواع کمپراتور.....	۶۲
۳-۵- پرسش و پاسخ.....	۷۵
فصل چهارم: اندازه‌گیری زاویه.....	۷۹
۱-۴- مقدمه‌ای بر زاویه سنج.....	۷۹
۲-۴- اصول اولیه اندازه‌گیری دقیق.....	۷۹
۳-۴- میله سینوسی.....	۸۱
۴-۴- مرغک سینوسی.....	۸۲
۴-۵- میز سینوسی.....	۸۳
۴-۶- آزمایش عدم گونیا بودن.....	۸۴
۴-۷- گونیا کردن دقیق.....	۸۷
۴-۸- تراز شیب‌سنج.....	۸۹
۴-۹- زاویه‌سنج‌های اپتیکی.....	۹۰
۴-۹-۱- اصول عملکرد زاویه‌سنج‌های اپتیکی.....	۹۰
۴-۱۰-۱- اصول عملکرد زاویه‌سنج اتوکالیماتور.....	۹۲
۴-۱۰-۱-۱- آزمودن گونیای دقیق با اتوکالیماتور.....	۹۳
۴-۱۱- دستگاه انگل دکور.....	۹۴
۴-۱۲- پروفایل پروژکتور.....	۹۵
۴-۱۳- پرسش و پاسخ.....	۹۷
فصل پنجم: استاندارد گیج بلوک‌ها.....	۱۰۵
۵-۱- مقدمه‌ای بر گیج بلوک‌ها.....	۱۰۵
۵-۲- استاندارد طول.....	۱۰۷

۳-۵	لوازم جانبی گنج بلوک یا قطعه اندازه	۱۰۸
۴-۵	نحوه ادغام گنج بلوک ها	۱۰۹
۵-۵	انواع گنج بلوک ها از نظر جنس	۱۱۱
۶-۵	انواع گنج بلوک ها از نظر شکل آن	۱۱۱
۷-۵	تلرانس گنج بلوک ها	۱۱۲
۸-۵	گنج بلوک قابل تنظیم شرکت PITTER	۱۱۷
۹-۵	گنج بلوک زاویه دار	۱۱۸
۱۰-۵	گنج های میله ای	۱۱۹
۱۱-۵	فلتک های دقیق	۱۲۰
۳-۵	سایمه های دقیق	۱۲۰
۱۳-۵	محاسبه خطای طول	۱۲۱
۱۴-۵	محاسبه خطای توازی	۱۲۱
۱۵-۵	محاسبه خطای عدد تختی سطح	۱۲۲
۱۶-۵	پرسش و پاسخ	۱۲۲
۱۲۵	فصل ششم: طراحی روش اندازه گیری غیرمستقیم	
۱-۶	مقدمه ای بر طراحی روش اندازه گیری	۱۲۵
۲-۶	طراحی روش اندازه گیری قطر خارجی استوانه شکسته	۱۲۶
۳-۶	طراحی روش اندازه گیری قطر داخلی استوانه ناقص با قطر بزرگ	۱۲۷
۴-۶	طراحی روش اندازه گیری قطر داخلی استوانه ناقص با قطر کوچک	۱۲۸
۵-۶	طراحی روش اندازه گیری قطر داخلی استوانه ایستاده	۱۳۰
۶-۶	طراحی روش اندازه گیری زاویه مخروط ناقص	۱۳۱
۷-۶	طراحی روش اندازه گیری زاویه سوراخ مخروطی	۱۳۳
۸-۶	طراحی روش اندازه گیری زاویه مخروطی داخلی	۱۳۴
۹-۶	پرسش و پاسخ	۱۳۵
۱۴۳	فصل هفتم: متروлоژی ماشین ابزار	
۱-۷	مقدمه ای بر انواع ماشین ابزار	۱۴۳
۲-۷	آزمودن و کنترل هم راستایی	۱۴۴

۱۴۴	۷-۳- کنترل تراز بودن ماشین تراش
۱۴۵	۷-۴- آزمون هم محوری اسپیندل و توازی آن با ریل کشویی
۱۴۶	۷-۵- آزمون لغزش محوری اسپیندل ماشین تراش
۱۴۷	۷-۶- آزمون مستقیم بودن بستر ماشین تراش
۱۵۳	۷-۷- آزمون تعامد اسپیندل با میز ماشین ابزار
۱۵۴	۷-۸- آزمون کشویی میز ماشین ابزار
۱۵۵	۷-۹- آزمون تعامد ریل های کشویی میز ماشین ابزار
۱۵۶	۷-۱۰- آزمون لغزش نوسانی محوری پیچ هادی
۱۵۷	۷-۱۱- پرسش و پاسخ
۱۶۱	فصل هشتم: چرخنده ها
۱۶۱	۸-۱- مقدمه ای بر چرخنده ها
۱۶۲	۸-۲- انواع چرخنده
۱۶۲	۸-۳- چرخنده های ساده
۱۶۳	۸-۳-۱- انتقال حرکت در چرخنده ها
۱۶۴	۸-۳-۲- چرخنده های ساده داخلی
۱۶۴	۸-۴- چرخنده های مارپیچ
۱۶۵	۸-۴-۱- چرخنده های جناقی و دو مارپیچ
۱۶۵	۸-۵- چرخنده های شانه ای
۱۶۶	۸-۶- چرخنده های مخروطی ساده
۱۶۶	۸-۷- چرخنده های مخروطی مارپیچی
۱۶۷	۸-۸- چرخنده های مارپیچی متناظر
۱۶۷	۸-۹- پیچ حلزون و چرخ حلزون
۱۶۸	۸-۱۰- چرخنده های هیپوئید
۱۶۹	۸-۱۰-۱- مزایای چرخنده های هیپوئیدی نسبت به مخروطی
۱۶۹	۸-۱۱- چرخنده های خورشیدی (سیاره ای)
۱۷۲	۸-۱۲- معرفی پارامترهای دندانه
۱۷۵	۸-۱۳- فرم دندانه های چرخنده ها
۱۷۶	۸-۱۳-۱- نحوه تولید دندانه های سیکلوئیدی

۱۷۷	۸-۱۴- تابع اینولوت
۱۷۹	۸-۱۵- پروفیل‌های مزدوج
۱۷۹	۸-۱۶- قانون بنیادی چرخنده‌های دندانه‌دار
۱۸۰	۸-۱۷- مقایسه چرخنده‌های اینولوتی با چرخنده‌های سیکلوئیدی
۱۸۱	۸-۱۸- نسبت تماس
۱۸۲	۸-۱۹- شکست در چرخنده‌ها
۱۸۳	۸-۲۰- عملیات حرارتی چرخنده‌ها
۱۸۴	۸-۲۱- روش‌های مختلف اندازه‌گیری چرخنده
۱۸۵	۸-۲۱-۱- کنترل چرخنده از روش ضخامت دندانه روی دایره گام
۱۸۷	۸-۲۱-۲- کنترل چرخنده از روش ضخامت دندانه روی کورد ثابت
۱۸۸	۸-۲۱-۳- کنترل چرخنده از روش ضخامت مماس دایره مبنا
۱۹۳	۸-۲۲- پرسش و پاسخ
۱۹۸	فصل نهم: اندازه‌گیری کنترل پیچ
۱۹۸	۹-۱- مقدمه‌ای بر پیچ‌ها
۲۰۰	۹-۲- انواع پیچ بر اساس شکل دندانه آن‌ها
۲۰۰	۹-۳- پیچ و مهره دندانه مربعی
۲۰۱	۹-۴- استاندارد پیچ‌ها
۲۰۱	۹-۵- مقدمه‌ای بر شکل و پروفیل پیچ‌های ISO ۵۲۹۱
۲۰۳	۹-۶- کنترل پیچ با گیج مخصوص دندانه پیچ
۲۰۳	۹-۷- کنترل پیچ با میکروسکوپ مخصوص دندانه پیچ
۲۰۴	۹-۸- کنترل قطر داخلی پیچ با منشور اندازه‌گیری
۲۰۵	۹-۹- اندازه‌گیری قطر مؤثر پیچ با ۳ سیم یا رولر سوزنی
۲۰۸	۹-۱۰- محاسبه بهترین قطر سیم یا رولر سوزنی
۲۰۹	۹-۱۱- پرسش و پاسخ
۲۱۳	فصل دهم: طراحی گیج‌های برو-نرو
۲۱۳	۱۰-۱- مقدمه‌ای بر گیج‌های برو-نرو
۲۱۵	۱۰-۱-۱- اندازه‌گیری با گیج‌های برو-نرو

۲۱۶.....	۱۰-۱-۲- سیستم‌های سوراخ مینا و شفت مینا.....
۲۱۹.....	۱۰-۱-۲- پرمصرف‌ترین انطباق و تلرانس محور و یاتاقان.....
۲۲۵.....	۱۰-۱-۳- محاسبه گرید ISO 282.....
۲۲۶.....	۱۰-۱-۴- کاربرد گریدهای ISO 286 در فرآیندهای ساخت و تولید.....
۲۲۷.....	۱۰-۱-۵- انواع گیج‌های برو-نرو.....
۲۲۹.....	۱۰-۱-۶- تلرانس و سایش گیج‌های برو-نرو.....
۲۳۱.....	۱۰-۱-۷- ارتباط افزایش ضایعات با تلرانس گیج.....
۲۳۲.....	۱۰-۱-۸- طراحی گیج‌های برو-نرو برای محور.....
۲۳۴.....	۱۰-۱-۹- طراحی گیج‌های برو-نرو برای سوراخ.....
۲۳۶.....	۱۰-۱-۱۰- تلورگیج‌های برو-نرو.....
۲۳۸.....	۱۰-۱-۱۱- پرسش و پاسخ.....
۲۴۵.....	فصل یازدهم: اندازه‌گیری زبری، بافت و انحناى سطوح.....
۲۴۵.....	۱۱-۱- مقدمه‌ای بر زبری سنجی.....
۲۴۶.....	۱۱-۲- نحوه تماس پروب روی زبری سطح.....
۲۴۷.....	۱۱-۳- روش اندازه‌گیری زبری سطح.....
۲۴۹.....	۱۱-۴- تعاریف مختلف در زبری سنجی.....
۲۵۱.....	۱۱-۵- پارامتر RZ در زبری سنجی.....
۲۵۲.....	۱۱-۶- پارامتر RA در زبری سنجی.....
۲۵۴.....	۱۱-۷- زبری تولیدشده با فرآیندهای ساخت.....
۲۵۶.....	۱۱-۸- RMS در زبری سنجی.....
۲۵۷.....	۱۱-۹- پارامترهای مختلف در زبری سنجی.....
۲۵۸.....	۱۱-۱۰- استاندارد ISO در زبری سنجی.....
۲۵۸.....	۱۱-۱۱- علائم زبری سطوح.....
۲۶۴.....	۱۱-۱۲- پرسش و پاسخ.....
۲۶۹.....	فصل دوازدهم: اندازه‌گیری کرنش، نیرو و گشتاور.....
۲۶۹.....	۱۲-۱- مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری کرنش.....
۲۷۱.....	۱۲-۲- گیج‌های مکانیکی.....

۲۷۲.....	۳-۱۲- گیج‌های الکتریکی.....
۲۷۲.....	۱-۳-۱۲- گیج‌های کرنش مقاومتی.....
۲۷۴.....	۴-۱۲- فاکتور گیج.....
۲۷۴.....	۵-۱۲- تئوری گیج‌های کرنش.....
۲۷۵.....	۶-۱۲- اندازه‌گیری کرنش با پل ویستون.....
۲۷۷.....	۱-۶-۱۲- جبران دما.....
۲۷۹.....	۷-۱۲- اندازه‌گیری کرنش به روش اپتیکی.....
۲۸۰.....	۸-۱۲- اندازه‌گیری نیرو.....
۲۸۴.....	۹-۱۲- اندازه‌گیری گشتاور.....
۲۸۶.....	۱۲-۱- کرنش و پاسخ.....
۲۸۹.....	فصل سیزدهم: اندازه‌گیری جابه‌جایی خطی.....
۲۸۹.....	۱-۱۳- مقدمه‌ای بر ترازو و سرهای جابه‌جایی.....
۲۸۹.....	۱-۱-۱۳- پتانسیومتر ریمتی.....
۲۹۲.....	۲-۱-۱۳- ترانسفورمر دیفرانسیل متغیر خطی.....
۲۹۴.....	۳-۱-۱۳- ترانسدیوسرهای انحرافی، متغیر.....
۲۹۵.....	۴-۱-۱۳- ترانسدیوسرهای انحرافی متغیر.....
۲۹۶.....	۵-۱-۱۳- ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک.....
۲۹۷.....	۶-۱-۱۳- نازل فلایپر.....
۲۹۸.....	۲-۱۳- اندازه‌گیری سرعت.....
۲۹۸.....	۱-۲-۱۳- اندازه‌گیری سرعت و فشار سیال.....
۳۰۱.....	۳-۱۳- اندازه‌گیری شتاب.....
۳۰۳.....	۴-۱۳- اندازه‌گیری ارتعاشات.....
۳۰۴.....	۱-۴-۱۳- اندازه‌گیری ارتعاشات.....
۳۰۵.....	۵-۱۳- شوک مکانیکی.....
۳۰۷.....	فصل چهاردهم: اندازه‌گیری حرکت چرخشی و زمان.....
۳۰۷.....	۱-۱۴- مقدمه‌ای بر جابه‌جایی چرخشی.....
۳۰۷.....	۲-۱۴- پتانسیومترهای دایره‌ای و مارپیچی.....

۳-۱۴- ترانسفورمر دیفرانسیل چرخشی.....	۳۰۸
۴-۱۴- انکودرهای شفت افزایشی.....	۳۰۹
۵-۱۴- انکودرهای شفت دیسک کدبندی شده.....	۳۱۱
۱-۵-۱۴- انکودر شفت دیجیتال نوری.....	۳۱۱
۲-۵-۱۴- انکودر شفت دیجیتالی تماسی (الکتریکی).....	۳۱۳
۳-۵-۱۴- انکودر شفت دیجیتالی مغناطیسی.....	۳۱۳
۶-۱۴- ریزالور.....	۳۱۳
۱-۶-۱۴- ریزالورهای با خروجی دامنه متغیر.....	۳۱۴
۲-۶-۱۴- ریزالور با خروجی فاز متغیر.....	۳۱۵
۷-۱۴- سینکرو.....	۳۱۵
۸-۱۴- روش‌های اندازه‌گیری زمان.....	۳۱۷
۱-۸-۱۴- کریستال کوارتز در اندازه‌گیری زمان.....	۳۱۷
۲-۸-۱۴- ساعت‌های اتمی برای اندازه‌گیری زمان.....	۳۱۹
منابع.....	۳۲۱
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....	۳۲۳
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....	۳۲۷
واژه‌یاب.....	۳۲۹
علائم اختصاری.....	۳۳۵

پیشگفتار

خداوند متعال را شاکریم که بر ما منت نهاد تا کتاب سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق را به اتمام رسانیم. با مسرت بسیار کتاب درسی و تألیفی که در زمینه سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق نوشته شده است را به هم‌وطنان خویش تقدیم کنیم. این کتاب ابتدا به معرفی انواع خطا پرداخته و سپس روش‌های مختلف اندازه‌گیری را توضیح می‌دهد. همچنین انتخاب روش و طراحی فرایندهای اندازه‌گیری از فصول مهم این کتاب است. از آنجایی که انتخاب نامناسب روش اندازه‌گیری می‌تواند مقدار خطای اندازه‌گیری را افزایش دهد، می‌توان از طراحی فرایند اندازه‌گیری مناسب برای کاهش خطا استفاده نمود. اندازه‌گیری از جمله فرایندهای مهم و اصلی در ساخت و کنترل کیفیت یک قطعه صنعتی است. طراحی ابزار مناسب برای یک فرایند اندازه‌گیری هم در کیفیت محصول نهایی و هم در قیمت آن تأثیر بسزایی دارد. در این کتاب به مباحث مربوط به طراحی تجهیزات، برون‌ترو پرداخته شده که باعث افزایش سرعت بازرسی قطعات معیوب و کاهش هزینه تولید برای اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف در تولید انبوه می‌شود. هم‌چنین روش‌های نوین اندازه‌گیری غیر تماسی با لیزر در این کتاب پوشش داده شده است. امروزه با پیشرفت دوربین‌های دیجیتال و کامپیوترها، اندازه‌گیری غیر تماسی با نور به یکی از اصلی‌ترین راه‌های اندازه‌گیری تبدیل شده است. هم‌چنین در قسمت انتهایی به معرفی روش‌های مختلف اندازه‌گیری نیرو، تنش، کرنش، گشتاور و کمیت‌های دیگر شامل مسافت، جابجایی، سرعت، زمان و غیره پرداخته شده است. این کتاب در راستای کمک به پیشبرد فن‌آوری اندازه‌گیری دقیق در ایران تألیف شده است. مؤلف این اثر از زحمات کارکنان انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر کمال تشکر را دارند. از صاحب‌نظران دانشگاهی و صنعتی تقاضا داریم که ما را در ارتقاء سطح کیفی این کتاب در جلد‌های بعدی یاری فرمایند.

فدیرضا بیگلری