

روش‌های اندازه‌گیری

و

برآورد خطا

تألیف:

مهرداد آقایی نغری



سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

شماره ۴۳۷

سرشناسه: آقای خفری، مهرداد ۱۳۴۳

عنوان و نام پدیدآور: روش‌های اندازه‌گیری و برآورد خطا/تألیف مهرداد آقای خفری.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۲۳۴ص.

شابک: 978-600-7867-51-8

وضعیت فهرست نویسی: فیفا

یادداشت: کتابنامه.

موضوع: مهندسی — روش‌های آماری — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Engineering -- Statistical Methods -- Study and Teaching (Higher)

موضوع: مهندسی — ابزار و تجهیزات — کالیبراسیون

موضوع: Engineering Instruments -- Calibration

موضوع: اندازه‌گیری — روش‌های آماری — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Measurement -- Statistical Methods -- Study and Teaching (Higher)

موضوع: اندازه‌گیری — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Measurement -- Study and Teaching (Higher)

موضوع: احتمالات — راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Probabilities -- Study and Teaching (Higher)

رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۷۹/۷۳۴۰ TA

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۰۰۷۲۷

شماره کتابشناسی ملی: ۴۷۹۷۸۴۰

<http://press.kntu.ac.ir>

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: روش‌های اندازه‌گیری و برآورد خطا

مؤلف: دکتر مهرداد آقای خفری

نوبت چاپ: دوم

تاریخ انتشار: آذر ۱۳۹۸، تهران

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

چاپ: پدید رنگ

صحافی: گرانامی

ویرایش: گروه ویراستاری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

قیمت: ۵۲۰۰۰ تومان

(تمام حقوق برای ناشر محفوظ است)

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

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

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

فهرست

پیشگفتار

فصل اوّل - اندازه‌گیری الکتریکی کمیت‌های فیزیکی

۱-۱- مبَدَل‌ها

۱-۱-۱- مشخصه‌های مَبَدَل

۱-۱-۲- مَبَدَل دیفرانسیلی

۱-۱-۳- مَبَدَل خازنی

۱-۱-۴- مَبَدَل پتانسیال الکتریک

۱-۱-۵- مَبَدَل‌های فتوالکتریک و فتوکاندکتیو

۱-۱-۶- ترمیستورها

۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها

۱-۲-۱- سیگنال‌ها

۱-۲-۱-۱- سیگنال‌های آنالوگ

۱-۲-۱-۲- سیگنال‌های دیجیتال

۱-۲-۱-۳- اصلاح مشخصه‌ها، اطلاعات سیگنال

۱-۲-۱-۴- سخت‌افزار و نرم‌افزار جمع‌آوری داده

۱-۲-۱-۵- انتقال داده از دی.ای.کیو. رایانه

۱-۲-۲-۱- ویژگی‌های مختلف کارت دی.ای.کیو

۳-۱- ویژگی‌های سامانه‌های جمع‌آوری داده

۱-۳-۱- سرعت یا پسماند نمونه‌برداری

۱-۳-۲- درجه تفکیک داده‌ها

۱-۳-۳- نمونه‌برداری هوشمند و فشرده‌سازی زمان واقعی داده‌ها

۱-۳-۴- سرعت و مسافت انتقال داده

۱-۳-۵- تعداد کانال‌های ورودی

۱-۳-۶- قابلیت بیکره‌بندی دوباره

۴-۱- تمرین‌ها

فصل دوم - اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی

- ۲۹ ۱-۲- اندازه‌گیری طول و ابعاد
- ۳۰ ۲-۲- اندازه‌گیری نیرو و وزن
- ۳۳ ۳-۲- اندازه‌گیری کرنش
- ۳۷ ۴-۲- اندازه‌گیری دما
- ۱-۴-۲- مبانی اندازه‌گیری دما
- ۲-۴-۲- انواع ترموکوپل‌ها
- ۲-۴-۲- روش‌های تابشی (پیرومترها)
- ۴۳ ۵-۲- اندازه‌گیری فشار
- ۱-۵-۲- مانومتر
- ۲-۵-۲- فشارسنج پیزو
- ۳-۵-۲- سنج‌های اندازه‌گیری فشارهای پایین
- ۴۸ ۶-۲- تمرین‌ها

فصل سوم - اتاق تمیز

- ۵۱ ۱-۳- آلودگی‌های اتاق‌های تمیز
- ۵۶ ۲-۳- روش‌های تهویه اتاق‌های تمیز
- ۵۹ ۳-۳- ویژگی‌های سامانه‌های تهویه
- ۶۱ ۴-۳- روش‌های کاهش آلودگی اتاق‌های تمیز
- ۶۴ ۵-۳- تمرین‌ها

فصل چهارم - کالیبراسیون

- ۶۷ ۱-۴- مبانی کالیبراسیون تجهیزات
- ۶۹ ۲-۴- استانداردهای کالیبراسیون
- ۷۲ ۳-۴- مستندسازی کالیبراسیون
- ۷۳ ۴-۴- انواع کالیبراسیون
- ۷۵ ۵-۴- کالیبراسیون دما

- ۸۲ ۴-۶- کالیبراسیون نیرو
 ۸۶ ۴-۷- آزمایشگاه‌های استاندارد کالیبراسیون
 ۸۹ ۴-۸- تمرین‌ها

فصل پنجم- مقدمه‌ای بر آمار و احتمالات

- ۹۱ ۵-۱- جداول آماری
 ۹۴ ۵-۲- نمودارهای آماری
 ۹۶ ۵-۳- شاخص‌های آماری
 ۵-۳-۱- میانگین
 ۵-۳-۲- میانگین
 ۵-۳-۳- میانگین
 ۵-۳-۴- جابجایی
 ۵-۳-۵- دامنه
 ۵-۳-۶- انحراف میانه
 ۵-۳-۷- واریانس و انحراف استاندارد
 ۵-۳-۸- ضریب تغییر
 ۱۰۱ ۵-۴- تعریف احتمال
 ۱۰۳ ۵-۵- توزیع‌های آماری
 ۵-۵-۱- توزیع نرمال
 ۵-۵-۲- توزیع نرمال
 ۵-۵-۳- توزیع نمونه‌ای میانگین
 ۵-۵-۴- توزیع t
 ۵-۵-۵- توزیع مربع-کای
 ۵-۵-۶- توزیع نمونه‌ای F
 ۱۰۸ ۵-۶- محدوده اطمینان
 ۱۱۱ ۵-۷- رگرسیون و همبستگی
 ۵-۷-۱- مبانی رگرسیون
 ۵-۷-۲- رگرسیون ساده خطی
 ۵-۷-۳- همبستگی

۵-۸- تمرین‌ها

۱۱۹

فصل ششم - خطای اندازه‌گیری

۶-۱- دقت اندازه‌گیری

۱۲۳

۶-۲- انواع خطاهای اندازه‌گیری

۱۲۵

۶-۲-۱- خطای تصادفی

۶-۲-۲- خطای سامانه‌ای

۶-۳- عدم قطعیت

۱۳۰

۶-۴- ترکیب (انتشار) خطاها

۱۳۳

۶-۴-۱- بیشترین خطای ممکن

۶-۴-۲- خطای حاصل

۶-۴-۳- محاسبه انتشار خطا با استفاده از حساب دیفرانسیل

۶-۵- تمرین‌ها

۱۳۹

فصل هفتم - برآورد خطای اندازه‌گیری

۷-۱- نظریه خطای گاوسی

۱۴۳

۷-۱-۱- برآورد مقدار اندازه‌گیری شده

۷-۱-۲- خطای معیار میانگین

۷-۱-۳- روش کمینه مربعات

۷-۱-۴- خطای معیار میانگین وزن‌دار

۷-۱-۵- نظریه خطای گاوسی تعمیم‌یافته

۷-۲- برآورد خطا با آزمون‌های معنی‌دار بودن

۱۴۸

۷-۲-۱- مقایسه میانگین تجربی با مقدار معلوم

۷-۲-۲- مقایسه میانگین‌های دو نمونه

۷-۲-۳- آزمون F

۷-۲-۴- آزمون مربع-کای

۷-۳- تحلیل واریانس

۱۵۲

۷-۴- ارزیابی جواب‌های انحرافی

۱۵۹

۷-۴-۱- روش IQR

۷-۴-۲- آزمون دیکسون

۷-۴-۳- آزمون گراب (مقدار Z)

۱۶۱

۷-۵- تمرین‌ها

فصل هشتم - طراحی آزمایش

۱۶۶

۸-۱- آزمایش‌هایی با یک عامل

۱۶۹

۸-۲- کُد کردن مشاهدات

۱۷۰

۸-۳- بلوک‌بندی و تصادفی‌سازی

۱۷۴

۸-۴- مربع‌های لاتین

۱۷۹

۸-۵- طرح‌های آمیخته

۸-۵-۱- طرح‌های آمیخته

۸-۵-۲- برهم‌کنش عامل

۸-۵-۳- طرح‌های عامل مسرت و کاربرد آن‌ها

۸-۵-۴- مثال‌هایی از کاربرد طرح آمیخته

۱۹۴

۸-۶- تمرین‌ها

ضمیمه‌ها

۱۹۹

ضمیمه ۱: جداول آماری

۲۰۹

ضمیمه ۲: شرایط آزمایشگاه‌های کالیبراسیون

۲۱۹

مراجع

۲۲۱

واژه‌نامه

پیشگفتار

بخش قابل ملاحظه‌ای از یافته‌های علوم تجربی و مهندسی مبتنی بر مشاهده و آزمون است. در بسیاری از موارد، در طی آزمون، یک کمیّت فیزیکی اندازه‌گیری می‌شود. دقت نتایج اندازه‌گیری وابسته به خطای صورت گرفته در طی اندازه‌گیری بوده و محاسبه دقیق آن از جمله مباحث مهم اندازه‌گیری هست. بررسی خطای اندازه‌گیری در قرن هجدهم و با مطرح شدن قانون خطای گاوسی توسط لاپلاس و گاوس با کاربرت روش‌های ریاضی، توسعه یافت. امروزه افزون بر نظریه خطای گاوسی، روش‌های ریاضی و آماری متعددی همچون آزمون‌های معنی‌دار بودن، تحلیل واریانس و روش کمینه مربعات را برای برآورد نتایج اندازه‌گیری و خطای صورت گرفته مورد استفاده قرار می‌دهند.

مطالب مطرح شده در این کتاب، جهت استفاده دانشجویان و پژوهشگران و تدریس مبحث خطای اندازه‌گیری در دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد و همچنین درس اندازه‌گیری در دیگر رشته‌های مهندسی، تألیف شده است. بخش‌هایی از کتاب را می‌توان برای تدریس مباحث مرتبط با اندازه‌گیری، در سالی کارشناسی نیز مورد استفاده قرار داد. چهار فصل اول کتاب به مبحث روش‌های اندازه‌گیری، مطالب مرتبط با آن مثل کالیبراسیون و اتاق تمیز اختصاص یافته و چهار فصل انتهایی بیشتر به موضوع خطا، برآورد روش‌های آماری در برآورد خطا و اندازه‌گیری و طراحی آزمایش می‌پردازد. این شیوه ارائه مباحث تا حدود زیادی به‌منظور پوشش دادن سرفصل‌های ارائه شده در درس خطای اندازه‌گیری انتخاب شده است.

فصل‌های ارائه شده در بخش‌های اول و دوم به‌رندای طرح شده‌اند که امکان تدریس مستقل مبحث اندازه‌گیری و مبحث خطا نیز امکان‌پذیر باشد. مرور مبانی آمار و احتمال در فصل چهارم برای دانشجویان رشته مهندسی مواد که درس مستقل آمار و احتمال نمی‌گذرانند، توصیه می‌شود. با توجه به تنوع مباحث، موضوع‌های مختلف تا حد امکان به‌صورت موجز و با هدف آشنایی با کاربردهای عملی آن‌ها در مهندسی، مطرح شده و از آوردن جزئیات و اثبات‌های ریاضی صرف‌نظر شده است.