

# مرجع کامل سنسورها، ابزار دقیق و سیستم‌های اندازه‌گیری

تألیف:

مهدی صنیعی نژاد



## فهرست

### بخش اول

۲۱	مقدمه
۲۴	معرفی مفهوم «سیگنال» و «پارامتر (کمیت) اندازه‌گیری شونده»
۲۵	معرفی تفاوت میان «مبدل، اصلاح‌کننده، سنسور، عملگر و تشخیص‌دهنده»
۳۲	معرفی برخی انواع سنسورها
۳۷	دسته‌بندی سنسورها به «سنسور مستقیم» و «سنسور پیچیده (غیرمستقیم)»
۴۱	دسته‌بندی سنسورها از لحاظ نحوه راه‌اندازی به «فعال» و «غیرفعال»
۴۱	(۱) ویژگی‌های یک سنسور فعال
۴۱	(۲) ویژگی‌های یک سنسور غیر فعال
۴۲	دسته‌بندی روش اندازه‌گیری به «نوع انحرافی» و «نوع حول نقطه صفر»
۴۷	دسته‌بندی سنسورها به «آنالوگ» و «دیجیتال»
۴۸	سیگنال‌های آنالوگ
۴۸	تعریف سیگنال الکتریکی
۴۹	گراف مربوط به یک سیگنال آنالوگ
۵۰	سیگنال‌های دیجیتال
۵۳	مدارهای آنالوگ و دیجیتال
۵۳	الکترونیک آنالوگ
۵۴	الکترونیک دیجیتال
۵۵	آنالوگ و دیجیتال ترکیبی
۵۵	معرفی برخی انواع سنسورهای آنالوگ و دیجیتال
۵۹	پردازش سیگنال و تفاوت میان پردازش سیگنال آنالوگ و پردازش سیگنال دیجیتال
۵۹	شرحی بر پردازش سیگنال آنالوگ، ASP
۶۱	شرحی بر پردازش سیگنال دیجیتال، DSP
۶۸	دسته‌بندی روش‌های اندازه‌گیری سنسورها به «تداخلی» و «غیرتداخلی»
۷۲	معرفی «تابع تبدیل» به‌عنوان رابطه ایده‌آل میان خروجی و ورودی سنسور
۷۴	معرفی مفاهیم «ورودی تداخلی» و «ورودی اصلاح‌کننده» در یک سنسور
۷۹	«منحنی عملکردی» یا «منحنی مشخصه» یا «منحنی کالیبراسیون» سنسور
۸۰	خصوصیات سنسورها از نقطه نظر دینامیک عملکردی
۸۲	معرفی برخی از مهم‌ترین خصوصیات استاتیکی سنسورها

دهانه و گستره اندازه گیری سنسور (بازه دینامیکی سنسور) و تفاوت میان آنها	۸۴
خروجی مقیاس کامل FSO و بیان دقت سنسور بر اساس آن	۸۷
لزوم توجه دقیق به گستره اندازه گیری (بازه دینامیکی) در هنگام انتخاب سنسور	۸۹
«یکنوایی» سنسور	۹۲
«خطی بودن» و «غیر خطی بودن» سنسور	۹۲
روش ترسیم خط مستقیم قراردادی بر روی منحنی کالیبراسیون یک سنسور	۹۶
(۱) «روش نقاط انتهایی»	۹۶
(۲) «روش نقطه پایانی»	۹۷
(۳) روش «بهترین انطباق» با استفاده از «روش حداقل مربعات»	۹۷
(۴) «روش ترسیم مماس بر نقطه کالیبراسیون سنسور»	۹۸
(۵) روش ترسیم «بهترین خط مستقیم، BSL» یا «خطی بودن مستقل»	۹۹
قابلیت تشخیص (مینیمم سیگنال قابل تشخیص، MDS)، باند مرده و نقطه کور سنسور	۱۰۰
رزولوشن یا قدرت تمایز یا قدرت تفکیک سنسور	۱۰۴
آیا رزولوشن بالاتر یک سنسور به معنای دقت بالاتر سنسور است؟	۱۰۷
تفاوت میان رزولوشن در سیستم‌های آنالوگ و رزولوشن در سیستم‌های دیجیتال	۱۰۹
درستی (صحت) سنسور	۱۱۳
دقت سنسور	۱۱۵
مقایسه تفاوت میان مفاهیم دقت و درستی در منحنی کالیبراسیون یک سنسور	۱۱۷
تکرارپذیری سنسور	۱۲۱
«پایداری کوتاه مدت» و «پایداری بلندمدت» در مقابل «شناوری» سنسور	۱۲۵
قابلیت تولید مجدد سنسور	۱۳۱
«حساسیت» یا «بهره استاتیکی» سنسور	۱۳۱
«قابلیت انتخاب» سنسور	۱۳۸
«اشباع» سنسور	۱۳۹
«زمان آرامش همدمایی» سنسور	۱۴۱
«زمان راه اندازی» سنسور	۱۴۲
«شرایط محیطی عملکردی» سنسور	۱۴۳
پدیده خود گرمایشی سنسور و تاثیر آن بر درستی (صحت) سنسور	۱۴۷
«هیستریزیس» و «هیستریزیس حرارتی» سنسور	۱۵۰
تعریف «خطا» و تفاوت میان «خطای مطلق» و «خطای نسبی» در سنسورها	۱۵۵
تفاوت میان «خطاهای سیستمی» و «خطاهای اتفاقی» سنسور	۱۶۶
معرفی برخی منابع ایجاد «خطاهای سیستماتیک» در سنسورها	۱۶۷

- ۱۶۸.....خطاهای تصادفی» یا «خطاهای اتفاقی» یا همان «خطای ناشی از نویز».....
- ۱۶۸.....مقایسه میان «نویز در سیگنال آنالوگ» و «نویز در سیگنال دیجیتال».....
- ۱۷۰.....عوامل به وجود آورنده نویز و معرفی تفاوت میان «نویز داخلی» و «نویز خارجی».....
- ۱۷۲.....شرحی بر ویژگی‌های نویز  $1/f$ .....
- ۱۷۴.....آشنایی با نویزهای سفید و رنگی.....
- ۱۷۸.....آشنایی با مفهوم نسبت «سیگنال به نویز» یا «SNR» و ارزش سیگنال‌های نویزی سنسورها.....
- ۱۸۳.....«خطای بایاس» یا «خطای آفست» سنسور.....
- ۱۸۶.....یک روش کاربردی و رایج برای کاهش «خطای شناوری» و «خطای بایاس» سنسورها.....
- ۱۸۷.....«باند خطای دما، TEB» و یا «باند خطای کلی» سنسور.....
- ۱۹۳.....نحوه محاسبه «خطای کل» یا «بودجه‌بندی خطا» در یک سنسور.....
- ۱۹۳.....۱- «روش بدترین حالت».....
- ۱۹۳.....۲- «روش ریشه دوم مجموع مربعات، RSS».....
- ۱۹۷.....«سیگنال راه‌اندازی» سنسور.....
- ۱۹۸.....معرفی برخی «روش‌های راه‌اندازی سنسورها».....
- ۲۰۰.....«امپدانس» و «تطبیق امپدانس» در یک سنسور.....
- ۲۰۲.....«تصحیح اتصال سرد» یا «لجیم سرد».....
- ۲۰۲.....تفاوت سنسورهای با «خروجی مطلق» و سنسورهای با «خروجی افزایشی».....
- ۲۰۳.....«عملکرد تناسبی» یک سنسور در مقابل «عملکرد غیرتناسبی» یک سنسور.....
- ۲۰۶.....برخی نکات مهم در انتخاب یک سنسور.....
- ۲۰۹.....آشنایی با «پل وتستون» و اصول حاکم بر کارکرد آن.....
- ۲۱۱.....مفهوم «کالیبراسیون» یک سنسور.....
- ۲۱۲.....ضرورت کالیبراسیون سنسورها.....
- ۲۱۲.....۱- هیچ سنسوری کامل و ایده‌آل محسوب نمی‌گردد.....
- ۲۱۳.....۲- سنسور تنها یک مولفه از میان مولفه‌های متعدد موجود در یک سیستم اندازه‌گیری است.....
- ۲۱۶.....«مرجع کالیبراسیون» و یا «مرجع استاندارد» سنسورها.....
- ۲۱۷.....تأثیرات «تلرانس‌های ساختی و عملکردی» و نقش تابع تبدیل بر روی نحوه کالیبراسیون.....
- ۲۱۹.....«خطای کالیبراسیون» سنسورها.....
- ۲۲۰.....«قابلیت اطمینان» در سنسورها.....
- ۲۲۱.....تعریف «نرخ خرابی» یا «تعداد خرابی در واحد زمان، FIT».....
- ۲۲۲.....رابطه میان قابلیت اطمینان و «تابع توزیع احتمال وی‌بال».....
- ۲۲۳.....رابطه میان قابلیت اطمینان و «فاصله زمانی متوسط بین دو خرابی متوالی، MTBF».....
- ۲۲۸.....عدم قطعیت در سنسورها.....

## بخش دوم

۲۳۵	مقدمه
۲۳۷	آشنایی با مفهوم تابع تبدیل سنسورها و استفاده از تبدیل لاپلاس
۲۴۳	پهنای باند سنسور
۲۴۸	تفاوت میان زمان پاسخ (زمان صعود) و زمان مرده و زمان اضمحلال (زمان نزول)
۲۴۹	دسته‌بندی دینامیک گذرای سنسورها
۲۵۰	معرفی سنسورهای مرتبه صفر
۲۵۱	آشنایی با پتانسیومترها به عنوان یک نوع سنسور مرتبه صفر
۲۵۲	معرفی سنسورهای مرتبه اول
۲۵۶	بررسی ویژگی‌های سنسورهای مرتبه اول در پاسخ به تحریک پله واحد
۲۶۰	تعیین تجربی مشخصه‌های یک سنسور مرتبه اول با بررسی پاسخ به تحریک پله واحد
۲۶۱	بررسی پاسخ سنسورهای مرتبه اول به تحریک شیب
۲۶۳	بررسی پاسخ فرکانسی در سنسورهای مرتبه اول
۲۶۷	تعیین تجربی مشخصه‌های دینامیکی سنسور مرتبه اول با بررسی پاسخ فرکانسی آن
۲۷۱	یک نکته مهم در خصوص نقش فیلتراسیونی سنسورهای مرتبه اول
۲۷۳	مزایای تعریف بهره توانی، بهره ولتاژی و بهره جریان‌ی در فضای دسی‌بل
۲۷۶	معرفی سنسورهای مرتبه دوم
۲۸۰	معادلات حاکم بر یک سنسور اندازه‌گیرنده نیرو با استفاده از سیستم جرم و فنر و دمپر
۲۸۱	بررسی پاسخ سنسورهای مرتبه دوم به تحریک پله واحد
۲۸۲	بررسی پاسخ به تحریک شیب در سنسورهای مرتبه دوم
۲۸۳	بررسی پاسخ فرکانسی در سنسورهای مرتبه دوم
۲۸۵	تعیین تجربی مشخصه‌های سنسور مرتبه دوم با بررسی پاسخ به ضربه واحد و پله واحد
۲۸۹	تعیین تجربی مشخصه‌های سنسور مرتبه دوم با بررسی پاسخ فرکانسی این نوع سنسور
۲۹۱	رابطه مربوط به پهنای باند در یک سنسور مرتبه دوم
۲۹۱	رابطه میان پهنای باند و حساسیت در یک سنسور مرتبه دوم
۲۹۵	برخی از مشخصه‌های تکمیلی سنسورهای مرتبه دوم در وضعیت زیرمیرا
۲۹۵	درصد فراجهدش یک سنسور مرتبه دوم زیرمیرا
۲۹۷	زمان نشست (زمان سکون) یک سنسور مرتبه دوم زیرمیرا
۲۹۸	زمان صعود یک سنسور مرتبه دوم زیرمیرا
۳۰۰	نسبت اضمحلال، DR، در یک سنسور مرتبه دوم زیرمیرا
۳۰۰	پریود نوسان یک سنسور مرتبه دوم زیرمیرا

پاسخ حالت ماندگار و پایای یک سنسور خطی به سیگنال‌های تحریک و پیچیده‌پرودیک ..... ۳۰۰

### بخش سوم

مقدمه .....	۳۰۵
«اثر مقاومتی» و معرفی «پتانسیومتر» به‌عنوان سنسور «موقعیت‌سنج مقاومتی» .....	۳۰۶
استفاده از پتانسیومتر به‌عنوان یک «مقاومت متغیر» یا «رئوستات» .....	۳۱۲
تاثیر بازه کامل جابجایی جاروبک و تعداد حلقه‌های سیم بر روی رزولوشن پتانسیومتر .....	۳۱۳
نحوه «سیم‌بندی» پتانسیومترهای استفاده شده به‌عنوان مقاومت متغیر (رئوستات) .....	۳۱۵
استفاده از پتانسیومتر به‌عنوان «تقسیم‌کننده ولتاژ» .....	۳۱۶
بررسی «میزان غیرخطی بودن پتانسیومتر» در هنگام استفاده به‌عنوان تقسیم‌کننده ولتاژ .....	۳۱۹
اثرات «خطای غیرخطی بارگذاری» ناشی از یک بار مقاومتی و روش‌های کاهش آن .....	۳۲۲
سه نقطه ضعف اساسی در مبدل‌های دارای «کوپلینگ مقاومتی» .....	۳۲۴
استفاده از پتانسیومتر برای اندازه‌گیری «نیروی الکترومحرک» (e.m.f.) سلول‌های باتری .....	۳۲۵
آشنایی با «مخروطی شدن پتانسیومتر» و دسته‌بندی «پتانسیومترهای خطی و لگاریتمی» .....	۳۲۸
۱. پتانسیومترهای خطی .....	۳۲۸
۲. پتانسیومترهای لگاریتمی .....	۳۲۸
معرفی انواع پتانسیومترهای دورانی و کاربردهای آنها .....	۳۳۰
معرفی انواع پتانسیومترهای لغزنده خطی و کاربردهای آنها .....	۳۳۳
برخی محدودیت‌های موجود در پتانسیومترهای اندازه‌گیرنده جابجایی .....	۳۳۵
برخی مزایای موجود در پتانسیومترهای اندازه‌گیرنده جابجایی .....	۳۳۶
معرفی «مواد مقاومتی» و نیز نکاتی در خصوص انتخاب مواد مقاومتی در پتانسیومترها .....	۳۳۶
استفاده از «اثر خازنی» و آشنایی با «سنسورهای خازنی» .....	۳۳۸
معرفی اجزای تشکیل‌دهنده یک خازن .....	۳۳۸
شرحی بر «ثابت دی‌الکتریک» و مقادیر ثوابت دی‌الکتریک چند ماده مختلف .....	۳۴۲
«قدرت یا ظرفیت دی‌الکتریک» یک ماده .....	۳۴۳
«ظرفیت خازنی برآیندی» در «خازن‌های سری» و «خازن‌های موازی» .....	۳۴۴
شرحی بر فیزیک حاکم بر «شارژ و دشارژ (تخلیه) خازن‌ها» .....	۳۴۶
کاربردهای سنسورهای خازنی در سیستم‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری و سنسورها .....	۳۴۸
۱. سنسورهای مجاورتی خازنی .....	۳۴۹
«هدف استاندارد» و «ثابت دی‌الکتریک هدف» .....	۳۵۴
۲. «سنسورهای موقعیت‌سنج خازنی» خطی و زاویه‌ای .....	۳۵۵
۳. «رطوبت‌سنج‌های خازنی» .....	۳۶۰
۴. «سنسورهای خازنی شتاب‌سنج و ژيروسکوپ» .....	۳۶۱

- ۳۶۳..... شرحی بر مکانیزم اندازه‌گیری «سنسورهای شتاب‌سنج اینرسی» متشکل از سیستم جرم و فنر
- ۳۶۴..... شرحی بر مکانیزم اندازه‌گیری «سنسورهای شتاب‌سنج خازنی»
- ۳۶۸..... آشنایی با مکانیزم اندازه‌گیری «سنسورهای ژيروسکوپ خازنی»
- ۳۷۰..... «اثر فوتوالکتريک» و استفاده از آن در سنسورها
- ۳۷۳..... اثر هدایت فوتونی، فوتوهای‌ها و مقاومت‌های وابسته به نور، LDR
- ۳۸۳..... «اثر فوتولتائیک» و استفاده از آن در سنسورها
- ۳۸۹..... استفاده از «سنسورهای نوری» در ساخت «انکودرهای نوری»
- ۳۸۹..... تعريف انکودر و معرفی انواع انکودر
- ۳۹۰..... آشنایی با روش‌های مختلف ایجاد سیگنال در یک «انکودر»
- ۳۹۱..... آشنایی با «انکودرهای دورانی» یا «انکودرهای محوری»
- ۳۹۱..... معرفی اجزای تشکیل‌دهنده یک «انکودر دورانی نوری» و نحوه کارکرد آن
- ۳۹۳..... تفاوت میان «انکودر افزایشی» و «انکودر مطلق»
- ۳۹۴..... ویژگی‌های «انکودرهای افزایشی»
- ۳۹۶..... معرفی «انکودرهای کوادراتور» یا «انکودرهای ربع سیکلی»
- ۳۹۹..... ویژگی‌های انکودرهای مطلق
- ۴۰۲..... آشنایی با مفهوم «ارزش دودویی» یا «سطح سیگنال» در قرائت‌های یک انکودر مطلق
- ۴۰۳..... تفاوت میان «کدگذاری باینری» و «کدگذاری خاکستری» در یک دیسک انکودر
- ۴۰۴..... نحوه تفسیر سیگنال خروجی از یک انکودر افزایشی
- ۴۰۵..... نحوه محاسبه میزان جابجایی زاویه‌ای در یک انکودر افزایشی
- ۴۰۵..... نحوه محاسبه میزان سرعت زاویه‌ای در یک انکودر افزایشی
- ۴۰۶..... (الف) روش «شمارش تعداد پالس‌ها»
- ۴۰۶..... (ب) روش «شمارش مدت زمان پالس‌ها»
- ۴۰۶..... نحوه محاسبه میزان «رزولوشن در یک انکودر افزایشی»
- ۴۰۷..... (الف) تعیین «رزولوشن جابجایی»
- ۴۰۹..... (ب) تعیین «رزولوشن سرعت»
- ۴۱۱..... آشنایی با «منابع ایجاد خطا» در قرائت توسط یک انکودر دورانی
- ۴۱۲..... تصویربرداری سه‌بعدی با «کمک مثلث‌یابی لیزری» در اسکنر سه‌بعدی
- ۴۱۴..... معرفی «سنسورهای جابجایی لیزری آنالوگ»
- ۴۱۵..... معرفی «سنسورهای جابجایی لیزری دیجیتال»
- ۴۱۶..... «تصویربرداری مادون‌قرمز» با استفاده از «تشخیص دهنده‌های حرارتی»
- ۴۱۸..... معرفی مفاهیم «جسم سیاه» و «تابش حرارتی» یا «گسیل تابشی حرارتی»
- ۴۲۲..... معرفی مفاهیم «قابلیت تشعشع،  $e$ » و «قابلیت تشعشع طیفی،  $e(I)$ » و «قابلیت تشعشع جهت‌دار،  $e_{\theta}$ »

- ۴۲۳..... معرفی مفهوم «عبوردهی اتمسفری»
- ۴۲۶..... معرفی مفاهیم «مفاهیم کنتراست» و «تابش صحنه‌ای»
- ۴۳۰..... نکات مهم در «انتخاب باند مادون قرمز مناسب» برای تصویربرداری حرارتی
- ۴۳۲..... آشنایی با اصول کارکرد «تشخیص دهنده‌های حرارتی»
- ۴۳۶..... «اثر فوتودی‌الکترونیک» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۳۸..... «اثر فوتولومینسنس» یا «تابش فوتونی» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۴۷..... «اثر الکترومینسنس» یا «تابش الکترونیکی» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۵۳..... «اثر کمیلومینسنس» یا «تابش شیمیایی» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۵۴..... «اثر داپلر» و یا «شیفت داپلر» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۵۸..... رابطه محاسباتی شیفت داپلر
- ۴۶۲..... هندسه داپلر
- ۴۶۳..... الف) اهداف با سرعت‌های پایین حرکت می‌کنند:  $V \ll C$
- ۴۶۳..... ب) اهداف با سرعت‌های بالا ولی زیر سرعت صوت حرکت می‌کنند:  $V < C$
- ۴۶۶..... «خواص مغناطیسی مواد» و استفاده از آن در سنسورها
- ۴۶۶..... معرفی «گشتاورهای مغناطیسی»
- ۴۶۷..... قواعد حاکم بر «فیزیک الکترونی و مولکولی» در ایجاد «خواص مغناطیسی»
- ۴۷۰..... معرفی «فرومغناطیس» و «مواد فرومغناطیس»
- ۴۷۰..... معرفی «میدان مغناطیسی» یا «میدان B» و معرفی «قانون نیروی لورنتز»
- ۴۷۱..... معرفی «شار مغناطیسی F» و «چگالی شار مغناطیسی  $\vec{B}$ »
- ۴۷۴..... «قدرت میدان مغناطیسی، H» و «میدان برداری ناشی از مغناطیسی بودن یا ...»
- ۴۷۵..... مستعد بودن مغناطیسی
- ۴۷۶..... آشنایی با «ماده همسانگرد مغناطیسی» و «ماده ناهمسانگرد مغناطیسی»
- ۴۷۷..... آشنایی با «مواد دیامغناطیس»
- ۴۷۷..... مقایسه میان خصوصیات «مواد فرومغناطیس»، «مواد پارامغناطیس»، «مواد فریمغناطیس» و «مواد آنتی فرومغناطیس»
- ۴۷۹..... دمای کیوری مربوط به خاصیت فرومغناطیس
- ۴۸۰..... وقوع خاصیت پارامغناطیسی در دماهای بالاتر از دمای کیوری
- ۴۸۲..... آشنایی با «دمای نیل»
- ۴۸۳..... آشنایی با «تئوری دامنه» و «دامنه‌های ویس» در مواد فرومغناطیس
- ۴۸۷..... آشنایی با «انرژی مگنتواستاتیک»
- ۴۸۸..... آشنایی با «انرژی مگنتو کریستالی» و نیز معرفی «جهات یا محورهای کریستالوگرافی آسان و سخت»
- ۴۸۹..... آشنایی با «اثر مگنتومکانیکی یا اثر مگنتواستریکشن یا تغییر شکل بر اثر مغناطیس» و ...
- ۴۹۲..... معرفی «مبدل‌های مگنتواستریکتیو»



۴۹۳.....	شرحی بر «فیزیک حاکم بر یک مبدل و یک سنسور مگنتواستریکتیو متناوب»
۴۹۵.....	کاربردهای مبدل‌های مگنتواستریکتیو.....
۴۹۶.....	آشنایی با «هیستریزس یا بازگشت‌ناپذیری مغناطیسی» و «منحنی هیستریزس B-H»
۵۰۲.....	آشنایی با «آهنرباهای سخت» و «آهنرباهای نرم»
۵۰۵.....	آشنایی با «ناهمسانگردی مگنتو کریستالی» و تاثیر آن بر روی کسب خاصیت مغناطیسی
۵۰۵.....	آشنایی با «ناهمسانگردی شکلی» در «چند کریستال‌ها یا همان پلی کریستال‌ها»
۵۰۶.....	آشنایی با «ناهمسانگردی مغناطیسی القایی»
۵۰۶.....	معرفی «اثر مگنتومقاومتی» و استفاده از آن در ساخت سنسورهای مغناطیسی
۵۰۸.....	آشنایی با «اثر بارکهاوزن» و استفاده از آن در سنسورهای بازرسی و ارزیابی کیفیت مواد
۵۱۲.....	«اثر هال» و استفاده از آن در سنسورها.....
۵۱۶.....	معرفی نحوه کارکرد «سنسور اثر هال»
۵۱۷.....	معرفی برخی قابلیت‌ها و ویژگی‌های عمومی اندازه‌گیری بر مبنای «اثر هال»
۵۱۸.....	«اثر چرخش هال» و استفاده از آن در سنسورها.....
۵۲۰.....	«اثر ترموالکتریکی» و استفاده از آن در سنسورها.....
۵۲۰.....	بخش اول: معرفی «اثر نرنست و اتینگرهاوزن» و «اثر ترمومغناطیسی یا اثر هال حرارتی» و ...
۵۲۲.....	بخش دوم: «اثر سیبک / اثر پلتیر و تامسون»
۵۲۵.....	بخش سوم: «اثر ترمومقاومتی»
۵۲۸.....	معرفی انواع «دماسنجها»
۵۲۹.....	۱. «دماسنج‌های بی‌متال»
۵۳۰.....	۲. «دماسنج‌های کرایوژنیک»
۵۳۲.....	۳. «دماسنج‌های فیبر نوری»
۵۳۳.....	۱.۳ «روش فلئورواپتیک»
۵۳۳.....	۲.۳ «روش تداخل سنجی»
۵۳۳.....	۳.۳ «روش جذب نور»
۵۳۳.....	۴. «دماسنج‌های مدارهای مجتمع، IC»
۵۳۴.....	۵. «دماسنج‌های مادون قرمز» / «پیرومترها» و معرفی «تصویربرداری مادون قرمز»
۵۳۶.....	۶. «نشانگرهای دمایی بازگشت‌ناپذیر»
۵۳۷.....	۷. «نشانگرهای دمایی بازگشت‌پذیر کریستال مایع»
۵۳۸.....	۸. «دماسنج‌های با مایع درون شیشه»
۵۳۹.....	۹. «دماسنج‌های پیزوالکتریک» یا «کوارتز»
۵۳۹.....	۱۰. «ترموستات‌ها» یا «دماسنج‌های الکترومکانیکی»
۵۴۲.....	۱۱. «ترمیستورها»

۱۲. تشخیص دهنده‌های دمای مقاومتی، RTD..... ۵۴۵
۱۳. «ترموکوپل‌ها» ..... ۵۴۷
- «مقاومت مصالح» و استفاده از آن در سنسورها ..... ۵۵۱
- مقدمه‌ای در خصوص «مبانی مقاومت مصالح» ..... ۵۵۲
- آشنایی با «رژیم‌های مختلف رفتار مواد» در حین «بارگذاری» ..... ۵۵۵
- آشنایی با مفاهیم «تنش نرمال» و «تنش برشی» ..... ۵۵۹
- «قانون هوک» و «مدول الاستیسیته» یا «مدول یانگ» ..... ۵۶۰
- معرفی «مواد نرم یا چکش‌خوار» و «مواد شکننده یا مواد ترد» ..... ۵۶۲
- معرفی «نسبت پواسون» و روابط میان  $\nu$  و  $G$  و  $E$  ..... ۵۶۴
- معرفی «کرنش حرارتی» ..... ۵۶۶
- «قانون هوک عمومی» برای «بارگذاری سازه‌ای سه‌بعدی» ..... ۵۶۷
- چگونگی به‌دست آوردن «روابط میان تنش و کرنش در قانون هوک سه‌بعدی» ..... ۵۶۷
- روابط میان تنش و کرنش در بارگذاری سه‌بعدی ..... ۵۶۹
- «کرنش حرارتی» در سه‌بعد ..... ۵۷۱
- «قانون هوک عمومی» برای «بارگذاری سازه‌ای دو‌بعدی» ..... ۵۷۲
- چگونگی به‌دست آوردن «روابط میان تنش و کرنش در قانون هوک دو‌بعدی» ..... ۵۷۲
- تنش‌های دو‌بعدی (تنش‌های صفحه‌ای) ..... ۵۷۲
- کرنش‌های دو‌بعدی (کرنش‌های صفحه‌ای) ..... ۵۷۴
- آشنایی با «نحوه کارکرد کرنش‌سنج‌ها» در اندازه‌گیری «تنش‌های دو‌بعدی صفحه‌ای» ..... ۵۷۶
- استفاده از «پل وتستون» در کنار کرنش‌سنج‌ها ..... ۵۸۱
- چند چیدمان رایج برای «نصب کرنش‌سنج‌ها» برای «اندازه‌گیری کرنش‌های» ..... ۵۸۲
- «کرنش‌سنج با شاكله گل ۴۵ درجه‌ای» ..... ۵۸۳
- «کرنش‌سنج با شاكله گل ۶۰ درجه‌ای» ..... ۵۸۴
- «حساسیت یک کرنش‌سنج» ..... ۵۸۵
- بررسی «تأثیرات تغییر دمای محیطی» بر روی «اندازه‌گیری یک کرنش‌سنج» ..... ۵۸۷
- مزیت استفاده از «کرنش‌سنج بی‌اثر» جهت جبران خطای ناشی از تغییرات دمای محیطی ..... ۵۸۸
- یک روش هوشمندانه برای «افزایش ولتاژ خروجی،  $V_{out}$ » در کرنش‌سنج‌ها ..... ۵۹۱
- استفاده از کرنش‌سنج در «دیافراگم‌ها» به منظور «طراحی فشارسنج‌ها» ..... ۵۹۳
- رابطه مربوط به «حساسیت یک فشارسنج دیافراگمی» بر اساس کرنش‌سنجی ..... ۵۹۵
- معرفی برخی «انواع کرنش‌سنج‌های نصب شده بر روی دیافراگم» ..... ۵۹۶
- مسائل مربوط به «خطی بودن در فشارسنج‌های دیافراگمی» ..... ۵۹۷
- مسائل مربوط به «پاسخ فرکانسی در فشارسنج‌های دیافراگمی» ..... ۵۹۷

- ۵۹۸..... مسائل مربوط به «ساخت در فشارسنج‌های دیافراگمی»
- ۵۹۸..... مسائل مربوط به «سیم‌بندی در فشارسنج‌های دیافراگمی»
- ۵۹۹..... معرفی «لودسل» و «لودسل‌های کرنش‌سنجی»
- ۶۰۳..... آشنایی با برخی ویژگی‌های «لودسل‌های کرنش‌سنجی»
- ۶۰۶..... استفاده از «پل وتستون» در «لودسل‌های کرنش‌سنجی»
- ۶۰۷..... استفاده از «شنت» به منظور «کالیبراسیون لودسل‌های کرنش‌سنجی»
- ۶۰۸..... «خروجی و حساسیت یک لودسل کرنش‌سنجی»
- ۶۰۹..... آشنایی با «ساختار داخلی تشکیل‌دهنده یک لودسل کرنش‌سنجی»
- ۶۱۰..... ۱- لودسل‌های کرنش‌سنجی با «ساختار تیر خمشی»
- ۶۱۱..... ۲- لودسل‌های کرنش‌سنجی با «ساختار ستونی»
- ۶۱۳..... ۳- لودسل‌های کرنش‌سنجی با «ساختار برشی»
- ۶۱۵..... استفاده از کرنش‌سنج به منظور «طراحی و ساخت شتاب‌سنج‌های بر مبنای کرنش‌سنج»
- ۶۱۵..... «اثر پیزومقاومتی» و استفاده از آن در سنسورها
- ۶۱۶..... استفاده از «عناصر پیزومقاومتی» در طراحی و ساخت «نیروسنج و شتاب‌سنج‌های پیزومقاومتی»
- ۶۱۸..... استفاده از عناصر پیزومقاومتی در ابعاد نانو
- ۶۲۱..... چگونگی استفاده از «نانولوله کربنی، CNT» به عنوان پیزومقاومت در فشارسنج‌ها
- ۶۲۸..... معرفی «برخی مواد به کار رفته» در ساخت سنسورهای پیزومقاومتی
- ۶۲۹..... معرفی «برخی کاربردهای فشارسنج‌های پیزومقاومتی در علوم پزشکی»
- ۶۳۰..... «اثر پیزوالکتریک» و استفاده از آن در سنسورها
- ۶۳۱..... تفاوت میان «اثر پیزوالکتریک» و «اثر پیزومقاومتی»
- ۶۳۱..... معرفی برخی مواد پیزوالکتریک
- ۶۳۵..... فیزیک حاکم بر «پدیده پیزوالکتریک مستقیم» و «پدیده پیزوالکتریک معکوس»
- ۶۳۹..... توضیحات تکمیلی در خصوص «ساختار کریستالی مواد پیزوالکتریک»
- ۶۴۰..... معرفی برخی «کاربردهای مواد پیزوالکتریک»
- ۶۴۰..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت میکروفون‌های پیزوالکتریکی»
- ۶۴۳..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت مولدها و سنسورهای ارتعاشی پیزوالکتریکی»
- ۶۴۵..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت تجهیزات میکروسکوپی، STM»
- ۶۴۸..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت نیروسنج‌های پیزوالکتریک»
- ۶۴۹..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک»
- ۶۴۹..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت عملگرها و موتورهای پیزوالکتریکی»
- ۶۵۰..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت مولدهای الکتریکی»
- ۶۵۱..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت کریستال‌های مرجع فرکانس دقیق»

- ۶۵۲..... کاربرد مواد پیزوالکتریک در «ساخت سنسورهای مجاورتی فراصوتی (آلتراسونیک)» ...
- ۶۵۵..... آشنایی با چگونگی «مدلسازی ریاضی مواد پیزوالکتریک».....
- ۶۵۶..... رابطه حاکم از نوع  $(Q, T, E)$ .....
- ۶۶۰..... اختصارگویی اندیس تانسوری و «بیان ماتریسی روابط حاکم بر مواد پیزوالکتریک».....
- ۶۶۳..... معرفی «مود طولی ۳۳» در «سرامیک‌های پیزوالکتریک».....
- ۶۶۴..... معرفی «مود متقاطع ۳۱» در «سرامیک‌های پیزوالکتریک».....
- ۶۶۴..... معرفی «مود برشی ۱۵» در «سرامیک‌های پیزوالکتریک».....
- ۶۶۵..... روابط اساسی برای دسته متغیرهای مستقل مختلف.....
- ۶۶۶..... «فاکتور کوپلینگ الکترومکانیکی»؛ ملاکی از تبدیل انرژی در یک سیستم برهمکنشی خطی.....
- ۶۶۷..... بررسی «پدیده هیستریزیس» در «سرامیک‌های پیزوالکتریک».....
- ۶۶۸..... تفاوت میان رفتار «اثر پیزوالکتریک مستقیم» و «اثر پیزوالکتریک معکوس».....
- ۶۶۹..... برخی محدودیت‌های موجود در و تجهیزات مواد پیزوالکتریک.....
- ۶۶۹..... «اثر پیروالکتریک» و استفاده از آن در سنسورها.....
- ۶۷۰..... قانون فارادی - هنری یا قانون القای فارادی و قانون لنز.....
- ۶۷۶..... «اثر القای الکترومغناطیسی» و استفاده از آن در سنسورها.....
- ۶۷۶..... شرح مختصری بر «مدولاسیون سیگنال» و «دمدولاسیون سیگنال».....
- ۶۷۸..... معرفی «مبدل‌های القای دوگانه» و «ترانسفورماتورهای دیفرانسیلی یا تفاضلی».....
- ۶۷۹..... آشنایی با «مبدل دیفرانسیلی یا تفاضلی متغیر خطی، LVDT».....
- ۶۸۴..... معرفی «برخی مزایای مبدل LVDT».....
- ۶۸۶..... معرفی «برخی معایب و محدودیت‌های مبدل LVDT».....
- ۶۸۷..... معرفی «برخی کاربردهای مبدل LVDT».....
- ۶۸۷..... معرفی «مبدل دیفرانسیلی یا تفاضلی متغیر دورانی، RVDT».....
- ۶۸۹..... معرفی «سنسورهای مجاورتی القای دوگانه».....
- ۶۹۰..... معرفی «سنسورهای ریزالوری».....
- ۶۹۵..... معرفی «برخی مزایای سنسورهای ریزالوری».....
- ۶۹۵..... معرفی «برخی معایب و محدودیت‌های سنسورهای ریزالوری».....
- ۶۹۶..... معرفی «مبدل‌های خودالقاه».....
- ۶۹۷..... معرفی «مبدل‌های آهنربای دائم سرعت‌سنج خطی و زاویه‌ای».....
- ۷۰۰..... معرفی «مبدل‌های جریان ادی یا جریان گردابه‌ای».....
- ۷۰۳..... معرفی «برخی ویژگی‌های سنسورهای جریان ادی».....
- ۷۰۴..... استفاده از تجهیزات و مبدل‌های جریان ادی در «آزمون‌های غیرمخرب».....
- ۷۰۶..... معرفی «عمق نفوذ جریان‌های ادی» و «چگالی جریان‌های ادی».....

۷۰۷.....	معرفی «برخی مزایای سنسورهای جریان ادی»
۷۰۸.....	معرفی معایب و محدودیت‌های سنسورهای جریان ادی»
۷۰۸.....	آشنایی با مفهوم «پلاریزاسیون» و «پلاریزاسیون نور»
۷۲۰.....	آشنایی با «پدیده شکست مضاعف نور» و «مواد دوشکستی»
۷۲۱.....	آشنایی با «مواد تک محوره»
۷۲۲.....	«اثر دوران فارادی» و استفاده از آن در سنسورها
۷۲۴.....	«اثر مگنتوایپتیک کیر» یا «اثر مُک» و استفاده از آن در سنسورها
۷۲۵.....	«اثرات کر و پکلز» و استفاده از آن در سنسورها
۷۲۶.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند سنسور منتخب
۷۲۶.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند نوع سنسور جابجایی
۷۲۹.....	بخش اول: رزولوشن بر حسب بازه اندازه‌گیری در سنسورهای جابجایی
۷۳۲.....	بخش دوم: فرکانس اندازه‌گیری سنسور (فرکانس داده‌برداری سنسور)
۷۳۳.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند نوع سنسور سرعت خطی
۷۳۴.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند نوع سنسور شتاب‌سنج
۷۳۵.....	بخش اول: رزولوشن بر حسب بازه اندازه‌گیری در سنسورهای شتاب‌سنج
۷۳۷.....	بخش دوم: فرکانس اندازه‌گیری (فرکانس داده‌برداری) بر حسب بازه اندازه‌گیری
۷۴۰.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند نوع سنسور نیروسنج
۷۴۰.....	بخش اول: رزولوشن بر حسب بازه اندازه‌گیری در نیروسنج‌ها
۷۴۱.....	بخش دوم: فرکانس داده‌برداری بر حسب بازه اندازه‌گیری در نیروسنج‌ها
۷۴۴.....	یک نکته کاربردی مهم در انتخاب کلاس سنسورها
۷۴۸.....	مقایسه نمودارهای عملکردی چند نوع سنسور دماسنج
۷۴۸.....	بخش اول: رزولوشن بر حسب دمای کاری در دماسنج‌ها
۷۵۰.....	بخش دوم: فرکانس داده‌برداری بر حسب دمای کاری در دماسنج‌ها
۷۵۳.....	چند مثال کاربردی در خصوص نحوه انتخاب سنسور
۷۵۴.....	گام اول: انتخاب سنسور جابجایی برای آزمون مکانیکی استخوان میناتوری یک پروانه
۷۵۷.....	گام دوم: انتخاب سنسور نیرو برای آزمون مکانیکی استخوان میناتوری یک پروانه
۷۶۰.....	۱. پارامترهای اصلی در انتخاب یک شتاب‌سنج برای ایربگ خودرو
۷۶۰.....	۲. پارامترهای موثر در انتخاب یک شتاب‌سنج برای ایربگ خودرو
۷۶۵.....	نسبت میان درستی (صحت) به بازه اندازه‌گیری در سنسورهای مختلف

## ۷۶۹..... پیوست اول

۷۷۱.....	مقدمه
----------	-------

آشنایی با «سیستم‌های کنترلی حلقه‌باز» ..... ۷۷۲

آشنایی با «سیستم‌های کنترلی حلقه‌بسته» ..... ۷۷۹

آشنایی با «نقاط تجمع» در سیستم‌های کنترلی حلقه‌بسته ..... ۷۸۲

تابع تبدیل سیستم‌های کنترلی حلقه‌بسته ..... ۷۸۳

سیستم‌های کنترلی حلقه‌بسته چندحلقه‌ای ..... ۷۸۵

**پیوست دوم ..... ۷۹۱**

مقدمه ..... ۷۹۳

چند راه‌حل ساده به منظور «مقابله یا حذف اثرات مخرب نویزهای الکتریکی» ..... ۷۹۴

**پیوست سوم ..... ۷۹۷**

مقدمه ..... ۷۹۹

بررسی «ارتعاشات آزاد» در یک «سیستم جرم و فنر و دمپر» بدون حضور نیروی تحریک خارجی ..... ۸۰۳

حالت ب: هر دو ریشه  $r_1$  و  $r_2$  (هر دو قطب) حقیقی و غیربرابر هستند (سیستم فوق‌میرا) ..... ۸۰۹

حالت ج: هر دو ریشه (هر دو قطب) حقیقی و برابر هستند (سیستم میرای بحرانی) ..... ۸۱۳

حالت د: هر دو ریشه (هر دو قطب) به‌طور خالص موهومی هستند (سیستم نوسانی) ..... ۸۱۶

بررسی «ارتعاشات اجباری» یک «سیستم جرم و فنر و دمپر» در حضور نیروی تحریک خارجی نوسانی ..... ۸۱۸

چرا بررسی «پاسخ فرکانسی یک سیستم» مهم است؟ ..... ۸۲۵

**واژه‌نامه ..... ۸۲۵**

**تصاویر رنگی ..... ۸۲۵**

**فهرست منابع ..... ۸۲۵**